

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

수출전략기술개발사업 2020년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003157-01

# 수출 농산물 저장성 향상을 위한 플라즈마 시스템 개발

최종보고서

2020. 07. 10.

주관연구기관 / (재)철원플라즈마산업기술연구원  
협동연구기관 / 전남대학교 산학협력단  
한국농수산대학 산학협력단  
농업회사법인 조은그린 주식회사

## 농 립 축 산 식 품 부

(전문기관) 농림식품기술기획평가원

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “수출 농산물 저장성 향상을 위한 플라즈마 시스템 개발”(개발기간 : 2017. 04. 21 ~ 2019. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 02. 12.

주관연구기관명 : (재)철원플라즈마산업기술연구원 (대표자) 이현중 (인)

협동연구기관명 : 전남대학교 산학협력단 (대표자) 김재국 (인)

한국농수산대학교 산학협력단 (대표자) 노환국 (인)

농업회사법인 주식회사 조은그린 (대표자) 신정훈 (인)

주관연구책임자 : 박 미 리

협동연구책임자 : 정 래 등

권 덕 호

장 준 수

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	117034-3	해 당 단 계 연 구 기 간	2년9개월	단 계 구 분	3년/3년
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	수출전략기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	수출 농산물 저장성 향상을 위한 플라즈마 시스템 개발			
연구책임자	박미리	해당단계 참여연구원 수	총: 12명 내부: 10명 외부: 2명	해당단계 연구개발비	정부:264,000천원 민간: 66,000천원 계:330,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 26명 내부: 24명 외부: 2명	총 연구개발비	정부:760,000천원 민간:190,000천원 계:950,000천원
연구기관명 및 소속부서명	(재)철원플라즈마산업기술연구원 전남대학교 산학협력단 한국농수산대학 산학협력단			참여기업명 농업회사법인 조은그린(주)	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

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

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· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

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

1. 연구수행결과

- 1) 수출 농산물(적용 대상: 파프리카) 저장성 향상을 위한 플라즈마 시스템 개발 및 최적 공정 기술개발 (lab scale)
  - lab scale 플라즈마 시스템의 병원성 미생물 살균 효과 검정 및 최적 공정 기술 개발  
(세균 1종, 곰팡이 3종, 100% 살균 조건 확립)
  - lab scale 플라즈마 시스템의 검역대상 해충 살충효과 평가장치 및 평가법 개발
  - lab scale 플라즈마 시스템의 검역대상 해충 살충효과 검정 및 최적 공정기술 개발  
(해충 3종, 100% 살충 조건 확립)
  - 수출 파프리카 품질에 미치는 플라즈마 영향 평가  
(7일 이상 파프리카 꼭지부분의 곰팡이 발생 억제)
- 2) 수출 농산물 저장성 향상 현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 개발 및 최적 공정 기술개발 (Pilot scale)
  - Pilot scale 플라즈마 시스템의 병원성 미생물 살균 효과 검정 및 최적 공정기술 개발 (최적 공정 조건에서 세균 1종, 곰팡이 3종 20-50% 살균효과 검정)
  - 수출 파프리카 품질에 미치는 플라즈마 영향 평가
  - 국내외 실증평가를 통한 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템의 최적 공정 기술 평가  
(파프리카의 꼭지 시들음 지연: 2주까지 약 10배 지연효과, 과실 시들음 지연: 2주까지 약 1.6배 지연효과, 꼭지 곰팡이 발생 억제: 2주까지 약 2배 억제 효과)

165

2. 연구수행성과

- 재식재산권 : 5건 (특허출원 3건, 특허등록 2건)
- 고용창출 : 7명
- SCI급 논문 : 2편 (총 IF: 5.2), 비SCI급 논문 : 2편
- 학술대회 발표 : 11건
- 교육지도 : 3건, 인력양성 : 2명
- 홍보 및 전시 : 8건 (홍보 5건, 전시회 3건)
- 수상 : 3건 (국무총리 표창장, 농림축산부장관 최우수상, 강원도지사 표창장)



<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>○연구의 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수출 농산물의 저장성 향상을 위한 친환경 플라즈마 시스템 및 처리공정 개발</li> <li>- 수출 농산물 저장성 관련 병원성 미생물 살균 및 검역대상 해충 살충 제어 융·복합 기술 개발</li> </ul> <p>○연구의 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수출 주력 농산물(파프리카) 저장성에 영향을 주는 병원성 미생물 살균 제어를 위한 친환경 플라즈마 시스템 개발</li> <li>- 플라즈마 시스템을 이용한 병원성 미생물 살균 효과 검정 및 최적 공정기술 개발</li> <li>- 플라즈마 시스템을 이용한 검역대상 해충 살충 효과 검정 및 최적 공정기술개발</li> <li>- 수출 주력 농산물(파프리카) 품질에 미치는 플라즈마 영향 평가</li> <li>- 현장 맞춤형 상용화 플라즈마 처리공정 설계 및 현장 실증평가</li> <li>- 농산물 유통과정에서 농산물 품질저해 요소 저감을 위한 물리적 포장처리 기술 개발</li> </ul>																																																																
<p>연구개발성과</p>	<p>○ 특허/산업재산권 : 특허출원 3건, 특허등록 2건 (총 5건)</p> <table border="1" data-bbox="438 813 1428 990"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>특허명</th> <th>출원/등록번호</th> <th>출원/등록일</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 특허출원</td> <td>농산물 살균용 대기압 플라즈마 시스템</td> <td>10-2018-0155020</td> <td>2018.12.05</td> </tr> <tr> <td>2 특허출원</td> <td>플라즈마를 이용하는 살충 효과 평가 장치</td> <td>10-2018-0154699</td> <td>2018.12.05</td> </tr> <tr> <td>3 특허출원</td> <td>농산물 살균 처리 플라즈마 시스템 및 방법</td> <td>10-2019-0137886</td> <td>2019.10.31</td> </tr> <tr> <td>4 특허등록</td> <td>플라즈마를 이용하는 살충 효과 평가 장치</td> <td>10-2001492</td> <td>2019.07.12</td> </tr> <tr> <td>5 특허등록</td> <td>농산물 살균용 대기압 플라즈마 시스템</td> <td>10-2007900</td> <td>2019.07.31</td> </tr> </tbody> </table> <p>○ 고용창출 : 7명</p> <p>○ SCI급 학술지 논문 : 2편 (총 논문 IF: 5.2)</p> <p>○ 비SCI급 학술지 논문 : 2편</p> <p>○ 학술대회 발표 : 11건</p> <p>○ 교육지도 : 3건</p> <p>○ 인력양성 : 2명</p> <p>○ 홍보 및 전시 : 홍보 5건, 전시회 3건 (총 8건)</p> <table border="1" data-bbox="438 1267 1428 1615"> <thead> <tr> <th>유형</th> <th>매체명/행사명</th> <th>제목/전시품목</th> <th>연도</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 홍보</td> <td>강원일보(지방일간지)</td> <td>[철원]철원플라즈마연구소 정부 개발기관 선정</td> <td>2017</td> </tr> <tr> <td>2 홍보</td> <td>강원도민일보(지방일간지)</td> <td>파프리카 저장성 향상 연구 속도</td> <td>2017</td> </tr> <tr> <td>3 홍보</td> <td>I전국매일신문(중앙일간지)</td> <td>철원플라즈마산업기술연구원"수출 농산물 저장성" 성과보고회 개최</td> <td>2019</td> </tr> <tr> <td>4 홍보</td> <td>철원인터넷뉴스(지방일간지)</td> <td>[강원 철원]플라즈마 시스템 처리..농산물 저장기간 증가</td> <td>2019</td> </tr> <tr> <td>5 홍보</td> <td>강원도민일보(지방일간지)</td> <td>플라즈마 기술 수출농산물 저장성 향상</td> <td>2019</td> </tr> <tr> <td>6 전시회</td> <td>제2회 강원과학기술대축전</td> <td>신선농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템</td> <td>2017</td> </tr> <tr> <td>7 전시회</td> <td>제35회 태봉제</td> <td>신선농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템</td> <td>2017</td> </tr> <tr> <td>8 전시회</td> <td>제3회 강원과학기술대축전</td> <td>신선농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템</td> <td>2018</td> </tr> </tbody> </table> <p>○ 수상 : 3건</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2017년 국무총리 표창장 (수상자: 참여기업 대표)</li> <li>- 2018년 농림축산식품부장관 최우수상 (수상기관: 참여기업)</li> <li>- 2019년 강원도지사 표창장 (수상자: 주관연구책임자)</li> </ul>					구분	특허명	출원/등록번호	출원/등록일	1 특허출원	농산물 살균용 대기압 플라즈마 시스템	10-2018-0155020	2018.12.05	2 특허출원	플라즈마를 이용하는 살충 효과 평가 장치	10-2018-0154699	2018.12.05	3 특허출원	농산물 살균 처리 플라즈마 시스템 및 방법	10-2019-0137886	2019.10.31	4 특허등록	플라즈마를 이용하는 살충 효과 평가 장치	10-2001492	2019.07.12	5 특허등록	농산물 살균용 대기압 플라즈마 시스템	10-2007900	2019.07.31	유형	매체명/행사명	제목/전시품목	연도	1 홍보	강원일보(지방일간지)	[철원]철원플라즈마연구소 정부 개발기관 선정	2017	2 홍보	강원도민일보(지방일간지)	파프리카 저장성 향상 연구 속도	2017	3 홍보	I전국매일신문(중앙일간지)	철원플라즈마산업기술연구원"수출 농산물 저장성" 성과보고회 개최	2019	4 홍보	철원인터넷뉴스(지방일간지)	[강원 철원]플라즈마 시스템 처리..농산물 저장기간 증가	2019	5 홍보	강원도민일보(지방일간지)	플라즈마 기술 수출농산물 저장성 향상	2019	6 전시회	제2회 강원과학기술대축전	신선농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템	2017	7 전시회	제35회 태봉제	신선농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템	2017	8 전시회	제3회 강원과학기술대축전	신선농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템	2018
구분	특허명	출원/등록번호	출원/등록일																																																														
1 특허출원	농산물 살균용 대기압 플라즈마 시스템	10-2018-0155020	2018.12.05																																																														
2 특허출원	플라즈마를 이용하는 살충 효과 평가 장치	10-2018-0154699	2018.12.05																																																														
3 특허출원	농산물 살균 처리 플라즈마 시스템 및 방법	10-2019-0137886	2019.10.31																																																														
4 특허등록	플라즈마를 이용하는 살충 효과 평가 장치	10-2001492	2019.07.12																																																														
5 특허등록	농산물 살균용 대기압 플라즈마 시스템	10-2007900	2019.07.31																																																														
유형	매체명/행사명	제목/전시품목	연도																																																														
1 홍보	강원일보(지방일간지)	[철원]철원플라즈마연구소 정부 개발기관 선정	2017																																																														
2 홍보	강원도민일보(지방일간지)	파프리카 저장성 향상 연구 속도	2017																																																														
3 홍보	I전국매일신문(중앙일간지)	철원플라즈마산업기술연구원"수출 농산물 저장성" 성과보고회 개최	2019																																																														
4 홍보	철원인터넷뉴스(지방일간지)	[강원 철원]플라즈마 시스템 처리..농산물 저장기간 증가	2019																																																														
5 홍보	강원도민일보(지방일간지)	플라즈마 기술 수출농산물 저장성 향상	2019																																																														
6 전시회	제2회 강원과학기술대축전	신선농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템	2017																																																														
7 전시회	제35회 태봉제	신선농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템	2017																																																														
8 전시회	제3회 강원과학기술대축전	신선농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템	2018																																																														
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 본 기술이용 수출 농산물의 저장 및 유통 중 발생하는 부패, 방제처리로 인한 상품성 저하 및 비용의 절감효과를 기대함.</li> <li>- 본 기술 개발을 통한 저장성 향상으로 대일본 의존율이 절대적인 파프리카의 수출국 확대를 기대함.</li> </ul>																																																																
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	수출 농산물	저장성 부패 미생물	플라즈마	살균	친환경 기술																																																												

## 〈 목 차 〉

제 1 장. 연구개발과제의 개요 .....	5
제 1 절. 연구개발의 목적 .....	5
제 2 절. 연구개발의 필요성 .....	5
제 3 절. 연구개발의 범위 .....	23
제 2 장. 연구수행 내용 및 결과 .....	27
제 1 절. 연구개발 추진 전략 및 방법 .....	27
제 2 절. 연구수행 내용 및 결과 .....	32
제 3 절. 연구개발 성과 .....	151
제 3 장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....	155
제 1 절. 목표 .....	155
제 2 절. 목표 달성 여부 .....	159
제 3 절. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 사후대책 .....	160
제 4 장. 연구결과의 활용 계획 등 .....	161
제 1 절. 연구개발 결과의 활용방안 및 활용분야 .....	161
제 2 절. 기대성과 및 파급효과 .....	162
붙임. 참고 문헌 .....	163

# 제 1 장. 연구개발과제의 개요

## 제 1 절. 연구개발 목적

### 가. 연구개발 목적

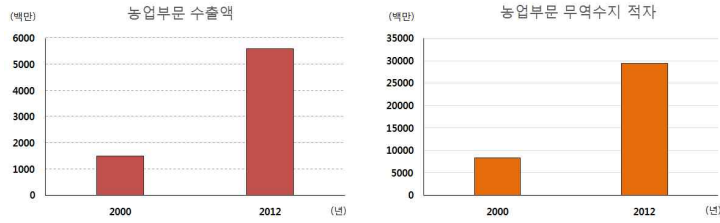
- 수출 농산물(파프리카) 저장성 향상을 위한 친환경 현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 및 처리공정 개발
- 수출 농산물 저장성 관련 병원성 미생물 및 검역대상 해충 제어 융복합 기술 개발



## 제 2 절. 연구개발의 필요성

### 가. 연구의 배경

- 농업부문 수출액은 2000년 15억 달러에서 2012년에는 56억 달러로 사상 최대치를 기록하면서 2000년 대비 3.7배로 급증하는 등 비약적인 증가 추이를 보이고 있으나, 수입 시장개방 확대와 소비 패턴 변화 등으로 2000년 84억 달러에서 2012년 294억 달러로 증가하여 농업 부문의 무역수지 적자는 동년 69억 달러에서 238억 달러로 증가하였음.

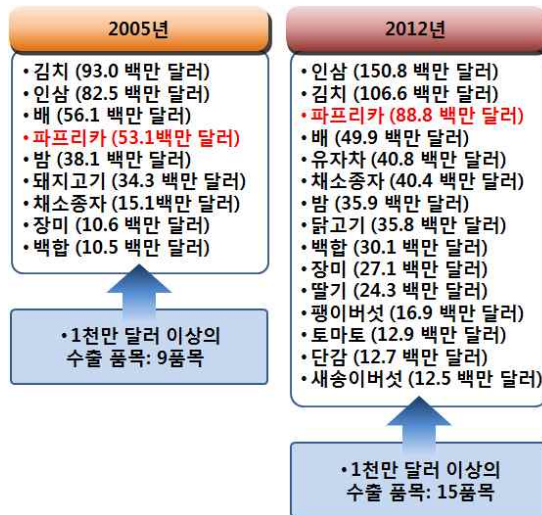


<그림1-1>> 농업부문 수출액 및 무역수지 적자 비교



<그림1-2> 농림축산식품 수출입 현황 (KATI, 2016)

- 농업부문 무역수지 적자 개선을 위해서 수출 확대를 적극적으로 추진하고 있으며, 정부는 수출의 중요성을 인식하여 해외시장개척지원사업, 농축산물판매촉진사업, 우수농식품구매지원사업 등 다양한 수출지원사업을 추진하여, 2005년에는 9품목, 2012년에는 15품목으로 증가하였으며, 특히 신선농산물의 파프리카의 경우, 인삼과 김치 다음으로 높은 소득(2005년: 5천만 달러, 2012년: 약9천만 달러)을 창출하고 있음.



<그림1-3> 수출품목의 신선농산물 중 파프리카의 비중 변화 (「농식품 수출 중장기 기본계획」, 농림축산식품부, 2013)

- 수출 농산물 중 파프리카의 수출이 크게 증가하였고, 일본의 70% 정도가 우리나라에서 수입하고 있을 정도로 주변 동남아 국가에 비해 품질이 우수함을 인정.

- 우리나라 전체 농림축산식품의 대표적인 수출국은 일본이지만, 수출 비중이 2000년 40%대에서 2012년에는 20%대로 크게 감소하는 반면, 중국 비중은 크게 증가하여 제2의 수출국으로 부상하였음.
- 농식품의 주요 수출국 비중은 2000년 일본 46.2%, 미국 9.7%, 홍콩 8.9% 등에서 2012년 일본 24.9%, 중국 16.1%, 미국 8.4% 등으로 변화되었으며, 대일 수출비중이 40%대에서 20%대로 하락하였음에도 불구하고, 신선농산물 수출 주도 품목의 국가별 수출 비중을 살펴보면, 파프리카와 신선토마토는 대일본 수출비중이 압도적으로 높아 대부분 일본으로 수출되고 있음.
- 특정 국가에 수출비중이 높다는 것은 그 나라의 환율 변동에 의해 수출에 많은 영향을 받고, 국제 정세의 변화에 따른 수출 변수가 많기 때문에 다양한 수출국의 확대가 필요함.

[표1-1] 주요 신선농산물의 국가별 수출 비중 추이

(단위: %)

	수출국	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
파프리카	일본	-	100.0	99.8	99.9	99.8	99.8	100.0	99.7	99.9
신선토마토	일본	99.2	95.0	90.1	98.8	96.4	98.2	95.8	96.7	95.9

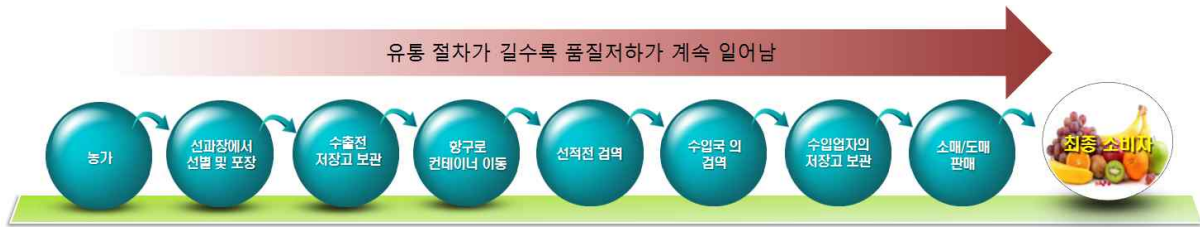
[표1-2] 파프리카의 국가별 수출 현황 (「농산물 수출현황 자료」, 한국농촌경제연구원, 2014)

(단위: 백만 달러)

국가명	2000	2005	2009	2010	2011	2012	2013	평균 (2011~2013)	
								수출액	비중(%)
전 세계	-	53.1	53.3	58.3	65.9	88.8	87.0	80.6	100.0
<b>일본</b>	-	<b>53.1</b>	<b>53.5</b>	<b>58.3</b>	<b>65.7</b>	<b>88.8</b>	<b>86.8</b>	<b>80.4</b>	<b>99.8</b>
대만	-	0.0	0.1	0.0	0.0	-	0.2	0.1	0.1
홍콩	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
러시아	-	-	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
말레이시아	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0
북마리아나제도	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0
싱가포르	-	-	-	0.0	-	-	-	-	0.0
스페인	-	0.0	-	-	-	-	-	-	0.0
미국	-	0.0	-	-	-	-	-	-	0.0
우즈베키스탄	-	-	-	0.0	-	-	-	-	0.0

- 수출국의 확대를 위해서는 근거리에서 있는 동남아와 중국을 제외하고는 거리의 한계를 극복해야하는데, 이는 농산물의 신선상태에 크게 영향을 받음.
- 파프리카의 경우, 유통기간을 최대 2주로 보고 있으며, 미국 또는 러시아와 같이 선적 기준 20일이 넘게 걸리는 나라의 경우에는 아직까지 유통에 한계가 있어 수출 시도에 어려움이 있음.

- 농산물의 수출을 위해, 가장 큰문제가 되고 있는 것이 해당 농산물의 유통과정시 저장성 관련 품질저하에 따른 품질불량이 가장 큰 문제라고 할 수 있음.



<그림1-4> 농산물의 수출 유통 구조

- 유통 시 문제가 되는 저장성 관련 품질불량은 저장성병을 일으키는 미생물, 해충, 농산물의 물성 변화와 외부 환경적 물리적 요인(햇볕 노출, 온도변화에 의한 조직 무름 등)이 더해져 복합적으로 야기됨.
- 기존의 수출대상 작물에 대한 해충 방제는 주로 약제를 이용하여 이루어졌으나, 약제 저항성 개체군의 발생으로 방제되지 않고 생존하여 검역시 문제가 되고 있음.

[표1-3] 수출 농산물 품목별 클레임 발생현황 [농수산물 유통공사(KATI), 2000]

구분	건수	상품에 대한 클레임			포장에 대한 클레임		선적에 의한 클레임		
		품질 불량	수량 과부족	비규격품 혼입	이물질 혼입	충해, 응애 등 검출	표기 잘못	포장 불량	통관 지연
과채류	17	3	1	2	2	8	-	1	-
과실류	2	1	-	-	-	1	-	-	-
화훼류	9	-	-	-	-	9	-	-	1
임산물	2	1	-	-	-	-	-	-	-
기타	1	-	-	-	-	-	1	-	-
계	31	5	1	2	2	18	1	1	1

- 수출 농산물의 클레임 사례 중 58%가 병해충 발생으로 인한 것으로 표본 조사 외에 보고되지 않은 건수를 종합하면, 그 양은 더욱 클 것으로 예상되며, 수출 농산물의 검역 클레임 해결을 위한 근본적인 대책마련이 시급함.
- 과실, 채소 등 원예생산물은 공산품과 달리 생산물의 크기가 다양하고, 조직이 연하며, 수분 함량이 높고, 수확 후에도 호흡이 왕성하기 때문에 부주의하게 관리할 경우 손실 발생이 큼.
- 2006년 농촌진흥청에서 발표한 농산물 수출 클레임 실태 보고서에 따르면, 우리나라 농산물의 클레임 중 70% 정도가 상품 자체에 대한 클레임으로 파프리카의 경우, 총채벌레의 발견으로 훈증비용과 품질악화, 폐기비용 소실액 [훈증처리 비용: ¥150,817(약 2억 3천만원)]이 발생하였음.
- 우리나라의 파프리카 수출은 대부분 일본이 주력으로 근거리 수출로, 세척 및 소독과정은 거의 없으며, 큰 문제가 되고 있지는 않으나, 향후 원거리 수출의 경우, 문제 발생할 것으로 추정되며, 세척 및 소독법 개발이 필요함.

- 근거리 수출의 경우에도 유통하는 기간이 복잡하므로, 이에 따른 품질저하 요인을 개선해야 할 필요성이 있음.
- 최근 진주 대공농협 파프리카 수출 작목회는 파프리카의 꼭지부분에 곰팡이병 방제를 위해 이산화염소(CIO2) 처리기술을 적용하여 저장기간을 기존에 비해 3주가량 연장에 성공하면서, 수출량 확대와 수출다변화를 도모하고 있음.
- 전 세계적으로 농업이 친환경 농업을 지향하고 있고, 더불어 국내외 농업의 농산물 안전성 기준의 강화와 2005년부터 화학비료 보조금의 정부 지원 중단 등으로 인한 10년간 지속적인 농가의 화학농약 및 화학비료의 사용 감소 추세로 기존의 화학농약 등을 대체할 방법 및 소재를 필요로 하고 있음.

[표1-4] 우리나라 농식품산업의 여건분석 (SWOT)

	Strength (강점)	Weakness (약점)
내부환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고품질 생산에 적합한 기후와 자연조건</li> <li>• 국민소득 증가에 따른 농업의 6차 산업화와 높은 생산기술</li> <li>• 농식품업 R&amp;D 확대추세 및 고급인력</li> <li>• 친환경 농업의 확대 및 고품질화</li> <li>• 다양한 농식품 분야 정책 지원 사업</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 농산물의 국제 경쟁력 취약</li> <li>• 협소한 경지면적과 영세농 구조</li> <li>• 높은 노동비와 투입재 비용</li> <li>• 농촌지역 고령화 및 대체 인력 부족</li> <li>• 농업인의 경영 마인드 미미와 농식품 기업의 보수적 경영전략</li> </ul>
	Opportunity (기회)	Threat (위협)
외부환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 안전성, 기능성, 친환경, 고품질 중시 소비 시장 변화</li> <li>• 농업의 다원적 기능에 대한 중요성 인식</li> <li>• 농식품 수출시장 확대</li> <li>• 한식세계화 &amp; 식문화 콘텐츠 수출 가능성</li> <li>• 미래성장의 기초산업으로 부상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농식품 수입시장 개방 확대에 따른 경쟁 심화</li> <li>• 일부 품목에 집중적인 생산</li> <li>• 주요 수출시장의 원산지 및 식품안전 기준 강화</li> <li>• 식단의 서구화, 다양화로 국산 농산물 소비 감소</li> <li>• 지구 온난화로 인한 작부 체계변화</li> </ul>

- 농업은 1차 산업에서 벗어나 2차, 3차 산업을 포괄한 6차 산업과 Governance를 수용하는 6차 산업으로 변화되고 있고, 국제적으로 변화된 패러다임에 부응할 수 있는 국가의 농식품 융복합 과학기술 개발은 필수적임.
- 따라서, 융복합 과학기술을 이용한 수출국확대에 따른 농산물의 저장성 향상 기술과 국제 정세에 부합하는 농산물의 안전성 향상을 위한 친환경적 농산물 저장성 향상 기술 개발이 이루어져야함.

## 나. 연구개발 대상의 국내·외 현황

### (1) 국내 기술 수준 및 시장 현황

#### (가) 기술 현황

- 국내 농산물 살균소독제 사용은 대부분 용액상태로 사용하고 있으며, 주로 염소계열, 전해수(차아염소산), 이산화염소(CIO<sub>2</sub>)수, 이산화염소가스, 오존수, 알코올의 미량 분무, 산처리, 과산화 계(과산화수소, 과산화초산), 기타 천연물질과 열처리 등이 이루어지고 있으나, 여러 가지 문제점으로 대안을 모색하고 있음.

[표1-5] 주요 살균소독제의 문제점 현황

세척 방법	문제점
지하수	미생물 살균 효과 낮음
천연항균제 (자몽, 약초 추출물 등)	고가에 비해 효과 낮음
구연산 (citric acid)	미생물 살균 효과 낮음
초산	식물(엽채류) 조직이 쉽게 연화됨
전해수(차아염소산수)	친환경농산물에 사용여부 논란이 있음. pH에 따라 사용 주의
오존수	세척중 발생하는 배오존 문제 해결이 안됨
열처리	일부 작물에 제한적으로 사용됨

- 살균수 처리에 따른 품질저하로 현재 수출 농산물 대부분이 소독처리를 하지 않으며, 저장 및 유통 시에도 결로 현상에 의해 생성되는 습기에 민감하게 대응하고 있음.
- 최근에 건식법에 의한 소독법이 개발되고 있으며, 주로 저장고에 오존 발생기, 플라즈마 발생기 등을 설치하여 살균처리에 적용을 시도하고 있음.
- 대기압 플라즈마를 적용하여 농산물의 품질향상, 미생물 살균처리 등에 관한 연구는 활발하게 이루어지고 있고, 학술적으로 효과가 있음이 논문을 통해서 증명되고 있으나 원천기술 개발에 대한 것이 대부분이고, 실제 현장에서 적용을 위해 시도 중에 있고 상용화된 사례는 없음.
- 대부분 저장고 또는 수출 검역에서 방사선 처리를 이용한 기술개발이 진행되고 있으며, 선과 및 포장라인에 직접 설치하는 저장성 미생물 살균 및 검역대상 해충 살충을 위한 플라즈마 시스템 도입은 사례가 없음.
- 감마선, 전자빔 등과 같은 방사선을 적용한 검역기술 개발이 이루어지고 있으나, 시설 비용이 많이 들고, 사회적 인식이 방사선 사용을 지양하고 있음
- 플라즈마 시스템은 방사선 조사 시스템에 비해 시스템 설치 비용 및 운용비(전기세)가 적게 들고 친환경 기술로 전국 각 항만 등에 검역 시설에 설치 등 응용이 가능함

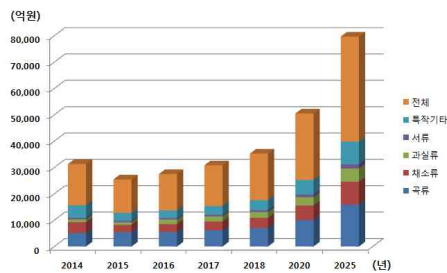


[표1-6] 방사선 처리법과의 경제성 비교

	기존 방사선 (감마선, 전자빔 등)	개선(본과제 개발)
설치 장소	항만 등 검역 시설 (방사선 적용 실험 결과 도출)	선과 및 포장라인 말단
성 능	해충 검역에 우수함 (방사선 적용 실험 결과 도출, 실제 검역시설에 실용화 전단계)	개별포장단위(박스포장자체)에서 근거리 플라즈마 처리로 살충 효과가 우수 (저진공 챔버내 근거리 플라즈마 발생)
과학적 효과	물리적	물리적+화학적
에너지	~수 MeV 이상	~수 eV 이하
화학적 잔류시간	-	수 $\mu$ s 이하
사회적 효과	유전자 변이 가능성에 대한 사회-심리적 부담	친환경 기술로 사회적 인식이 좋으나, 다소 생소한 용어로 인해 이해도 부족 현재 미래 청정 기술로 각광받고 있음
설치비용	수백억~(대략 건설비 105억, 설비비 85억)	수천~

(나) 시장 현황

- 소득수준 및 인식의 변화로 고품질 안전한 먹거리를 지향하고 있으며, 이에 따라 인체 유해하고, 환경오염을 야기시키는 농약을 정책적으로 지양하고 있고, 농약을 대체할 친환경 기술 개발을 지향하고 있음.
- 최근 친환경 유기농 농산물은 무농약 및 저농약법을 사용하다보니, 인체 유해한 미생물이 제거되지 않아 식중독과 같은 병을 일으키는 것이 문제가 되고 있으며, 이에 따라 친환경적 소독 처리 농산물을 선호하고 있음.
- 친환경농산물 재배면적은 인증의 신뢰성 문제로 친환경농산물에 대한 인증이 보다 강화되면서 2013년 이후 연평균 16.1% 감소하였으나, 인증제도 개선, 유통체계 확충 및 소비 확대, 생산기반 확충 등을 포함하는 '제4차 친환경농업 육성 5개년 계획'이 예정대로 추진될 경우 2016년 이후 다시 증가해 2020년 2조5242억원, 2025년 3조9862억원을 기록할 것을 전망함.



<그림1-5> 품목류별 친환경농산물 시장규모 전망 (한국농촌경제연구원 추정치, 2016)



<그림1-6> 친환경농산물(신선 및 가공농산물 포함) 시장규모 전망

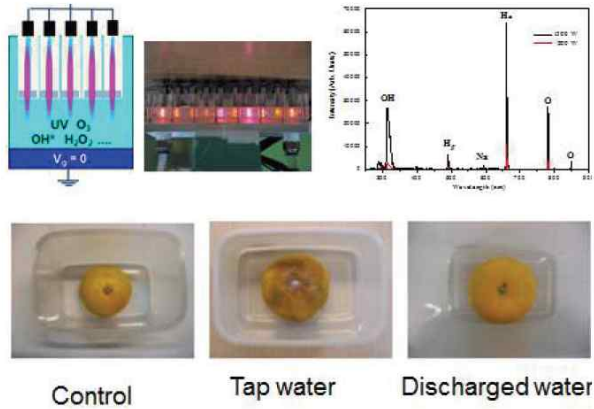
### (다) 경쟁기관 현황

- 국내 수출 농산물 저장성 향상을 위해 CO2 가스 등일 이용한 살균법, 필름포장, 온도조절 등의 기술을 이용해 유통기간을 약 60일 늘리는데 성공하였다는 보고가 있음.
- 농촌진흥청에서 공기 중의 산소, 질소, 이산화탄소 조절을 통해 저장된 과실의 호흡을 최소한으로 억제하여, 신선도를 유지하는 Control Atmosphere(CA) 저온 저장기술의 개발로 기존보다 3주 이상 신선도를 유지시키는데 성공했다는 보고가 있으나, 일반 저온저장고에 비해 두배 이상의 시공비가 들고, 설비운전 전문가가 상주해야하는 등 운영부담의 문제점이 있음.
- 최근 농촌진흥청과 국가핵융합연구소에서 플라즈마 발생기를 저장고에 비치하여 플라즈마를 발생시켜, 감귤을 보관한 결과, 49일 동안 부패율이 5.8%로, 일반 저장고의 부패율 13.2% 보다 훨씬 감소하였음을 실험적으로 확인하였고, 앞으로 3년 내 상용화를 계획하고 있음.



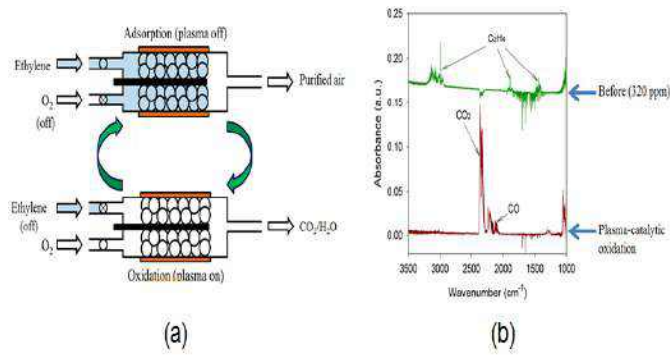
<그림1-7> 대기압플라즈마 처리 감귤(왼쪽)과 처리하지 않은 감귤(오른쪽)의 부패 비교

- 플라즈마를 처리한 오이 종자의 새싹 생장 촉진에 영향을 준다는 것과 저항성 유전자와 Pathogenesis related protein(PR) 단백질 발현을 유도하여 저항성을 유도함을 밝혀냄.
- 농산물 포장 내에 플라즈마를 주입하여 처리하는 방법과 포장재 자체에 전극을 만들어 포장재 내부에 플라즈마를 발생시키는 방법을 개발하였으나, 플라즈마 전극 물질의 영향이나 직접 플라즈마에 노출된 포장 대상물의 상태 변화 등에 대한 연구는 이루어지지 않음.
- 물속에서 플라즈마를 발생시키고 그 물로 과일을 세척하여 살균 효과를 증명한 연구가 진행되고 있으나, 특정 과채류는 세척 후, 급격한 품질저하가 일어나 수출농가에서는 지양하고 있음.



<그림1-8> 물속에서 플라즈마를 발생시켜 그 물로 감귤을 세척한 경우(오른쪽), 수돗물로 세척한 경우(가운데)보다 2주간 저장병이 발병하지 않음을 확인함.

- 과일이 숙성할 때 발생하는 에틸렌 가스 제거를 위한 플라즈마 적용 연구가 진행되었고, 에틸렌 제거에 효과가 있음을 증명하였음.



<그림1-9> 흡착제로 과일에서 발생한 에틸렌 가스를 포집하고 플라즈마를 발생시켜 분해시키는 원리

[표1-7] 국내 플라즈마 농업 적용 기술 분야 선행연구개발 현황

선행 연구개발 제목	년도	내 용	수행기관
플라즈마 충전 촉매 시스템을 이용한 에틸렌 저장 연구	2014	흡착제가 충전된 컬럼을 통해 에틸렌을 모으고 플라즈마로 분해하는 시스템	제주대학교
플라즈마기술 및 은나노 물질을 이용한 벼 종자 전염병 방제기술개발	2012	은나노, 플라즈마 이용 벼 종자소독 적용 기술	농촌진흥청
활성질소가 진균의 분화과정에 미치는 분자생물학적 역할 및 플라즈마의 적용	2011~2013	곰팡이의 분화와 발달에 활성종을 포함하는 저온 대기압 플라즈마가 미치는 영향 분석	광운대학교
대기압플라즈마를 활용한 농산물 유효요소 경감기술 개발	2011~2013	친환경 흡착제를 이용한 작물 재배 환경 중 잔류농약 제거 기술개발	농촌진흥청
엽채소류 대상 농약잔류 그룹화 및 플라즈마 활용기술	2011	부적합 검출농약 대상 잔류량 저감을 위한 플라즈마 활용기술 개발 (60종 농약 85% 이상 분해)	국립농업과학원
식물유전자원 안전보존 및 종자 저장 기술개발	2010	주요 종자 병원균에 대한 플라즈마 처리의 살균효과 예비조사	농촌진흥청
수처리 및 유기농작물 재배 적용을 위한 플라즈마 방전수 제조설비 개발	2004	저비용 고효율의 3 ton/day 생산 규모의 안정된 플라즈마 방전수 시스템 개발, 방전수의 농산물 유통 및 유기농 재배의 시험 적용 상용화	주식회사 썬테크놀러지
플라즈마 방전수를 이용한 청과물 및 최소가공식품의 살균장치 개발	2002	플라즈마 방전수의 농업적 활용 극대화 (청과물 세척, 살균)	주식회사 카보텍

(라) 지식재산권 현황

○ 특허 현황

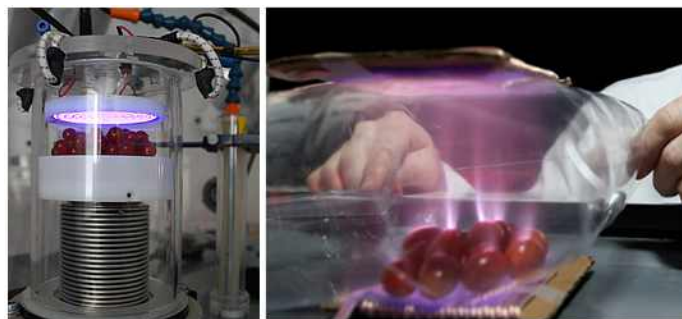
특허명	종류	번호	날짜	출원인	내용
플라즈마 방전형 신선도 유지 장치	등록	101173641	2012.02.17	(주)넥스그로벌코리아	본 발명은 도어(510)와 저장공간(520)으로 구성되며 각종 식재료나 농산물 또는 보관 대상물질을 냉장 또는 냉동 보관하는 저온 보관 장치에 관한 것으로서, 저장공간(520) 내측면의 일면에 설치되는 금속제질의 방전판(110); 저장공간(520) 내측면의 타면에 설치되는 대전판(210); 대전판(210)과 저장공간(520)의 내측면 사이에 설치되는 절연판(310); 및 방전판(110)에 고전압을 공급하여 방전판(110)의 플라즈마 방전을 유도하는 고전압출력부(410)를 포함하고, 방전판(110)에 의하여 발생하는 플라즈마 방전 효과를 이용하여 각종 식재료의 산화를 방지하고, 수확 후 농산물이 호흡할 때 방출하는 에틸렌 가스를 분해 및 제거하여 신선도 유지를 극대화하도록 한다.

에틸렌 처리장치 및 이를 이용한 에틸렌 처리방법	등록	101694113	2017.01.03	한국기초과학지원연구원	<p>본 발명은 유입구 및 배출구가 형성되며, 내부에 흡착제가 충전되는 플라즈마 방전부; 및 상기 플라즈마 방전부의 내부에 플라즈마를 발생시키는 전극부;를 포함하며, 상기 흡착제는 촉매가 담지되어 있는 것을 특징으로 하는 에틸렌 처리장치에 관한 것이다.</p> <p>본 발명은 상기 에틸렌 처리장치를 이용하여, (a) 상기 흡착제가 충전된 플라즈마 방전부 내에 에틸렌을 함유한 가스를 주입시키는 단계; (b) 상기 전극부에 전압을 인가하고, 상기 플라즈마 방전부 내에 플라즈마를 발생시켜 주입된 에틸렌을 분해하는 단계; 및 (c) 상기 플라즈마 방전부를 냉각시키는 단계; 를 포함하는 에틸렌 처리방법에 관한 것이다.</p>
살균장치를 갖는 저온 저장고	등록	101166674	2012.07.12	(주)씨엘테크	<p>UV-LED(Ultraviolet LED)와 저온플라즈마(Cold Plasma)발생기, 공기조화기, 온·습도 조절기를 구비하여 농작물을 살균상태에서 장기보관이 가능토록하며 작업자의 작업효율을 증대시키도록 저장고 내 조도를 자동으로 조절하는 살균장치를 갖는 저온 저장고가 제공된다. 상기 저온 저장고는 각 섹터별로 UV-LED와 LED 램프가 일체화된 LED모듈과, 유해가스를 검출하는 가스센서가 설치되며, 해당 섹터에서 유해가스가 검출되었을 때 해당 섹터에 설치된 흡입구에 연결된 뱀피를 개방시켜 해당 섹터의 오염된 공기만을 외부로 배출함과 동시에 해당 섹터에 설치된 UV-LED를 구동하여 유해가스가 발생된 부분을 살균한다.</p>

## (2) 국외 기술 수준 및 시장 현황

### (가) 기술 현황

- 플라즈마를 이용한 농산물 살균에 대한 기술개발은 최근에 시작되어 국내 수준과 크게 다르지 않음. 실용화된 기술은 아직 보고되지 않았으나, 우리나라에 비해 다양한 방전방식을 농산물 살균용으로 적용하여 플라즈마 원천기술개발이 진행되고 있음.



<그림1-10> DBD 방식의 플라즈마를 이용한 농산물 처리 시스템, 진공챔버에서 플라즈마(왼쪽)와 포장된 상태의 플라즈마 처리(오른쪽)



<그림1-11> 글라인딩 방식의 플라즈마 처리 아몬드(왼쪽)와 블루베리(오른쪽)

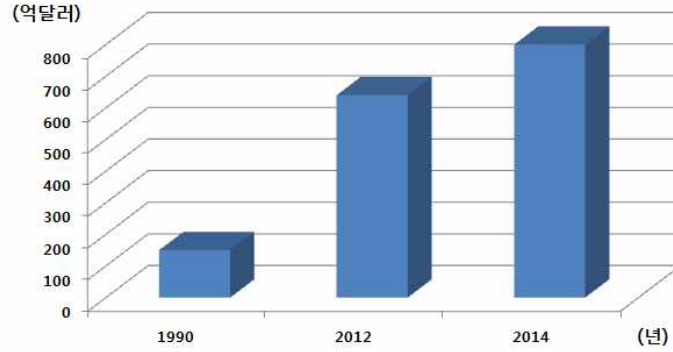


<그림1-12> 딸기 꼭지 살균(왼쪽)과 후추 살균을 위한 플라즈마 제트 방식 적용

## (나) 시장현황

- 국내시장과 같이 친환경 농산물을 선호하고 있고, 안전한 먹거리를 위한 농약 대체 소재 및 기술 개발을 미국의 경우, 국가적으로 지원하고 있음.
- 세계 유기농식품 시장은 미국과 유럽 등 선진국을 중심으로 2000년 이후 지속적인 성장세를 보이고 있음.
- 유기농식품 세계 시장규모는 1990년 150억 달러에서 2012년 4.3배 증가한 640억 달러, 2014년에는 5.3배 증가한 800억 달러로 확대되었음.





<그림1-13>세계 유기농식품 시장규모 (한국농촌경제연구원 추정치, 2016)

(다) 지식재산권 현황

○ 특허현황

특허명	종류	번호	날짜	출원인	내용
다크플라즈마에 의한 유기 기체 분해 장치와 그 장치를 이용한 신선 농산물의 신선도 보유 장치	출원 (일본)	13356936	2001.11.22	株式會社大高商事, 長澤武, 西田靖	에틸렌 가스와 같은 후레쉬니스의 보관을 위해 사용된 해로운 유기가스를 분해되고 ozone.SOLUTION을 생성하는 것 없이 컨테이너에 뜨는 동시에 죽이는 부패세균의 가능함으로써, 저전압에 의해 구동된 소형인 장치를 제공한다 : 중심 활성화 전극 2는 electrode-arranging 플레이트 1의 표면 1a 위의 중심 위치에 위치된다. current-carrying 본체에 연결되지 않은 많은 부유된 내부 전극 3은 전극 2를 둘러싸기 위해 중앙 전극 2로부터의 지정된 거리에서의 포지션 위의 거의 정해진 간격에 위치된다. 많은 바깥 둘레가 결합된 전극 4를 전압을 가했고 현재 운반체가 부유된 내부 전극 3의 그룹을 둘러싸기 위해 부유된 내부 전극 3의 바깥 둘레에서의 간격에 위치된다. 중심 활성화 전극 2와 바깥 둘레가 전극 4를 전압을 가했고 유기적 gas-decomposing 장치에서 공기 하에 어두운 플라즈마만을 생성되기 위한 강도를 가지는 전압을 전압을 가하기 위한 전원 5에 연결된다. 유기적 gas-decomposing 장치가 또한 플레이트 1.COPYRIGHT를 배열하는 전극의 표면 1a에 각각의 전극 2, 3, 4 중에 유기가스를 낭비하기 위한 분사 수단 6을 가진다
식료품의 비열 플라즈마 처리를 위한 시스템 및 방법	출원 (일본)	24519722	2010.07.08	レール・リキード・ソシエテ・アノニム・プール・レテュード・エ・レクスプロワタシオン・デ・프로セデ・ジョルジュ・クロード	식료품이 위생화 및 저장을 위한 방법은 이하의 공정을 포함한다. 식료품을 포함한 용기가 제공된다. 비열 플라즈마(plasma)가 용기의 내부에 도입된다. 용기가 밀봉된다

## 다. 연구개발의 중요성

### (1) 기술적 측면

- 수출 농산물의 경우, 저장성이 짧기 때문에 저장성을 얼마나 향상시키느냐에 따라 품질과 연결되어 농산물의 가격과 수출국 확장이 가능해지므로 수출국의 저장성 향상 기술 개발은 매우 중요함.
- 현재 상업적으로 수출 농산물의 저장성 향상을 위해 유통과정에서 저온 상태를 유지하거나, 저장성병을 억제하기 위해 저장고 또는 컨테이너에 살균시스템을 달아 살균하는 방법이 개발되고 있으나, 이는 대량 적재하여 보관 및 운반하는 시스템으로 살균효과가 떨어짐.
- 농산물 살균을 위해서, 용액에 의한 세척법은 농산물 특성상 품질이 악화될 수 있으므로 지양하고 있음.
- 따라서, 선과 및 포장라인 마지막에 친환경 플라즈마 시스템을 이용하여, 저장성병을 일으키는 병원성 미생물 살균과 검역 대상 해충을 동시에 제거 가능한 건식 살균 시스템의 개발은 수출 농산물의 유통과정에서 품질을 유지하는데 매우 중요한 기술이 될 것임.

### (2) 경제·산업적 측면

- 초기 선과 및 포장 단계에서 건식 친환경 플라즈마 시스템을 이용한 병원성 미생물 및 해충 제거 작업은 농산물의 저장병을 억제하여 저장성을 향상시켜 수입국에서의 가격을 높일 수 있고, 또한 검역과정에서 해충 발견을 줄일 수 있어, 해충 훈증작업에 의한 비용 절감효과를 가져올 기술임.

### (3) 사회·문화적 측면

- 전세계적으로 안전한 먹거리를 지향하고 있고, 친환경 플라즈마 살균 및 살충처리는 친환경적인 요인은 소비자에게 매우 긍정적인 관심을 일으킬 수 있으며, 이에 따라 수출국가간의 경쟁력을 갖출 수 있는 기술임.

### (4) 정부지원의 필요성

- 현재 수출 농산물의 저장성 향상을 위한 여러가지 기술개발은 아직 연구 단계에 있으며, 본 과제에서 기술은 이미 선행된 연구 결과를 바탕으로 현장에서 적용가능한 상용화 시스템 개발을 목적으로 하고 있어, 집중 지원을 받으면 단기간 내에 상용화 시스템 개발 및 적용이 가능함.



라. 연구의 필요성

- 국내 파프리카 재배는 경남과 전남지역에서 대단위로 재배하고 있으나, 강원도의 파프리카 재배는 여름재배로 출하시기가 남부지역과는 달라 수출 시기가 다르며, 여름재배지로는 국내 수출량이 제일 많고 그 중 강원도 철원지역은 고품질 청정 여름산 파프리카 재배단지임.



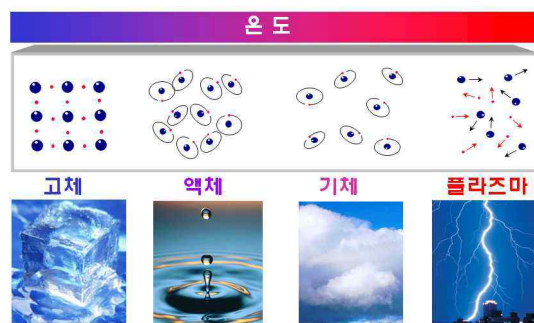
<그림1-18> 국내 파프리카 재배 현황

- 강원도 철원군은 대표 브랜드인 철원오대쌀 다음으로 높은 농가 소득원이 파프리카, 토마토 등 과채류가 17%로 연간 500억원의 수익을 내고 있으며, 수출 역시 600톤으로 파프리카 등 과채류가 주요 작물임.
- 지리적으로 철원군에서는 국내 다른 지역과 달리 여름에 생산되는 파프리카는 출하 및 수출 시기가 달라 여름 파프리카 수출에 우위에 있으나, 일본 수출을 위해 부산항으로부터 거리가 멀어 유통과정에서 농산물의 신선도 유지를 위한 비용이 많이 소요됨.
- 국내 농산물 중, 단일품목으로 수출액이 가장 많은 파프리카의 경우, 일반적인 저장기간은 약 2주로 99% 이상이 거리가 가까운 일본으로 수출이 집중되어 있음.
- 일본 의존도를 줄이기 위한 판로 개척을 위해 미국, 캐나다, 호주 등으로 수출을 하고 싶어 도, 저장기간 문제로 쉽지가 않은 것이 현실임.

[표1-8] 국가별 농산물 선박운송 소요 기간을 파프리카 저장기간과 비교 (농업경제, 2013)

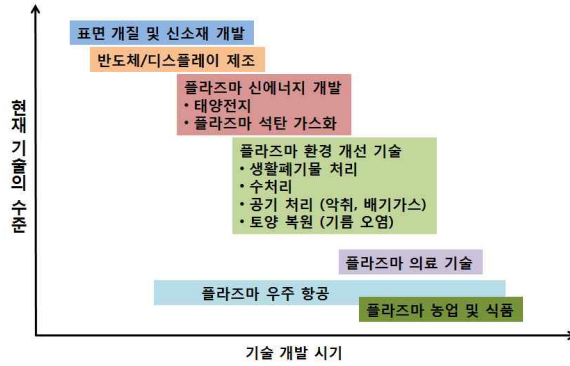
수출 대상 국가	선박운송 기준 저장 소요 기간 (일)	파프리카 저장기간(일)
미국	20	~14
캐나다	15~20	
호주	23	

- 그러나 현재까지 파프리카의 경우, 수출전 선과 작업중, 세척 및 소독 과정은 거의 이루어지고 있지 않으며, 일부 이산화염소로 소독처리하여 수출하거나, 수입국에서 클레임을 걸 때, 사후처리로 소독처리를 하고 있음.
- 이러한 현상은, 근거리 대일본 수출이 대부분을 차지하는 경우에는 문제가 없으나, 원거리 수출의 경우에는 유통이 길어짐에 따른 저장기간이 늘어남에 따라 저장성병을 일으키는 병원성 미생물의 살균처리가 이루어져야함.
- 수출 신선농산물의 경우, 식물병 검정을 통한 검역은 이루어지고 있지 않으나, 유통중 저장성 병을 일으켜 품질 저하를 초래하게 되므로 병원성 미생물의 소독이 중요함.
- 수출 검역 시, 농산물의 해충 검역을 실시하고 있어, 해충 발견 시, 수출 품목 전량을 훈증제 처리 등 소독처리 비용의 부담이 있어 살균과 동시에 살충효과가 있는 기술개발이 필요함.
- 현재까지 대부분 다른 농산물의 경우, 농산물 표면의 병원성 미생물과 해충을 제거하기 위해 염소계 화학약품인 소독제 또는 살충용 농약을 사용하여 세척 및 소독을 하고 있으나, 인체 유해성에 문제가 되고 있음. 그러나 파프리카와 같은 과채류의 경우, 살균 및 소독 과정이 없이 수출되고 있음.
- 현재 전세계적으로 인체 유해하고, 환경오염에 문제가 되는 농약 등 화학제품의 사용을 제한하고, 친환경적 방법을 추구하고 있음.
- 최근 기후변화, 친환경 농식품과 식품 안전성에 대한 관심 증가로 농식품 생산, 저장, 유통에 새로운 기술이 요구되고 있으며, 종자 발아, 성장 촉진, 병충해 예방 및 살균과 같은 농식품 생산 및 저장 분야에서 플라즈마 기술의 강점을 접목하는 방식이 국내외에서 각광받고 있음.
- 플라즈마란 내부 에너지의 크기에 따라 고체, 액체, 기체와 더불어 전자와 양이온들이 분리되어 존재하는 물질의 제 4상태로, 물질의 내부 온도가 높아짐에 따라서 고체, 액체, 기체, 그리고 플라즈마 상태로 물질이 변함.



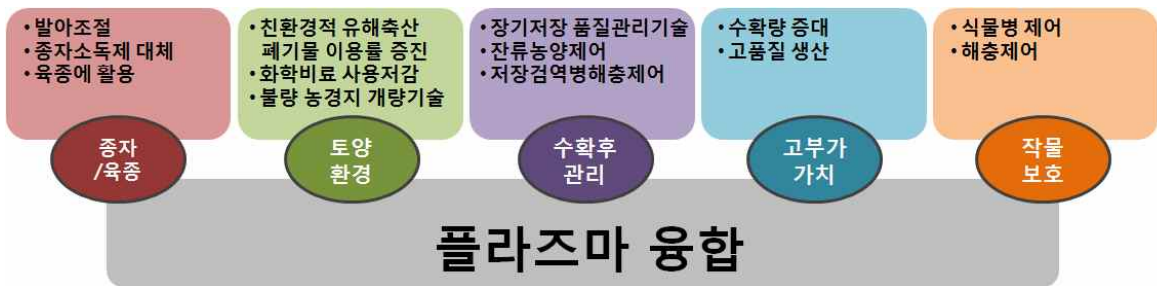
<그림1-19> 온도에 따른 물질의 4가지 상태

- 플라즈마 기술은 표면처리 및 신소재 개발에서 시작하여, 반도체 및 디스플레이 제조 분야에서 가장 활발한 발전을 이루었고, 이후로 신에너지 개발, 환경개선, 의료 등에 활용되다가 최근에 들어서 농식품 분야로 활용 범위가 확장되기 시작함.



<그림1-20> 플라즈마 기술 적용 현황

- 농식품 분야에 활용 가능한 플라즈마는 온도가 낮아 이온, 전자, 라디칼, UV 등의 여러 가지의 구성원소를 갖고 있어 그 특성이 매우 다양하며, 이러한 다양한 구성 원소들로 인해 유도된 활성화, 살균, 촉매의 세 가지 제어 기능을 농식품 분야에 활용이 가능함.
- 플라즈마는 고온플라즈마(10,000K 이상)와 저온플라즈마(1,000K 이하)로 나누는데, 고온플라즈마는 대개 금속을 용융하는 용도와 같이 열적인 공정이 필요한 곳에 쓰이며, 최근에는 환경 소각 장치에도 적용되고 있음.
- 저온플라즈마는 공정과정에서 열접촉에 의한 열변형이 없도록 하는 플라즈마의 사용을 위해 연구가 시작되었으며, 열보다는 전자 에너지가 더 크다는 장점이 있어, 바이오분야에 많이 적용되고 있음.



<그림1-21> 저온플라즈마 응용 분야

[표1-9] 저온플라즈마의 농식품 적용시 비교 효과

	방사선 (감마선, 전자빔 등)	플라즈마	농약
과학적 효과	물리적	물리적+화학적	화학적
에너지	~수 MeV 이상	~수 eV 이하	-
화학종 잔류시간	-	수 $\mu$ s 이하	세척 전까지 장기간 잔류
사회적 효과	유전자 변이 가능성에 대한 사회-심리적 부담	친환경 이미지 다소 생소한 용어로 인해 이해도 부족	잔류 농약 성분에 대한 규제 강화

- 저온플라즈마의 종류에는 유전체 장벽 방전(dielectric barrier discharge, DBD), 코로나 방전(corona discharge), 마이크로웨이브 방전(microwave discharge), 아크방전(arcdischarge) 등의 기술이 있음.
- DBD 방식은 기존의 진공플라즈마에 비해 100~1,000배 이상 높은 반응 활성종의 농도를 구현할 수 있으면서도 온도가 상온 ~150℃로 낮아 농식품에 적용하고 있음.
- 플라즈마 기술은 최근 생물분야 및 의학분야에서도 기존 기술과 차별화되는 성능이 보고되고 있으며, 이는 농식품 분야로의 확대를 통해 기존 농산품 산업의 혁신 선도 기술로 기대됨.
- 플라즈마의 활성화 기능은 플라즈마의 물리적 화학적 자극에 의해 종자의 발아율이나 새싹의 성장률을 향상시킬 수 있으며, 플라즈마의 라디칼이나 UV를 이용하여 살균을 할 수 있고, 촉매로서의 기능은 전자 및 라디칼에 의해 분자의 해리를 촉진시킬 수 있는데 과일 저장 시 발생하는 에틸렌 가스의 분해, 공기 중의 질소 고정을 위한 질소 분자 해리 등이 있으며, 관련된 적용 분야는 종자 살균에서부터 저장, 포장, 유통에 이르기까지 범위가 매우 넓음.
- 철원지역의 파프리카 농가 21곳이 모여 만든 농업회사법인 조은그린(주)은 파프리카 선별 및 유통하는 회사로, 주로 일본에 수출하고 있으며, 현재 일본 수출지역에서 고품질의 파프리카를 인정받고 있으나, 일본 내 다른 지역 확장과 수출국 진출을 위해 저장성 향상 기술 개발을 필요로 하고 있음.



<그림1-22> 농업회사법인 조은그린(주) 회사 전경(왼쪽위), 파프리카 선과장(오른쪽위), 파프리카 선별 및 포장라인(왼쪽아래), 조은그린(주) 회사 수출물량(오른쪽아래)

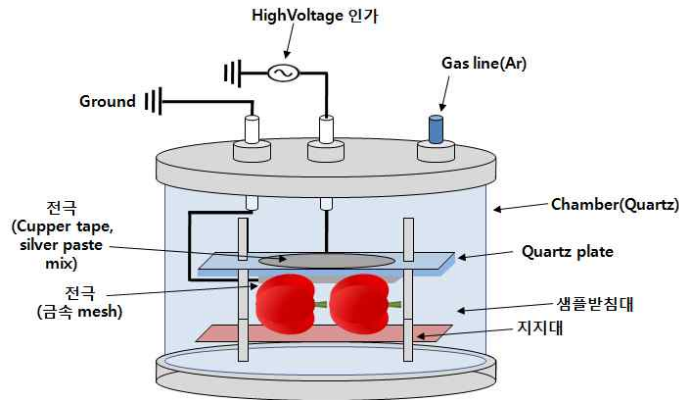
- 따라서, 플라즈마 시스템 적용을 통한 수출 농산물 저장성 향상 기술개발은 플라즈마의 복합적인 기능성과 친환경적 기술이라는 장점이 농산물의 안전성에 민감한 국제 정서에 부합하는 기술로 기존의 방법을 대체 가능하며, 농산물의 저장성 한계를 극복하여 수출국 확대를 위해 필요함.

### 제 3 절. 연구개발 범위

#### 가. 연구개발 범위

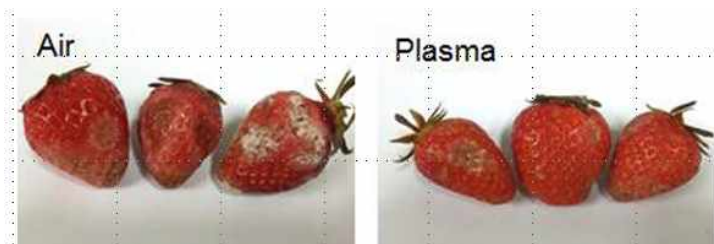
##### (1) 수출 농산물의 저장성 향상을 위한 플라즈마 시스템(성능 테스트용) 개발 및 기능 검증

- DBD 방식을 기본으로 하여 저온플라즈마 시스템을 적용하여 파프리카의 저장성 향상을 위한 시스템 설계 및 개발



<그림1-23> 수출 농산물 대상 저온플라즈마 성능 테스트용 시스템 설계도의 예

- 수출 농산물인 파프리카와 토마토를 대상으로 주요 저장성 관련 병원성 미생물을 선별
  - 주요 병원성 미생물 : 잿빛 곰팡이병, 줄기 및 과실썩음병, 역병, 균핵병, 시들음병 등
- 플라즈마 시스템 적용 대상 미생물의 살균 테스트
  - 병원성 미생물의 살균 가능한 최적 플라즈마 처리 조건 구축
  - 발병 지연 테스트



<그림1-24> 플라즈마 처리 딸기의 저장병 발생 지연일수 비교 테스트의 예 (플라즈마 처리후, 상온보관 7일째)

- 검역대상 해충의 배양 시스템 및 배지 개발
  - 검역대상 해충 채집 (담배나방류, 오이총재벌레류)
  - 농산물 표면에 존재하는 해충의 알과 성충을 제거 최적 플라즈마 조건 구축 테스트를 위한 곤충사육 시스템 개발





<그림1-25> 검역대상 담배나방의 유충(왼쪽)과 오이총채벌레(오른쪽)

○ 플라즈마 시스템 적용 해충의 살충 테스트

- 농산물 표면에 부착되어 있는 알, 유충 및 성충의 살충 테스트 및 살충 최적조건 구축



(2) 현장 맞춤형(상용화) 플라즈마 시스템 개발 및 현장 검증을 통한 공정 개발

- 협동 기업인 조은그린(주)의 선과 및 포장 라인에 플라즈마 시스템을 적용하여 실증 테스트

(3) 유통과정에서 농산물 품질저하 요인 저감을 위한 물리적 방법 개발

- 농가로부터 농산물 이송 차량과 선과후 포장박스에 외부 농산물 조직을 노화 및 공기중 오염물질 등을 최소화하는 기능성 패키징 방법 개발

(4) 플라즈마 처리 농산물의 추적 모니터링 및 데이터베이스 구축

- 처리후, 저장고 보관에서부터 유통 전반의 단계에서 플라즈마 처리 농산물(샘플)의 품질 변화 모니터링 후, 이터베이스화

## 나. 연구개발 대상 및 기술·제품의 개요

### (1) 연구개발 개요

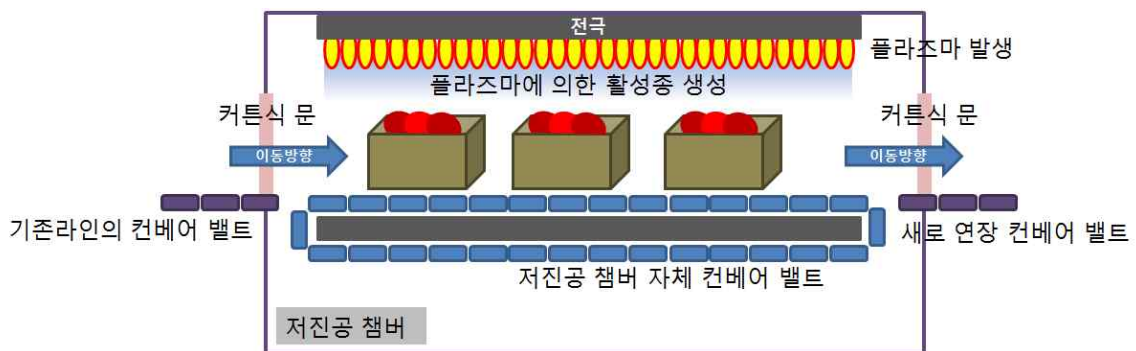
- 농산물 저장성 향상을 위한 플라즈마 성능 검정 및 공정기술 개발을 위한 테스트용 플라즈마 시스템 개발을 통해 저장성병을 일으키는 병원성 미생물 살균 최적 공정 조건 구축 및 검역대상 해충 발견을 최소화하기 위한 해충 살충 최적 공정 조건 구축을 통해 현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 개발



<그림1-26> 협동기업으로 참여하는 조은그린(주)의 선과장에 설치할 상용화 플라즈마 시스템 설치 위치 개념도

### (2) 핵심기술

- 농산물 표면 살균처리용 건식 플라즈마(저진공 DBD 방식) 장비의 상용화 시스템 개발 및 현장 적용



<그림1-27> 조은그린(주) 선과 및 포장 설비 라인에 적용할 플라즈마 시스템 개념도

다. 연구개발의 연차별 내용

구분	연도	기관	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차년도	2017	주관기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>수출 농산물의 저장성 향상을 위한 친환경 플라즈마 시스템 개발(lab scale 모듈)</li> <li>플라즈마 처리 최적 공정 기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수출 농산물의 저장성 향상을 위한 친환경 플라즈마 시스템 설계 및 구축</li> <li>병원성 미생물 살균 및 해충 살충 효과에 의한 플라즈마 처리 최적 조건 구축</li> </ul>
		협동연구기관1	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라즈마 처리에 따른 저장성 관련 병원균의 감수성 평가 및 수출 농산물 품질변화 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>파프리카의 주요 저장병 관련 병원성 미생물 선별</li> <li>조건별 플라즈마 처리 미생물의 살균 효과 평가</li> <li>조건별 플라즈마 처리 농산물의 품질 변화 테스트 (당도, 강도 등 물성 테스트)</li> </ul>
		협동연구기관2	<ul style="list-style-type: none"> <li>검역대상 해충 사육 시스템 구축 및 플라즈마 처리 해충 살충 효과 검증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>검역 해충(담배나방, 총채벌레) 채집</li> <li>실내 사육 시스템 구축 및 인공배지 개발</li> <li>각 령기별 특성 확인 및 안전한 시료 확보를 위한 체계 구축</li> <li>플라즈마 처리에 따른 치사력 평가</li> </ul>
		협동연구기관3	<ul style="list-style-type: none"> <li>농산물 조직의 노화 유발 인자 노출 최소화를 위한 플라즈마 처리비용 가능 패키징 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>농산물 유통 시, 외부 환경으로부터 발생하는 조직 노화 유발 인자의 노출 최소화를 위한 패키징 개발</li> <li>패키징 적용 농산물의 품질 변화 및 저장성 향상 검증</li> <li>플라즈마 처리 비용 패키징 효과 검증</li> </ul>
2차년도	2018	주관기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>수출 농산물 저장성 향상 플라즈마 최적 공정 기술 개발</li> <li>현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 설계 및 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>병원성 미생물 살균 제어 최적 공정 기술개발</li> <li>검역대상 해충 살충 제어 최적 공정 기술 개발</li> <li>농산물 저장성 품질 유지를 위한 최적 공정 기술 개발</li> <li>현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 설계 및 구축</li> </ul>
		협동연구기관1	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라즈마 최적 공정조건을 위한 조건별 병원성 미생물 살균효과 검증 및 모니터링 샘플 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>조건별 플라즈마 처리에 따른 파프리카 병원성 미생물 제어 최적 조건의 효과 검증 (살균효과 90% 이상)</li> <li>조건별 플라즈마 처리에 따른 파프리카 저장성 향상 평가 (최대 1주일 저장성 연장)</li> </ul>
		협동연구기관2	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라즈마 최적 공정조건을 위한 조건별 검역 해충 살충효과 검증 및 모니터링 샘플 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라즈마 처리 조건에 따른 치사력 평가</li> <li>반복간 평가후 통계적인 유의성 검증</li> </ul>
		협동연구기관3	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라즈마 처리 농산물(샘플) 국내 유통 단계별 품질변화 및 저장성 향상 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내 유통 파프리카를 대상으로 플라즈마 처리 후, 유통과정에서 품질변화를 모니터링 및 데이터베이스화</li> <li>플라즈마 처리 비용 패키징 파프리카의 유통과정 중 품질변화 모니터링 및 데이터베이스화</li> </ul>
3차년도	2019	주관기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 및 처리공정 기술개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>현장 적용 가능한 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 설계 및 시스템 시제품 개발</li> <li>현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템의 최적 공정 기술개발 및 매뉴얼 구축</li> </ul>
		협동연구기관1	<ul style="list-style-type: none"> <li>최적 저장성병 방제 기술 확립 및 적용</li> <li>플라즈마 처리후 저장성 품질보존 중규모 실증 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>최적 플라즈마 처리 공정 적용 현장 실증평가</li> <li>수출용 새플 실증 시험을 통한 수출 농산물의 품질변화 분석</li> <li>플라즈마 처리 파프리카의 선적전, 하역후, 검역 등 품질보전 모니터링 실증평가</li> </ul>
		협동연구기관2	<ul style="list-style-type: none"> <li>최적 해충 방제 기술 확립 및 적용</li> <li>플라즈마 처리후 해충 제거 중규모 실증평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상용화 플라즈마 시스템의 조건별 해충 치사력 평가 및 최적 조건 확립</li> <li>플라즈마 처리 파프리카의 선적전, 하역후, 검역 등 품질 보전 모니터링 실증평가</li> <li>반복간 평가 후 통계적인 유의성 검증</li> </ul>
		협동연구기관3	<ul style="list-style-type: none"> <li>수출 농산물의 수입국 현지 플라즈마 처리 샘플 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라즈마 처리 파프리카의 선적전, 하역후, 검역 등 품질보전 모니터링</li> <li>현장 실증평가를 통한 문제점 파악 및 개선</li> <li>플라즈마 처리 파프리카 수입국 대상 현지 조사</li> <li>수입국 Market trial 실시 및 수출국(원거리 수출국 또는 일본내 타지역) 확대</li> </ul>



## 제 2 장. 연구수행 내용 및 결과

### 제 1 절. 연구개발 추진전략 및 방법

#### 가. 연구개발 추진전략

- 수출 농산물의 저장성 향상을 위한 플라즈마 시스템 개발을 위해 (재)철원플라즈마산업기술연구원의 확보하고 있는 플라즈마 기술과 종자소독 기술을 이용하여 시스템 설계 및 개발

- 특허 보유:

특허 출원/등록 번호	특허명
10-2010-0048858	플라즈마 토치 및 이를 포함하는 나노 분말 제조 장치
10-2010-0079693	나노 분말 제조용 플라즈마 토치 전극 구조
10-2010-0087430	플라즈마 토치 전극의 주입관 구조
10-2010-0036015	플라즈마 처리 장치
10-2013-0097608	열 플라즈마 기화 입자의 액상 급냉 나노입자 제조 방법 및 그 장치
10-2013-0102334	멀티 인젝션 RF 플라즈마 처리장치 및 RF 플라즈마 토치
10-2014-0081354	상압 플라즈마 발생 장치 및 이를 포함하는 분말 처리 장치
10-2018-0005070	플라즈마 종자처리 장치

- 선행연구 및 연구개발:

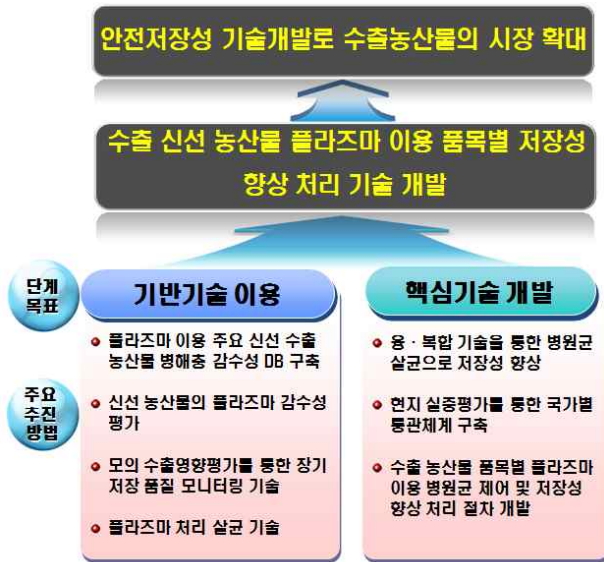
사업명	과제명
GSP 1단계 사업	세균성 과실썩음병(BFB) 방제기술 및 무균종자 처리기술 개발
GSP 2단계 사업	플라즈마 시스템을 이용한 수박종자 및 대목(박, 호박) 종자의 BFB 세균 살균 기술개발

- 주요성과 달성을 위한 1년차 핵심 및 응용기술은 연구를 통해 확보하고 2년차와 3년차에는 개발된 플라즈마 기술의 상용화 및 실용화 실증 연구를 수행
  - 1단계 기간 중 상용화가 가능한 성과는 식속하게 실용화 추진
- 세부목표별 유기적 기술연계와 핵심 기술 확보로 최종목표 완수를 위한 산학 연구시스템 활용 및 실용화 실증 연구 수행
  - 관련 분야 핵심역량 보유 연구팀과의 협동연구 수행
  - 수출업체 조은그린(주) 참여로 핵심기술의 실증 및 상용화 연구 공동수행
- 국내외 플라즈마 기술 선진 연구기관과의 협력 사업을 통한 세계 수준의 연구 성과 창출



## 나. 연구개발 추진방법

- 융·복합 기술개발을 통한 플라즈마 이용 병해충 제어 DB 구축과 플라즈마 처리 신선 농산물의 현지 실증 연구 수행
- 수출 대상 신선농산물의 플라즈마 처리에 따른 품질영향 평가와 주요 수출 농산물 관련 수입국의 플라즈마 처리 감수성 실험 및 제어 기술 개발
- 수출 농산물의 현지 실증연구는 기반 기술을 정형화시켜 수출 통관 체계에서 현지 도착 단계까지 병해충의 발생현황 및 기술 평가를 수행하며, 수출 농산물의 수입국 도착 품질 평가는 수출업체와 공동 평가
- 위와 같은 검증 및 실증 평가를 통해 우리나라 농산물에 대해 플라즈마를 활용한 병해충 제어 및 저장성 향상 관리 체계 구축(안) 제시
- 연구사업 추진 효율성 및 성과 창출을 위한 진도점검 회의, workshop 등을 개최하여 세부목표(과제)간 목표 충실도 제고
  - 과제착수, 중간 진도점검, 연차보고회 등 정례회의 3회 개최
  - Workshop/Seminar 등을 개최하여 최신 플라즈마 기술 정보 교류

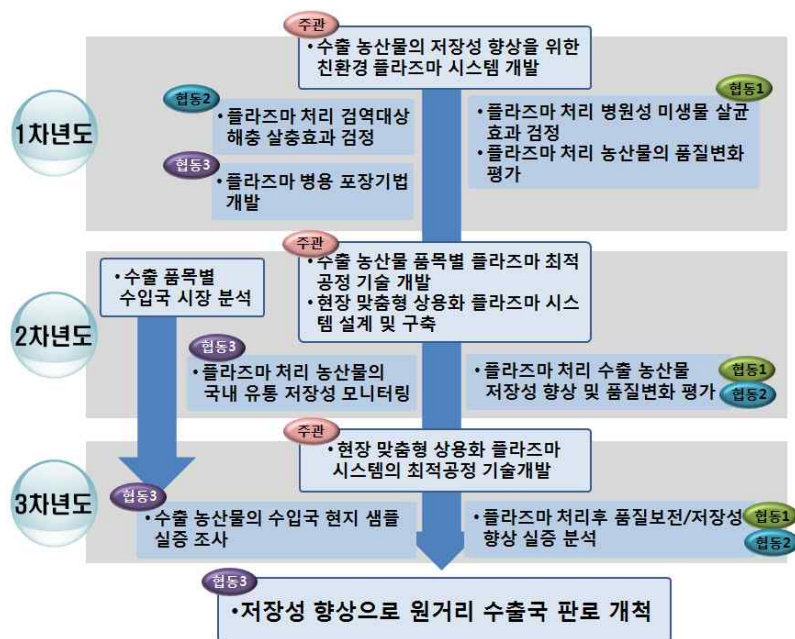


○ 전문가 활용

- 대학 및 연구소와의 연구정보 교류 및 공동연구를 추진함으로써 연구방법 및 인력의 다원화를 통해 폭넓은 학제간 융합 신기술의 기초를 마련하고, 플라즈마 융합 식물병 제어 및 해충 제어기술, 신선 농산물 저장유통 관리기술의 저변 확대를 추진함
- 연구내용에 따라 국내외 대학 및 연구기관과의 전문가를 활용하여 개발 기술의 전문화 및 전문 인력 네트워크를 구축함

다. 연구개발 추진체계

○ 추진체계



연구개발과제		총 참여 연구원
과제명	수출 농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템 개발	주관연구책임자 (박미리)외 총 12명

기관별 참여 현황		
구분	연구기관수	참여연구원수
대기업		
중견기업		
중소기업		
대학	2	4
국공립(연)		
출연(연)	1	4
기타	1	4

(재)칠원플라즈마 산업기술연구원 (주관기관)	전남대학교 (협동연구기관1)	서울대학교/한국농수 산대학 (협동연구기관2)	조은그림(주) (협동연구기관3)
수출 농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템 개발	플라즈마 적용 저장성 병원균 제어 및 저장성 향상 검정	플라즈마 적용 검역대상 해충 살균 효과 검정	플라즈마 병용 저장성 향상 포장법 개발 및 플라즈마 시스템 적용
연구책임자명 (박미리)외 3명	연구책임자명 (정래동)외 1명	연구책임자명 (권덕호)외 1명	연구책임자명 (장준수)외 3명
담당기술개발내용	담당기술개발내용	담당기술개발내용	담당기술개발내용
-농산물 저장성 향상을 위한 기능 검증용 플라즈마 시스템 개발 및 최적 공정기술 개발 -현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 개발 및 최적 공정기술 개발	-플라즈마 처리 병원성 미생물 살균 효과 검정 -플라즈마 처리 농산물 저장성/품질 향상 평가 -플라즈마 처리 저장성 향상 현장 실증 평가	-검역대상 해충인(담배나방, 총채벌레)의 알과 유충, 성충에 대한 살충 효과 검정 -플라즈마 처리 해충 제거 현장 실증 평가	-플라즈마 처리 병용 저장성 향상 포장법 개발 -플라즈마 처리 농산물 국내 유통 모의 적용 테스트 -수출 농산물의 수입국 시장 분석 -상용화 플라즈마 시스템의 선과장 시범 적용 -현지 샘플 실증 평가 및 원거리 수입국 판로 개척

라. 연구개발 추진일정

1차년도																	
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1	플라즈마시스템 설계 및 제작				■	■	■	■	■								박미리 ((재)철원 플라즈마산업 기술연구원)
2	플라즈마시스템 최적 공정개발							■	■	■	■	■	■	■			박미리 ((재)철원 플라즈마산업 기술연구원)
3	플라즈마 처리에 따른 저장성 병원균 감수성 평가							■	■	■	■	■	■				정래동 (전남대학교)
4	플라즈마 처리 수출농산물 저장성 및 품질변화 테스트												■	■	■		정래동 (전남대학교)
5	검역대상 해충(담배나방, 총채벌레) 전용 사육시설 및 배지 개발				■	■	■	■	■								권덕호 (서울대학교)
6	검역대상 해충 사육 및 준비							■	■	■	■	■	■	■			권덕호 (서울대학교)
7	플라즈마 공정별 처리에 따른 해충 살균력 검정								■	■	■	■	■	■			권덕호 (서울대학교)
8	플라즈마 처리 병용 수출 농산물 선과 및 포장시 저장성 유지를 위한 패키징법 개발								■	■	■	■	■	■			장준수 (조은그린(주))
2차년도																	
1	플라즈마시스템 최적 공정개발	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			박미리 ((재)철원 플라즈마산업 기술연구원)
2	플라즈마시스템의 수출농산물 병원성 제어 최적 조건 선정 및 효과검증	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			정래동 (전남대학교)
3	플라즈마시스템 적용 수출농산물 병원성 미생물 제어 및 저장성 향상 평가					■	■	■	■	■	■	■	■	■			정래동 (전남대학교)
4	플라즈마시스템 적용 수출농산물 해충 제어 평가					■	■	■	■	■	■	■	■	■			권덕호 (서울대학교)
5	현장맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 설계 및 개발								■	■	■	■	■	■			박미리 ((재)철원 플라즈마산업 기술연구원)
6	플라즈마 처리 농산물(샘플) 유통 단계별 품질변화 및 저장성 향상 모니터링 실시							■	■	■	■	■	■	■			장준수 (조은그린(주))
7	플라즈마 처리 병용 패키징효과 검증			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			장준수 (조은그린(주))

3차년도														
1	현장맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 개발 및 현장 설치	■	■											박미리 ((재)철원 플라즈마산업 기술연구원)
2	현장맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 최적공정개발	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	박미리 ((재)철원 플라즈마산업 기술연구원)
3	상용화 플라즈마 시스템 병원균 제어 효과 평가	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	정래동 (전남대학교)
4	상용화 플라즈마 시스템 해충 제어 효과 평가	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	권덕호 (서울대학교)
5	플라즈마 처리 후 저장성 품질 실증평가							■	■	■	■	■	■	정래동 (전남대학교) 권덕호 (한국농수산대 학)
6	수입국 현지 조사				■	■	■	■	■	■	■	■	■	장준수 (조은그린(주))
7	수출 파프리카(샘플)의 수입국 현지 실증평가 및 대응									■	■	■	■	장준수 (조은그린(주))

## 제 2 절. 연구수행 내용 및 결과

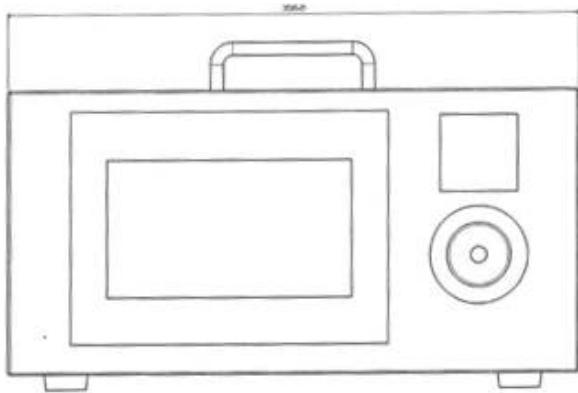
### 가. 연구수행 내용 및 결과

#### (1) 수출 농산물(파프리카) 저장성 향상 플라즈마 최적 공정 기술 개발 (Lab scale)

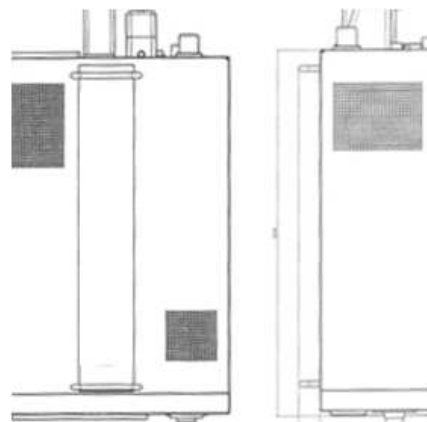
##### (가) Lab scale 플라즈마 시스템 구축

##### ① 설계도

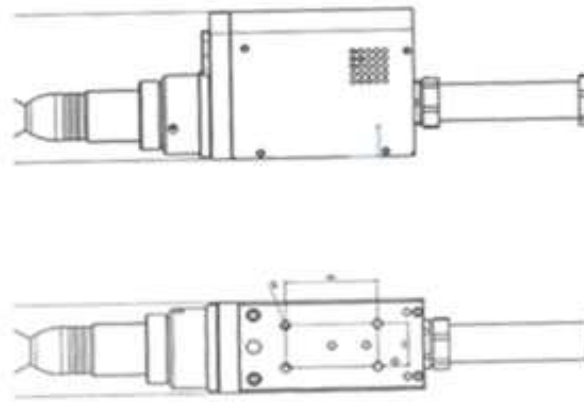
##### ○ 플라즈마 모듈



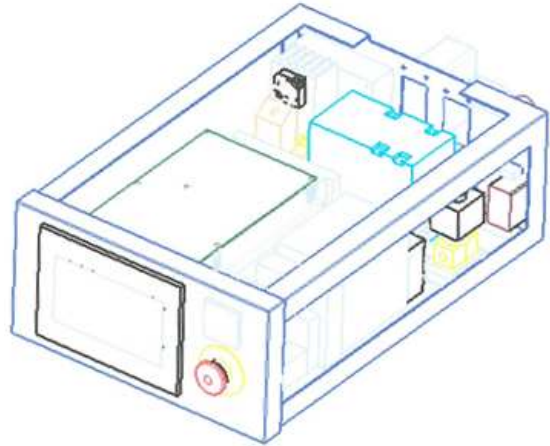
<컨트롤 박스 전경>



<컨트롤 박스 상단 및 측면>



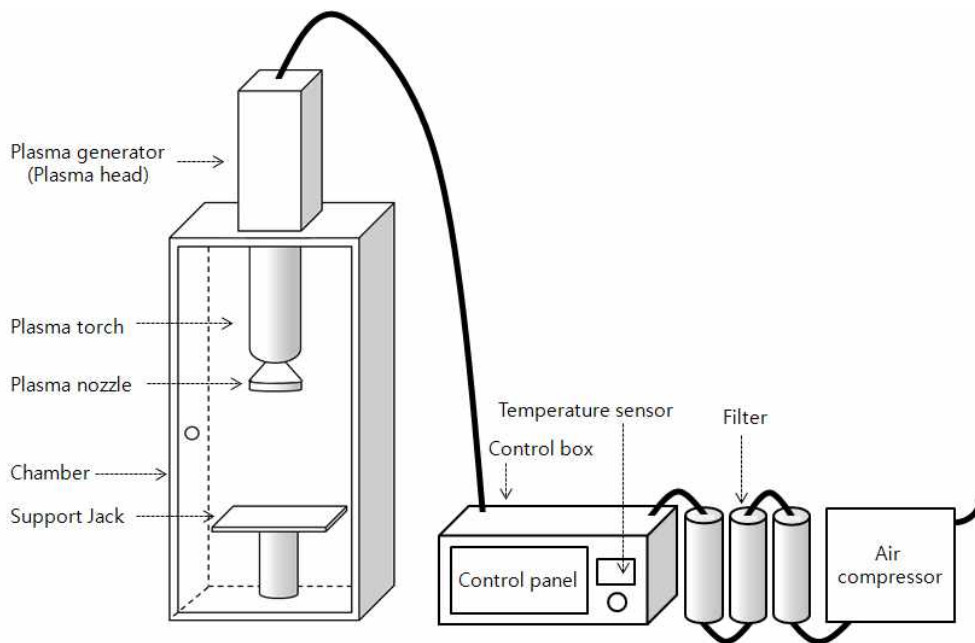
<플라즈마 시스템의 노즐>



<플라즈마 시스템 컨트롤 박스의 내부 UNIT>

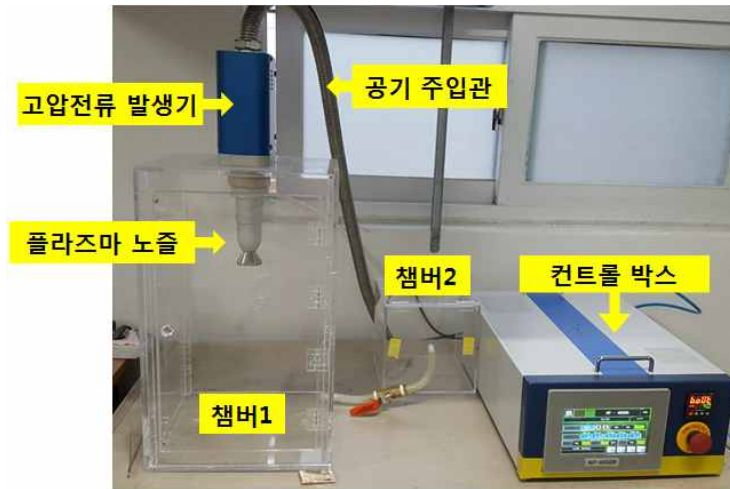
<그림2-1> Lab scale 플라즈마 모듈 설계도

○ 신선 농산물의 저장성 향상을 위한 플라즈마 시스템(Lab scale)

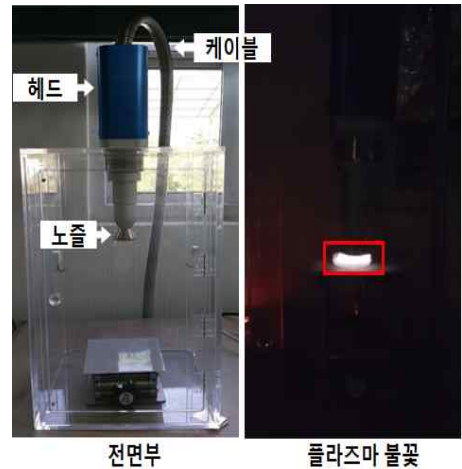


<그림2-2> 플라즈마 시스템(Lab scale)

② 신선 농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템 구축(Lab scale)



<플라즈마 시스템 전체(챔버2는 살충평가전용)>

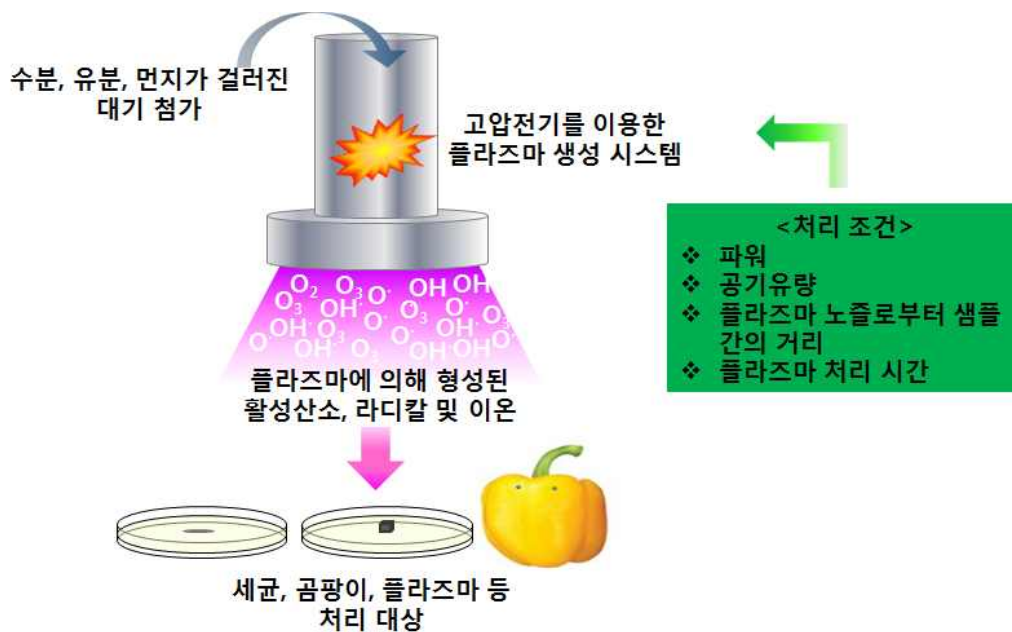


<플라즈마 시스템의 노즐과 처리 박스(왼쪽)와 노즐에서 발생하는 플라즈마(오른쪽)>

<그림2-3> Lab scale용 플라즈마 시스템

③ 플라즈마 시스템의 플라즈마 생성 원리

- 플라즈마 제어판으로 수분, 유분, 먼지가 필터를 통해 걸러진 대기중 공기를 이용
- 고압전기를 대기중 공기에 처리하게 되면 플라즈마가 생성
- 플라즈마에 의해 형성된 활성산소, 라디칼 및 이온이 발생
- 이때 발생한 활성산소, 라디칼 및 이온을 이용하여 세균, 곰팡이 등 미생물을 살균



<그림2-4> 플라즈마 방전으로 생성되는 활성종을 이용한 병원성 미생물 살균 원리



(나) Lab scale 플라즈마 처리 최적 조건 구축을 위한 플라즈마 처리에 따른 병원균 감수성 평가

- ① 파프리카의 주요 저장성 관련 병원성 미생물 선별(파프리카 유래 병원성 미생물 순수분리 및 동정)
- ② 파프리카의 주요 저장성 관련 병원성 미생물 선별(파프리카 유래 병원성 미생물 순수분리 및 동정)

○ 연구방법 및 재료

[실험재료]

- 본 실험에서는 농협회사법인 조은그린(주)에서 생산한 실제 수출용 파프리카에서 발생한 곰팡이병 균주를 순수 분리하여 실험에 재료로 사용함.
- PDA(Potato Dextrose Agar) 배지는 BD company(USA) 제품을 사용함.

[곰팡이 순수 분리 및 배양]

- 아래 <그림2-5>과 같이 수출용 파프리카의 꼭지 및 과실 부분에 발생한 곰팡이를 멸균한 팁으로 살짝 긁어 PDA 배지에 계대 배양하였음.
- 이를 28℃에서 24시간 배양하며 관찰하였음.



<그림2-5> 파프리카에 발생한 곰팡이 분리

[곰팡이 동정]

- PDA 배지를 이용하여 배양한 곰팡이에서 추출한 DNA를 ITS sequencing하여 염기서열을 분석하여 동정하였음.



## ② 조건별 플라즈마 처리 미생물(세균)의 살균 효과 평가 - *Erwinia carotovora*

### ○ 연구방법 및 재료

#### [실험재료]

- 본 실험에서는 농촌진흥청 농업미생물은행(Wanji, Korea)으로부터 분양받은 무름병을 일으키는 세균(*Erwinia carotovora* subsp. *E. carotovora*, KACC 105273)를 이용하여 조건별 플라즈마를 처리한 후, 살균효과를 확인하여 최적 조건을 확립함.
- 세균 배양에는 LB(Luria-Bertani, BD company, USA) 배지를 이용함.

#### [실험 시료 준비]

- 세균은 LB broth에 접종하여 30°C의 shaking incubator에서 18시간 동안 진탕배양한 후, spectrophotometer(Biochrom, UK)를 사용하여 세균현탁액 농도를 7.0 log CFU/ml로 맞추어 사용함.
- 플라즈마 처리 전, LB agar plate에 세균현탁액 20ul을 분주하여 준비함.

#### [플라즈마 처리]

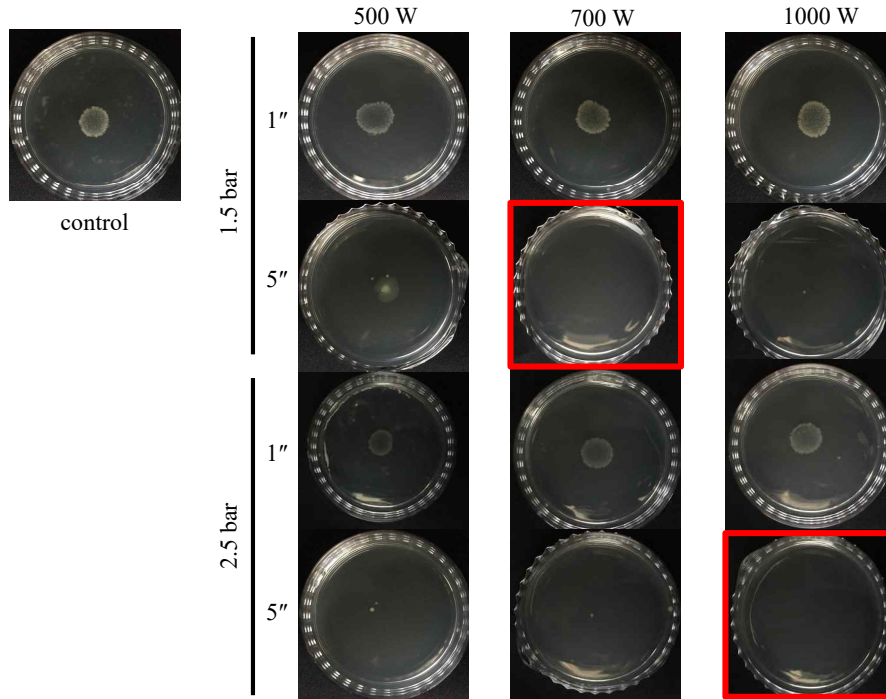
- 처리조건은 노즐로부터 거리 1cm, 파워(500, 700, 100W), 압력(1.5, 2.5bar), 처리시간(1, 5 초)의 다양한 범위에서 수행함.



<그림2-8> lab scale 플라즈마 시스템(왼쪽), 플라즈마 처리 모습(가운데)과 발생된 플라즈마 불꽃(오른쪽)

## ㉞ 조건별 플라즈마 처리에 따른 *E. carotovora*의 살균효과 평가 -I

- *E. carotovora* 세균 현탁액을 배지에 분주하여 플라즈마 처리 후, 30°C에서 24±4시간동안 배양한 결과는 다음 <그림2-9>과 같음.



<그림2-9> 조건별 플라즈마 처리에 따른 *Erwinia carotovora* subsp.의 살균효과 (빨간 박스: 100% 살균)

- 처리시간을 비교하였을 때, 1초 처리보다 5초 처리한 세균집락의 크기가 감소하거나 멸균되었음.
- 가압조건은 2.5 bar 처리군의 세균집락 크기가 1.5 bar 처리군의 집락크기보다 작거나 멸균되었음.
- 또한, 플라즈마 파워의 세기가 클수록 세균이 100% 살균되었음.
- 즉, 플라즈마 처리시간이 증가할수록, 처리 압력이 높을수록, 플라즈마 파워가 높을수록 세균의 살균효과가 증가하는 것으로 나타남.
- 따라서, 압력 2.5 bar, 파워 1000W의 조건으로 실험을 진행하였음.

#### ㊤ 조건별 플라즈마 처리에 따른 *E. carotovora*의 살균효과 평가 -II

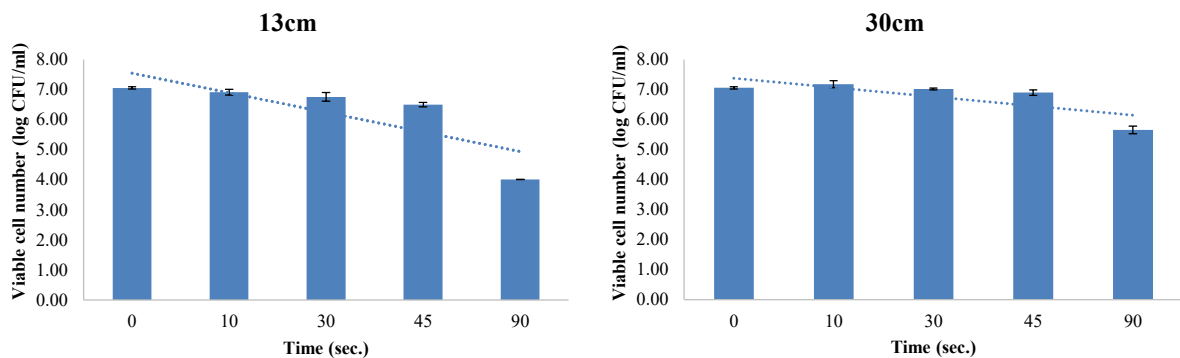
- 플라즈마 처리 전, LB agar plate에 세균현탁액 100ul을 분주하여 준비함.
- 처리조건은 플라즈마 파워 1000W, 압력 2.5 bar, 처리시간 10~90초, 플라즈마 노즐부터 처리구역까지의 거리 13, 30cm의 조건에서 각각 수행함.



<그림2-10> lab scale 플라즈마 시스템(왼쪽), 플라즈마 처리 거리(가운데)와 발생된 플라즈마 불꽃(오른쪽)

### ㊤ 연구결과 및 고찰

- 플라즈마 처리한 세균 현탁액을 고체 배지에 도말하여 30℃에서 24±4 시간동안 배양하고 세균집락을 계수한 결과는 아래와 같으며 처리시간 및 노즐로부터의 거리에 따른 생존 세균수(log CFU/ml)로 나타냄.



<그림2-11> 플라즈마 처리시간 및 거리에 따른 *E. carotovora*의 살균효과

- 플라즈마 처리시간이 증가할수록 *E. carotovora*의 생존수는 비례적으로 감소하였고, 90초 처리시, 최대 살균효과가 나타남.
- 또한 노즐로부터의 거리가 가까울수록 *E. carotovora*의 살균효과가 증가하여 13cm에서 살균효과가 가장 큰 것으로 나타남.
- 따라서, 플라즈마 처리시간이 길수록 활성종이 미생물 세포막을 다량 손상시키며, 거리가 가까울수록 전자, 자유라디칼 등의 활성종과 직접 접촉할 확률이 높아져 미생물 살균효과가 증가한 것으로 판단됨.

③ 조건별 플라즈마 처리 미생물(곰팡이)의 살균 효과 평가

㉞ 조건별 플라즈마 처리에 따른 *Botrytis cinerea*의 살균효과 평가

○ 연구방법 및 재료

[실험재료]

- 본 실험에서는 농촌진흥청 농업미생물은행으로부터 분양받은 잣빛곰팡이병을 일으키는 *Botrytis cinerea*(*B. cinerea*, KACC 40573)를 사용함.
- 배지는 PDA를 사용함.

[곰팡이 포자 준비]

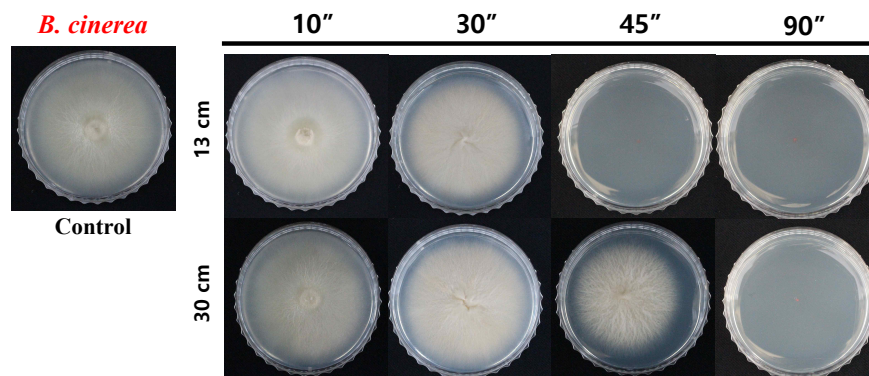
- Tween 80(AMRESCO, USA) 3~5ml을 넣고 cell scraper를 이용하여 긁어모은 포자현탁액을 멸균거즈로 걸러 conical tube에 모음.
- PDA 배지의 가운데에 20ul 씩 포자현탁액을 분주하여 준비함.
- 이때, hemocytometer를 이용하여 측정한 포자현탁액의 농도는 7.0 log CFU/ml임.

[플라즈마 처리]

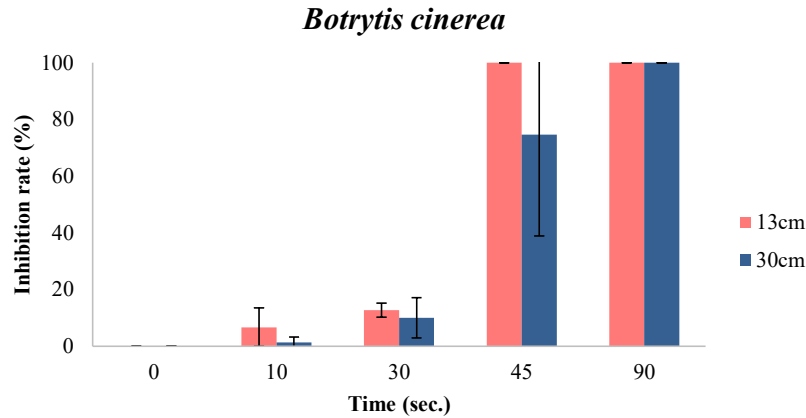
- 처리 조건은 파워 1000W, 압력 2.5 bar, 처리시간 10~90초, 거리 13, 30cm의 조건에서 각각 수행하였음.

○ 연구결과 및 고찰

- 곰팡이 포자에 플라즈마 처리 후, 28℃에서 48시간 배양하고 균락의 지름을 측정한 결과는 아래 <그림2-12~13>와 같으며, 처리시간 및 노즐로부터 거리에 따른 inhibition rate(%)로 나타냄.



<그림2-12> 플라즈마 처리시간 및 거리에 따른 *Botrytis cinerea*의 살균효과 검정



<그림2-13> 플라즈마 처리시간 및 거리에 따른 *Botrytis cinerea*의 살균효과 측정

- 플라즈마 처리시간이 증가할수록 *B. cinerea*의 살균효과는 증가하였고, 90초 처리시, 최대 살균효과가 나타남.
- 또한 노즐로부터의 거리가 가까울수록 *B. cinerea*의 살균효과가 증가하여 30cm에서 90초 처리, 13cm에서 45초 처리시 100% 살균효과를 나타냄.
- 이는 *E. carotovora*의 결과와 동일한 경향을 보이며, 플라즈마 처리시간이 길수록 활성종이 미생물 세포막을 다량 손상시키며, 거리가 가까울수록 전자, 자유라디칼 등의 활성종과 직접 접촉할 확률이 높아져 미생물 살균효과가 증가한 것으로 판단됨.

#### ㊤ 조건별 플라즈마 처리에 따른 *Fusarium spp.*의 살균효과 평가

##### ○ 연구방법 및 재료

###### [실험재료]

- 본 실험에서는 농촌진흥청 농업미생물은행으로부터 분양받은 시들음병을 일으키는 *Fusarium spp.*(KACC 40240)를 사용함.
- 배지는 PDA를 사용함.

###### [곰팡이 포자 준비]

- Tween 80 3~5ml을 넣고 cell scraper를 이용하여 긁어모은 포자현탁액을 멸균거즈로 걸러 conical tube에 모음.
- PDA 배지의 가운데에 20ul 씩 포자현탁액을 분주하여 준비함.
- 이때, hemocytometer를 이용하여 측정된 포자현탁액의 농도는 7.0 log CFU/ml임.

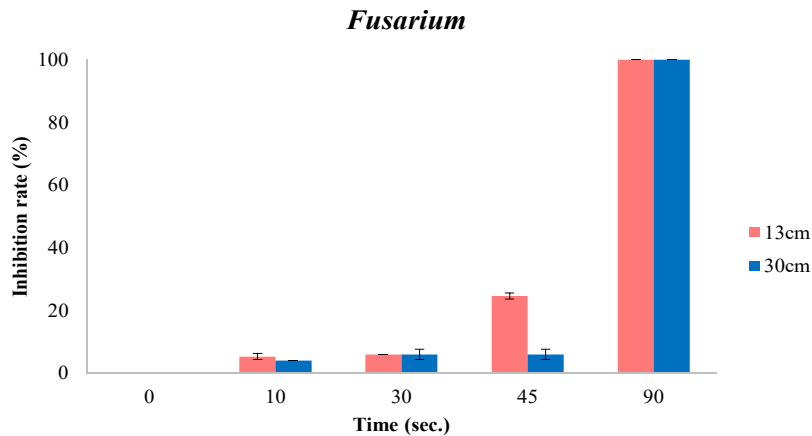
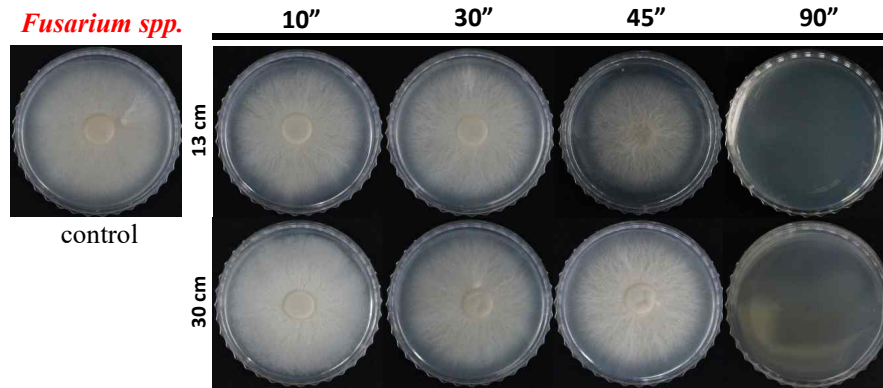
###### [플라즈마 처리]

- 플라즈마 처리 조건은 파워 1000W, 압력 2.5 bar, 처리시간(10~90 sec.), 거리(13, 30cm)의 조건에서 각각 수행하였음.



○ 연구결과 및 고찰

- 곰팡이 포자에 플라즈마 처리 후, 28℃에서 48시간 배양하고 균락의 지름을 측정한 결과는 아래와 같으며, 처리시간 및 노즐로부터 거리에 따른 inhibition rate(%)로 나타냄.



<그림2-14> 플라즈마 처리시간 및 거리에 따른 *Fusarium spp.*의 살균효과 검정

- 플라즈마 처리시간이 증가할수록 *Fusarium spp.*의 살균효과는 증가하였고, 90초 처리시, 100% 살균효과가 나타남.
- 또한 노즐로부터의 거리가 가까울수록 *Fusarium spp.*의 살균효과가 증가하여, 45초 처리 균을 비교하였을 때, 30cm에서의 처리보다 13cm에서 처리했을 때 약 3배 살균효과가 증가하였음.
- 이는 *E. carotovora*의 결과와 동일한 경향을 보이며, 플라즈마 처리시간이 길수록 활성종이 미생물 세포막을 다량 손상시키며, 거리가 가까울수록 전자, 자유라디칼 등의 활성종과 직접 접촉할 확률이 높아져 미생물 살균효과가 증가한 것으로 판단됨.

## ㉔ 조건별 플라즈마 처리에 따른 *Alternaria alternata*의 살균효과 평가

### ○ 연구방법 및 재료

#### [실험재료]

- 본 실험에서는 농협회사법인 조은그린(주)에서 생산한 실제 수출용 파프리카에서 순수 분리한 검은 곰팡이 *Alternaria alternata*(*A. alternata*)를 대상으로하여 여러 조건별 플라즈마를 처리한 후 살균효과를 확인함.
- 배지는 PDA를 사용함.

#### [곰팡이 포자 준비]

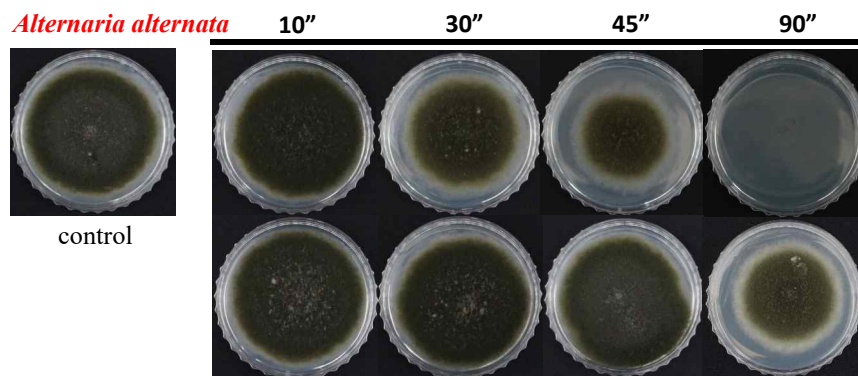
- Tween 80 3~5ml을 넣고 cell scraper를 이용하여 긁어모은 포자현탁액을 멸균거즈로 걸러 conical tube에 모음.
- PDA 배지의 가운데에 20ul 씩 포자현탁액을 분주하여 준비함.
- 이때, hemocytometer를 이용하여 측정한 포자현탁액의 농도는 7.0 log CFU/ml임.

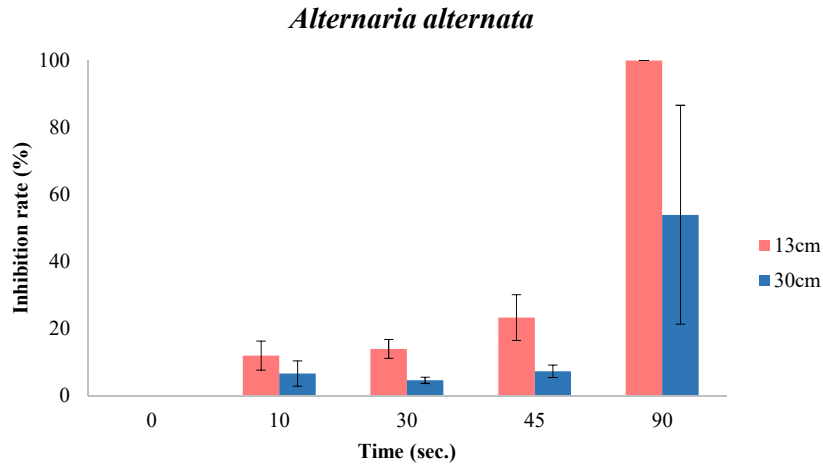
#### [플라즈마 처리]

- 플라즈마 처리 조건은 파워 1000W, 압력 2.5 bar, 처리시간(10~90초), 거리(13, 30cm)의 조건에서 각각 수행하였음.

### ○ 연구결과 및 고찰

- 곰팡이 포자에 플라즈마 처리 후, 28℃에서 48시간 배양하고 균락의 지름을 측정한 결과는 아래와 같으며, 처리시간 및 노즐로부터 거리에 따른 inhibition rate(%)로 나타냄.





<그림2-15> 플라즈마 처리시간 및 거리에 따른 *Alternaria alternata*의 살균효과 검증

- 플라즈마 처리시간이 증가할수록 *A. alternata*의 성장이 저해되었으며, 그 효과는 90초에서 최대로 나타났음.
- 또한 노즐로부터의 거리가 가까울수록 *A. alternata*의 살균효과는 증가하여 13cm에서 효과가 가장 큰 것으로 나타났음. 이는 위의 곰팡이 2종(*B. cinerea*, *Fusarium* spp.)과 세균 (*E. carotovora* subsp.)의 결과와 동일한 양상을 나타냄.
- 즉, 처리시간이 길수록 활성종이 미생물 세포를 다량 손상시키며, 거리가 가까울수록 자유라디칼 등의 활성종과 직접 접촉할 확률이 높아져 미생물 살균효과가 증가한 것으로 판단됨.

#### ④ 플라즈마 처리 조건별 파프리카에 접종한 미생물 살균 효과 평가 (*In vivo* test)

##### ㉞ 조건별 플라즈마 처리에 따른 파프리카에 접종한 *Erwinia carotovora* subsp. 살균 효과 평가

###### ○ 연구방법 및 재료

###### [실험재료]

- 본 실험에서는 농촌진흥청 농업미생물은행(Wanju, Korea)으로부터 분양받은 무름병세균 (*Erwinia carotovora* subsp., *E. carotovora*, KACC 105273)을 파프리카에 접종하여 다양한 조건으로 플라즈마 처리한 후 살균효과를 확인하였다. 세균 배양에는 LB(Luria-Bertani, BD company, USA) 배지를 사용하였음.

###### [파프리카 준비]

- (주)조은그린에서 제공받은 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연건조하여 준비하였음.

[세균 시료 준비 및 파프리카 접종]

- 3세균은 LB broth에 접종하여 30°C shaking incubator에서 18시간 동안 진탕배양한 후 spectrophotometer(Biochrom, UK)를 이용하여 세균현탁액 농도를 6.0 log CFU/ml로 맞추어 사용하였음.

[세균의 파프리카 접종]

- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 세균현탁액 10 µl 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 대기압 플라즈마 처리하였음.

[플라즈마 처리]

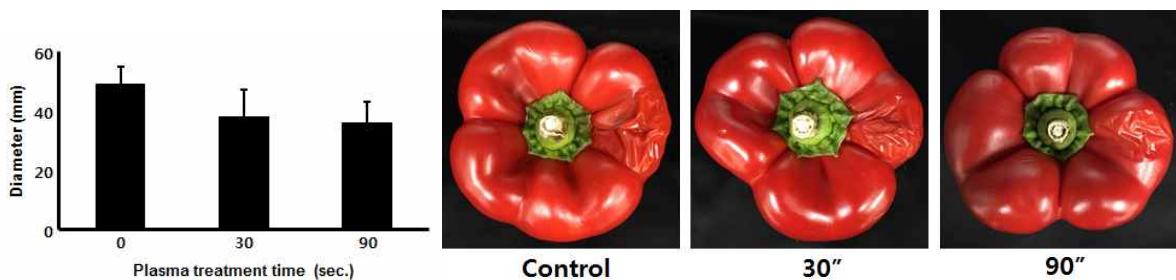
- 처리조건은 전력 1,000W, 압력 2.5 bar, 노즐로부터의 거리 30 cm, 처리시간(0-90 sec.)의 다양한 범위에서 수행하였음.



<그림2-16> 플라즈마 시스템

○ 연구결과 및 고찰

- 살균한 파프리카에 세균현탁액을 접종하고 대기압 플라즈마 처리 후 실온(24±3°C)에서 7일간 보관했을 때 나타난 사멸효과를 <그림2-17>과 같이 처리시간에 따른 무름병징의 spot diameter(mm)으로 나타내었음.



<그림2-17> 플라즈마 처리시간에 따른 파프리카 접종 *Erwinia carotovora subsp.*의 사멸효과

- <그림2-17>과 같이 플라즈마 처리 시간이 증가할수록 접종한 *E. carotovora*에 의해 파프리카 과실 표면에 생긴 무름병징의 diameter는 점차적으로 감소하였고, 90초 처리 시 병원균 억제효과가 가장 큰 것으로 나타났으며, 이는 플라즈마 처리시간이 길수록 오존 등의 활성종이 미생물 세포를 다량 손상시키며, 전자, 자유라디칼 등의 활성종과 직접 접촉할 확률이 높아져 세균 증식이 억제된 것으로, 1차년도에 수행한 *in vitro* 결과와 일치하였음.

## ㉔ 조건별 플라즈마 처리에 따른 파프리카에 접종한 *Botrytis cinerea* 살균 효과 평가

### ○ 연구방법 및 재료

#### [실험 재료]

- 본 실험에서는 농촌진흥청 농업미생물은행(Wanju, Korea)으로부터 분양받은 잿빛 곰팡이병을 유발하는 *Botrytis cinerea*(*B. cinerea*, KACC 40573)를 파프리카에 접종하고 다양한 조건으로 플라즈마 처리한 후 살균효과를 확인하였으며, 곰팡이 배양 배지는 PDA(Potato Dextrose Agar, BD company, USA)를 사용하였음.

#### [파프리카 준비]

- (주)조은그린에서 제공받은 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연 건조하여 준비하였음.

#### [곰팡이 포자 현탁액 준비]

- 0.1% Tween 80(AMRESCO, USA) 3-5 ml을 곰팡이가 충분히 자란 petri dish에 넣고 cell scraper를 이용하여 긁어모은 포자 현탁액을 멸균거즈로 걸러 conical tube에 모았으며, 포자 현탁액 농도는 hemocytometer로 측정하여 7.0 log CFU/ml로 사용하였음.

#### [곰팡이 포자의 파프리카 접종]

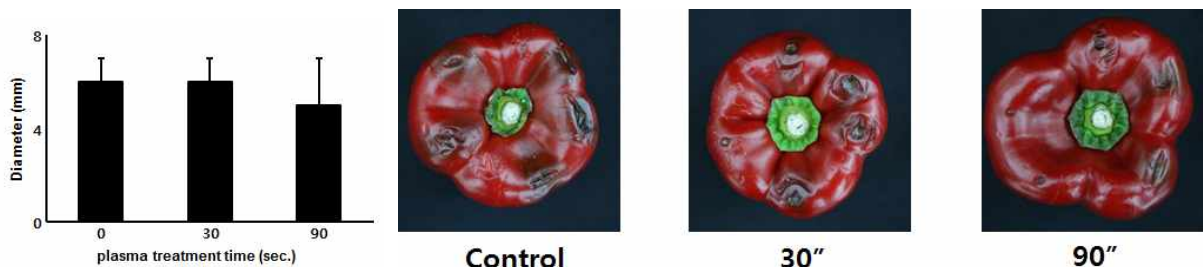
- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 곰팡이 포자 현탁액 10  $\mu$ l 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 대기압 플라즈마 처리하였음.

#### [플라즈마 처리]

- 처리조건은 전력 1,000 W, 압력 2.5 bar, 노즐로부터의 거리 30 cm, 처리시간(0-90 sec.)의 다양한 범위에서 수행하였음.

### ○ 연구결과 및 고찰

- 살균한 파프리카에 곰팡이 포자 현탁액을 접종하고 대기압 플라즈마 처리 후 실온(24 $\pm$ 3 $^{\circ}$ C)에서 14일간 보관했을 때 나타난 사멸효과를 <그림2-18>과 같이 처리시간에 따른 잿빛 곰팡이병 병징의 spot diameter(mm)으로 나타내었음.



<그림2-18> 플라즈마 처리시간에 따른 파프리카 접종 *Botrytis cinerea*의 사멸효과

- <그림2-18>과 같이 플라즈마 처리 시간이 증가할수록 접종한 *B. cinerea*에 의해 파프리카 과실 표면에 생긴 병징 크기는 점차적으로 감소하였고, 90초에서 최대로 나타났으며, 이는 *E. carotovora* 결과와 동일한 경향을 보여 대기압 플라즈마 처리시간이 길수록 활성종의 노출시간이 증가하여 미생물 세포를 다량 손상시키며, 오존, 자유라디칼 등의 활성종과 직접 접촉할 확률이 높아져 미생물 증식이 억제된 것으로 판단하였음. *E. carotovora*와 동일하게 1차년도 *in vitro* 결과와 일치하는 것으로 나타났음.

#### ㊤ 조건별 플라즈마 처리에 따른 파프리카에 접종한 *Fusarium spp* 살균 효과 평가

##### ○ 연구방법 및 재료

###### [실험재료]

- 본 실험에서는 농촌진흥청 농업미생물은행(Wanju, Korea)으로부터 분양받은 시들음병을 유발하는 *Fusarium spp*(KACC 40240)를 파프리카에 접종하고 다양한 조건으로 플라즈마 처리한 후 살균효과를 확인하였으며, 곰팡이 배양 배지는 PDA(Potato Dextrose Agar, BD company, USA)를 사용하였음.

###### [파프리카 준비]

- (주)조은그린에서 제공받은 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연건조하여 준비하였음.

###### [곰팡이 포자 현탁액 준비]

- 0.1% Tween 80(AMRESCO, USA) 3-5 ml을 곰팡이가 충분히 자란 petri dish에 넣고 cell scraper를 이용하여 긁어모은 포자 현탁액을 멸균거즈로 걸러 conical tube에 모았다. 포자 현탁액 농도는 hemocytometer로 측정하여 7.0 log CFU/ml로 사용하였음.

###### [곰팡이 포자의 파프리카 접종]

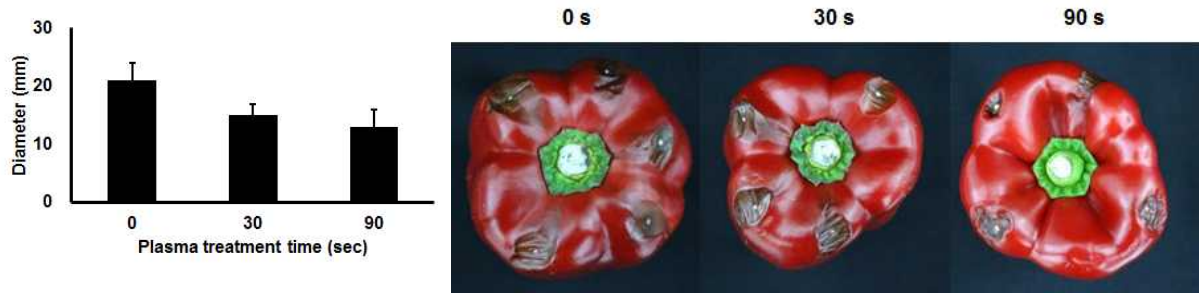
- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 곰팡이 포자 현탁액 10  $\mu$ l 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 대기압 플라즈마 처리하였음.

###### [플라즈마 처리]

- 처리조건은 전력 1,000 W, 압력 2.5 bar, 노즐로부터의 거리 30 cm, 처리시간(0-90 sec.)의 다양한 범위에서 수행하였음.

##### ○ 연구결과 및 고찰

- 살균한 파프리카에 곰팡이 포자 현탁액을 접종하고 대기압 플라즈마 처리 후 실온(24 $\pm$ 3 $^{\circ}$ C)에서 7일간 보관했을 때 나타난 사멸효과를 <그림 3-6>과 같이 처리시간에 따른 시들음병 병징의 spot diameter(mm)으로 나타내었음.



<그림2-19> 플라즈마 처리시간에 따른 파프리카 접종 *Fusarium spp.*의 사멸효과

- <그림2-19>에서와 같이 대기압 플라즈마 처리 시간이 증가할수록 접종한 *Fusarium spp.*에 의해 파프리카 과실 표면에 생긴 시들음병 병징 크기는 비례하여 감소하였고, 90초 처리 시 미생물 증식을 약 40% 억제하여 플라즈마의 미생물 증식 억제효과가 가장 큰 것으로 나타났으며, 이는 위의 *E. carotovora*와 *B. cinerea*의 결과와 동일한 경향을 나타내어 처리시간이 길수록 오존, 자유라디칼 등의 활성종이 미생물 세포를 다량 손상시켜 미생물 억제 효과가 증가한 것으로 사료됨. *E. carotovora*, 및 *B. cinerea* 와 마찬가지로 1차 년도의 *in vitro* 결과와 같은 양상을 나타냈음.

#### ㉔ 조건별 플라즈마 처리에 따른 파프리카에 접종한 *Alternaria alternata*의 살균 효과 평가

##### ○ 연구방법 및 재료

###### [실험재료]

- 본 실험에서는 (주)조은그린의 수출용 파프리카에서 순수 분리한 검은 곰팡이 *Alternaria alternata*(*A. alternata*)를 대상으로 하여 파프리카에 접종하고 다양한 조건으로 대기압 플라즈마 처리한 후 살균효과를 확인하였으며, 곰팡이 배양 배지는 PDA(Potato Dextrose Agar, BD company, USA)를 사용하였음.

###### [파프리카 준비]

- (주)조은그린에서 제공받은 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연 건조하여 준비하였음.

###### [곰팡이 포자 현탁액 준비]

- 0.1% Tween 80(AMRESCO, USA) 3-5 ml을 곰팡이가 충분히 자란 petri dish에 넣고 cell scraper를 이용하여 긁어모은 포자 현탁액을 멸균거즈로 걸러 conical tube에 모았으며, 포자 현탁액 농도는 hemocytometer로 측정하여 7.0 log CFU/ml로 사용하였음.

###### [곰팡이 포자의 파프리카 접종]

- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 곰팡이 포자 현탁액 10  $\mu$ l 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 대기압 플라즈마 처리하였음.

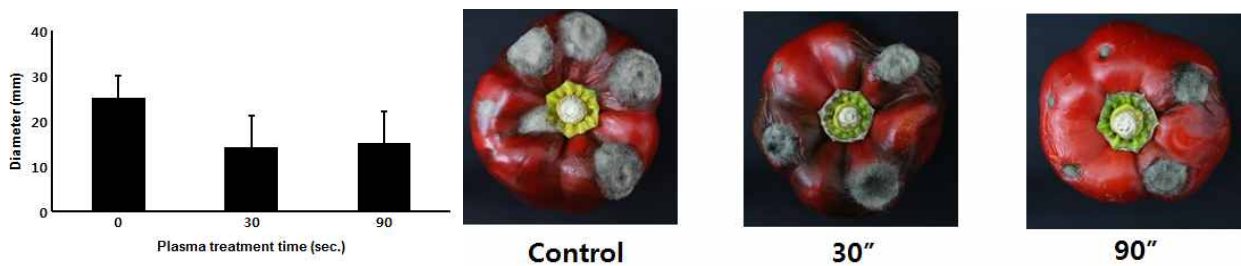


[플라즈마 처리]

- 처리조건은 파워 1,000 W, 압력 2.5 bar, 노즐로부터의 거리 30 cm, 처리시간(0-90 sec.)의 다양한 범위에서 수행하였음.

○ 연구결과 및 고찰

- 살균한 파프리카에 곰팡이 포자 현탁액을 접종하고 대기압 플라즈마 처리 후 실온(24±3℃)에서 7일간 보관했을 때 나타난 사멸효과를 <그림2-20>과 같이 처리시간에 따른 검은 곰팡이 병징의 spot diameter(mm)으로 나타내었음.



<그림2-20> 플라즈마 처리시간에 따른 파프리카 접종 *Alternaria alternata*의 사멸효과

- 대기압 플라즈마 처리 시간이 증가할수록 접종한 *A. alternata*에 의해 파프리카 과실 표면에 생긴 검은 곰팡이병의 크기는 감소하였으며, 30초 및 90초 처리 시 증식 억제 효과는 약 50%로 유사한 것으로 나타났음(그림2-20). 이는 위의 곰팡이 2종(*B. cinerea*, *Fusarium spp.*)과 세균(*E. carotovora subsp.*)의 결과와 동일한 양상을 나타냈음. 즉, 대기압 플라즈마 처리 시간이 길수록 활성종이 파프리카 표면에서 미생물 세포를 다량 손상시켜 생육을 억제한 것으로 판단하였고, 본 결과는 1차년도에 수행한 상위의 병원균 3종을 대상으로 한 *in vitro* 실험의 결과와 일치함을 확인하였음.

(다) 플라즈마 처리에 따른 수출 농산물(파프리카) 품질변화 평가

① 조건별 플라즈마 처리 파프리카의 정도 평가

○ 연구방법 및 재료

[실험재료]

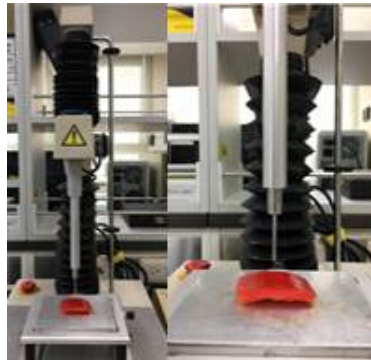
- 본 실험에서는 플라즈마 처리한 파프리카의 정도를 평가하기 위해 농업회사법인 조은그린(주)에서 제공한 수출용 파프리카의 1% 락스에 2분간 침지하여 표면살균한 뒤, 증류수로 세척하고 clean banch에서 자연건조하여 준비하였음.

[플라즈마 처리]

- 처리조건은 파워 1,000W, 압력 2.5bar, 노즐로부터의 거리 30cm, 처리시간(10~90초)의 다양한 범위에서 수행하였음.

[경도 측정]

- 플라즈마 처리한 파프리카를 25.0mm의 정사각형 크기로 잘라 사용하였음.
- Texture analyzer (TA-XY2i, Stable Micro System Co., Surrey, UK)를 사용하여 파프리카의 hardness를 측정하였음.
- 분석조건은 pre-test speed 5.0 mm/s, test speed 2.0 mm/s, post-test speed 1.0 mm/s, distance 10.0 mm, load cell 5kg의 조건으로 cylinder type aluminium probe (2 mm diameter)를 장착하며 상온에서 측정하였음.



<그림2-21> 플라즈마 처리한 파프리카 경도 측정

○ 연구결과 및 고찰

- 조건별 플라즈마 처리한 파프리카를 약 4℃의 냉장조건에서 14일간 저장하며 1일차, 7일차, 및 14일차에 경도를 평가하였음

[표2-1] 플라즈마 처리시간 및 저장기간에 따른 파프리카의 경도 변화

		Plasma treatment time(sec.)			
		0	30	60	90
Firmness (N)	Day 0	10.82±0.97	10.88±1.34	10.70±0.87	10.79±0.93
	Day 7	10.77±0.83	11.38±1.24	11.01±1.18	10.65±1.30
	Day 14	11.01±1.27	10.61±1.98	9.97±1.20	10.78±1.35

\* 측정결과는 평균±표준편차로 나타냄

- B. K Das와 Kim(2010)은 파프리카를 수돗물로 세척하여 5℃ 냉장고에 12일간 보관하면서 firmness를 측정하였을 때, 약 2N 감소한다고 보고하였으나, 본 실험에서는 위의 결과와 같이 플라즈마 처리시간이 증가할수록 파프리카의 firmness는 유의적인 변화를 나타내지 않았으며, 저장기간에 따라서도 통계학적인 차이가 나타나지 않았음.
- 따라서, 파프리카에 대기압 플라즈마를 처리할 경우, 조직학적 품질의 저하를 초래하지 않으면서 병원성 미생물 제어를 통한 수출 농산물의 안전성을 확보하는데 기여할 것으로 판단하였음.

## ② 조건별 플라즈마 처리 파프리카의 색도 평가

### ○ 연구방법 및 재료

#### [실험재료]

- 본 실험에서는 플라즈마 처리한 파프리카의 색도를 평가하기 위해 농업회사법인 조은그린(주)에서 제공한 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 표면살균한 후, 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연 건조하여 준비함.

#### [플라즈마 처리]

- 처리조건은 파워 1,000W, 압력 2.5 bar, 노즐로부터의 거리 30cm, 처리시간 (10~90초)의 조건범위에서 수행하였음.

#### [색도 측정]

- 아래와 같이 플라즈마 처리한 파프리카의 겉 표면을 색도계(Chroma meter, CM-5, Minolta Co., Japan)를 이용하여 hole size에 맞게 시료를 올려놓고 Hunter's color system에 의한 명도(lightness, L<sup>a</sup>), 적색도(redness, a<sup>b</sup>), 및 황색도(yellowness, b<sup>b</sup>)를 측정하였음.



<그림2-22> 플라즈마 처리한 파프리카의 색도 측정

### ○ 연구결과 및 고찰

- 조건별 플라즈마 처리한 파프리카를 4℃의 냉장조건에서 14일간 저장하며 색도를 평가한 결과는 아래 [표2-2]와 같음.

[표2-2] 플라즈마 처리시간 및 저장기간에 따른 파프리카의 색도변화

		Plasma treatment time(sec.)			
		0	30	60	90
L*	Day 0	31.68±1.06	31.68±1.26	32.82±1.18	31.38±1.43
	Day 7	32.06±1.62	32.00±1.87	32.12±1.74	30.92±1.32
	Day 14	32.56±1.58	31.76±1.04	32.16±1.55	32.75±1.35
a*	Day 0	29.84±2.36	27.94±2.93	30.37±2.10	27.41±1.87
	Day 7	29.73±3.00	32.44±3.15	32.24±2.30	31.29±2.20
	Day 14	29.72±2.58	29.59±1.80	30.21±3.04	29.13±2.65
b*	Day 0	14.97±1.64	14.60±1.98	15.56±1.52	13.64±1.34
	Day 7	16.61±2.42	18.07±3.28	17.64±1.95	16.05±1.87
	Day 14	15.34±1.62	14.44±1.22	15.56±1.86	15.24±1.82

\* 측정결과는 평균±표준편차로 나타냄

- 플라즈마 처리시간이 증가할수록 파프리카의 명도(L<sup>''</sup>), 적색도(a<sup>''</sup>) 및 황색도(b<sup>''</sup>)는 처리  
- 즉, 파프리카에 대기압 플라즈마를 처리하여 저장성에 관여하는 병원성 미생물을 제어함  
- 에 있어서 품질 저하를 초래하지 않은 것으로 확인되었음.
- 따라서, 대기압 플라즈마 시스템은 수출 농산물의 저장 안전성 및 품질 유지에 효과적으  
- 로 활용할 수 있을 것으로 확인하였음.

## (라) 검역대상 해충 살충 제어 최적 공정 기술 개발

### ① 검역대상 해충 사육 시스템 구축

#### ㉠ 검역 대상 해충 선정

- 한국산 파프리카의 대미국 수출 검역 시, 고려되는 대상 해충(국립식물검역소고시 제2006-5  
- 호) 중 담배나방, 왕담배나방을 선정하였으며, 총채벌레류로는 오이 총채벌레류 선정.

#### ㉡ 총채벌레류의 사육 시스템 구축

### ○ 연구방법 및 재료

#### [실험재료]

- 오이총채벌레 : 국립농업과학원에서 오이에 감염된 오이총채벌레를 분양 받아 실내 사육  
- 을 시도하였으나, 오이가 병원체에 감염되어 실패하였음. 대신 누대 사육 시스템을 구축  
- 하였음.
- 실험 해충 : 꽃노랑총채벌레 계통, 국립농업과학원에서 분양받은 계통을 사용함.

[사육용 디쉬 준비]

- 총채벌레 사육에 1종류의 사육 케이지와 2종류의 사육 디쉬를 사용하였음.
- 사육 디쉬의 경우, SPL사에서 판매 중인 2가지 Insect breeding dish(35×10, 120×80mm)를 사용하며, 작은 디쉬를 담은 사육케이지는 플라스틱 15×23×10cm(가로×세로×높이)의 플라스틱 용기를 구매하여 윗면을 잘라 매쉬(공기순환 및 습도 조절 역할)을 붙여 만들었음.

[총채벌레 접종]

- 준비한 디쉬에 총채벌레를 접종하고(작은 디쉬 기준 약 50~100마리, 큰 디쉬 기준 100마리 이상) 작은 디쉬는 parafilm을 이용해 sealing함(작은 디쉬와 달리 큰 디쉬는 뚜껑사이 틈으로 곤충이 탈출 할 수 없음).

- ㉠ 성충을 접종하여 기준 날짜간 알을 받은 콩을 꺼내서 작은 콩을 채워 넣지 않은 작은 breeding dish에 옮겨주고 역시 parafilm으로 sealing함.
  - ㉡ 알을 받은 콩이 들어있는 디쉬는 개봉하지 않은 상태로 콩에서 충이 부화하여 성충 단계로 우화할 때까지 가급적 열지 않음.
- \* 곰팡이병 또는 세균병이 전체적으로 많이 발생할 경우에는 breeding dish 자체를 깨끗한 곳으로 옮겨줌.

[사육 케이지 유지]

- 접종이 완료된 작은 디쉬의 경우, 사육 케이지에 차곡차곡 쌓아 보관함. 이때, 층을 만들어 주게 된다면 윗층, 아래층 디쉬의 원활한 통풍을 위해 층 사이에 격자모양의 판을 넣어주는 것이 바람직함. 케이지 바닥에는 수분유지를 위한 휴지를 1장 깔아주는 것이 좋음.

㉢ 담배나방류의 사육 시스템 구축

○ 연구방법 및 재료

[실험재료]

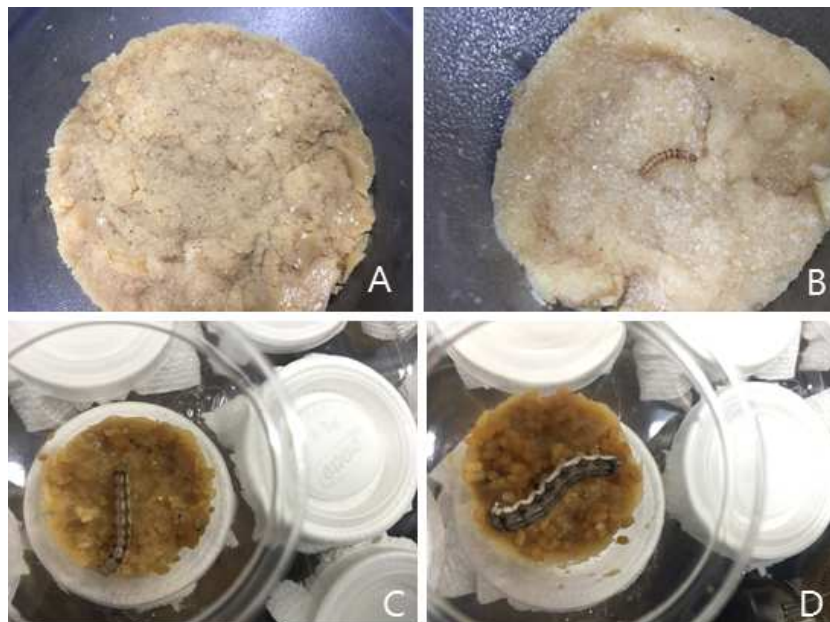
- 담배나방과 왕담배나방은 같은 속에 속하는 해충으로서 발육 기간이 거의 유사함. 본 연구 결과에서는 담배나방에 초점을 맞추어서 사육하는 과정을 정리하였음.
- 실험 해충  
: 담배나방, 2017년 6~8월 사이 경남 진주와 경기 화성의 고추에서 채집한 애벌레를 채집하여 실험 해충으로 사용하였음.  
: 왕담배나방, 국립식량과학원 중북장물부에서 누대 사육중인 계통을 분양받아 사용함.

[이공먹이 제작]

- 물 875ml에 agarose 19g을 넣고 agarose가 완전히 녹을 때까지 가열 후, 건조 인공 사료인 'Soy-wheat germ diet(Frontier Agricultural Sciences, Canada)' 144g을 넣어 충분히 균질화 함.
- 인공사료 혼합액을 트레이에 옮긴 후, clean bench에서 건조하고 건조된 인공 사료를 UV에 2~3분 노출 시킨뒤 냉장 보관.

[유충의 사육]

- 성충의 산란 후, 약 3~5일 후, 유충의 부화가 시작되면 아래 <그림>과 같이 인공 사료가 들어있는 플라스틱통에 붓을 이용하여 유충을 이동 후, 2령기까지 사육함.
- 카니발라즘 방지를 위하여 3령기 유충을 플라스틱 컵에 개별 사육함.



<그림2-23> 담배나방 1령에서 4령까지 유충의 모습. A) 1령, B) 2령, C) 3령, D) 4령

[성충의 사육]

- 번데기에서 우화된 성충 담배나방을 아래 <그림2-24>과 같이 플라스틱 케이지 (30×30×30cm)에서 사육
- 케이지 내부에 10% 설탕물을 제공하여 습도를 유지하였으며, 특히 거즈를 설치하고 기름 종이를 벽면에 부착하여 2주 동안 산란을 유도함.



<그림2-24> 산란용 사육 케이지 내부(왼쪽)와 성충의 모습(오른쪽)

## ㉔ 대상 해충의 령기별 발육 기간 설정

### ○ 꽃노랑총채벌레

- 알에서 성충이 되기까지 약 14일이 소요되며, 각 발육 단계별 소요시간은 알 3~4일, 유충 7~8일, 번데기 8~10일, 성충 12~14일임.
- 성충의 수명은 약 15~20일 정도이며, 누대 계통유지용 산란기간은 약 3~4일로 설정함.

### ○ 왕담배나방/담배나방

- 알에서 성충이 되기까지 전체 약 25~30일이 소요되는데, 발육단계별 소요 기간은 알 3일, 유충 17~19일, 번데기 12~14일이며, 성충 수명은 본 실험에서 약 7일이었음.

## ② 플라즈마 처리 해충 살충 효과 검정

### ㉔ 꽃노랑총채벌레의 플라즈마 살충 효과

- 꽃노랑총채벌레에 대한 플라즈마의 최적 살충 조건을 설정하기 위한 예비 실험을 수행함.

### ○ 연구방법 및 재료

#### [실험재료]

- 꽃노랑총채벌레 (령기: 성충)

#### [처리방법]

- 꽃노랑총채벌레를 사육케이지(1cm 지름 × 3cm 높이)에 15~20마리 가량 접종 후, 플라즈마 노즐로부터의 거리 및 처리시간에 따른 사충수를 조사하였음.
- 플라즈마 처리 조건: 파워 1,000W, 압력 2.5bar

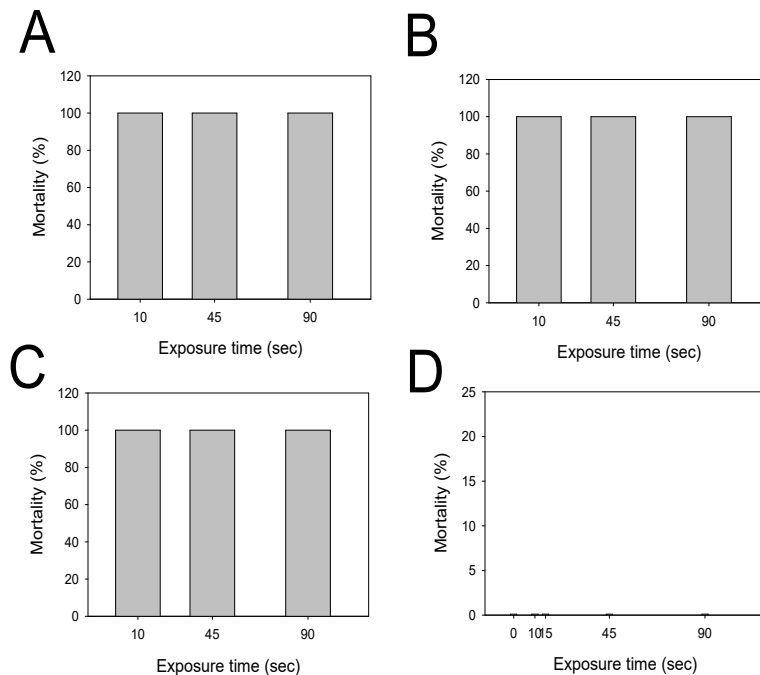


- 처리시간: 10, 45, 90sec
- 노즐로부터 거리: 4, 13, 30cm(초기), 이후 30cm에서 1, 3, 6, 10분 처리후 10분 뒤 사충율 조사

○ 실험 결과

- 거리에 대한 독성 비교

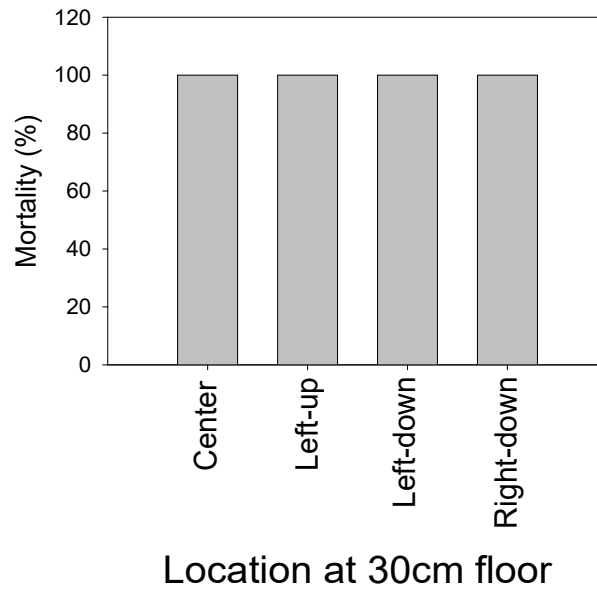
- ① 플라즈마 노즐에서 1,000W와 2.5bar 처리 조건에서 각각 4cm, 13cm, 30cm 거리 조건에서 10, 45, 90sec 간 처리를 하고 사충율을 조사함.
- ② 그 결과, 30cm 거리에서 공기(Air)만 처리한 control에서는 사충율이 0%인 반면, 100% 사충율을 나타내었음.



<그림2-25> 플라즈마 처리 후 사충율 (A) 4cm, (B) 13cm, (C) 30cm, (D) control(30cm에서 공기 처리)

- 처리 위치에 따른 사충율

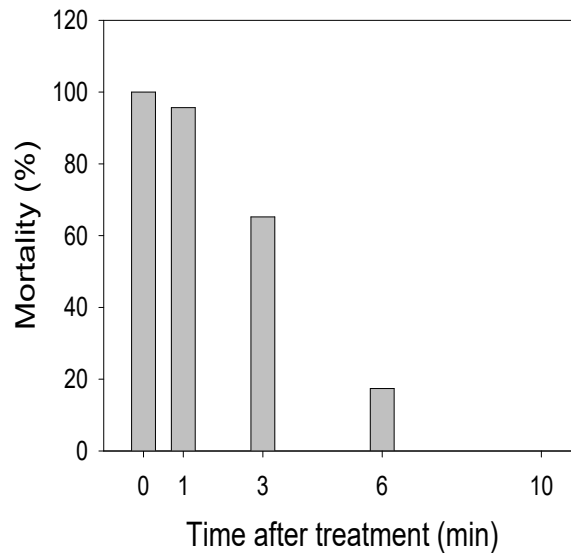
- ① 아크릴 박스내 위치별 플라즈마 효과를 알아보기 위해, 플라즈마 노즐로부터 30cm 떨어진 정중앙 위치에서 처리를 하였을 때, 사충율 100%를 나타내었음.
- ② 또한, 아크릴 박스내 각 모서리에 사육케이지를 위치시킨 후, 플라즈마 처리를 실시한 결과, 정중앙에서 처리한 결과와 같이 100%의 사충율을 보임.
- ③ 따라서, 플라즈마 방전시 발생하는 활성종에 의한 영향임을 확인하였음.



<그림2-26> 아크릴 박스의 플라즈마 처리 위치별 사충 영향

- 플라즈마 처리 후 꽃노랑총채벌레 회복

- ㉠ 30cm에서 처리시간별 플라즈마 처리 후, 처리한 곤충을 10분 동안 관찰한 결과, 처리시간이 짧을수록 회복율이 높았으며 10분 처리의 경우, 100%의 살충률을 나타내었음.



<그림2-27> 플라즈마 처리 시간별 회복

#### ㉔ 담배나방 성충과 번데기의 플라즈마 살충 효과

- 담배나방에 대한 플라즈마의 최적 살충 조건을 설정하기 위한 예비 실험을 수행함.

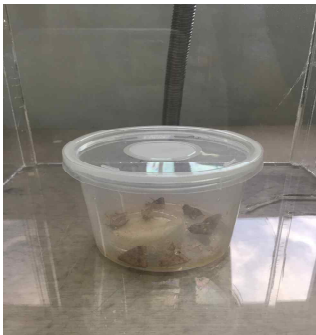
#### ○ 연구방법 및 재료

##### [실험재료]

- 담배나방 (령기: 성충, 번데기)

##### [처리방법]

- 담배나방의 성충과 번데기를 사육케이지(9cm 지름 × 12cm 높이)에 9~10마리 가량 접종 후, 플라즈마 노즐로부터의 거리 및 처리시간에 따른 사충수를 조사하였음.
- 플라즈마 처리 조건: 파워 1,000W, 압력 2.5bar
- 처리시간: 성충 30초, 60초, 3분, 6분 번데기 0, 1, 5, 10분
- 노즐로부터 거리: 4, 13, 30cm(초기), 이후 30cm에서 1, 3, 6, 10분 처리후 10분 뒤 사충율 조사
- 노출후 회복되는 마릿수를 조사함



<그림2-28> 담배나방 성충의 플라즈마 처리



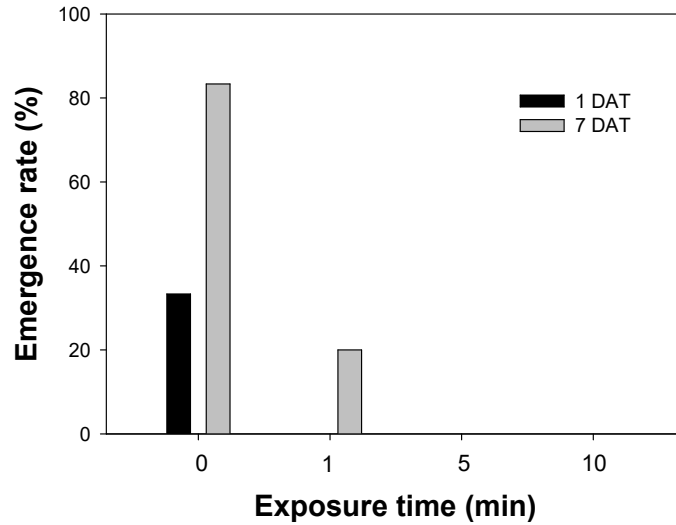
<그림2-29> 담배나방 번데기의 플라즈마 처리 후 모습

#### ○ 실험 결과

- 담배나방 성충의 처리시간에 따른 살충 효과 비교

㉑ 플라즈마 노즐에서 1,000W와 2.5bar 처리 조건에서 번데기를 대상으로 각각 0, 1, 5, 10분 처리 후, 1일과 7일 후에 우화율을 조사한 결과, 무처리구에서는 7일차에 80% 이상의 산란율을 보였으며, 1분 처리구에서는 20%가 우화하였으나, 5분과 10분 처리구에서는 우화하지 않음을 확인하였음.

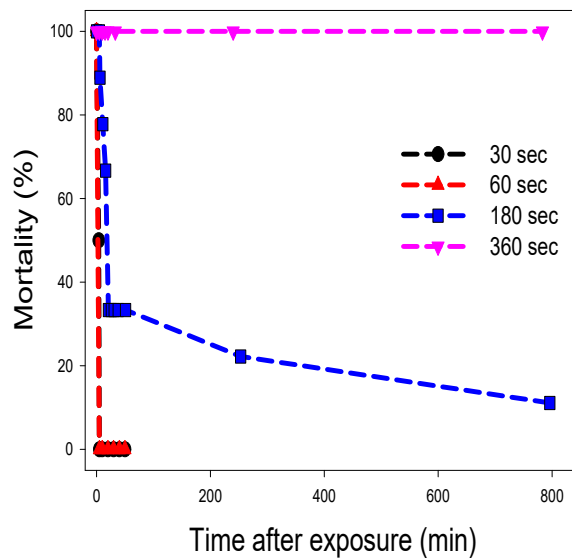
㉒ 즉, 처리 시간이 길수록 우화율에 영향을 주는 것을 확인함.



<그림2-30> 처리시간별 플라즈마 처리 후, 1일 및 7일 후 번데기의 우화율 비교

- 담배나방 번데기의 처리시간에 따른 성충 회복을 비교

- ㉠ 각각 처리시간(30초, 60초, 2분, 3분)에 따른 플라즈마 처리후, 800분 동안의 회복율을 관찰한 결과, 30초와 60초 처리구에서는 5분 안에 100% 회복하는 것으로 나타났으며, 3분 처리구에서는 800분 안에 89%까지 서서히 회복하는 것으로 나타났으며, 6분 처리구에서는 0%의 회복율을 나타냈음.
- ㉡ 성충과 마찬가지로 처리 시간이 길수록 사충율에 영향을 주는 것을 확인함.



<그림2-31> 처리 시간별 플라즈마 처리 후, 담배나방 성충의 회복율 비교

○ 고찰

- 본 실험을 통해 플라즈마가 담배나방의 성충과 번데기에 영향을 주는 것을 확인하였음.
- 번데기의 경우, 5분 이상 처리할 경우, 100% 치사하는 것을 확인함.
- 성충의 경우, 6분 이상 노출 시, 100% 치사하는 것을 확인함.
- 플라즈마 처리시, 살충력은 대상 곤충의 종과 각 령기에 따라 서로 다르며, 각 대상 해충에 따른 최적 조건 구축이 필요함.
- 플라즈마 처리시, 누적되는 열에 의한 영향을 최소화하기 위해 플라즈마 노즐에서 활성종 가스만 분리하여 처리를 시도하기로 함.

㊤ 왕담배나방 2~3령 유충의 플라즈마 살충 효과

- 왕담배나방에 대한 플라즈마의 최적 살충 조건을 설정하기 위한 예비 실험을 수행.

○ 연구방법 및 재료

[실험재료]

- 왕담배나방 (령기: 2~3령 애벌레)

[처리방법]

- 플라즈마 노즐로부터 거리 : 4, 13, 30cm
- 처리시간 : 10,15,45, 90초
- 사육케이지(4cm 지름 × 2cm 높이)에 대상 해충을 넣고 플라즈마 노즐로부터 거리와 처리시간에 따른 사충수를 조사함.

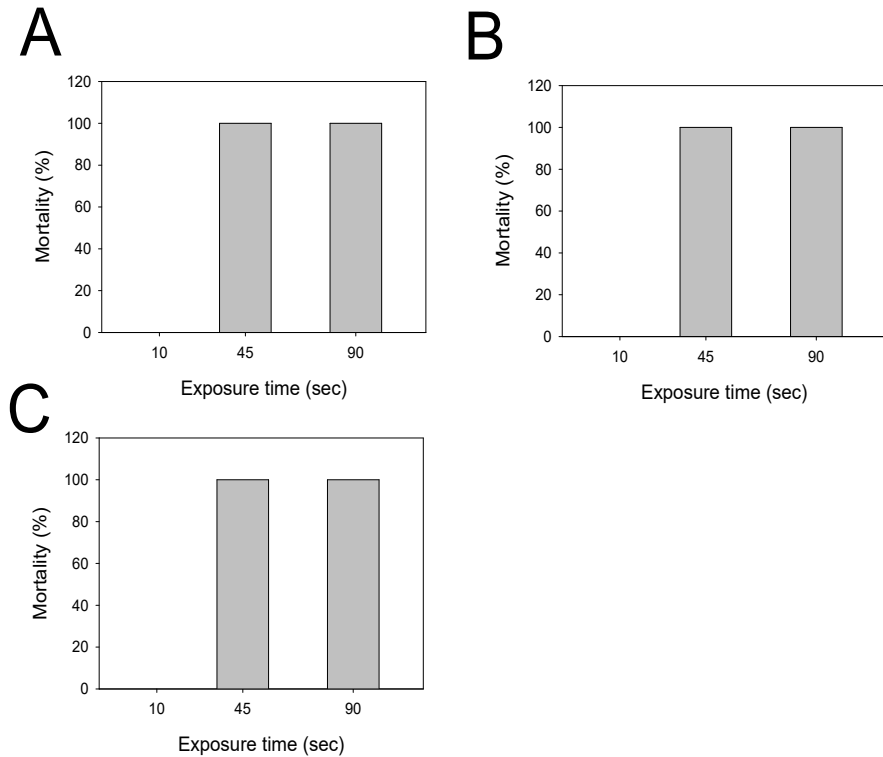


<그림2-32> 담배나방의 플라즈마 처리

○ 실험결과

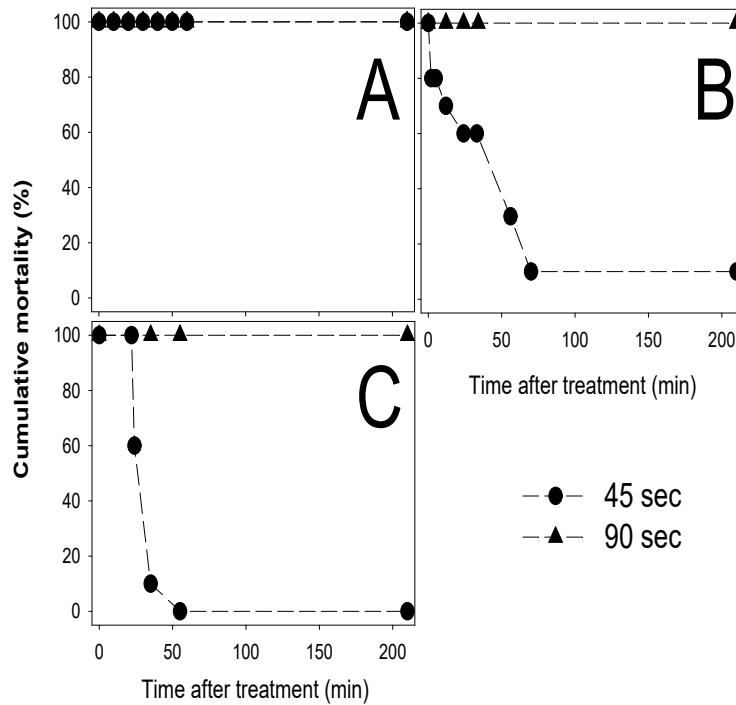
- 플라즈마 노즐로부터 거리에 따른 살충율 비교

- ㉠ 플라즈마 처리 조건(파워 1,000W, 압력 2.5 bar)에서 노즐로부터 거리별(4, 13, 30cm) 및 처리시간별(10, 45, 90초) 처리한 결과, 10초 처리를 제외하고, 45초와 90초에서 100% 사충율을 나타냈음.



<그림2-33> 플라즈마 노즐로부터 각각 4, 13, 30cm 거리에서 시간별 처리한 왕담배나방의 사충율 비교  
- 플라즈마 처리에 따른 왕담배나방의 회복율 비교

- ㉠ 플라즈마 처리 조건별 처리한 왕담배나방의 회복 속도를 측정한 결과, 노즐로부터 4cm 거리에서는 45초와 90초 처리에서 모두 회복되지 않았으며, 13cm 처리구에서는 45초 처리구에서 약 1시간 후 90% 이상 회복되었음.
- ㉡ 반면에 90초 처리구에서는 210분 안에 회복되지 않음을 확인하였고, 30cm처리구에서도 45초 처리구에서는 1시간 안에 100% 회복되었으나, 90초 처리구에서는 치사율 0%를 나타냄.



<그림2-34> 플라즈마 노즐로부터 처리거리 및 처리시간에 따른 왕담배나방의 회복을 비교

○ 고찰

- 꽃노랑총채벌레와 담배나방의 살충을 위해 플라즈마 처리 조건이 각각 다름을 확인함.
- 꽃노랑총채벌레는 3개의 모든 처리구에서 살충효과를 보인 반면, 담배나방은 45초 처리구에서 60분안에 회복을 보였고, 90초 처리구에서는 회복되지 않음.
- 왕담배나방은 4cm 처리구에서 10초 처리구를 제외하고 100% 살충율을 나타내었음.
- 좀더 정확한 살충효과에 대한 원인을 파악하기 위해 플라즈마 노즐을 격리하여 활성종 가스만 처리한 효과를 검정하기로 하였음.



(마) 플라즈마 처리 최적 공정 조건 구축

① 플라즈마 저장성 향상 최적 공정 조건

㉔ 플라즈마 처리 조건에 따른 파프리카 상태 검정

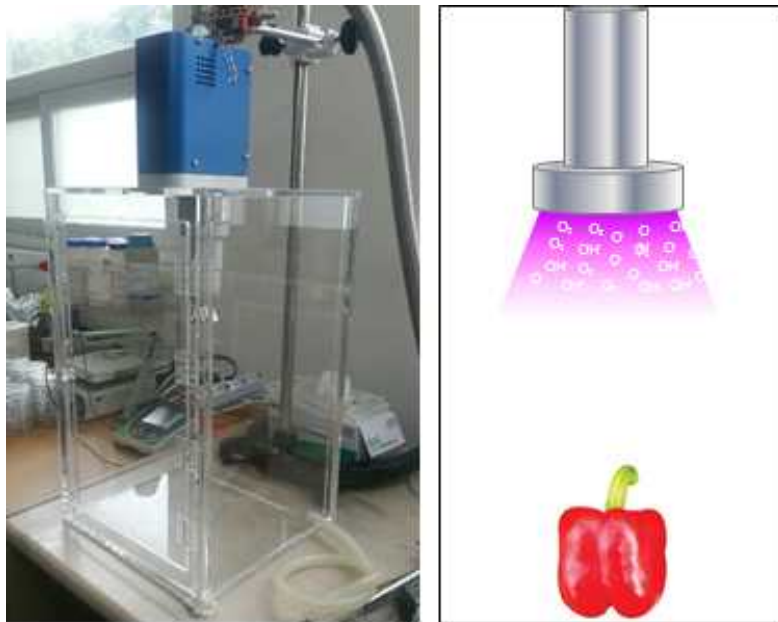
○ 연구방법 및 재료

[처리조건]

- 파워 : 500W / 1000W
- 기압 : 2.5bar
- 처리시간 : 30초, 60초, 120초
- 처리거리 : 플라즈마 노즐로부터 30cm

[처리방법]

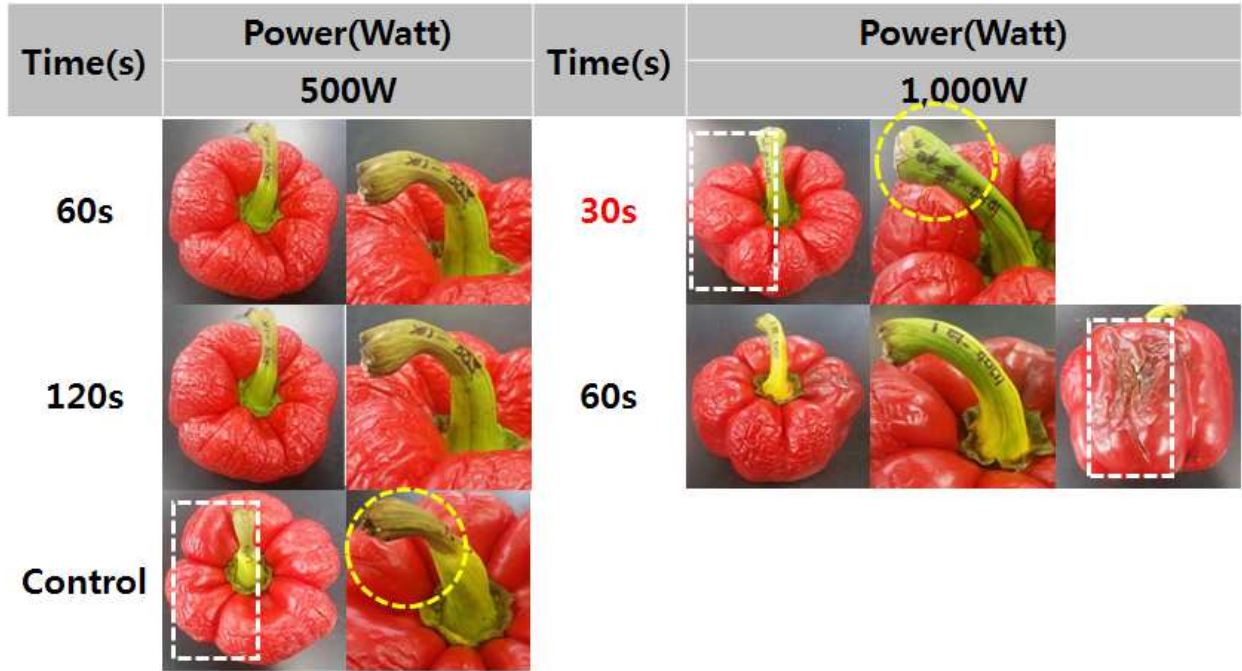
- 아크릴박스를 이용하여 파프리카를 아크릴박스 내부 바닥에 놓고 플라즈마 처리



<그림2-35> 플라즈마 시스템(왼쪽)과 파프리카에 처리되는 플라즈마에서 발생하는 활성종 가스 모식도(오른쪽)

○ 결과

- 대조군과 비교해보았을 경우, 플라즈마 파워 조건과는 상관없이 처리시간이 적을수록 파프리카의 손상도가 적었음.
- 같은 시간(60초)에서 파워차이를 비교하였을 때, 처리 파프리카의 손상도가 높았기 때문에 파워는 1,000W보다 500W에서 적절하다고 판단하였음.



<그림2-36> 파워 및 처리시간에 따른 플라즈마 처리 파프리카의 비교

㊤ 플라즈마 처리 조건에 따른 병원성 미생물 접종 파프리카 상태 검정

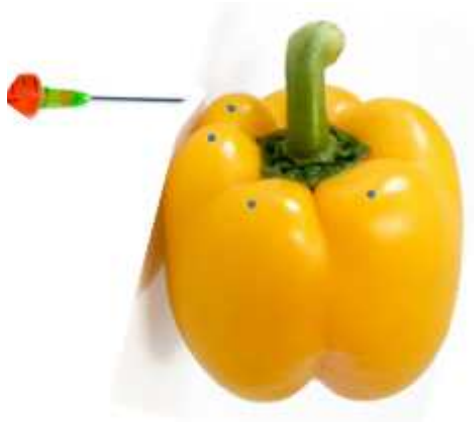
○ 연구방법 및 재료

[처리조건]

- 파워 : 500W / 1000W
- 기압 : 2.5bar
- 처리시간 : 30초, 60초
- 처리거리 : 플라즈마 노즐로부터 30cm

[처리방법]

- 노란색 파프리카에 검은곰팡이병을 일으키는 곰팡이(*Alternaria alternata*)를 주사기 바늘을 이용하여 파프리카 윗면에 접종
- 아크릴박스를 이용하여 파프리카를 아크릴박스 내부 바닥에 놓고 플라즈마 처리



<그림2-37> 곰팡이 접종 방법



<그림2-38> 플라즈마 처리 방법

○ 결과

- 플라즈마 처리 조건별 파프리카의 손상도를 비교하였을 때, 500W에서 30초 처리한 파프리카의 상태가 대조군과 비슷한 양상을 보임.
- 파프리카 꼭지의 손상도를 비교하였을 때, 500W에서 30초 처리한 파프리카의 상태가 대조군에 비해 훨씬 오랫동안 신선도를 유지하는 것을 확인하였음.

Time(s)	Power(Watt)				dpt
	500W		1,000W		
30s					7dpt
60s					
Control					
30s					12dpt
60s					
Control					
30s					19dpt
60s					
Control					

<그림2-39> 곰팡이를 접종한 파프리카에 조건별 플라즈마 처리한 살균 및 저장성 효과 비교

(바) 농산물 저직의 노화 유발 인자 노출 최소화를 위한 플라즈마 처리 병용 가능 패키징법 개발

① 농산물 유통 시, 외부 환경으로부터 발생하는 조직 노화 유발 인자의 노출 최소화를 위한 패키징법 개발

- 파프리카 시설재배지에서 수확하여 선과장으로 이동하는 운반과정에서 외부 환경(햇빛의 직사광선 및 간접적 열 등)으로부터 파프리카 손상을 최소화하기 위해 빛과 열의 차단이 가능한 필름 소재 선택 및 운반 차량에 손쉽게 패키징이 가능하도록 설계함.
- Roll-type으로 패키징 개폐가 용이하도록 설계하여 제작하였음.

② 패키징법 적용 농산물의 품질 변화 및 저장성 향상 검정

- 원물보호 패키징 필름의 햇빛(직사광선) 및 열 등의 외부 노화인자의 차단 기능 검정
- 패키징 적용으로 농산물 저장성 향상 검정

○ 연구방법 및 재료

[실험재료]

- 칠원지역 농가에서 생산한 파프리카를 산지에서 조은그린(주) 선과장으로 운반 파프리카(빨강색, 노랑색)를 사용

[처리방법]

- 원물보호 패키징 필름(PVC coating) 사용
- 원물보호 패키징 필름 처리 파프리카와 무처리 파프리카를 운반 시간(산지->선과장)을 고려하여 햇빛(직사광선)에 1시간 처리한 후, 각각 0, 3, 6일 간 선과장 저장고(저장고 온도: 10℃)에 저장후 관찰하였음 (3반복 실험).

○ 연구결과

- 처리구와 무처리구를 동시에 햇빛(직사광선)에 1시간 노출시킨 후, 저장고에 3일 저장 후에 관찰한 결과, 무처리 파프리카는 표면 노화가 진행되어 표면에 열화상에 의한 손상이 나타났음.
- 반면, 원물보호 패키징 필름 처리한 파프리카의 경우, 3일째에도 열화상에 의한 손상이 없었음.
- 처리 후, 6일째 관찰 결과, 원물보호 패키징 필름을 처리한 파프리카의 노화가 서서히 진행되고 있으나, 무처리 파프리카에 비해 경미한 수준이었음.
- 여름철 산지에서 선과장까지 운반하는데 햇빛에 노출된 파프리카 표면 노화현상을 원물보호 패키징 필름을 설치하여 최소화(3일 저장성 향상)할 수 있음을 확인하였고, 패키징 소재를 적용하여, 운반차량에 맞게 설계 및 제작하였음.





1시간 직사광선 노출후 저장 0일



1시간 직사광선 노출후 저장 0일



1시간 직사광선 노출후 저장 3일



1시간 직사광선 노출후 저장 3일



1시간 직사광선 노출후 저장 6일  
<원물보호 필름 무처리군>



1시간 직사광선 노출후 저장 6일  
<원물보호 필름 처리군>

<그림2-40> 원물보호 필름 무처리군(왼쪽)과 처리군(오른쪽)의 저장시간에 따른 노화 정도 비교

(사) 플라즈마(Lab scale) 처리 최적 공정 조건 구축

① 병원성 미생물 살균 제어 최적 공정 조건

- *In vitro*에서 병원성 곰팡이 3종 (*Alternaria alternata*, *Fusarium spp.*, *Botrytis cinerea*)과 병원성 세균 1종 (*Erwinia carotovora subsp*)에 대해 플라즈마 처리 효과를 검증하여 병원성 미생물 살균 제어 최적 조건은 플라즈마 파워 500W와 처리시간 90초 이상에서 모두 100% 살균효과를 확인하였음.

[표 2-3] 병원성 미생물 살균 제어 최적 공정 조건

대상	플라즈마 파워(W)	압력(bar)	처리시간(초)	처리 효과
<i>Alternaria alternata</i>	500	2.5	90 이상	<i>in vitro</i> 에서 100% 살균
<i>Fusarium spp.</i>	500	2.5	90 이상	<i>in vitro</i> 에서 100% 살균
<i>Botrytis cinerea</i>	500	2.5	90 이상	<i>in vitro</i> 에서 100% 살균
<i>Erwinia carotovora subsp.</i>	500	2.5	5 이상	<i>in vitro</i> 에서 100% 살균

② 검역대상 해충 살충 제어 최적 공정 조건

- 꽃노랑총채벌레를 대상으로 플라즈마 파워 1,000W, 압력 2.5bar 조건에서 플라즈마 노즐로부터 각각 4, 13, 30cm 떨어진 위치에서 각각 10초, 45초, 90초간 처리를 하고 사충율을 관찰한 결과, 30cm 떨어진 위치에서 10, 45, 90초 처리하였을 때 모두 100% 사충율을 보임.
- 담배나방의 번데기를 대상으로 플라즈마 파워 1,000W, 압력 2.5bar 조건에서 각각 0, 1, 5, 10분 처리 후, 1일과 7일 후에 우화율을 조사한 결과, 무처리군에서는 7일차에 80% 이상의 우화율을 비교하였을 때, 1분 처리구에서는 20%가 우화하였으며, 5분과 10분 처리구에서는 우화하지 않음.
- 담배나방의 성충을 대상으로 플라즈마 파워 1,000W, 압력 2.5bar 조건에서 각각 30초, 60초, 3분, 6분간 처리후, 800분 동안 회복율을 관찰한 결과, 30초와 60초 처리구에서는 5분 안에 100% 회복하는 것으로 나타났으며, 3분 처리구에서는 800분 안에 89%까지 서서히 회복하는 것을 확인하였고, 6분 처리구에서는 0%의 회복율을 나타냄.
- 왕담배나방의 2~3령기 애벌레를 대상으로 플라즈마 파워 1,000W, 압력 2.5bar 조건에서 각각 10초, 45초, 90초간 처리후, 210분 동안 회복율을 관찰한 결과, 45초 처리구에서는 1시간안에 100% 회복되었으나, 90초 처리구에서 치사율 0%을 나타냄.

[표 2-4] 파프리카의 검역대상 해충 살충 제어 최적 공정 조건

대상		플라즈마 파워(W)	압력(bar)	처리시간	처리 효과
꽃노랑 총채벌레	성충	1,000	2.5	10분 이상	<b>100% 사충</b>
담배나방	번데기	1,000	2.5	5분 이상	플라즈마 무처리군에서는 우화율이 7일차에 80% 이상이었으나 1분 처리시, <b>우화하지 않음</b>
	성충	1,000	2.5	6분 이상	플라즈마 처리후, 800분 동안의 회복율을 관찰한 결과, <b>100% 사충</b>
왕담배나방	2~3령기 애벌레	1,000	2.5	90초 이상	플라즈마 처리후, 210분 동안의 회복율을 관찰한 결과, <b>100% 사충</b>

### ③ 농산물 저장성 품질 유지를 위한 최적 공정 조건

- *In-vitro* 실험 결과를 토대로, 플라즈마 처리 파프리카의 처리시간에 따른 표면 손상도를 비교해보았을 때, 파워조건 500W와 처리시간 30초에서 표면에 손상없이 파프리카 꼭지의 신선도가 유지됨을 확인하였음.
- 따라서, 1차년도에 개발한 플라즈마 시스템 (Lab scale)의 파프리카의 저장성 향상을 위한 꼭지 신선도 유지 기간 향상을 보인 **최적 조건은 파워 500W, 압력 2.5bar, 처리시간 30~60초**이며, 이에 따른 **꼭지부분의 곰팡이 발생 지연이 7일 이상**임을 확인함.

[표 2-5] 파프리카 저장성 품질 유지를 위한 플라즈마 처리의 최적 공정 조건

대상	플라즈마 파워(W)	압력(bar)	처리시간(초)	처리 효과
병원성 곰팡이 ( <i>Alternaria alternata</i> )를 접종한 파프리카	500	2.5	30~60	파프리카 꼭지부분의 곰팡이 발생 지연 효과: 7일 이상

## (2) 현장 맞춤형 상용화를 위한 대용량 플라즈마 시스템 개발

### (가) 대용량 플라즈마 시스템 설계 (Pilot scale)

#### ① 설계도

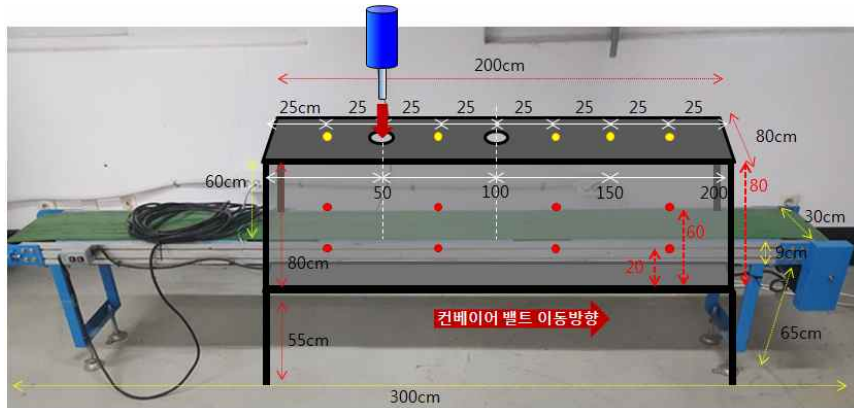
- 3차년도에 농업회사법인 조은그린(주)의 선과장에 최종 설치를 위해 조은그린(주) 선과장의 선과라인을 연장하여 플라즈마 시스템을 설치하기로 계획함에 따라, 2차년도에 조은그린(주)의 선과장에 플라즈마 시스템을 설치하기 전에 실제 사이즈의 테스트용 플라즈마 시스템을 실험실에 구축하여 최적 공정 조건을 구축하였음.



<그림2-41> 선과라인에 라인 추가 후 플라즈마 챔버 설치 위치 계획도



- 조은그린(주)의 기존 선과라인을 연장하여 상용화 플라즈마 시스템을 설치하기로 하였고, 설치할 위치를 고려하여 대용량 시스템의 플라즈마 챔버를 설계하였음.
- 테스트를 위해 각종 평가용 센서를 추가적으로 부착하기 위해 챔버 안쪽 벽면과 위쪽 벽면에 각각 구멍을 내었음.
- 실제 선과장의 같은 속도로 이동하는 컨베이어벨트를 조은그린(주)에서 제공받았고, 이를 활용하여 챔버를 설계함.



- 플라즈마 헤드 주입부 (2곳)
- 각종 평가용 센서 주입부 (5곳)
- 평가용 온도센서 위치 (8개)

<그림2-42> 대용량 플라즈마 시스템의 설계도

### (나) 대용량 플라즈마(Pilot scale) 시스템 구축

- 실제 선과장에 설치할 챔버와 같은 크기로 설계하여 주관기관 실험실에 구축을 완료하였음.
- 챔버 설정을 위해 챔버내 온도를 측정할 수 있는 센서를 부착하였음.
- 성능 평가 및 테스트용 대용량 플라즈마 시스템의 사양은 아래와 같음.

[표 2-6] 대용량 플라즈마 시스템 사양

시스템 사양		내역	비고
플라즈마 발생기	구동방식	고압전기를 이용한 플라즈마 생성	500~1,000W
	크기(cm)	356.8(W) × 533.8(D) × 186.4(H)	
	소비전력(kW)	1.2	
	공압사양 (bar)	입력 공기압	6 이상
사용 공기압		1~3	
대용량 챔버	특징	- 챔버의 양 측면이 오픈되어 있어, 파프리카 박스 통과가 가능함. - 챔버 내부 온도 측정 센서	추후 성능평가관련 센서 부착 예정
	재질	PC, 알루미늄	
	크기(m)	200(W) × 80(L) × 80(H)	
컨베이어 벨트	길이(cm)	300	
	이동 속도(sec/m)	5	조은그린(주) 선과장의 라인 속도와 같음



<그림2-43> 대용량 플라즈마 시스템 전체



<그림2-44> 대용량 플라즈마 시스템의 챔버 전경

(다) 대용량 플라즈마 시스템의 성능 평가

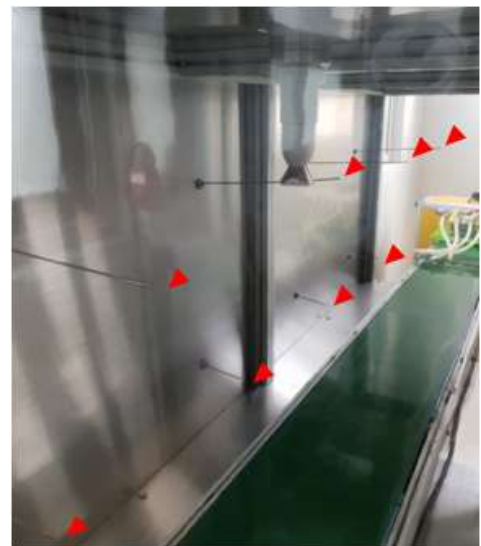
① 대용량 플라즈마 시스템의 챔버내 온도 측정

○ 연구방법 및 재료

- 대용량 플라즈마 시스템의 플라즈마 발생시 챔버내 온도를 측정하기 위해, 챔버 안쪽 벽면에 온도 센서를 위치별(A~H) 고정을 하고 챔버내 컨베이어벨트의 이동 속도를 고려하여 4분간 측정하였음.

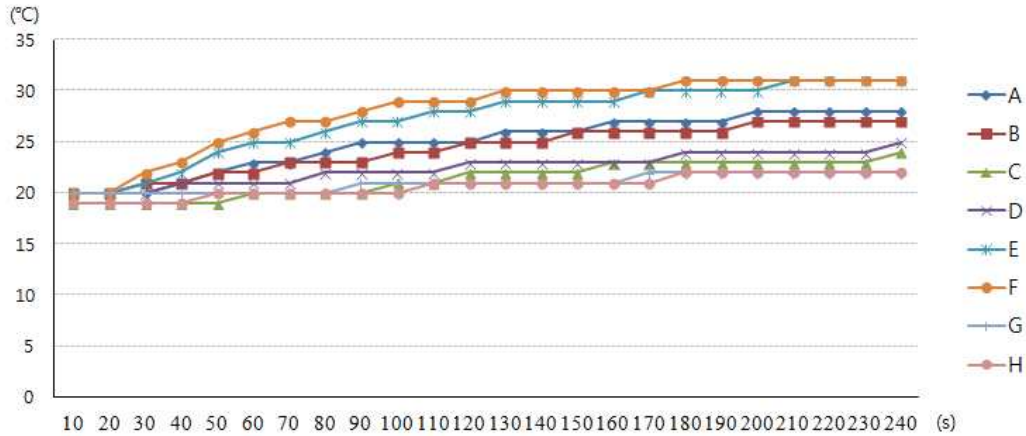


<그림2-45> 대용량 플라즈마 시스템의 챔버내 온도 측정 센서 위치(8곳, A~H) 및 온도 표시 박스



<그림2-46> 대용량 플라즈마 시스템의 챔버내 온도 측정 센서(빨간 화살표)

- 플라즈마 발생 4분까지의 온도 변화를 측정된 결과, 플라즈마 노즐에서 멀리 떨어져 있는 H 위치에서 측정 온도가 약 21℃로 상대적으로 낮았으며, 플라즈마 노즐이 가까이 있는 E와 F 위치에서 측정온도가 30℃ 이상 높게 측정되었음. 즉, 플라즈마 노즐로부터 거리가 가까운 순서대로 온도가 낮았음(F>E>A>B>D>C>H)을 확인하였음.
- 내부 순환시스템을 설치하여 온도를 순환시키기로 함.

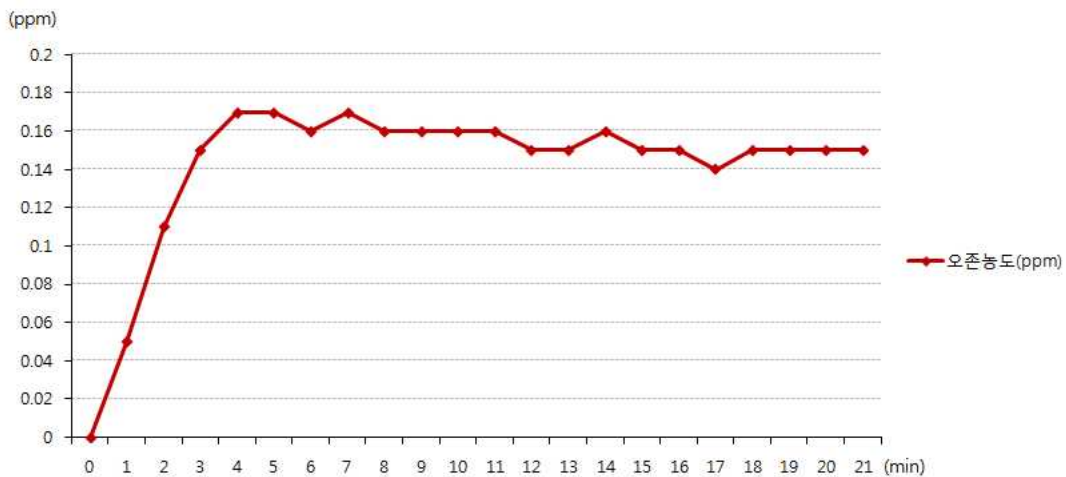


<그림2-47> 대용량 플라즈마 시스템의 챔버내 위치별 온도 측정값

## ② 플라즈마 시스템의 챔버내 활성종 측정

### ○ 연구방법 및 재료

- 플라즈마 방전시 생성되는 활성종(ROS, Reactive Oxygen Species)의 종류는 많으나 현재 이들을 정량적으로 검출할 수 있는 방법이 아주 제한적임. 따라서, 기존에 상용화되어 있는 오존측정기(106-M Ozone Monitor™, 2B Technologies, Inc.) 로 오존을 측정함으로써 전체 ROS의 발생량을 비교하였음.



<그림2-48> 상용화 플라즈마 발생시 생성하는 전체 활성종중 오존 측정량

(라) 대용량 플라즈마 시스템의 저장성 향상 테스트

① 플라즈마 처리 조건별 파프리카의 신선도 유지 테스트

○ 연구방법 및 재료

- 대용량 플라즈마 시스템의 성능 및 파프리카의 저장성 향상 최적 조건을 구축하기 위해 우선 소량(5개/1회 처리)의 파프리카를 적용하여 플라즈마를 플라즈마 챔버내 특정위치(G and J site)에서 처리시간별(10, 20, 30초) 처리하였음.
- 실제 파프리카 선과장에서 적용할 조건(air brush로 먼지 제거 후 바로 플라즈마 처리)으로 실험을 진행하였음.



<그림2-49> 대용량 플라즈마 시스템의 챔버내 플라즈마 처리 위치(G and J site)

- 챔버내 활성종의 균일한 순환을 위해, air 펌프를 챔버 말단에 설치하여 비교 실험을 진행하였음.
- 각각 G와 J 위치에서 처리시간에 따른 영향을 알아보기 위해 각 위치에서 파프리카를 정지시킨후 플라즈마를 처리하고 보관시 온도별(25℃, 18℃) 보관을 하여 3주간 관찰을 하였음.
- 여름철 파프리카의 손상이 심한 시기와(8월)과 가을철 문제가 크게 발생하지 않는 시기(9월 말)을 구분하여 비교하였음.

[표 2-7] 파프리카 저장성 향상을 위한 처리 테스트 조건 (5개 샘플/1회 처리)

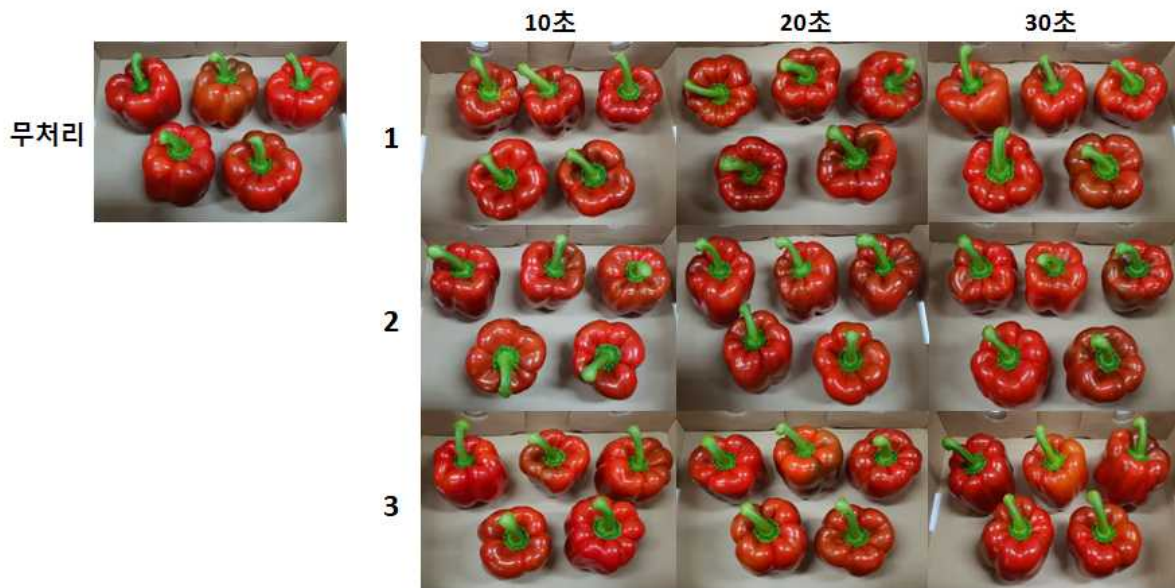
Sample No.	처리 위치	air pump ON/OFF 여부	처리조건/처리 시간(sec)			
			0	10	20	30
1	G	ON	5	1-10	1-20	1-30
2	G	OFF		2-10	2-20	2-30
3	J	ON		3-10	3-20	3-30



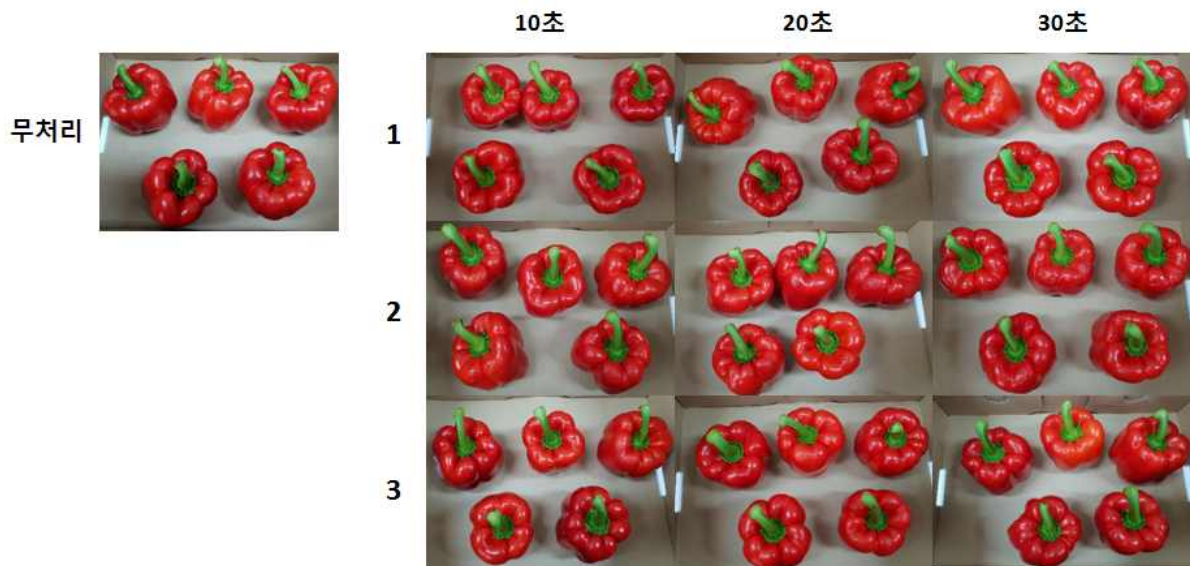
○ 결과

[여름철(8월, 고온다습), 실온(25℃)보관시 효과 검정]

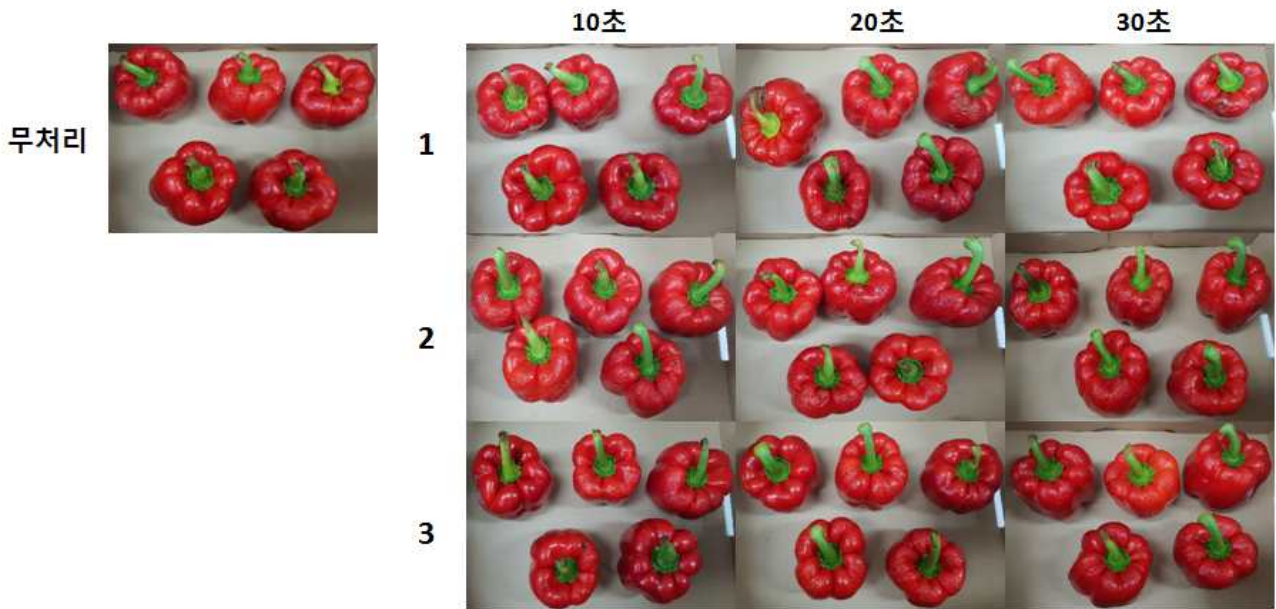
- 각각 G와 J 위치에서 처리시간에 따른 영향을 알아보기 위해 각 위치에서 파프리카를 정지시킨후 플라즈마를 처리하고 여름철(8월) 실내(25℃)에서 보관을 하여 21일간 관찰을 한 결과, 처리후 2주까지는 1-30과 3-20처리 조건에서 꼭지 시들음, 과실 시들음, 꼭지 곰팡이 발생 및 과실 무름/변색의 지연 효과가 우수하였으며, 21일까지 관찰한 결과, 3-20 처리 조건에서 4가지 상태를 모두 지연됨을 확인하였음.
- 또한, air pump를 적용하여 챔버 내부 순환을 통해 균일한 활성화중 처리 조건이 효과가 있음을 실험을 통해 확인하였음.



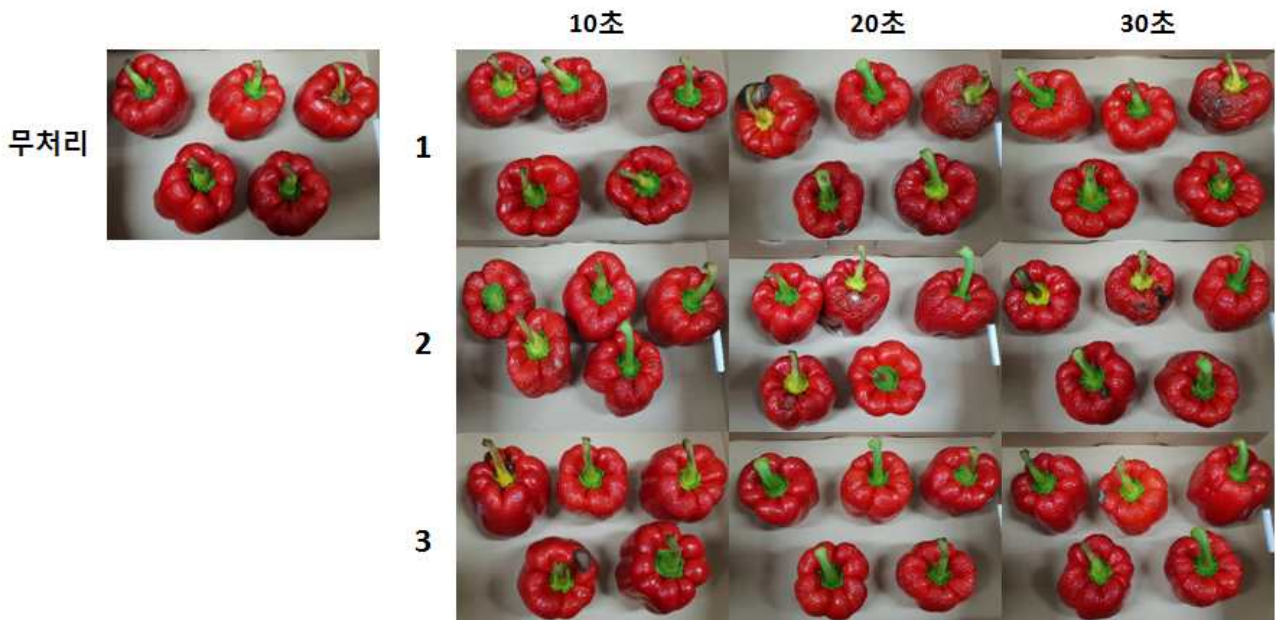
<그림2-50> 대용량 플라즈마 챔버 위치 및 시간 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 1일)



<그림2-51> 대용량 플라즈마 챔버 위치 및 시간 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 7일)



<그림2-52> 대용량 플라즈마 챔버 위치 및 시간 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 14일)



<그림2-53> 대용량 플라즈마 챔버 위치 및 시간 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 21일)

[표 2-8] 조건별 플라즈마 처리 파프리카의 상태 비교 (처리개수: 총 5개/1회 처리)

(플라즈마 처리후 7일차)

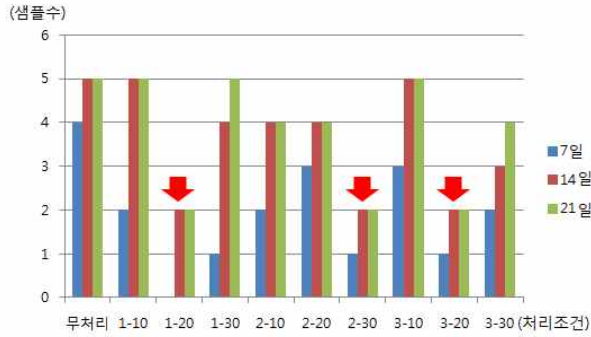
상태	무처리	1-10	1-20	1-30	2-10	2-20	2-30	3-10	3-20	3-30
꼭지마름	4	2	0	<u>1</u>	2	3	1	3	<u>1</u>	2
과실 실들음	3	4	4	<u>1</u>	3	4	4	3	<u>3</u>	4
꼭지 곰팡이 발생	5	5	1	<u>3</u>	4	4	1	4	<u>1</u>	3
과실 무름/변색	1	0	0	<u>0</u>	0	1	0	0	<u>0</u>	1

(플라즈마 처리후 14일차)

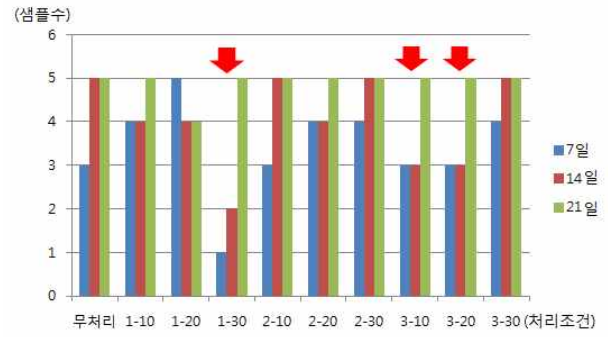
상태	무처리	1-10	1-20	1-30	2-10	2-20	2-30	3-10	3-20	3-30
꼭지마름	5	5	2	<u>4</u>	4	4	2	5	<u>2</u>	3
과실 실들음	5	4	4	<u>2</u>	5	4	5	3	<u>3</u>	5
꼭지 곰팡이 발생	5	5	2	<u>3</u>	4	4	0	5	<u>1</u>	3
과실 무름/변색	1	2	4	<u>0</u>	0	3	2	2	<u>0</u>	1

(플라즈마 처리후 21일차)

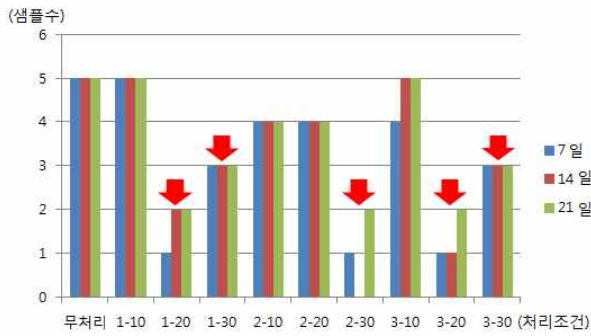
상태	무처리	1-10	1-20	1-30	2-10	2-20	2-30	3-10	3-20	3-30
꼭지마름	5	5	2	<u>5</u>	4	4	2	5	<u>2</u>	4
과실 실들음	5	5	4	<u>5</u>	5	5	5	5	<u>5</u>	5
꼭지 곰팡이 발생	5	5	2	<u>3</u>	4	4	2	5	<u>2</u>	3
과실 무름/변색	1	2	4	<u>0</u>	3	3	3	3	<u>0</u>	4



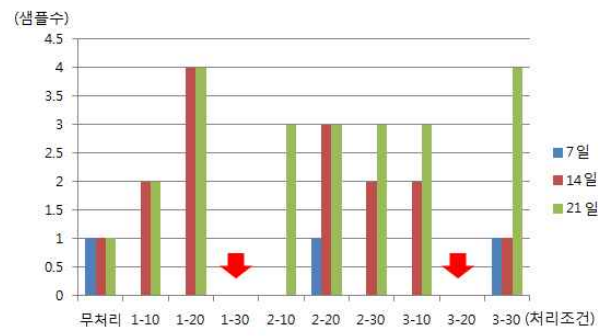
<플라즈마 처리후, 꼭지 시들음 비교>



<플라즈마 처리후, 과실 시들음 비교>



<플라즈마 처리후, 꼭지 곰팡이 발생 비교>



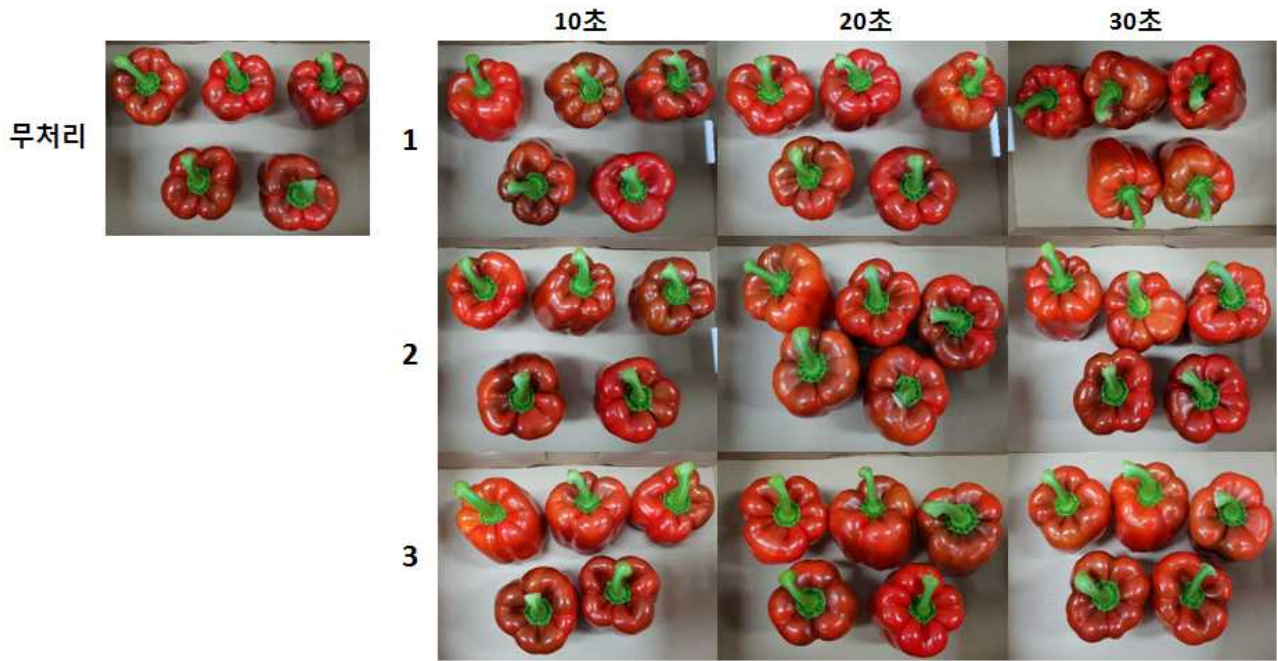
<플라즈마 처리후, 과실 무름/변색 비교>

<그림2-54> 플라즈마 처리후, 시간에 따른 파프리카 상태 비교 (고온다습기 처리, 저장온도: 25℃)

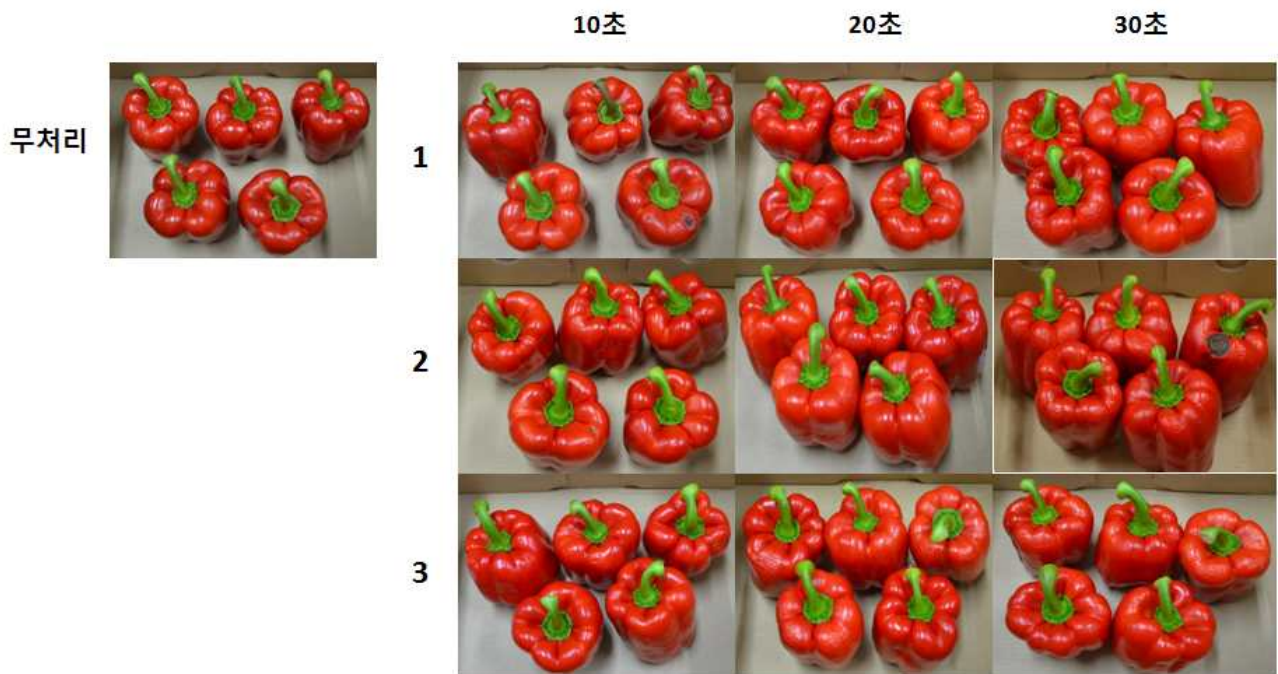
[여름철(8월, 고온다습), 18℃ 보관시 효과 검정]

- 각각 G와 J 위치에서 처리시간에 따른 영향을 알아보기 위해 각 위치에서 파프리카를 정지시킨후 플라즈마를 처리하고 여름철(8월) 실내(18℃)에서 보관을 하여 21일간 관찰을 한 결과, 처리후 1주동안에 과실 실들음은 2-20과 3-10처리 조건에서 효과가 우수하였으나, 2주째부터는 모든 샘플이 시들음을 보였음. 2주까지 꼭지에 곰팡이 발생 및 시들음 지연에 효과가 있는 조건은 1-20, 3-30처리 조건이며, 3주째에 1-20처리 조건에서 꼭지 시들음, 꼭지 곰팡이 발생, 과실 무름 및 변색에 지연효과를 보였음.
- 이 시기(8월 중순이후)에 생산되는 파프리카는 올해 고온의 날씨가 지속되어 상태가 좋지 못하였고, 이에 따라 모든 샘플에서 쉽게 시들음을 보였음.
- 따라서, 시들음 현상을 제외하고, 플라즈마 처리 효과를 비교하였을 때, 3주째까지 1-20처리 조건에서 꼭지 시들음, 꼭지 곰팡이 발생, 과실 무름 및 변색에 지연효과를 보였음.

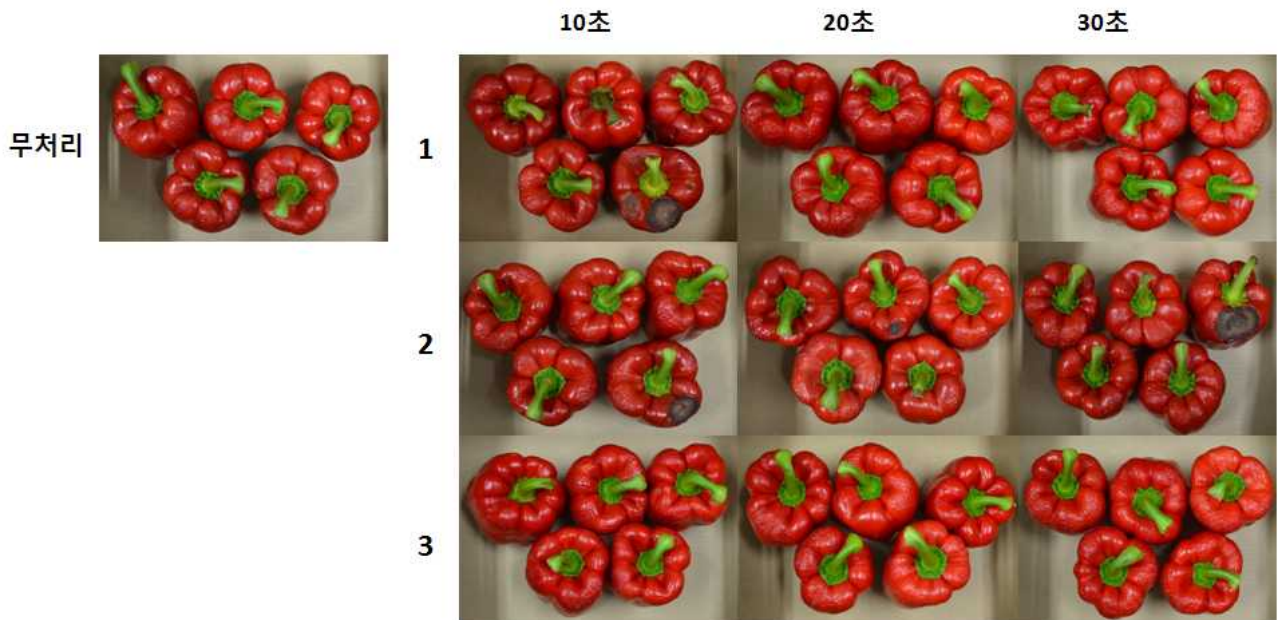




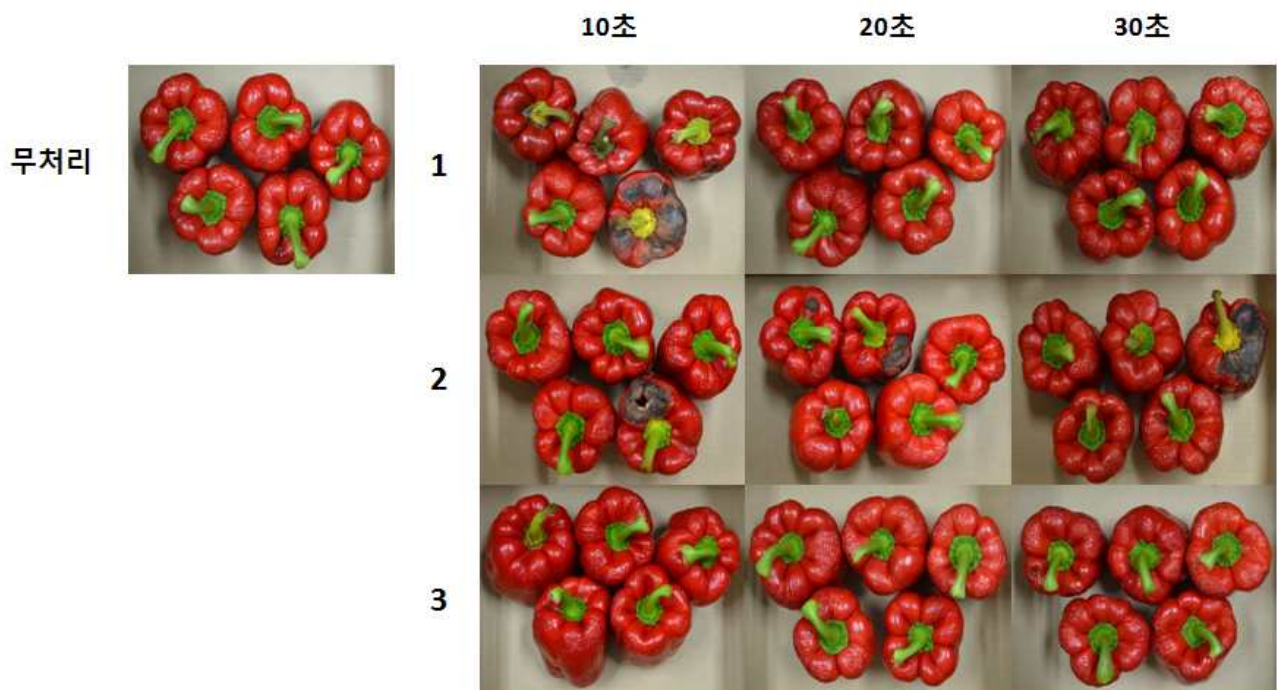
<그림2-55> 상용화 플라즈마 챔버 위치 및 시간 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 1일)



<그림2-56> 상용화 플라즈마 챔버 위치 및 시간 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 7일)



<그림2-57> 상용화 플라즈마 챔버 위치 및 시간 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 14일)



<그림2-58> 상용화 플라즈마 챔버 위치 및 시간 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 21일)

[표 2-9] 조건별 플라즈마 처리 파프리카의 상태 비교 (처리개수: 총 11개/1회 처리)

(플라즈마 처리후 7일차)

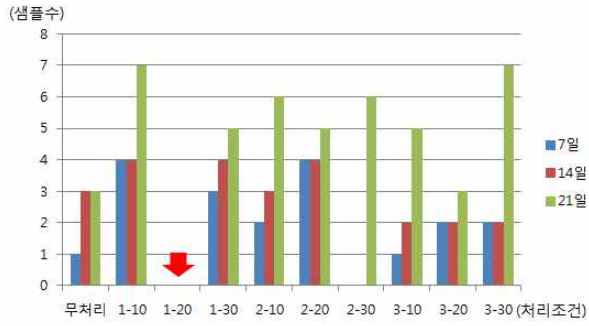
상태	무처리	1-10	1-20	1-30	2-10	2-20	2-30	3-10	3-20	3-30
꼭지마름	1	4	0	3	2	4	0	<u>1</u>	2	2
과실 실들음	3	3	4	4	3	1	3	<u>1</u>	3	3
꼭지 곰팡이 발생	1	1	0	1	2	2	2	<u>0</u>	1	0
과실 무름/변색	1	2	0	0	1	1	1	<u>1</u>	1	1

(플라즈마 처리후 14일차)

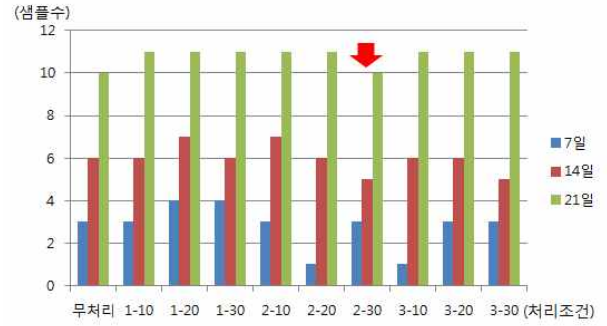
상태	무처리	1-10	1-20	1-30	2-10	2-20	2-30	3-10	3-20	3-30
꼭지마름	3	4	<u>0</u>	4	3	4	0	<u>2</u>	2	<u>2</u>
과실 실들음	6	6	<u>7</u>	6	7	6	5	<u>6</u>	6	<u>5</u>
꼭지 곰팡이 발생	1	1	<u>0</u>	2	2	2	3	<u>0</u>	1	<u>0</u>
과실 무름/변색	1	2	<u>0</u>	0	1	1	1	<u>1</u>	1	<u>1</u>

(플라즈마 처리후 21일차)

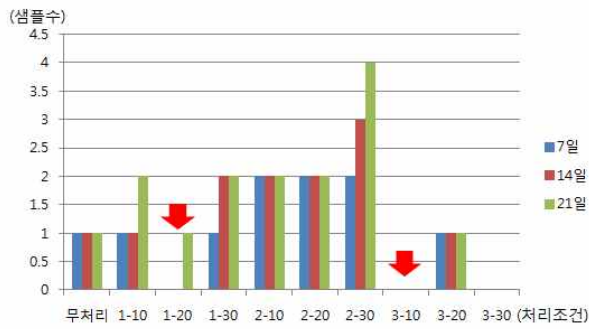
상태	무처리	1-10	1-20	1-30	2-10	2-20	2-30	3-10	3-20	3-30
꼭지마름	3	7	<u>0</u>	5	6	5	6	5	3	7
과실 실들음	10	11	<u>11</u>	11	11	11	10	11	11	11
꼭지 곰팡이 발생	1	2	<u>1</u>	2	2	2	4	0	1	0
과실 무름/변색	1	4	<u>0</u>	0	1	2	2	1	1	2



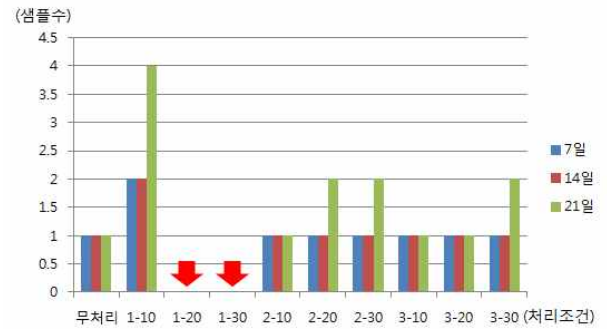
<플라즈마 처리후, 꼭지 시들음 비교>



<플라즈마 처리후, 과실 시들음 비교>



<플라즈마 처리후, 꼭지 곰팡이 발생 비교>



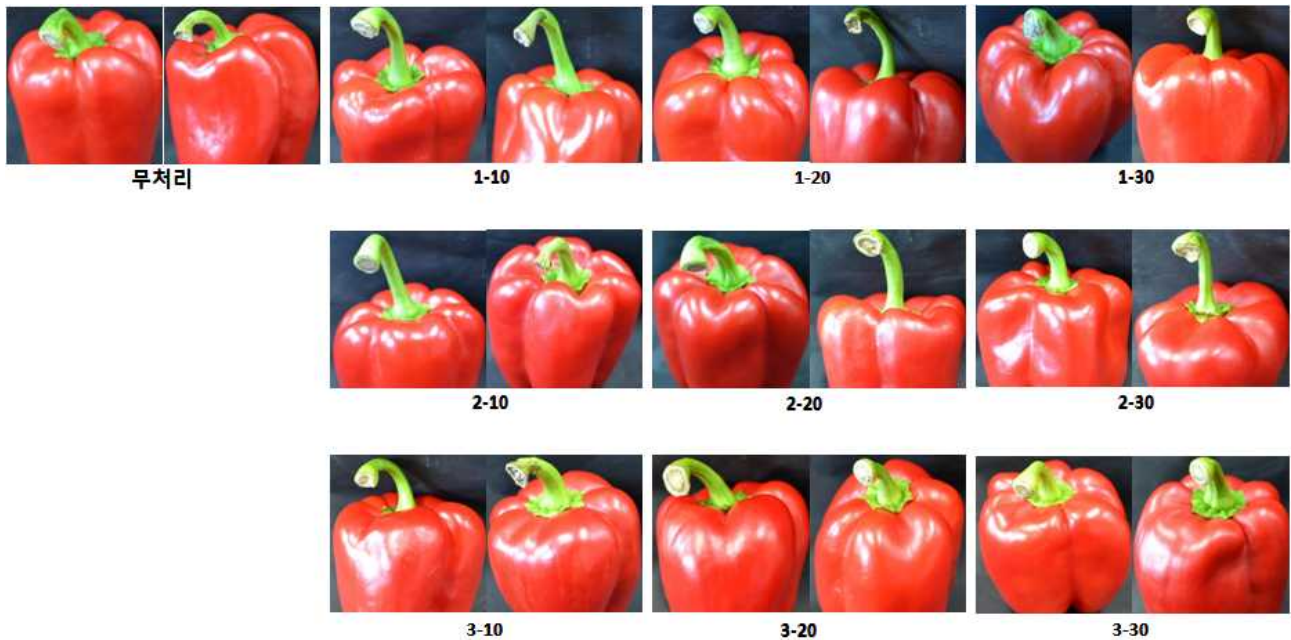
<플라즈마 처리후, 과실 무름/변색 비교>

<그림2-59> 플라즈마 처리후, 시간에 따른 파프리카 상태 비교 (고온다습기 처리, 저장온도: 18℃)



[가을철(9월말, 저온건조), 18℃ 보관시 효과 검정]

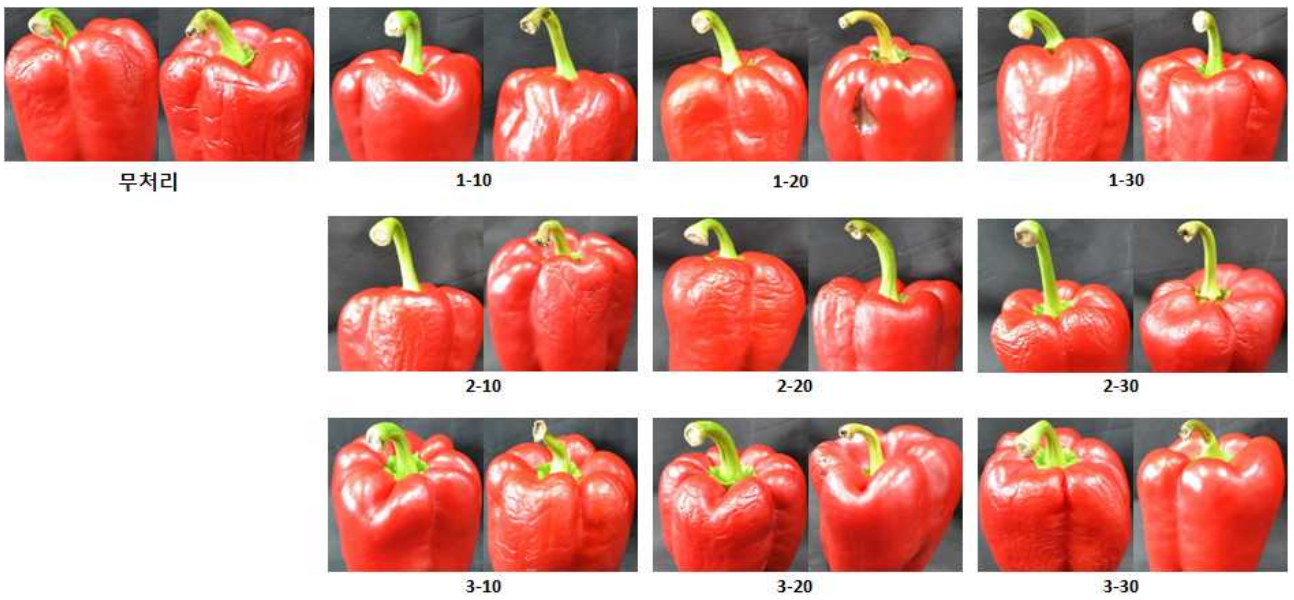
- 각각 G와 J 위치에서 처리시간에 따른 영향을 알아보기 위해 각 위치에서 파프리카를 정지시킨후 플라즈마를 처리하고 초가을(9월말) 실내(18℃)에서 보관을 하여 21일간 관찰을 한 결과, 날씨가 서늘하고 건조한 조건이 되어 더 이상 곰팡이가 발생하지는 않음.
- 플라즈마 처리후, 상태를 무처리와 비교한 결과, 효과의 차이가 없었음.
- 이미 기후 조건이 저장하기에 양호한 조건으로 고온다습한 조건에서 플라즈마 처리 효과가 있음을 확인하였음.
- 따라서, 고온다습하여 저장병이 많이 발생하는 기간에 플라즈마 처리는 저장성 향상에 효과가 있음을 확인할 수 있었고, 지속적인 조건 구축 테스트를 진행하여 최적 조건을 구축하기로 함.



<그림2-60> 플라즈마 챔버 위치 및 시간 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 7일)



<그림2-61> 플라즈마 챔버 위치 및 시간 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 14일)>



<그림2-62> 플라즈마 챔버 위치 및 시간 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 21일)

[표 2-10] 조건별 플라즈마 처리 파프리카의 상태 비교 (처리개수: 총 7개/1회 처리)

(플라즈마 처리후 7일차)

상태	무처리	1-10	1-20	1-30	2-10	2-20	2-30	3-10	3-20	3-30
꼭지마름	0	2	1	0	1	0	0	1	0	0
과실 실들음	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
꼭지 곰팡이 발생	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
과실 무름/변색	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

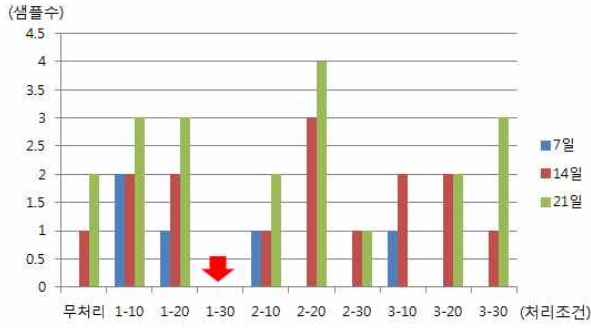
(플라즈마 처리후 14일차)

상태	무처리	1-10	1-20	1-30	2-10	2-20	2-30	3-10	3-20	3-30
꼭지마름	1	2	2	0	1	3	1	2	2	1
과실 실들음	1	2	0	2	2	1	1	2	2	4
꼭지 곰팡이 발생	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
과실 무름/변색	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

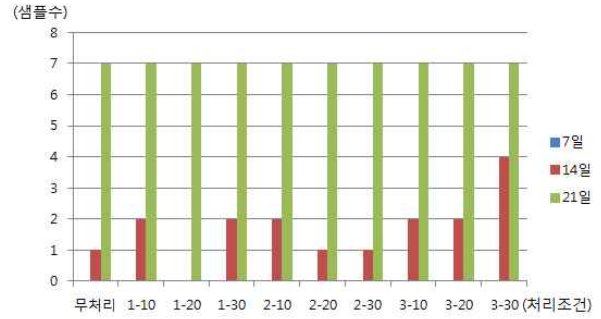
(플라즈마 처리후 21일차)

상태	무처리	1-10	1-20	1-30	2-10	2-20	2-30	3-10	3-20	3-30
꼭지마름	2	3	3	0	2	4	1	0	2	3
과실 실들음	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
꼭지 곰팡이 발생	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
과실 무름/변색	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

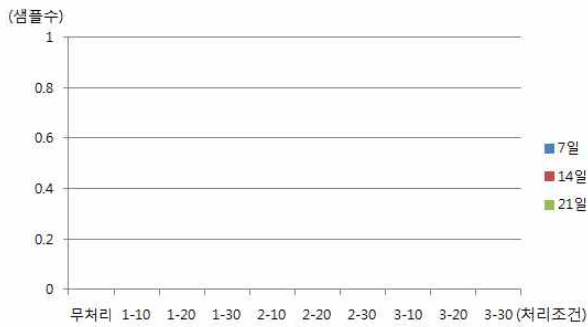




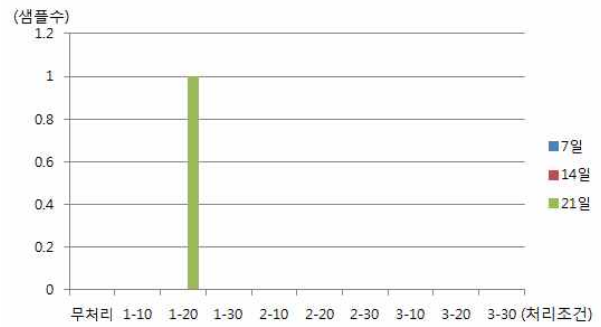
<플라즈마 처리후, 꼭지 시들음 비교>



<플라즈마 처리후, 과실 시들음 비교>



<플라즈마 처리후, 꼭지 곰팡이 발생 비교>



<플라즈마 처리후, 과실 무름/변색 비교>

<그림2-63> 플라즈마 처리후, 시간에 따른 파프리카 상태 비교 (저온건조기 처리, 저장온도: 18℃)

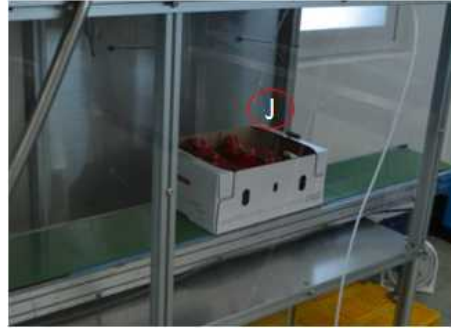
○ 고찰

- 본 실험에서 처리시 주변온도 및 활성종 농도가 결과에 미치는 영향이 큼을 확인하였음. 따라서, 선과장내부의 온도를 일정하게 유지하기로 하고, 활성종 농도를 정확하게 유지하기 위해 플라즈마 자동 On/Off 시스템을 추가하여 실험을 진행하기로 함.

② 플라즈마 처리 조건별 파프리카의 신선도 유지 테스트 -II

○ 연구방법 및 재료

- 대용량 플라즈마 시스템의 성능 및 파프리카의 저장성 향상 최적 조건을 구축하기 위해 박스포장(32개/박스)된 파프리카를 적용하여 플라즈마를 플라즈마 챔버내 특정위치(site)에서 처리시간별(10, 20, 30초) 처리하였음.
- 실제 파프리카 선과장에서 적용할 조건(air brush로 먼지 제거 후 바로 플라즈마 처리)으로 실험을 진행하였음.



<그림2-64> 대용량 플라즈마 시스템의 챔버내 플라즈마 처리 위치(J site)

- 챔버내 활성화종의 균일한 순환을 위해, air 펌프를 챔버 말단에 설치하여 비교 실험을 진행하였음.
- 설정한 활성화종의 농도를 일정하게 유지하기 위해 플라즈마 on/off 시스템을 추가하여 아래와 같은 조건에서 실험을 진행함.
- 처리후 각각 14주, 28주간 관찰 및 분석을 진행함.

[표 2-11] 파프리카 저장성 향상을 위한 처리 테스트 조건 (빨간색 파프리카, 32개/박스, 3반복)

Sample No.	처리 농도(ppm)	처리조건/처리 시간(sec)			
		0	10	20	30
1	0.02	무처리	1-10	1-20	-
2	0.05		-	-	2-30

○ 결과

- 대용량 플라즈마 시스템에 플라즈마 on/off 시스템을 추가하여, 활성화종 농도를 일정하게 조절이 되도록 시스템을 개선하고, 특정 처리조건에서 플라즈마를 처리하였음.
- 활성화종 처리 농도는 각 0.02ppm과 0.05ppm으로 설정하였고, 처리시간은 10~30초로 설정하여 실험을 진행하되 선행실험의 결과를 토대로 하여 처리조건을 선별하여 진행하였음.
- 실험 결과, 32개씩 들어있는 파프리카를 바스채 챔버내에서 처리한 결과, 0.05ppm을 처리한 것 보다 적은 농도인 0.02ppm에서 파프리카의 저장성 상태가 유지됨을 확인하였음.
- 선과장의 설치 위치 및 컨베이어벨트 연장 길이를 고려하여 처리 시간을 10초로 설정하기로 하였음.



<무처리>



<1-10>



<1-20>



<2-30>

<그림2-65> 대용량 플라즈마 챔버 위치 및 시간 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 14일)



<무처리>



<1-10>



<1-20>



<2-30>

<그림2-66> 대용량 플라즈마 챔버 위치 및 시간 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 28일)

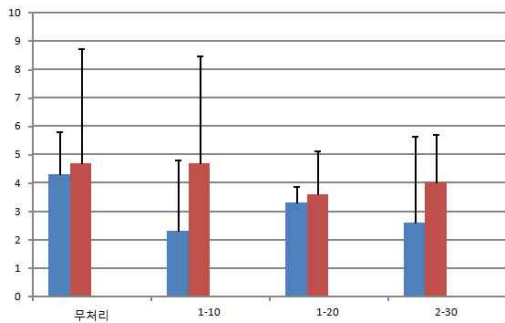
[표 2-12] 조건별 플라즈마 처리 파프리카의 상태 비교 (처리개수: 총 32개/3회 처리, 3반복 평균)

(플라즈마 처리후 14일차)

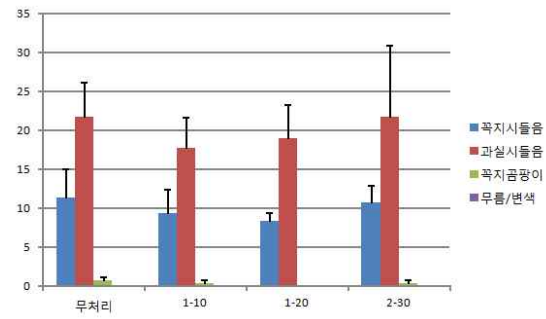
상태	무처리	1-10	1-20	2-30
꼭지마름	4.3±1.5	2.3±2.5	3.3±0.5	2.6±3.1
과실 실들음	4.7±4.0	4.7±3.8	3.6±1.5	4.0±1.7
꼭지 곰팡이 발생	0	0	0	0
과실 무름/변색	0	0	0	0

(플라즈마 처리후 28일차)

상태	무처리	1-10	1-20	1-30
꼭지마름	11.3±3.8	9.3±3.2	8.3±1.2	10.7±2.3
과실 실들음	21.7±4.5	17.7±4.0	19.0±4.4	21.7±9.3
꼭지 곰팡이 발생	0.7±0.5	0.3±0.6	0.0±0.0	0.3±0.6
과실 무름/변색	0	0	0	0



<플라즈마 처리후, 14일>



<플라즈마 처리후, 28일>

<그림2-67> 플라즈마 처리후, 시간에 따른 파프리카 상태 비교

(마) 대용량 플라즈마 시스템 적용 조건별 플라즈마 처리에 따른 병원성 미생물 제어 최적 효과 검증

① 파프리카에 접종한 *Erwinia carotovora* subsp. 살균 효과 평가

○ 연구방법 및 재료

[실험재료]

- 본 실험에서는 농촌진흥청 농업미생물은행(Wanju, Korea)으로부터 분양받은 무름병 세균 (*Erwinia caratovora* subsp., *E. caratovora*, KACC 105273)을 파프리카에 접종하여 상용화 컨베이어 플라즈마 시스템으로 처리한 후 살균효과를 확인하였으며, 세균 배양에는 LB(Luria-Bertani, BD company, USA) 배지를 사용하였음.



[파프리카 준비]

- (주)조은그린에서 제공받은 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연건조하여 준비하였음.

[세균 시료 준비]

- 세균은 LB broth에 접종하여 30°C shaking incubator에서 18시간 동안 진탕배양한 후 spectrophotometer(Biochrom, UK)를 이용하여 세균현탁액 농도를 6.0 log CFU/ml로 맞추어 사용하였음.

[세균의 파프리카 접종]

- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 세균현탁액 10 µl 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 상용화 컨베이어 플라즈마 처리하였음.

[플라즈마 처리]

- 처리조건은 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간(0-10 sec.)에 따라 수행하였음.



<그림2-68> 대용량 플라즈마 시스템

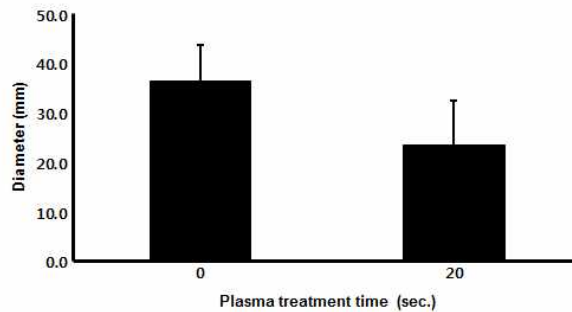
○ 연구결과 및 고찰

- 살균한 파프리카에 세균현탁액을 접종하고 대용량 플라즈마 처리 후 냉장(5±2°C) 및 실온(22±3°C) 조건에서 최대 14일간 저장했을 때 나타난 사멸효과를 처리시간에 따른 무름병 병징으로써 <그림2-69> 및 <그림2-70>에 나타내었음.



<그림2-69> 대용량 플라즈마 처리시간에 따른 파프리카 접종 *Erwinia carotovora subsp.*의 사멸효과(냉장 저장)

- <그림2-69>과 같이 무름병 세균을 접종한 후 실제 수출용 파프리카와 동일한 조건(냉장, 14일)으로 저장했을 때, 대용량 플라즈마 처리 여부와 관계없이 파프리카의 무름병 병징은 나타나지 않았음.



<그림2-70> 대용량 플라즈마 처리시간에 따른 파프리카 접종 *Erwinia carotovora subsp.*의 사멸효과(실온 저장)

- 그러나, 같은 조건으로 무름병 세균 접종하고 대용량 플라즈마 처리 후 실온에 저장한 경우, 무처리군에 비해 플라즈마 처리 시 세균의 병징 크기가 감소하였음(그림 2-70). 플라즈마 처리군에서 약 40%의 무름병 세균 억제 효과가 나타난 바, 1절의 대기압 플라즈마 시스템과 유사한 결과를 도출하였음. 즉, 파워 500 W, 압력 2.5 bar의 조건으로 20초간 플라즈마 처리 시 생성된 오존 등 활성종이 무름병 세균의 증식을 억제한 것으로 사료됨.

## ② 파프리카에 접종한 *Botrytis cinerea* 살균 효과 평가

### ○ 연구방법 및 재료

#### [실험재료]

- 본 실험에서는 농촌진흥청 농업미생물은행(Wanju, Korea)으로부터 분양받은 잿빛 곰팡이 병을 유발하는 *Botrytis cinerea*(*B. cinerea*, KACC 40573)을 파프리카에 접종하여 대용량 플라즈마 시스템으로 처리한 후 살균효과를 확인하였으며, 곰팡이 배양 배지는 PDA(Potato Dextrose Agar, BD company, USA)를 사용하였음.

[파프리카 준비]

- (주)조은그린에서 제공받은 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연건조하여 준비하였음.

[곰팡이 포자 현탁액 준비]

- 0.1% Tween 80(AMRESCO, USA) 3-5 ml을 곰팡이가 충분히 자란 petri dish에 넣고 cell scraper를 이용하여 긁어모은 포자 현탁액을 멸균거즈로 걸러 conical tube에 모았으며, 포자 현탁액 농도는 hemocytometer로 측정하여 7.0 log CFU/ml로 사용하였음.

[곰팡이 포자의 파프리카 접종]

- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 곰팡이 포자 현탁액 10  $\mu$ l 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 대기압 플라즈마 처리하였음.

[플라즈마 처리]

- 처리조건은 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간(0-10 sec.)에 따라 수행하였음.

○ 연구결과 및 고찰

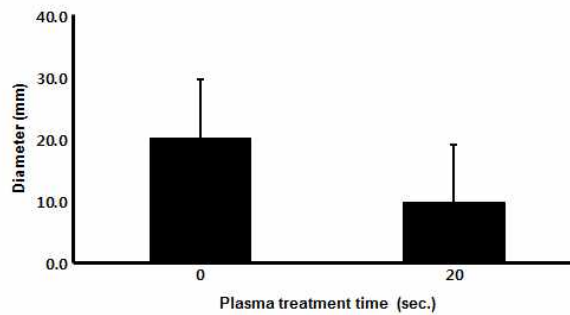
- 살균한 파프리카에 곰팡이 포자 현탁액을 접종하고 대용량 플라즈마 처리 후 냉장( $5 \pm 2^\circ\text{C}$ ) 및 실온( $22 \pm 3^\circ\text{C}$ ) 조건에서 최대 14일간 저장했을 때 나타난 사멸효과를 처리시간에 따른 잿빛 곰팡이병 병징으로써 <그림2-71> 및 <그림2-72>에 나타내었음.



<그림2-71> 대용량 플라즈마 처리시간에 따른 파프리카 접종 *Botrytis cinerea*의 사멸효과(냉장 저장)

- 곰팡이 포자 현탁액을 접종한 후 실제 수출용 파프리카와 동일한 조건(냉장, 14일)으로 저장했을 때, 파프리카의 잿빛 곰팡이병 병징은 대용량 플라즈마 처리시간과 관계없이 나타나지 않았음(그림2-71).





<그림2-72> 대용량 플라즈마 처리시간에 따른 파프리카 접종 *Botrytis cinerea*의 사멸효과(실온 저장)

- 그러나, 같은 조건으로 *B. cinerea*를 접종하고 대용량 플라즈마 처리 후 실온에 저장한 경우, 무처리군에 비해 플라즈마 처리 시 잿빛 곰팡이병 병징 크기가 감소하였음(그림2-72). 플라즈마 처리군에서 약 50%의 잿빛 곰팡이병 억제 효과가 나타난 바, lab scale 플라즈마 시스템과 유사한 결과를 도출하였음. 즉, 파워 500 W, 압력 2.5 bar의 조건으로 20초간 대용량 플라즈마 처리 시 생성된 오존 등 활성종이 잿빛 곰팡이병 균의 증식을 억제한 것으로 사료됨.

### ③ 파프리카에 접종한 *Fusarium spp* 살균 효과 평가

#### ○ 연구방법 및 재료

##### [실험재료]

- 본 실험에서는 농촌진흥청 농업미생물은행(Wanju, Korea)으로부터 분양받은 시들음병을 유발하는 *Fusarium spp*(KACC 40240)을 파프리카에 접종하여 대용량 플라즈마 시스템으로 처리한 후 살균효과를 확인하였고, 곰팡이 배양 배지는 PDA(Potato Dextrose Agar, BD company, USA)를 사용하였음.

[파프리카 준비]

- (주)조은그린에서 제공받은 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연건조하여 준비하였음.

[곰팡이 포자 현탁액 준비]

- 0.1% Tween 80(AMRESCO, USA) 3-5 ml을 곰팡이가 충분히 자란 petri dish에 넣고 cell scraper를 이용하여 긁어모은 포자 현탁액을 멸균거즈로 걸러 conical tube에 모았으며, 포자 현탁액 농도는 hemocytometer로 측정하여 7.0 log CFU/ml로 사용하였음.

[곰팡이 포자의 파프리카 접종]

- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 곰팡이 포자 현탁액 10 µl 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 대기압 플라즈마 처리하였음.

[플라즈마 처리]

- 처리조건은 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간(0-10 sec.)에 따라 수행하였음.

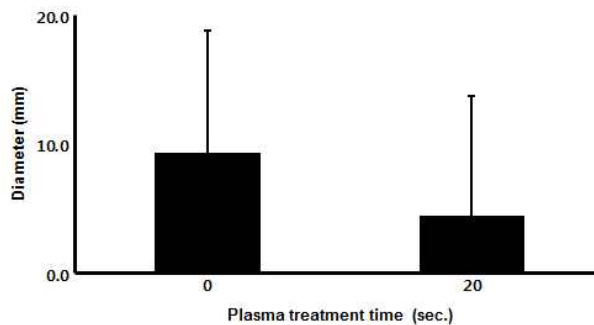
○ 연구결과 및 고찰

- 살균한 파프리카에 곰팡이 포자 현탁액을 접종하고 대용량 플라즈마 처리 후 냉장(5±2℃) 및 실온(22±3℃) 조건에서 최대 14일간 저장했을 때 나타난 사멸효과를 처리시간에 따른 시들음병 병징으로써 <그림2-73> 및 <그림2-74>에 나타내었음.



<그림2-73> 대용량 플라즈마 처리시간에 따른 파프리카 접종 *Fusarium spp.*의 사멸효과(냉장 저장)

- <그림2-73>와 같이 곰팡이 포자 현탁액을 접종한 후 실제 수출용 파프리카와 동일한 조건(냉장, 14일)으로 저장했을 때, 대용량 플라즈마 처리시간과 관계없이 파프리카의 시들음병 병징은 나타나지 않았음.



<그림2-74> 대용량 플라즈마 처리시간에 따른 파프리카 접종 *Fusarium spp.*의 사멸효과(실온 저장)

- 그러나, 같은 조건으로 *Fusarium spp.*를 접종하고 대용량 플라즈마 처리 후 실온에 저장한 경우, 무처리군에 비해 플라즈마 처리 시 시들음병의 병징 크기가 감소하였음(그림 2-74). 플라즈마 처리군에서 약 50%의 시들음병 억제 효과가 나타난 바, lab scale 플라즈마 시스템과 유사한 결과를 도출하였음. 즉, 전력 500 W, 기압 2.5 bar의 조건으로 20초간 대용량 플라즈마 처리 시 생성된 오존 등 활성종이 *Fusarium spp.*의 증식을 억제한 것으로 사료됨.

#### ④ 파프리카에 접종한 *Alternaria alternata* 살균 효과 평가

##### ○ 연구방법 및 재료

##### [실험재료]

- 본 실험에서는 (주)조은그린의 수출용 파프리카에서 순수 분리한 검은 곰팡이 *Alternaria alternata*(*A. alternata*)를 대상으로 하여 파프리카에 접종하여 대용량 플라즈마 시스템으로 처리한 후 살균효과를 확인하였고, 곰팡이 배양 배지는 PDA(Potato Dextrose Agar, BD company, USA)를 사용하였음.

[파프리카 준비]

- (주)조은그린에서 제공받은 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연건조하여 준비하였음.

[곰팡이 포자 현탁액 준비]

- 0.1% Tween 80(AMRESCO, USA) 3-5 ml을 곰팡이가 충분히 자란 petri dish에 넣고 cell scraper를 이용하여 긁어모은 포자 현탁액을 멸균거즈로 걸러 conical tube에 모았으며, 포자 현탁액 농도는 hemocytometer로 측정하여 7.0 log CFU/ml로 사용하였음.

[곰팡이 포자의 파프리카 접종]

- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 곰팡이 포자 현탁액 10 µl 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 플라즈마 처리하였음.

[플라즈마 처리]

- 처리조건은 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간(0-10 sec.)에 따라 수행하였음.

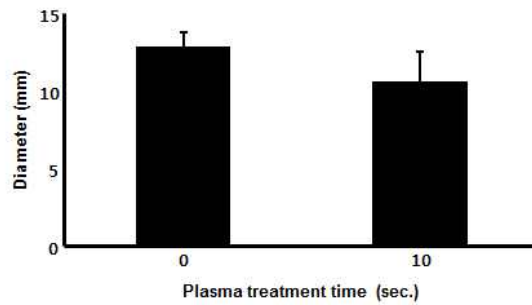
○ 연구결과 및 고찰

- 살균한 파프리카에 곰팡이 포자 현탁액을 접종하고 대용량 플라즈마 처리 후 냉장(5±2℃) 및 실온(22±3℃) 조건에서 최대 14일간 저장했을 때 나타난 사멸효과를 처리시간에 따른 검은 곰팡이병 병징으로써 <그림2-75> 및 <그림2-76>에 나타내었음.



<그림2-75> 대용량 플라즈마 처리시간에 따른 파프리카 접종 *A. alternata*의 사멸효과(냉장 저장)

- 곰팡이 포자 현탁액을 접종한 후 실제 수출용 파프리카와 동일한 조건(냉장, 14일)으로 저장했을 때, 파프리카의 검은 곰팡이병 병징은 상용화 플라즈마 처리시간과 관계없이 나타나지 않았음(그림2-75).



<그림2-76> 대용량 플라즈마 처리시간에 따른 파프리카 접종 *A. alternata*의 사멸효과(실온 저장)

- 그러나, 같은 조건으로 *A. alternata*를 접종하고 대용량 플라즈마 처리 후 실온에 저장한 경우, 무처리군에 비해 플라즈마 처리 시 검은 곰팡이병의 병징 크기가 감소하였음(그림 2-76). 플라즈마 처리군에서 약 20%의 검은 곰팡이병 억제 효과가 나타난 바, lab scale 플라즈마 시스템과 유사한 결과를 도출하였음. 즉, 파워 500 W, 압력 2.5 bar의 조건으로 20초간 컨베이어 플라즈마 처리 시 생성된 오존 등 활성종이 검은 곰팡이병을 유발하는 *A. alternata*의 증식을 억제한 것으로 사료됨.

(바) 대용량 플라즈마 시스템 적용 조건별 플라즈마 처리에 따른 신선농산물의 품질 평가

① 조건별 플라즈마 처리에 따른 파프리카의 경도 평가

○ 연구방법 및 재료

[실험재료]

- 본 실험에서는 대용량 플라즈마 처리한 파프리카의 경도를 평가하기 위해 (주)조은그린에서 제공받은 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연건조하여 준비하였음.

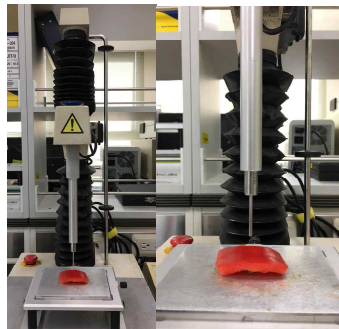
[플라즈마 처리]

- 처리조건은 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간(0-10 sec.)에 따라 수행하였음.



[경도 측정]

- 대용량 플라즈마 처리한 파프리카를 25.0 mm의 정사각형 크기로 절단하여 사용하였음 (그림2-77). Texture analyzer (TA-XY2i, Stable Micro System Co., Surrey, UK)를 사용하여 파프리카의 hardness를 측정하였고, 분석조건은 pre-test speed 5.0 mm/s, test speed 2.0 mm/s, post-test speed 1.0 mm/s, distance 10.0 mm, load cell 5 kg의 조건으로 cylinder type aluminium probe (2 mm diameter)를 장착하여 상온에서 측정하였음.



<그림2-77> 플라즈마 처리한 파프리카 경도 측정

○ 연구결과 및 고찰

- 대용량 플라즈마 시스템을 이용하여 처리한 파프리카를 약 4℃의 냉장조건에서 14일간 저장하며 0일차, 7일차 및 14일차에 경도를 평가한 결과를 [표2-13]에 나타내었음.

[표2-13] 플라즈마 처리시간 및 저장기간에 따른 파프리카의 경도 변화 (측정결과는 평균±표준편차로 나타냄)

Properties	Parameters	Days after plasma treatment	Conveyor plasma treatment time (sec)	
			0	10
Texture	Hardness (N)	0	11.99 ± 1.25	11.52 ± 1.38
		7	11.38 ± 1.52	10.58 ± 1.36
		14	11.68 ± 1.58	11.28 ± 1.58

- B. K. Das와 Kim(2010)는 파프리카를 수돗물로 세척하여 5℃냉장고에 12일간 보관하면서 hardness를 측정하였을 때 약 2N 감소한다고 보고하였으나, 본 실험에서는 [표2-13]에서와 같이 플라즈마 처리 시간이 증가할수록 파프리카의 firmness는 유의적인 변화를 나타내지 않았으며, 저장기간에 따라서도 통계학적인 차이가 나타나지 않았음. 따라서 파프리카에 대용량 플라즈마를 처리할 경우 조직학적 품질의 저하를 초래하지 않으면서 병원성 미생물 제어를 통한 수출 농산물의 안전성을 확보하는 데 기여할 것으로 기대됨.

## ② 조건별 플라즈마 처리에 따른 파프리카의 색도 평가

### ○ 연구방법 및 재료

#### [실험재료]

- 본 실험에서는 대용량 플라즈마 처리한 파프리카의 색도를 평가하기 위해 (주)조은그린에서 제공받은 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연건조하여 준비하였음.

#### [플라즈마 처리]

- 처리조건은 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간(0-10 sec.)에 따라 수행하였음.

#### [색도 측정]

- <그림2-78>과 같이 플라즈마 처리한 파프리카의 겉 표면을 색도계(Chroma Meter, CM-5, Minolta Co., Japan)를 이용하여 hole size에 맞게 시료를 올려놓고 Hunter's color system에 의한 명도(lightness,  $L^*$ ), 적색도(redness,  $a^*$ ) 및 황색도(yellowness,  $b^*$ )를 측정하였음.



<그림2-78> 플라즈마 처리한 파프리카 색도 측정

### ○ 연구결과 및 고찰

- 대용량 플라즈마 시스템을 이용하여 처리한 파프리카를 4℃의 냉장조건에서 14일간 저장하며 색도를 평가한 결과를 [표2-14]에 나타내었음.



[표2-14] 플라즈마 처리시간 및 저장기간에 따른 파프리카의 색도 변화 (측정결과는 평균±표준편차로 나타냄)

Properties	Parameters	Days after plasma treatment	Conveyor plasma treatment time (sec)	
			0	10
Color	L* <sup>1)</sup>	0	31.56 ± 1.45	31.72 ± 1.55
		7	31.32 ± 1.36	31.61 ± 1.45
		14	31.56 ± 1.45	31.14 ± 1.51
	a* <sup>2)</sup>	0	32.80 ± 2.98	32.23 ± 2.43
		7	33.92 ± 2.99	33.16 ± 2.77
		14	32.80 ± 2.98	33.08 ± 2.87
	b* <sup>3)</sup>	0	17.95 ± 2.42	17.05 ± 1.90
		7	18.27 ± 2.37	17.53 ± 2.12
		14	17.95 ± 2.42	17.55 ± 2.15

- [표2-14]에서와 같이 플라즈마 처리 시간이 증가할수록 파프리카의 명도(L\*), 적색도(a\*) 및 황색도(b\*)는 처리시간과 저장기간에 따라 유의한 차이를 나타내지 않았음. 즉, 파프리카에 대용량 플라즈마를 처리하여 저장성에 관여하는 병원성 미생물을 제어함에 있어서 품질 저하를 초래하지 않는 것으로 판단하였음. 따라서 대용량 플라즈마 시스템은 수출 농산물의 저장안전성 및 품질 유지에 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 사료됨.

(사) 대용량 플라즈마 시스템 적용 조건별 플라즈마 처리에 따른 해충 살충 효과 검정

① 플라즈마 처리 조건에 따른 살충효과 평가

㉞ 대상 해충 준비

- 파프리카 검역과 연관이 있는 종은 주요 대상 실험종은 왕담배나방과 오이총채벌레이며, 주요 농업해충으로 차응애, 담배가루이, 목화진딧물을 추가하여 플라즈마에 대한 생물활성 반응을 평가하였음.
- 대상 해충의 사육은 온도 조건: 24℃에서 LED를 적용하여 사육되었음
- 기주의 사육은 PTC내 육묘장에서 수행하였음. 세부적인 사육 방법 및 분양 이력은 아래와 같다.

○ 왕담배나방

- 왕담배나방 계통은 국립식량과학원에서 누대 사육하고 있는 계통을 분양받아 사용하였음.
- 성충 산란은 아크릴케이지(30x30x30)에 성충을 약 60-70 마리 넣은 후 10% 설탕물을 공급해 주었으며, 천정 부분에 망사천을 부착하여 산란을 유도하였음.
- 알에서 부화한 1령 애벌레의 사육은 인공 먹이(#F9772, Frontier Scientific Services)를 구입하여 제조사의 제조 과정을 약간 변형하여 만들었으며, 간략하게 설명하자면, 875ml 물에 19g의 Agar를 넣고 끓여 녹인 후, 144g의 인공사료를 넣어 섞은 후 일정크기의 플라스틱 통에 담은 후 굳힌 후 사용하기 전까지 냉장보관하였음.
- 왕담배나방이 알에서 깨어나면 인공먹이를 적당한 크기로 자른 후 플라스틱 용기(DC1P, HUNAN IKOPU PACKAGING CO., LTD., China)에 담은 후 애벌레 한 마리씩 접종하였고, 동일한 플라스틱 용기내에서 번데기 까지 사육하였음. 중간에 먹이가 부족하면 다시 공급해 주으며, 번데기에서 성충으로 우화하면 다시 산란장으로 성충을 옮겨서 산란을 유도하여 계통을 유지하였음.

○ 오이총채벌레

- 오이총채벌레 계통은 국립농업과학원에서 분양받아 누대사육하였음.
- 15-20일 된 오이기주를 포트상태로 곤충 사육용 아크릴케이지(30x30x30)에 넣고 누대 사육하였으며, 7일 간격으로 오이를 주기적으로 교체하며 증식하였음.

○ 차응애

- 차응애는 강낭콩에서 누대사육 한 pyriF 계통을 사용하였음.
- 15일 된 강낭콩을 아크릴케이지(30x30x30)에 공급하여 계통을 유지하였음.
- 먹이는 일주일 간격으로 유지하였으며, 초기 접종 밀도는 암컷 200마리로서 흡충기로 포집한 후 새로운 기준에 접종하였음.

○ 담배가루이

- 국립농업과학원에서 누대 사육 중인 계통으로 담배에서 누대사육하고 있는 것을 바로 분양 받아서 사용하였음.

○ 목화진딧물

- 국립농업과학원에서 분양 받은 것으로 오이잎에 누대 사육한 것을 사용하였음.
- 아크릴케이지(30x30x30)에 먹이 공급 후 대상 층을 접종하여 유지하였으며, 먹이는 7-10일 간격으로 공급하여 주었음.



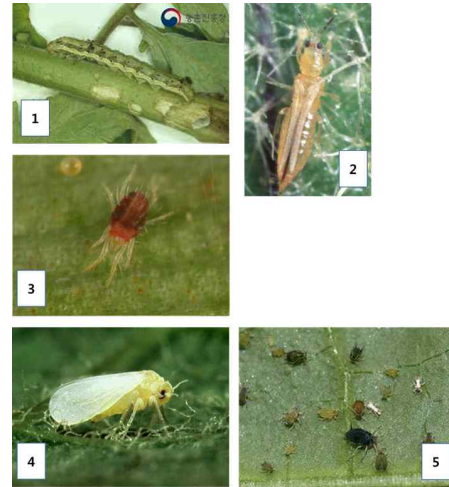
<그림2-79> 차응애와 오이충채벌레 사육케이지



<그림2-80> 사육장 전체 모습(오이와 강낭콩 기주 사육 전경)



<그림2-81> PTC 온실 내 육묘 사육 전경



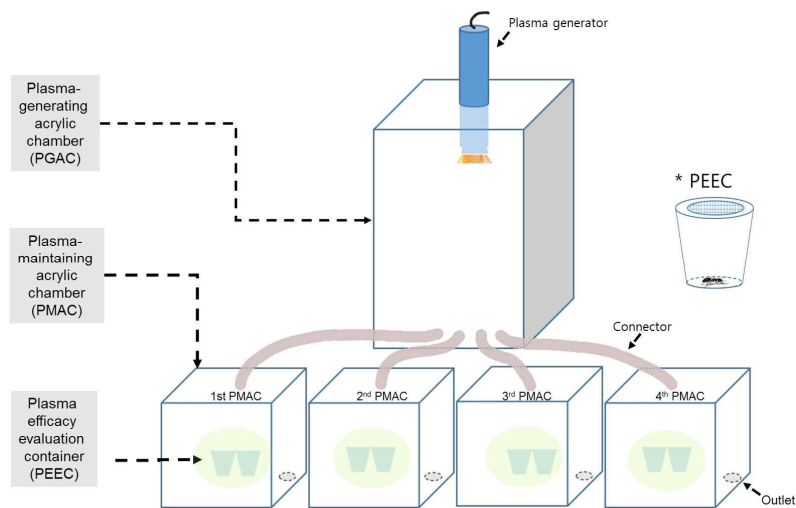
<그림2-82> 실험 대상 해충들 (1. 왕담배나방 애벌레; 2. 오이충채벌레; 3. 차응애; 4. 담배가루이; 5. 목화진딧물)

㊤ 플라즈마 살충효과 평가 시스템(플라즈마 생물 활성 평가 시스템, Plasma-based organism evaluation equipment, PBOEE) 개발

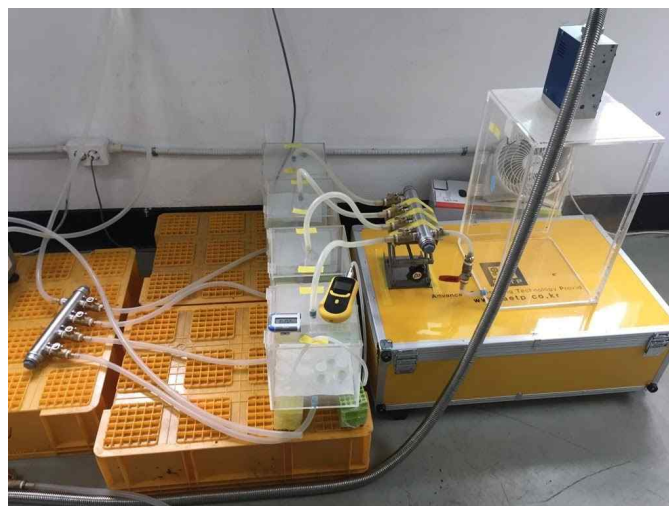
○ PBOEE 평가 시스템 구조

- 단일 실험에 4개의 서로 다른 노출 조건에서 평가할 수 있는 살충 활성 평가 장치를 개발하였음. 해당 평가 장치는 플라즈마 생성 아크릴 챔버(Plasma-generating acrylic chamber, PGAC; 500 x 500 x 500 mm), 플라즈마 유지 아크릴 챔버(Plasma-maintaining acrylic chamber, PMAC; 200 x 200 x 200 mm), 그리고 플라즈마 효과 평가 용기(Plasma efficacy evaluation container, PEEC; ø 44 x ø 29 x 45 mm)로 구성되어 있음(그림 4-1).

- 플라즈마 생성기는 회전형 헤드를 지닌 lab scale 플라즈마 시스템의 모듈(AETP, 강원도, 대한민국)을 사용하였으며, PGAC 상단 중앙부에 부착하였음. 실험에 사용한 플라즈마 실행 조건은 500W였으며 대기 압력은 2.5 bar로 진행하였음.
- 생성기에서 발생하는 온도에 의한 부작용을 최소화하기 위해 길이 44cm의 실리콘 튜브 (외경 15, 내경 8)의 실리콘 튜브로 4개의 PMAC의 상단 중앙 부위에 연결하여 단일 실행에서 4개의 서로 다른 노출 시간의 조절이 가능하게 하였음.
- PGAC에서 생성된 플라즈마의 배출은 PMAC의 좌측 하단에 배기구(16mm)를 뚫어 배출.
- 생물활성 평가는 PEEC에서 이뤄졌는데, 이것은 플라스틱 용기(DC1P, HUNAN IKOPU PACKAGING CO., LTD., China)를 개조하여 만든 것임. 간략하게 설명하자면, 플라즈마 기체는 통하고 대상 해충의 이탈을 막기 위해 뚜껑 중앙 부위에  $\varnothing 24$  mm 구멍을 뚫고  $\varnothing 31$  mm 나일론 메쉬(cm 당 100 메쉬,  $\varnothing 43 \mu\text{m}$ )로 막아 플라즈마는 통하고 대상 해충의 이탈은 막도록 하였음.



<그림2-83> 플라즈마 생물활성 평가 시스템 모식도



<그림2-84> 실제 PBOEE 살충활성 평가 시스템.

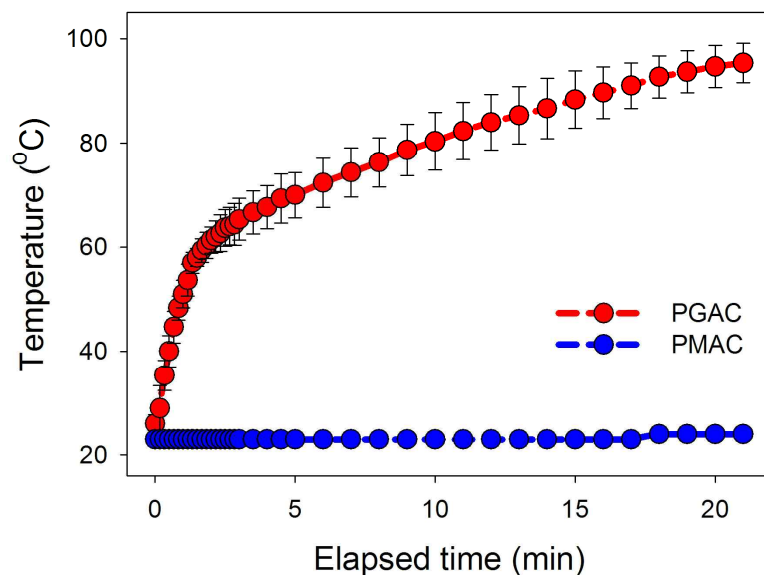
#### ㉔ 플라즈마 살충효과 평가 시스템의 특성 규명 - 온도

##### ○ 연구방법 및 재료

- PGAC와 PMAC의 온도 측정은 디지털오븐 탐침온도계(Digital oven thermometer)(DOT-1000, 에스알텍)를 이용하여 21분 동안 3반복 측정하였음.

##### ○ 연구결과

- 플라즈마 생성기에서 발생하는 열에 의한 온도 변화를 21분 동안 PGAC와 PMAC에서 관찰하였음.
- PGAC에서는 0초에서 1분 30초 사이에는 0.4도 속도( $y = 0.4x + 27.6, r^2=0.98$ )로 온도가 증가하였으며, 1분 30초에서 21분 구간에는 초당 0.03도 속도( $y = 0.03x + 59.6, r^2=0.98$ )로 온도가 증가하였음.
- 처리 약 20분 경에는 100도로 증가하여 장비의 안전성을 고려하여 해당 기기를 이용한 최대 노출 시간을 21분으로 설정하였음.
- 반면에 PMAC에서는 23-24도 간격으로 PMAC의 온도 영향을 받지 않고, 외부 온도와 일치하였으므로, PMAC내에서 생물종을 대상으로 한 플라즈마 효과 평가가 가능함을 확인하였음.



<그림2-85> PGAC와 PMAC내에서 21분 동안 온도 변화.

㉔ 플라즈마 살충효과 평가 시스템의 특성 규명 - 활성화종 변화 측정-I

- 활성화종 진단젤을 이용한 측정법으로 특성 규명

○ 연구방법 및 재료

- 전체 활성화종의 변화량을 활성화종 진단젤을 이용하여 측정함.

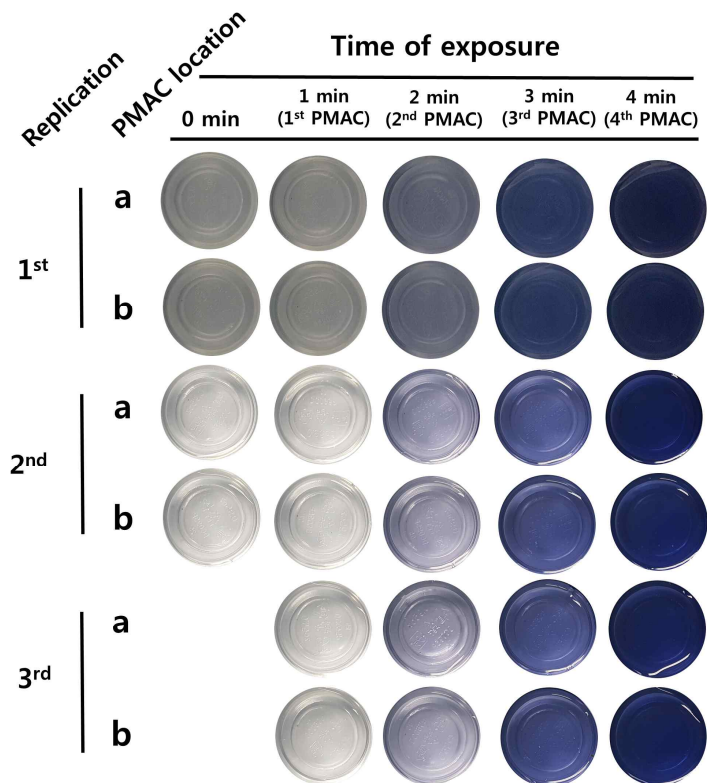
- 0.3% potassium iodide, 0.5% starch, 0.5% agarose gel로 구성된 용액을 PEEC에 5ml씩 분주하였음. 정해진 노출 시간에 의한 활성화종의 변화량은 PEEC상의 진단젤 색농도와 비례하였는데, 처리 시간별 색농도는 imageJ2 소프트웨어를 이용하여 측정하였음.

- 각 실험은 3반복 수행되었음.

○ 연구결과

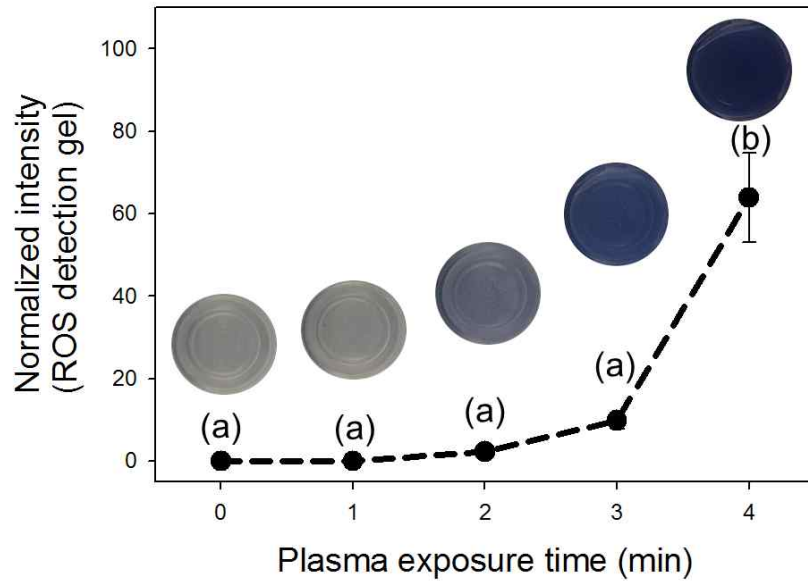
- PEEC 내의 전체 활성화종 변화추이를 활성화종 진단젤을 이용하여 1, 2, 3, 4분 처리 하였음 (그림2-86).

- 처리 2분부터 색농도가 통계적으로 유의하게 증가하는 것을 확인하였음( $F_{4,10}=15.7, P < 0.001$  (그림2-86, 그림2-87)).



<그림2-86> PMAC내 반복 구간에서 4분 동안 활성화종 진단젤의 색변화





<그림2-87> 플라즈마 노출 시간에 따른 활성종의 색농도 변화 추이

#### ㉔ 플라즈마 살충효과 평가 시스템의 특성 규명 - 활성종 변화 측정-II

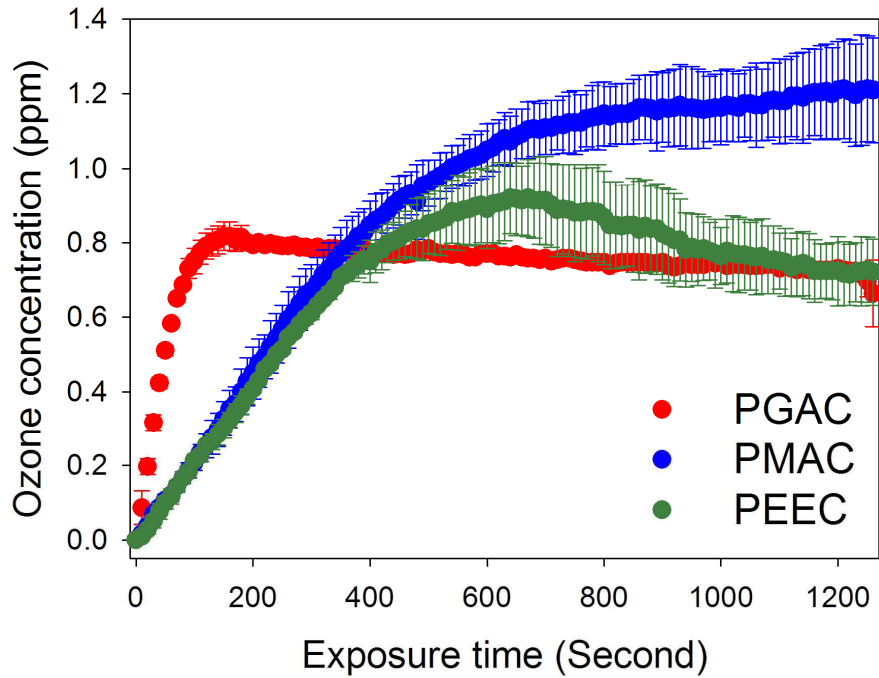
- 활성종 측정기를 이용한 측정법으로 특성 규명

##### ○ 연구방법 및 재료

- PGAC와 PEEC에서 플라즈마에 의해 생성되는 오존농도와 활성종의 변화량을 노출 시간 별로 측정하였음.
- 먼저 대기압 플라즈마에 의한 대표적인 활성종으로 오존이 있으며 UV 오존 측정기 (UV0106MH, Himax Tech. Ltd., 서울)를 이용하여 21분 동안 오존농도의 변화량을 PMAC에서 측정함.

##### ○ 연구결과

- 시그모이드 형태의 오존 증가 곡선이 만들어 졌으며, 예측 회귀식은  $y = 3.6 / (1 + \exp(-(x-358.4)/127.1))$  ( $r^2 = 0.991$ )로서 신뢰할 만한 상관 계수를 지니고 있었음(그림2-88).
- 오존의 측정 범위는 0.08 ppm으로 시작해서 21 분경에 3.6 ppm에 도달하였는데, 처리 12분까지는 증가하다가 그 후 평형상태를 유지하였음.



<그림2-88> PMAC내에서 UV 오존 측정기를 이용한 오존 농도의 변화.

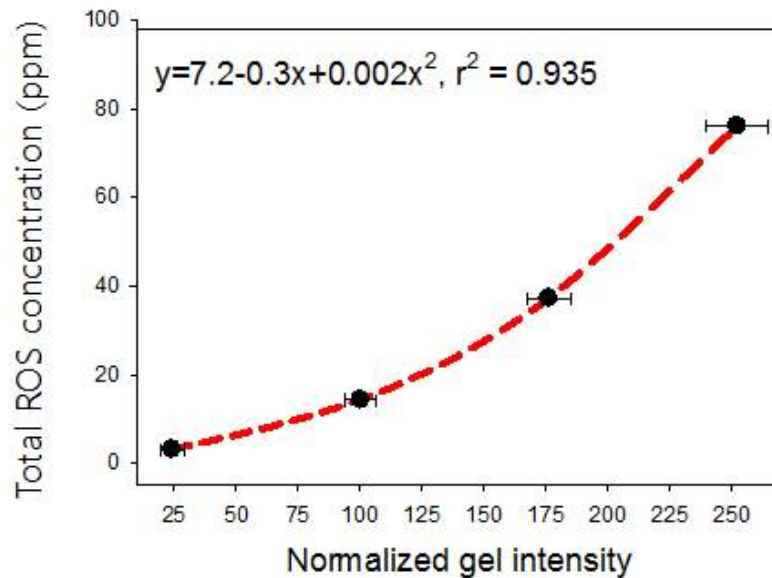
[표2-15] 3반복에 의해 생성된 PEEC상에 측정된 누적 오존농도를 산출학 위한 회귀식(rational model;  $y = (a+b*x)/(1+c*x +d*x^2)$ ).

Parameter	Replication		
	1st	2nd	3rd
a	0.027	-0.0172	-0.041
b	0.002	0.002	0.002476
c	-0.0014	-0.0013	0.000054
d	0.000002	0.000003	0.000002
r2	0.995	0.992	0.994

㉔ 플라즈마 살충효과 평가 시스템의 특성 규명 - 전체 활성종 변화와 오존 농도간의 상관관계

- 현재까지 전체 활성종의 양을 측정할 수 있는 방법은 개발되어 있지 않으며, 본 연구에서 활용한 진단젤은 전체 활성종을 측정하지만 정량을 측정하는데에는 한계가 있음.
- 반면, 전체 활성종의 한 종류인 오존은 오존측정기로 측정이 가능하므로, 본 연구에서는 전체 활성종과 오존량의 상관성을 증명하여 PBOEE 시스템에서 활성종이 안정적으로 분배할 수 있음을 입증하였음.

- 누적 오존 농도와 ROS 진단젤 간의 상관관계를 1, 2, 3, 4분의 플라즈마 처리 후 측정된 오존 농도와 ROS진단젤의 색농도간의 상관관계를 분석함.
- ROS 진단젤은 전체 활성종의 양을 나타내는데, 오존 농도와 비례하여 증가하는 것으로 보아 PMAC내에서 시간이 흐를수록 활성종의 양이 일정하게 증가하는 것을 확인하였음 (그림2-89).
- ROS진단젤은 활성종에 대한 감도가 높아 최대 4분까지만 측정할 수 있었고, 최대값(21분)에 해당하는 누적 오존 농도는 약 80ppm에 해당됨.



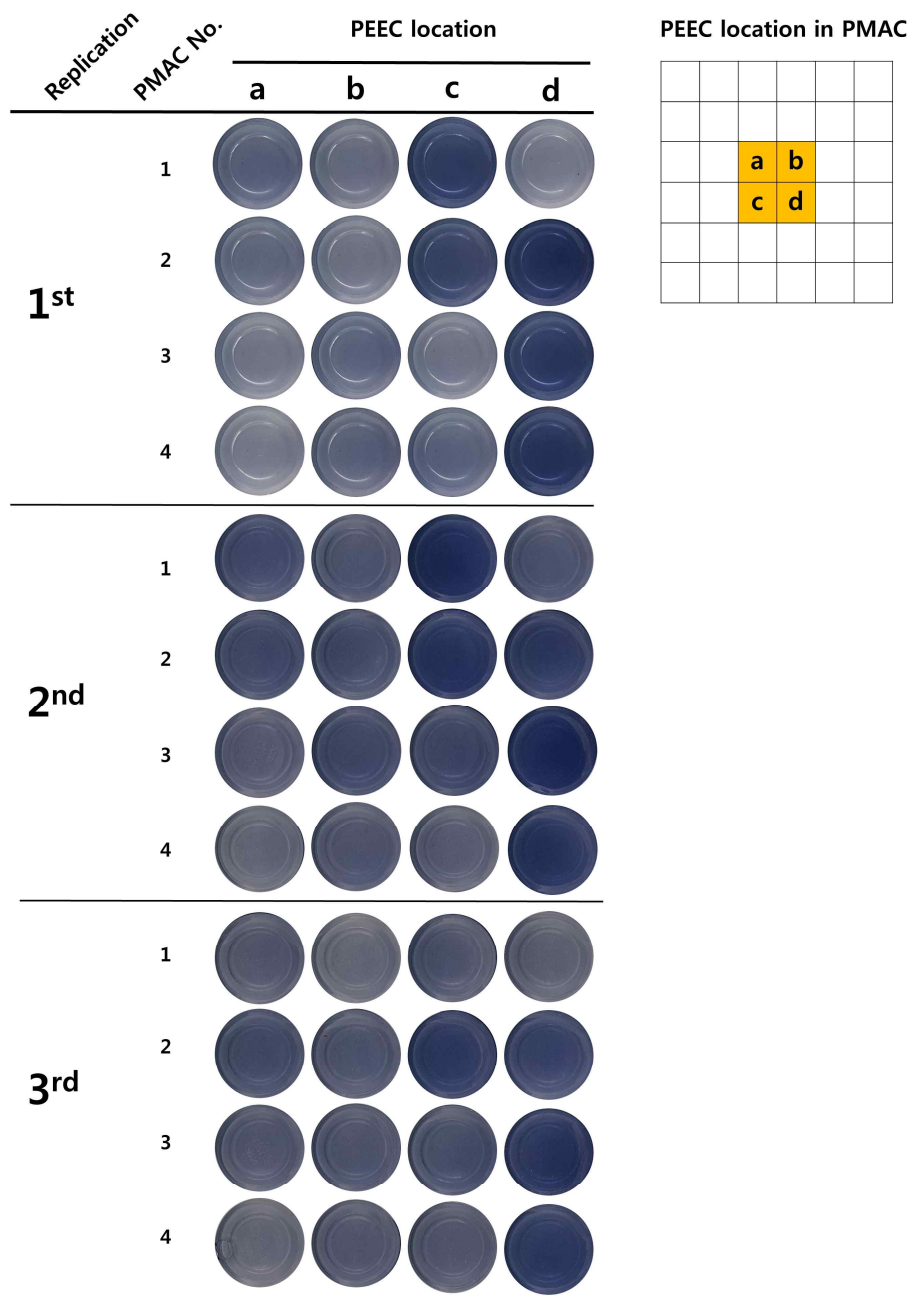
<그림2-89> 활성종 진단젤의 활성종 농도와 오존 농도간의 상관관계

#### ㉞ 최적 위치 선정

- 대기압 플라즈마는 순환는 기체의 일종이므로 최종 생물처리 장소인 PEEC에 노출되는 활성종의 양을 균일화하는 것이 필요함.
- 이를 위해 각 PMAC 중앙에 활성종 진단젤이 분주 된 4개의 PEEC를 2x2 형태(a, b, c, d)로 배치한 후 생성기를 2분 동안 실행시켰음.
- 그 후 각각의 PMAC내의 4개의 PEEC내 젤을 촬영한 후 앞서 언급한 ImageJ를 이용하여 색농도를 측정하였음.
- PMAC간 변이를 최소화 할 수 있는 위치 선정은 6개 PEEC 위치별 조합(a+b, a+c, a+d, b+c, b+d 그리고 c+d)의 분산이 최소값을 지니는 위치를 선정하였음.

○ 연구결과

- 생물 측정소 내의 활성종의 노출이 처리 상자 별로 일정하지 않음을 확인하였음(그림 2-90).
- 본 연구에서 각 상자별 중앙에 4개의 위치 a, b, c, d를 선정하고 3반복 실험을 통해 PEEC간 변이 구간이 가장 낮은 곳을 위치 조합별로 검색하였음.
- 그 결과 a+b조합에서 상대적으로 가장 낮은 평균값과 분산값을 지닌 것으로 나타났고 a+d조합이 가장 큰 분산 값을 지니고 있었음(표2-16).
- 따라서, 생물측정소내의 반복 위치는 각 처리 상자내에 a+b 조합의 생물처리소가 적합한 것으로 나타났음.



<그림2-90> 플라즈마 2분 처리 후, 각 처리소 별 활성종 진단젤에 의해 측정된 활성종의 색농도

[표2-16] 생물검정소내의 전체 활성종의 분산

Combination	Mean ± SE (Normalized intensity)	Variance
a+b	4.6 ± 0.8	4.8
a+c	6.3 ± 1.3	13.8
a+d	7.3 ± 1.8	27
b+c	7.1 ± 1.4	16.4
b+d	7.6 ± 1.7	22.2
c+d	9.3 ± 1.6	19.5

## ② 활성종의 살충 효과 검정

### ㉞ 활성종에 대한 생물의 기절 및 회복 시점

#### ○ 연구방법 및 재료

##### [실험재료]

- 플라즈마 기반 생물 활성 평가 대상 종은 목화진딧물(성충), 담배가루이(성충), 왕담배나방(성충과 1령 약충), 차응애(성충), 그리고 오이총채벌레(성충) 5종임. 특히 왕담배나방과 오이총채벌레는 파프리카 수출 시 주요 검역 대상 해충임.
- 목화진딧물, 담배가루이 그리고 오이총채벌레는 국립농업과학원에서 오이와 담배에서 누대사육하던 감수성 계통을 분양받아 사용하였으며, 왕담배나방은 국립식량과학원에서 분양 받아 사육실 내에서 인공먹이를 이용하여 누대사육해 온 계통임.
- 차응애는 서울대학교 공학관 부근 애기똥풀에서 채집 후 실내 강낭콩에서 누대 사육해온 계통이며, 대상 계통은 서울대학교 농업생명과학대학 사육실에서 해당 기주를 대상으로 누대 사육한 계통들임.

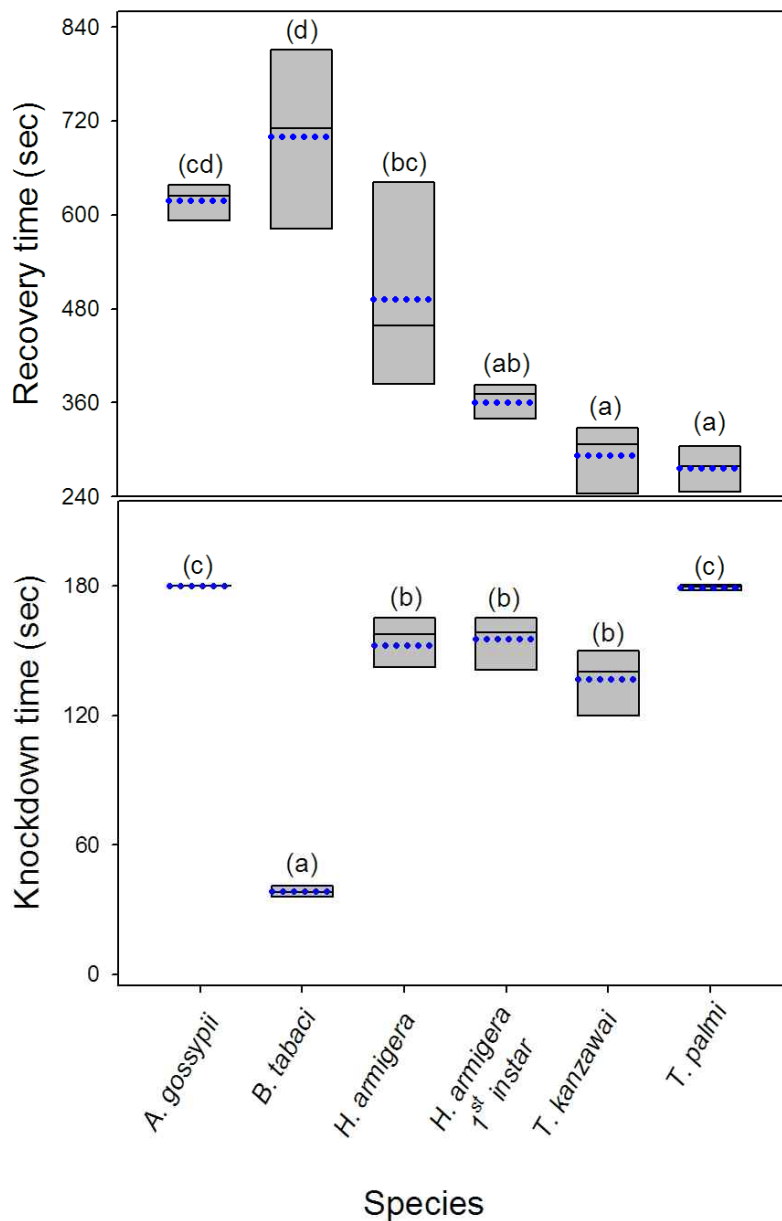
##### [평가방법]

- PEEC에 대상 생물 접종 후 3분 동안 플라즈마를 처리 하고 기절과 회복 시간을 측정하였음.
- 대상종 1마리를 PEEC에 접종하고 최적 위치인 첫번째 PMAC내에 a 위치에 두었음.
- 실시간 기절 시간은 영상촬영을 통해 기록 후 확인하였고, 회복 시간은 PMAC에서 꺼낸 후 PEEC를 일반 장소에 둔 후 현미경 아래 관찰을 통해 확인하였음.
- 각 실험은 3~6반복 수행되었음.

#### ○ 연구결과

- 주요 농업 해충 5종에 대한 플라즈마에 대한 기절 시점과 회복 시점을 조사한 결과 모두 통계적으로 유의하게 차이가 있는 것으로 나타났음(기절 시점, F5,24 = 109.1, P < 0.001; 회복 시점: F5,24 = 19.9, P < 0.001)(그림2-91).

- 기절 시점의 경우, 3분 처리 후 담배가루이는 약 40초 안에 기절하여 가장 민감한 것으로 나타났음. 반면에 목화진딧물과 오이총채벌레는 반응이 거의 3분 안에 이뤄졌음.
- 6종의 기절 민감도는 담배가루이가 38.4초로서 가장 빨랐고, 차응애(136.7초), 왕담배나방 성충과 1령 약충(각각 152.5초, 155.5초), 그리고 오이총채벌레(179초)와 목화진딧물(180초) 순서였음(그림2-91, 아래).
- 3분 플라즈마 처리 후 자연 상태에서 회복 시점을 비교한 결과, 오이총채벌레(276초), 차응애(293초)가 가장 빨랐고 그 다음으로 왕담배나방 1령 유충(360초), 왕담배나방 성충(492초), 목화진딧물(618초), 담배가루이(699초) 순서였음(그림2-91, 위).



<그림2-91> 활성종 처리 후 주요 해충별 기절(아래) 및 회복(위) 시간



### ③ 반복간 평가후 통계적인 유의성 검정

#### ㉔ 활성종에 대한 생물의 반수치사시간

##### ○ 연구방법 및 재료

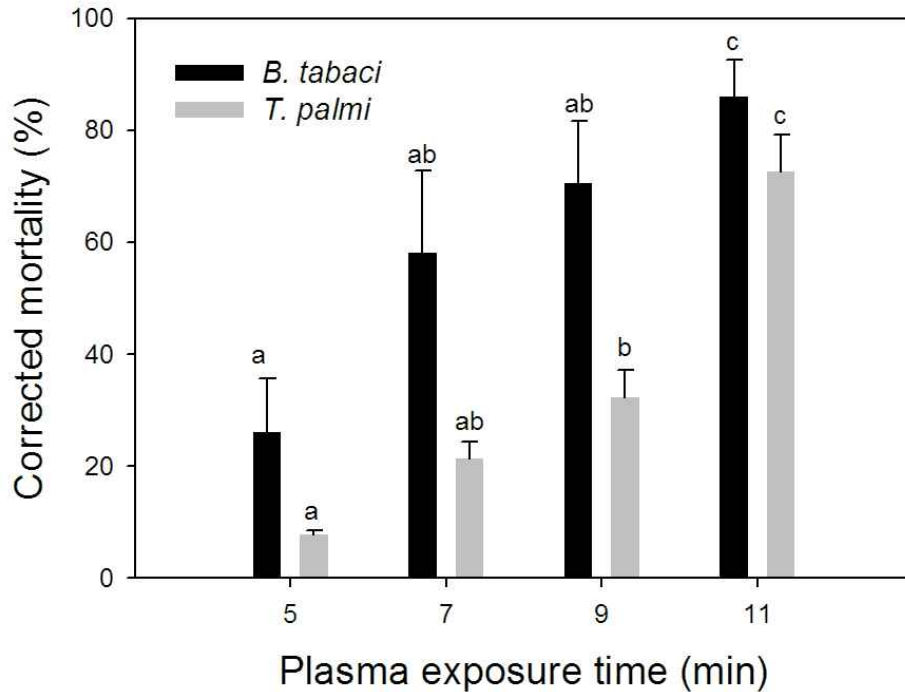
- 대상 해충 5종의 반수치사 시간을 평가하였음.
- 목화진딧물(성충), 담배가루이(성충), 왕담배나방 성충, 왕담배나방 1령 약충, 차응애(성충), 그리고 오이총채벌레(성충)를 PEEC내에 각각 12-15마리, 16-20마리, 3마리, 12-15마리, 15-20마리, 12-15마리 접종하였음.
- 각각의 PMAC내 a와 b 위치에 접종 후 5, 10, 15, 20분의 예비 노출 실험을 수행하였음. 노출 완료 후 대상 생물은 각각의 기주(오이: 목화진딧물, 오이총채벌레, 담배가루이; 차응애: 강낭콩)가 준비된 사충을 평가소로 옮겨졌음.
- 사충을 평가소는 PEEC에 2ml의 1% 아가로즈를 붙고 그 위에 옆 절편을 올려 생존이 가능하도록 하였음.
- 대상 종은 처리 후 항온기로 옮겨졌으며, 24시간 후 사충율을 관찰하였음.
- 대상 종 중에 목담배가루이와 오이총채벌레는 반수치사시간을 산출하기 위해 5, 7, 9, 11분으로 처리하였으며, 위의 과정을 거친 후 24시간 후 사충율을 조사하였음.
- 각 실험은 3반복 수행하였으며, Abbott의 공식(Abbott, 1925)을 따라 보정사충율을 이용하여 반수치사시간 도출에 이용하였음. 반수치사시간을 포함한 독성학적 지표는 IBM SPSS statistics 23(IBM Analytics, NY)를 이용하여 프로빗 분석을 통해 산출하였음.
- 평균간 비교는 ANOVA의 Tukey's test를 이용하였으며, 회귀식 도출은 SIGMA PLOT 10.0 소프트웨어(Systat Software, Inc., CA) 이용하였음.

##### ○ 결과

- 해충 별 플라즈마에 의한 반수 치사 시간을 산출하여 보았음.
- 플라즈마 생성기 안정성을 고려했을 때 최대 가용 실행 범위가 21분인데, 이 중에서 목화진딧물, 왕담배나방성충과 1령 약충, 차응애는 21분 노출에 효과가 없었음(표2-17).
- 반면에 담배가루이와 오이총채벌레는 처리 시간에 따라 살충 활성이 나타나 5, 7, 9, 11분에 사충율을 조사하였음(그림2-92).
- 두 해충은 각각 통계적으로 유의미하게 노출시간에 비례하는 사충율이 나타났음(담배가루이:  $F_{3,10}=4.974, P < 0.001$ ; 오이총채벌레:  $F_{3,8}=41.306, P < 0.001$ )(그림2-92).
- 두 계통의  $LT_{50}$ 과  $LT_{90}$ 값은 담배가루이의 경우 6.3분과 11.5분이었으며, 오이총채벌레는 9.6분과 15.9분이었음(표2-17).

[표2-17] 플라즈마에 의한 살충 효과 지표

Species	N (df)	Slope ± SE	LT <sub>50</sub>	LT <sub>90</sub>
<i>B. tabaci</i>	480 (18)	2.1 ± 0.11	6.3 (5.3 - 6.9)	11.5 (9.8 - 15.5)
<i>T. palmi</i>	441 (22)	2.5 ± 0.3	9.6 (8.8-10.7)	15.9 (13.4-21.7)



<그림2-92> 플라즈마 노출 24시간 후 주요 해충의 사충율

(아) 플라즈마 처리 신선 농산물 국내 유통 단계별 품질변화 및 저장성 향상 모니터링

- ① 국내 파프리카 유통망을 이용하여 플라즈마 처리 파프리카의 품질변화 모니터링 및 데이터베이스화
- ㉞ 박스포장 및 소포장 파프리카 플라즈마 처리

○ 연구방법 및 재료

[시료 준비]

- 대용량 플라즈마 처리 후 박스포장 및 소포장하기 위해 조은그린(주)에서 파프리카 박스, 소포장 비닐 그리고 파프리카를 제공 받아 에어건(Air gun)으로 파프리카 표면 및 꼭지 부분을 청소하여 준비함.

[플라즈마 처리]

- 파원 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간(20 sec), 처리구간(G and J site) 처리조건에 따라 파프리카에 플라즈마 처리함.



<그림2-93> 대용량 플라즈마의 챔버내 샘플처리 위치

[표2-18] 파프리카 플라즈마 처리 조건 (20개 샘플/1회 처리)

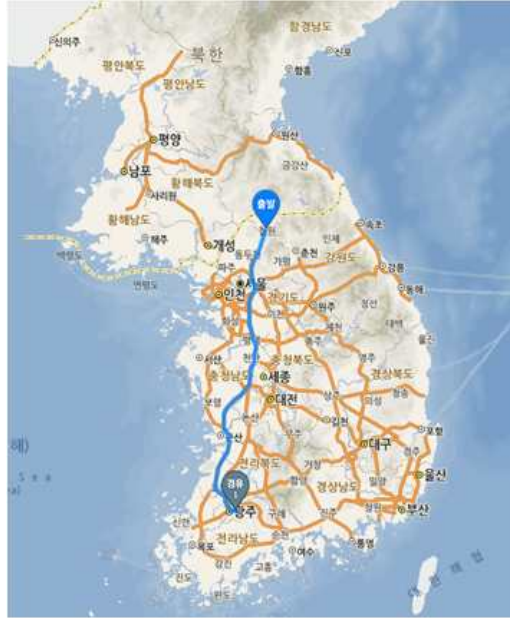
Sample No.	처리 위치	air pump ON/OFF 여부	처리조건/처리 시간(sec)	
			0	20
1	G	ON	무처리	1-20
3	J	ON		3-20

[플라즈마 처리된 파프리카의 박스포장, 소포장 및 배송]

- 조은그린(주)의 경우, 주로 일본을 대상으로 수출을 주로하고 있으나, 국내에도 유통을 하고 있었음. 따라서, 국내 유통망을 이용하여 플라즈마 처리된 파프리카의 신선도 유지에 대한 모니터링하여 처리 조건의 최적 여부를 판단하기 위해 철원-광주 유통망을 이용하였음.
- 처리된 파프리카는 20개씩 박스포장(박스포장) 그리고 개별 소포장하여 총 10개씩 박스포장(소포장)하여 광주로 배송하였음.



<그림2-94> 국내(철원-광주 구간) 파프리카 유통 경로



<그림2-95> 국내 육로를 이용한 플라즈마 처리 파프리카의 이동 경로 (강원도 철원군->광주광역시)



<강원도 철원군 조은그린(주)의 컨테이너에 플라즈마 처리 파프리카 선적>



<광주광역시 두레청과에 플라즈마 처리 파프리카 하역>



<광주광역시 소재 청과물 마트>



<청과물 마트내 파프리카 [청과물 진열대의 조은그린(주) 파프리카]>

<그림2-96> 국내 육로를 이용한 플라즈마 처리 파프리카의 이동 과정 (강원도 철원군->광주광역시) 및 시장조사

- 박스포장 및 소포장 파프리카는 일주일 단위로 3주까지 꼭지마름, 과실 시들음, 곰팡이 유무 정도를 확인하였음 (도매상에서 샘플을 인도받아 전남대학교에서 테스트 진행).

○ 연구결과 및 고찰

[박스포장 파프리카 효과 검정- 도착후 1일, 7일, 14일차]



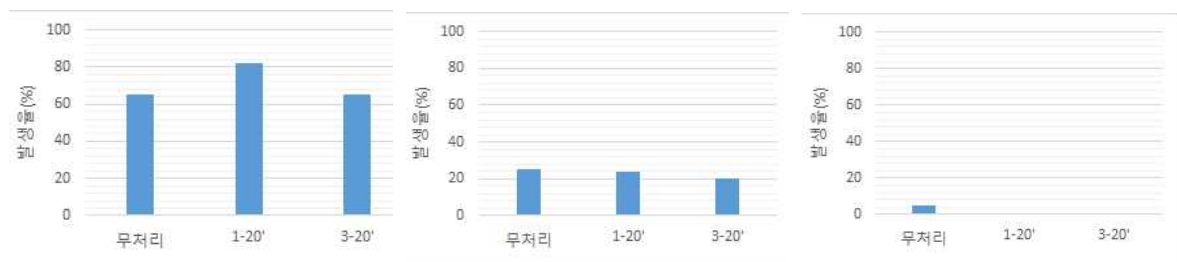
<그림2-97> 플라즈마 처리 파프리카 박스포장 1일차

- 7일차, 무처리와 3-20 처리구는 65%로 꼭지가 마른 것을 확인하였으며 1-20 처리구가 82.3%로 꼭지가 마름.
- 과실 시들음에서는 무처리가 25%로 가장 많이 시들었으며, 1-20처리구와 3-20 처리구는 각각 23.5%, 20%로 무처리보다 적게 시들었음.
- 무처리는 파프리카 꼭지에 곰팡이가 발생하였지만, 1-20 처리구와 3-20 처리구는 곰팡이가 생기지 않았음.
- 14일차, 무처리구가 가장 많이 꼭지가 마른 증상을 나타내었으며 3-20 처리구가 가장 적은 증상을 나타내었음.
- 과실의 시들음은 무처리구가 50%로 적게 시들었으며 1-20 처리구는 64.7%, 3-20 처리구가 55%로 동일하게 시든 것을 확인함.
- 꼭지에 곰팡이는 1-20 처리구가 88.2%로 가장 많이 생긴 것을 확인하였으며, 3-20 처리구가 55%로 무처리구 60%에 비해 적게 발생한 것을 확인함. 모니터링 결과를 토대로하여 저장성 향상을 위한 최적조건 구축을 위한 조건 구축을 위한 데이터를 확보하였음.
- 본 실험과 대용량 플라즈마 적용 신선도 유지 테스트의 결과를 토대로 조은그린(주) 선과장의 환경을 고려한 대용량 플라즈마 처리 조건을 구축하였음.





<그림2-98> 플라즈마 처리 파프리카 박스포장 7일차



<꼭지마름>

<시들음(과실)>

<곰팡이(꼭지)>

<그림2-99> 플라즈마 처리 파프리카 박스포장 7일차 증상 발생율(%)

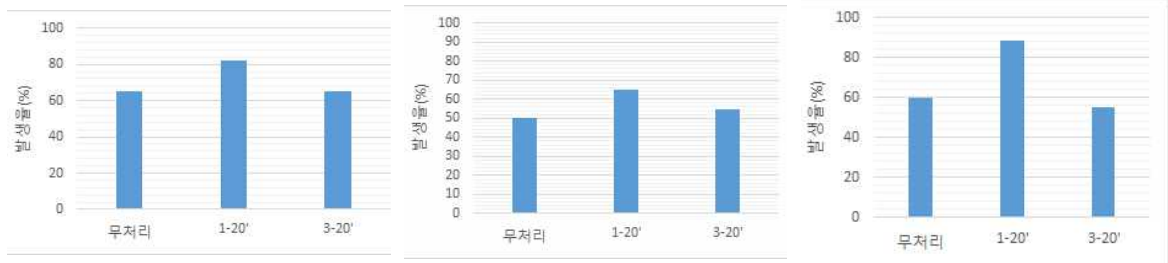
[표2-19] 플라즈마 처리 파프리카 박스포장 7일차 증상 발생율(%)

7일차	무처리	1-20	3-20
꼭지시들음	65.0	82.3	65.0
과실시들음	25.0	23.5	20.0
꼭지곰팡이	5.0	0.0	0.0





<그림2-100> 플라즈마 처리 파프리카 박스포장 14일차



<꼭지마름>

<시들음(과실)>

<곰팡이(꼭지)>

<그림2-101> 플라즈마 처리 파프리카 박스포장 14일차 증상 발생율(%)

[표2-20] 플라즈마 처리 파프리카 박스포장 14일차 증상 발생율(%)

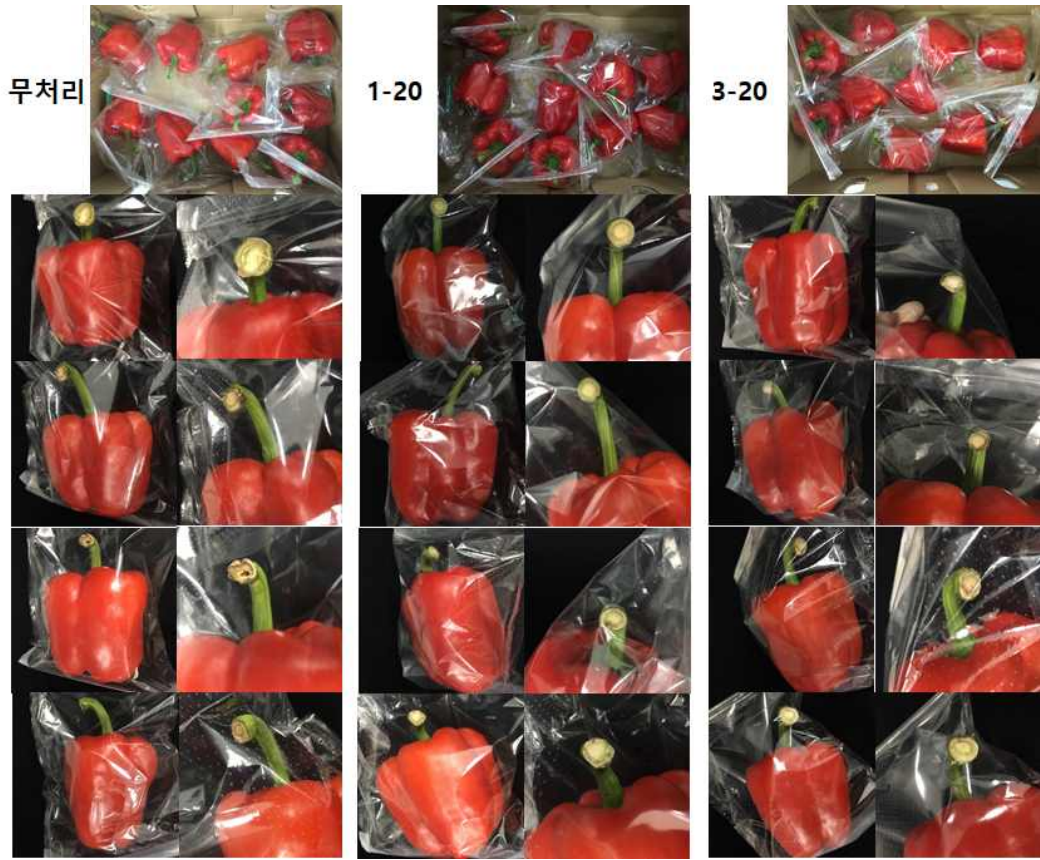
14일차	무처리	1-20	3-20
꼭지시들음	65.0	82.3	65.0
과실시들음	50.0	64.7	55.0
꼭지곰팡이	60.0	88.2	55.0

[소포장 파프리카 효과 검정- 도착후 1일, 7일, 14일차]

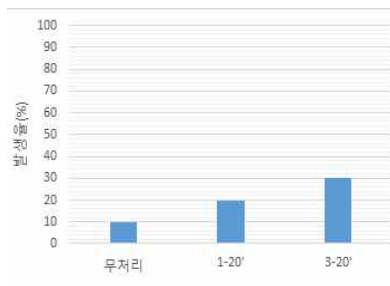


<그림2-102> 플라즈마 처리 파프리카 박스포장 1일차

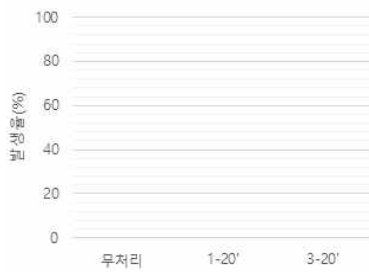
- 7일차에 무처리한 파프리카에 비해 1-20, 3-20 두 처리구 모두 꼭지가 마른 것을 확인함.
- 무처리를 포함한 모든 처리구는 과실이 시들지 않았으며, 꼭지에 곰팡이가 3-20 처리구가 30% 발생함.
- 14일차 3-20 처리구가 꼭지마름 증상과 꼭지에 곰팡이가 가장 많이 생겼음.
- 무처리를 포함한 모든 처리구에서는 과실이 시든 증상은 보이지 않았음.
- 무처리가 꼭지마름이 40%, 꼭지에 곰팡이 발생이 45%로 가장 낮은 수치를 나타내었음.
- 소포장 파프리카의 플라즈마 처리는 기존 조건으로는 효과가 없었음. 오히려, 소포장 조건에서는 플라즈마 처리가 파프리카의 꼭지 신선도 유지나 꼭지에 곰팡이 발생이 촉진되었음. 소포장은 건조하고 저온인 환경에서 신선도 유지에 적합하며, 고온다습한 환경에서는 오히려 저장병을 촉진하는 환경을 조성함을 확인하였음.
- 따라서, 플라즈마 처리는 소포장에는 기후조건 또는 저장고의 상태에 따라 환경적 변수가 많아 적용하기에는 한계가 있었으며, 박스포장과 같은 대량 포장에 적용이 적합함을 확인하였으므로, 박스포장에 중점을 두기로 하였음.



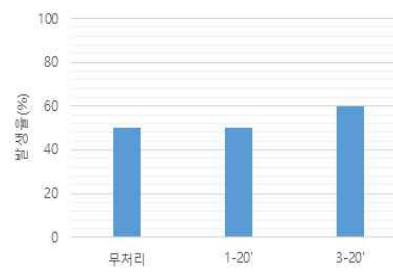
<그림2-103> 플라즈마 처리 파프리카 박스포장 7일차



<꼭지마름>



<시들음(과실)>



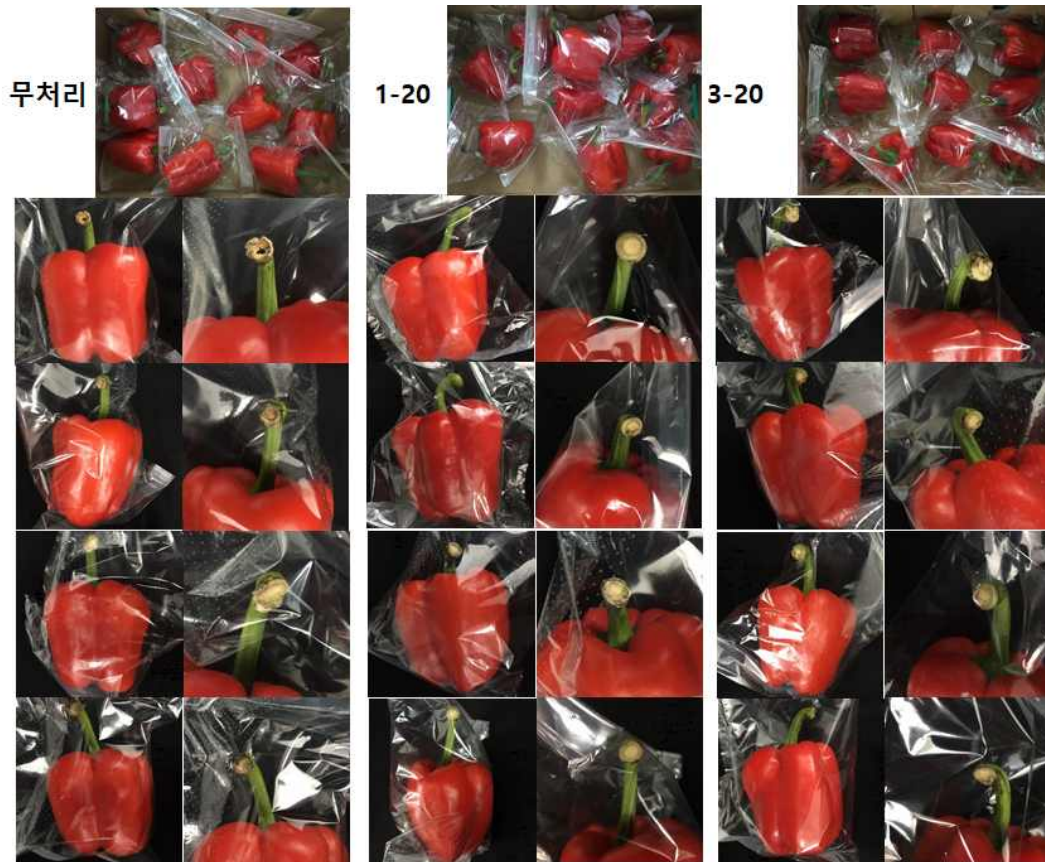
<꼭지곰팡이>

<그림2-104> 플라즈마 처리 파프리카 소포장 7일차 증상 발생율(%)

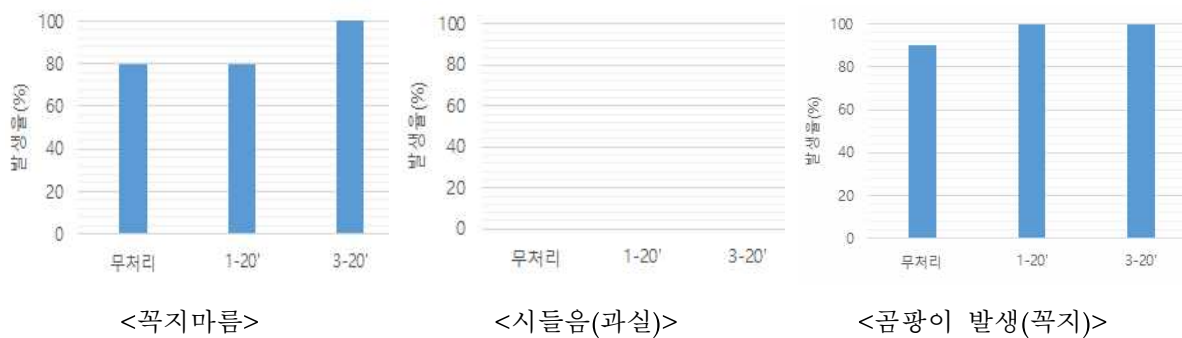
[표2-21] 플라즈마 처리 파프리카 소포장 7일차 증상 발생율(%)

7일차	무처리	1-20	3-20
꼭지시들음	5	10	15
과실시들음	0	0	0
꼭지곰팡이	25	25	30





<그림2-105> 플라즈마 처리 파프리카 박스포장 14일차



<그림2-106> 플라즈마 처리 파프리카 소포장 14일차 증상 발생율(%)

[표2-22] 플라즈마 처리 파프리카 소포장 14일차 증상 발생율(%)

14일차	무처리	1-20	3-20
꼭지시들음	40	40	50
과실시들음	0	0	0
꼭지곰팡이	45	50	50

#### ㉔ 플라즈마 시스템 운전 효율 증대를 위한 선과장 내부 온도 유지용 스크린 도어 제작

- 본 사업에서 개발한 대용량 플라즈마 시스템을 현장 설치하여 실증하기 위한 테스트 베드로 조은그린(주) 선과장에 설치하기 위해, 설치 장소의 건조한 조건을 유지해야 플라즈마 시스템의 플라즈마 노즐 작동에 무리를 주지 않음.
- 특히, 본 실험의 결과로 외부 온도 변화(특히, 여름철 고온다습으로 인한 공기중 습기)는 플라즈마 처리 효과에 영향을 주게 됨을 확인하였음.
- 칠원지역은 겨울에는 춥고, 여름에는 무더위 외부 온도차가 유난히 심함. 특히 여름철 선과장내 온도를 18℃로 유지하고 있으나 출입문 근처에는 온도가 올라갈 수 밖에 없음.
- 이는 온도에 민감한 파프리카의 저장성에 영향을 미치는 한 요인이며 플라즈마를 처리하는 선과장의 균일한 온도 유지를 위해, 선과장 입구에 스크린 도어를 설계/제작 및 설치하여 외부 온도에 의한 선과장내 온도를 유지하고자 하였음.
- 설치 결과, 설치전 선과장 입구 주변의 온도가 20~21℃였으나, 설치후 온도가 18℃를 유지함을 확인하였음.

#### (자) 플라즈마 처리 신선 농산물의 해외 수요조사

##### ① 일본 시장조사 및 플라즈마 처리 파프리카 인식도 조사

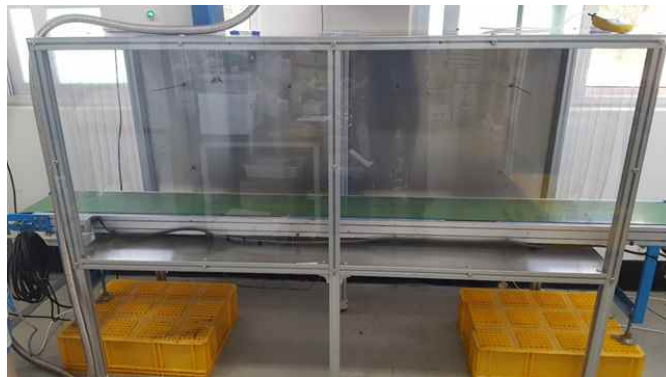
###### ○ 연구방법 및 재료

###### [시료 준비]

- 대용량 플라즈마 처리 후 박스포장하기 위해 (주)조은그린에서 파프리카 박스 그리고 파프리카(빨강, 노랑)를 제공 받아 에어건(Air gun)으로 파프리카 표면 및 꼭지 부분을 청소하여 준비함.

###### [플라즈마 처리]

- 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간(10, 30sec) 처리조건에 따라 파프리카에 플라즈마 처리함.



<그림2-107> 플라즈마 처리를 위한 대용량 플라즈마 시스템의 챔버

[표2-23] 파프리카 플라즈마 처리 조건

No.	처리시간	무처리	처리구
1	10초	20개	20개
3	30초		20개

[플라즈마 처리된 파프리카의 박스포장 및 선적]

- 처리된 파프리카는 20개씩 박스포장하여 강원도 철원 조은그린에서 부산으로 배송하여 선적함.
- 선적한 파프리카는 일본 삿포로 ISHIKARI항 검역장까지 운송 후 검역 참관.



<그림2-108> 국외(강원도 철원-일본 삿포로 구간) 파프리카 유통 경로



<그림2-109> 국외(일본) 선박을 이용한 플라즈마 처리 파프리카의 이동 경로 (강원 철원->일본 삿포로)

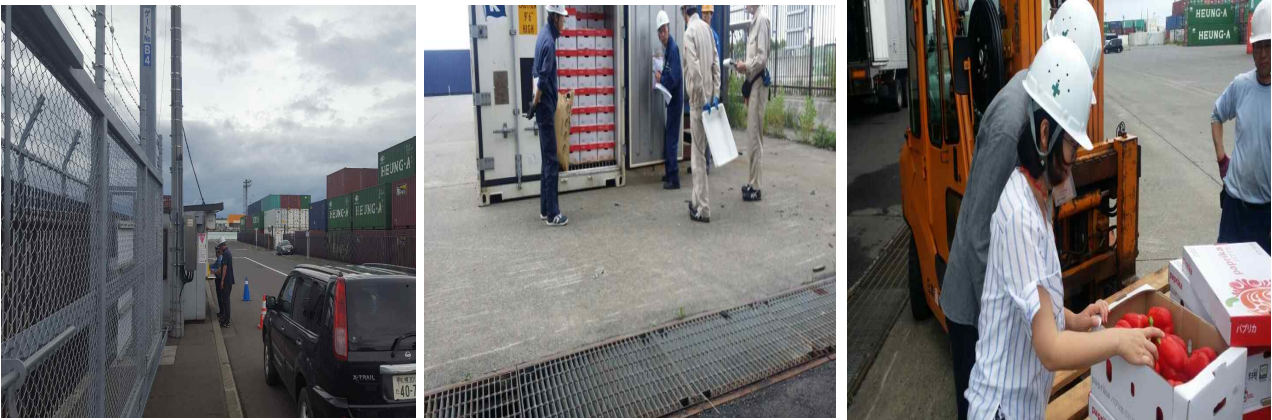


[파프리카 현지 저장시설 방문 및 시장 조사]

- 조은그린(주)의 일본 현지의 파프리카 유통을 거래하는 JALUX(도쿄) 및 MARUTO(삿포르) 회사 및 저장시설을 방문하여 수출 파프리카의 보관 상태 등 현황과 일본 현지의 파프리카 유통의 애로사항 및 플라즈마 처리 파프리카의 인식도 등을 확인함.
- 유통되는 파프리카의 수요 및 생성된 가격대를 조사하기 위하여 시장 조사를 실시함.

○ 연구결과 및 고찰

- 강원도 철원에서 냉장 컨테이너로 육로를 이용하여 부산항을 거쳐 일본의 ISHIKARI항에 도착한 파프리카의 상태를 점검하였으며 플라즈마 처리 파프리카의 상태는 무처리와 비교시 상태가 좋았음.
- 파프리카 검역시 두 명의 검역관이 검역을 실시하며 4명의 참관인이 검역을 보조하여 파프리카의 흙 또는 해충 유무를 파악하여 보안된 상태에서 진행함.



<그림2-110> ISHIKARI항 입구 및 한국의 조은그린(주)에서 일본의 MARUTO社로 수출한 파프리카의 상태 확인



<그림2-111> ISHIKARI항 검역장 및 검역을 마친 조은그린(주)의 수출 파프리카 샘플

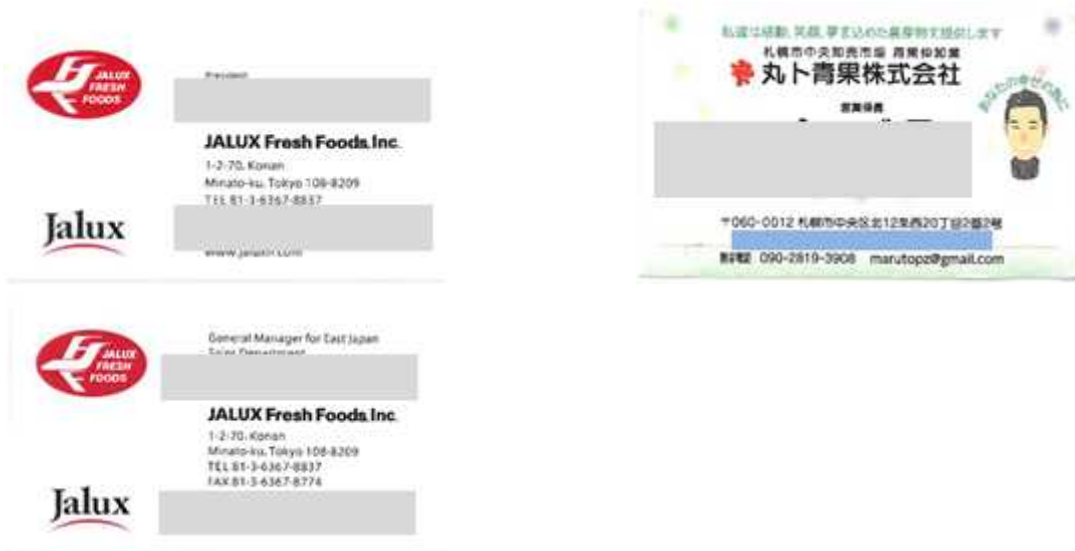
② 파프리카 현지 저장시설 방문 및 홍보, 인식도 조사 (도쿄, 삿포르)

- 도쿄에 소개한 일본 5대 유통회사 중 한 곳인 JALUX사를 방문하여 관계자와 미팅을 진행하였음.
- 일본 현지 파프리카 유통업 관계자들에게 IPET 수출전략기술개발사업과 신선 농산물 저장성향상을 위한 플라즈마 시스템 개발에 대한 내용을 소개하였음.
- 농업 적용 플라즈마의 기능성에 대한 브리핑을 통하여 플라즈마에 대한 관심도를 높였음.
- 일본 현지 파프리카 유통업 관계자들의 플라즈마 처리 파프리카에 대한 인식도를 조사하였음.
- 조은그린 파프리카에 대한 인식도와 호감도가 높았음.
- 삿포르 지역의 경우, 지역주민들의 파프리카 소비 증가로 인한 물량 부족하나, 일본내에서 장거리 유통으로 신선한 파프리카 공급에 어려움이 있었으며, 도쿄에 비해 유통 거리의 문제로 일본산 파프리카(삿포르 일대 생산된 파프리카가 유통됨)가 우점하고 있었음.

사진삭제

사진삭제

<그림2-112> JALUX社의 유통 관계자와 미팅 (사진)



< JALUX社 >

<MARUTO社 >

<그림2-113> 일본 소재 농산물 유통업체 관계자의 연락처



사진삭제

<그림2-114> JALUX社의 저장창고 (파프리카 저장 상태 관찰)



<그림2-115> MARUTO社의 저장창고 (파프리카 저장 상태 관찰)

[표2-24] 일본 소재 파프리카 유통 회사 방문 내용 및 성과

방문회사	위치	내용	성과
JALUX	도쿄	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IPET 수출전략기술개발사업 소개</li> <li>• 수출 농산물 저장성 향상을 위한 플라즈마 시스템의 개발 기술 소개</li> <li>• 플라즈마에 대한 현지 관계자들의 인식도 조사</li> <li>• JALUX의 저장창고 방문 및 한국산 파프리카(조은그린(주) 포함)의 유통 상태 확인 및 한국산에 대한 인식 조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 플라즈마 처리에 대한 일본 관계자의 인식도 향상</li> <li>• 플라즈마 적용 저장성 향상 기술을 홍보하였으며, 일본 국내 유통의 중심인 도쿄에서 저장성이 향상된다면 거래 물량이 보다 활발할 것으로 일본 JALUX 유통 관계자는 기대함</li> </ul>
MARUTO	삿포로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일본에서 가장 유통망이 먼곳으로 현재 국내산(일본산) 파프리카가 선정하고 있었음</li> <li>• 조은그린(주)에서 현재 물량을 늘리고 있는 단계이며, 품질을 높이기 위한 노력으로 플라즈마 적용 파프리카에 대한 홍보를 진행</li> <li>• MARUTO의 저장창고 방문 및 한국산 파프리카[조은그린(주)]의 유통 상태 확인 및 한국산에 대한 인식 조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일본에서 가장 유통망이 먼곳으로 도쿄의 파프리카에 비해 품질이 다소 떨어짐에도 불구하고 한국산이 품질을 인정받고 있었으며, 현재까지는 장거리 문제로 국내산(일본산) 파프리카가 많이 유통되고 있었으나, 플라즈마 적용 저장성 향상 기술을 홍보를 통해, 이에 따른 고품질 한국산 파프리카가 선점할 것으로 일본 마루토 유통 관계자는 기대하였음.</li> </ul>

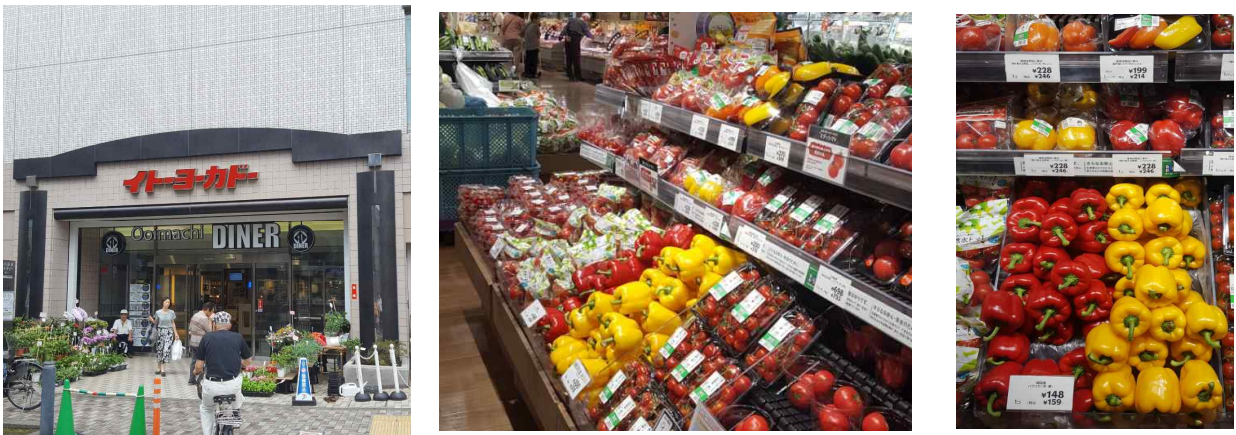


### ③ 일본 현지 시장 조사

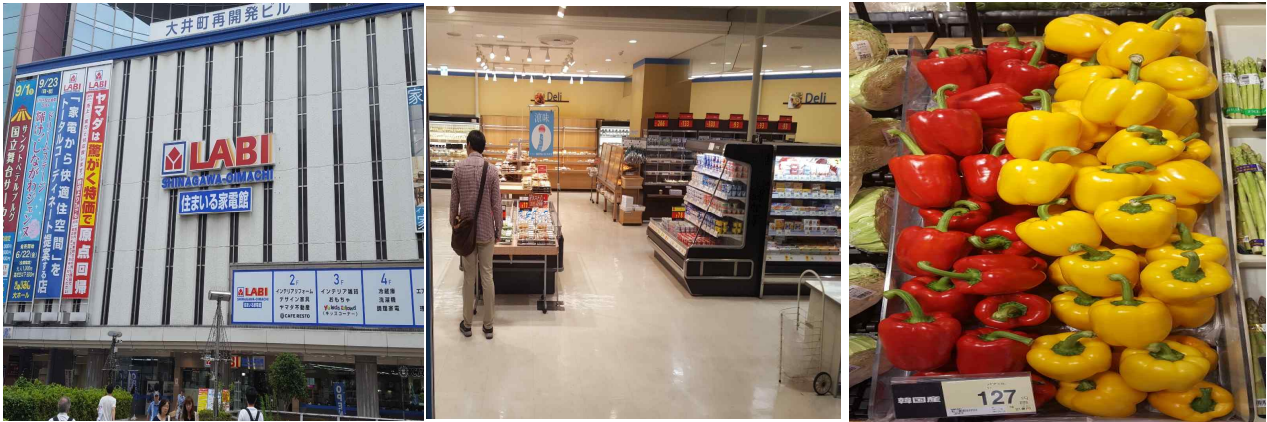
- 일본 도쿄와 삿포로의 시장에서 판매되고 있는 파프리카 조사를 실시함.
- 일본 현지의 파프리카의 수요는 높은 것을 확인하였으며 이에 따른 높은 가격대를 형성함.
- 삿포로의 경우, 일본내에서 가장 먼거리 유통지역으로 도쿄에 비해 파프리카의 신선도가 떨어짐을 확인함.
- 일본내 플라즈마라는 인식은 비교적 좋았으며, 일본내 타지역에 유통되고 있는 한국산 파프리카에 비해 신선도는 다소 떨어졌지만 일본산 파프리카보다는 한국산 파프리카의 품질이 우수함을 인정하고 있었음.



<그림2-116> KEIKYU 입구와 진열된 파프리카



<그림2-117> OIMACHI 입구와 진열된 파프리카



<그림2-118> SHINAGAWA OIMACHI 매장 입구와 진열된 조은그린 파프리카



<그림2-119> OTARU AEON 매장 입구와 진열된 파프리카

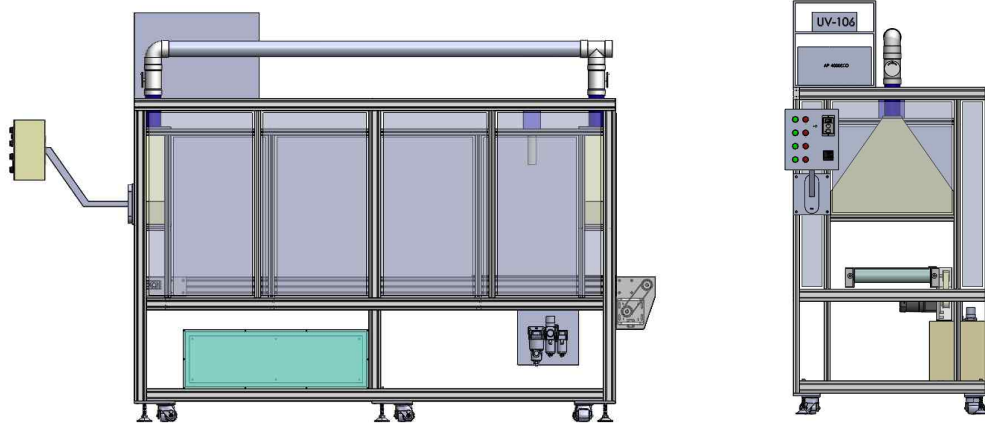
### (3) 현장 맞춤형 상용화용 플라즈마 시스템 개발

#### (가) 현장 맞춤형 상용화용 플라즈마 시스템 구축 (선과장 적용)

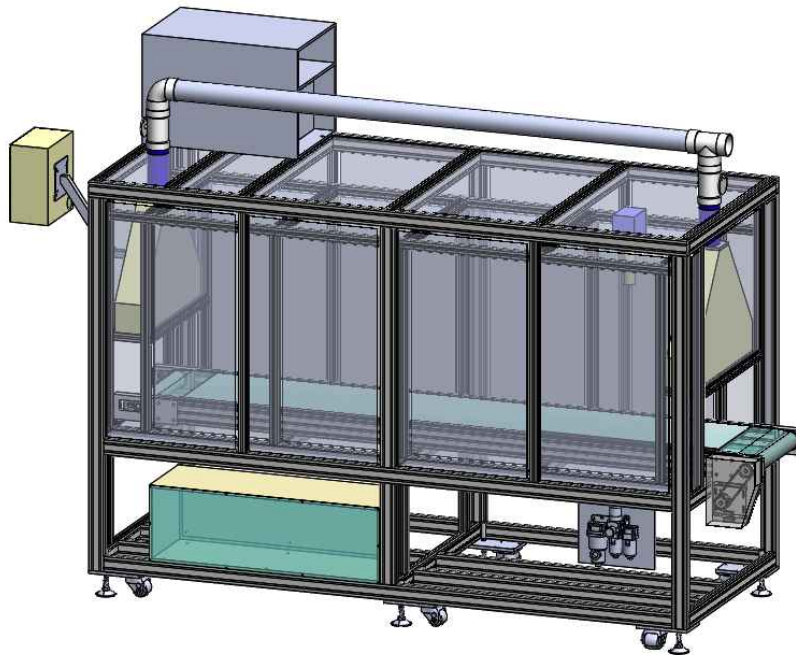
##### ① 설계도

- 농업회사법인 조은그린(주)의 선과장 라인에 설치가 가능하도록 상용화용 플라즈마 시스템을 설계하였음.
- 대용량으로 테스트를 진행하였을 때, 단점(플라즈마 활성종이 챔버외로 유출이되어 플라즈마 처리 효율이 다소 떨어짐)을 보완하여 설계함.
- 챔버를 이중으로 설계함으로써 내부 챔버에서 플라즈마 처리가 이루어지고, 외부 챔버에 배기 및 순환 시스템을 추가 설계하여, 외부로 나가는 활성종을 내부에서 순환하도록 설계함.
- 파프리카에 최적 활성종 농도를 유지하기 위해 내부 챔버에 활성종을 대표하는 오존 센서(현재 플라즈마에서 발생하는 여러 활성종 중, 개발되어 시판되고 있는 측정 센서는 오존 센서만 존재함. 따라서, 2차년도에 오존측정을 통해 전체 활성종 농도를 환산하여 전체 활성종 농도를 유추하였음)를 설치하고, 센서에 의해 오존농도를 실시간 측정하여, 최적 활성종 농도가 일정하게 챔버내에서 유지되도록 플라즈마 발생이 자동 On/Off 되도록 모듈을 추가 설계함.





<그림2-120> 현장맞춤 상용화용 플라즈마 시스템 설계도[정면(왼쪽)과 측면(오른쪽)]



<그림2-121> 현장맞춤 상용화용 플라즈마 시스템 3D 설계도



○ 조은그린(주)의 선과장 맞춤형 상용화용 플라즈마 시스템의 최종 사양은 아래와 같음.

[표2-25] 현장맞춤형 상용화용 플라즈마 시스템 사양

시스템 사양		내역	비고
플라즈마 발생기	구동방식	고압전기를 이용한 플라즈마 생성 (1,000W)	공정의 단순화를 위한 최적 파워(파프리카 처리용)를 고정 설정
	크기(cm)	356.8(W)× 533.8(D) × 186.4(H)	
	소비전력(kW)	1.2	
	공압사양 (bar)	입력 공기압 6 이상 사용 공기압 1~3	
대용량 챔버	특징	- 이중 챔버 구조 - 내부 순환 시스템(박스처리의 활성중 처리 효율 증대) - 플라즈마 On/Off 시스템 내장(설정 활성중 농도를 자동으로 일정하게 유지 가능)	선과장 메인 라인을 컨트롤하는 메인 박스와 전원을 연결하여 전체라인과 플라즈마 시스템을 동시에 컨트롤이 가능하도록 설계
	재질	PC, 알루미늄	
	크기(m)	200(W) × 80(L) × 80(H)	
컨베이어 벨트	길이(cm)	300	조은그린(주) 선과장의 라인 속도와 같음
	이동 속도(sec/m)	5	

② 현장 맞춤형 상용화용 플라즈마 시스템 구축

○ 초기 설치계획 <그림2-122>은 단순히 선과장 라인을 연결하여 설치하기로 하였으나, 시물레이션 과정에서 원활한 파프리카 박스의 이동을 위해 설치 위치를 변경하여 진행하였음(그림 2-123).



<그림2-122> 조은그린(주) 선과라인에 설치할 상용화용 플라즈마 시스템 위치 계획도(초기계획)



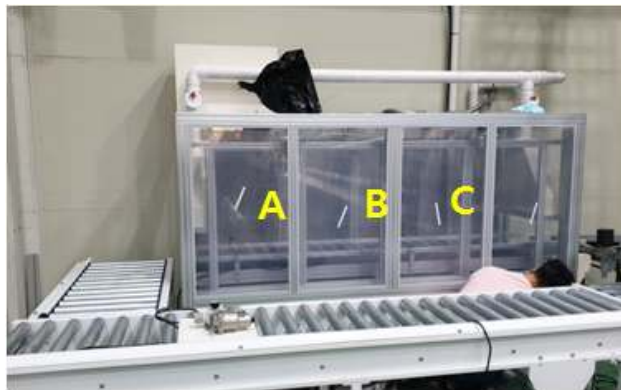
<그림2-123> 조은그린(주)의 선과장(왼쪽)과 상용화용 플라즈마 시스템의 최종 설치 위치(오른쪽)



<그림2-124> 조은그린(주)의 선과장에 설치한 상용화용 플라즈마 시스템

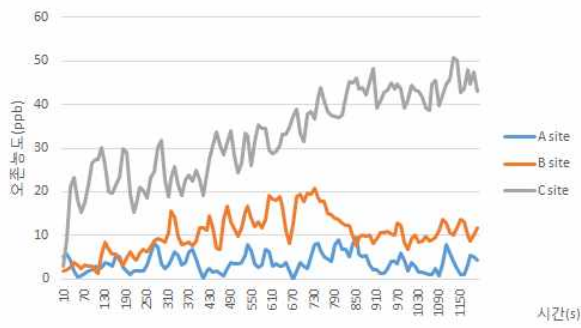
### ③ 현장 맞춤형 상용화용 플라즈마 시스템 테스트

- 설정한 활성종의 농도가 일정하게 유지되는지 여부와 측정 센서 위치를 확정하기 위해 측정 실험을 진행하였음.
- 측정 실험은 3반복을 기본으로 하였고, 측정 농도를 0.02ppm(대용량 플라즈마 시스템 적용 플라즈마 처리 조건이며, 인체 무해한 농도 범위내에서 설정되었음)로 설정하여 세 위치(A, B, C)에서 측정함. 또한, 플라즈마 발생 자동 On/Off 시스템을 사용하지 않았을 때를 비교하여 플라즈마 발생 자동 On/Off 시스템의 작동여부를 확인하였음.

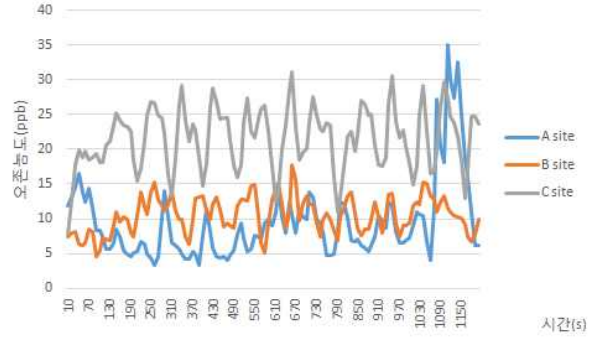


<그림2-125> 챔버내 활성종 유지 여부 테스트와 활성종 측정 센서 위치 설정

- 측정 세 위치(A, B, C) 중, 'C' 위치에서 안정적으로 농도가 유지됨을 확인하였음. 따라서, 각 설정된 농도는 균일하게 작동이 되었으며, 'C' 위치에 센서를 고정하여 자동농도 조절이 되도록 함.



<플라즈마 자동 On/Off 시스템 off조건>



<플라즈마 자동 On/Off 시스템 on 조건>

<그림2-126> 각 측정 위치별(A, B, C) 및 플라즈마 자동 On/Off 시스템 작동 유무별 오존 설정에 따른 일정시간내 유지되는 농도 측정 분석

(나) 현장 맞춤형 상용화용 플라즈마 시스템의 처리공정 기술 개발

① 저장병을 일으키는 병원성 미생물의 최적 처리공정 확립

㉞ *E. caratovora* 방제 최적 상용화 플라즈마 처리 공정 확립

○ 연구방법 및 재료

[실험 재료]

- 본 실험에서는 농촌진흥청 농업미생물은행(Wanju, Korea)으로부터 분양받은 무름병 세균 (*Erwinia caratovora* subsp., *E. caratovora*, KACC 105273)을 파프리카에 접종하여 상용화 컨베이어 플라즈마 시스템으로 처리한 후 냉장보관하여 살균효과를 확인하였으며, 세균 배양에는 LB(Luria-Bertani, BD company, USA) 배지를 사용하였음.

[파프리카 준비]

- 조은그린(주)에서 구입한 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연 건조하여 준비하였음.

[세균 시료 준비]

- 세균은 LB broth에 접종하여 30°C shaking incubator에서 18시간 동안 진탕배양한 후 spectrophotometer(Biochrom, UK)를 이용하여 세균현탁액 농도를 6.0 log CFU/ml로 맞추어 사용하였음.

[세균의 파프리카 접종]

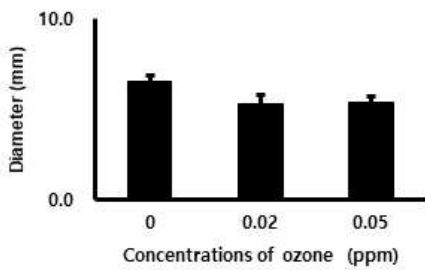
- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 세균현탁액 10 µl 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 컨베이어 플라즈마 처리하였음.

[플라즈마 처리]

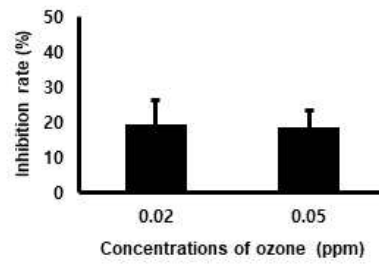
- 처리조건은 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간 10 sec. 및 오존 농도(0-0.05 ppm)에 따라 수행하였음.

○ 연구결과 및 고찰

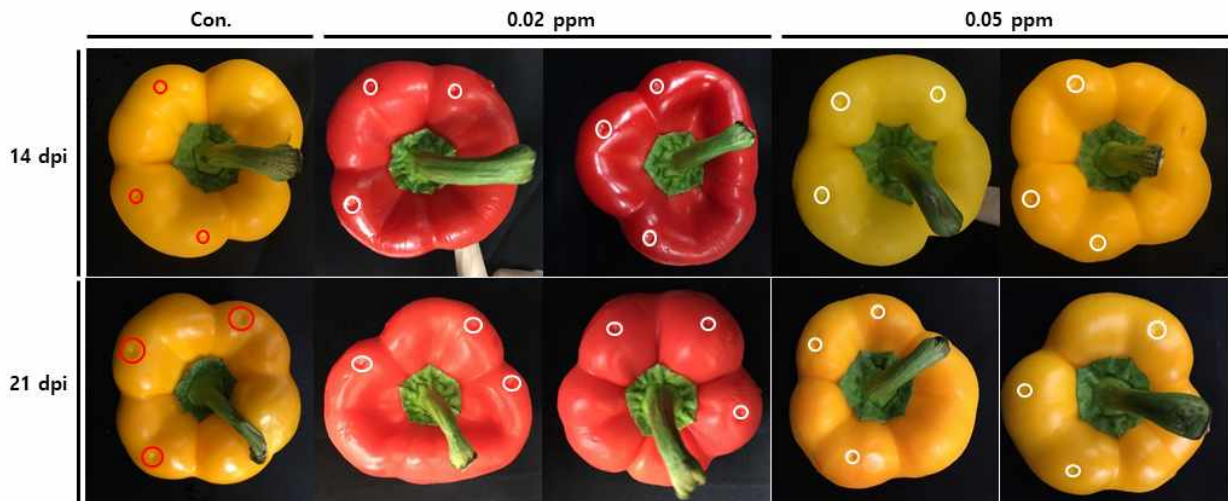
- 살균한 파프리카에 세균현탁액을 접종하고 오존 농도(0.02 또는 0.05 ppm)를 달리하여 플라즈마 처리 후 냉장(5±2°C) 조건에서 최대 21일간 저장했을 때 나타난 사멸효과를 오존 농도(ppm)에 따른 무름병 병징으로써 <그림 3-2>에 나타내었음.



<병징 크기(mm)>



<억제율(%)>



<그림2-128> 플라즈마 오존 농도에 따른 파프리카 접종 *E. carotovora*의 사멸효과

- 0.05 ppm의 오존 농도로 플라즈마 처리하였을 때 파프리카 접종 무름병 병징의 크기가 감소하여 inhibition rate는 약 20%로 0.02 ppm 처리한 샘플의 병징 크기 및 inhibition rate와 유사하였음.
- 14 dpi 보다 21 dpi에서 무처리군의 병징은 더 악화되었으나 플라즈마 처리군은 무름병이 악화되지 않음.
- 플라즈마 처리군에서 약 20%의 무름병 세균 억제 효과가 나타난 바, 1, 2차연도의 lab scale 및 상용화 대기압 플라즈마 시스템 적용 결과와 유사한 결과를 도출하였음. 즉, 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 및 오존 0.05 ppm의 조건으로 10초간 컨베이어 플라즈마 처리 시 생성된 오존 등 활성종이 *E. carotovora*의 증식을 억제한 것으로 사료됨.

## ㉔ *A. alternata* 방제 최적 상용화용 플라즈마 처리 공정 확립

### ○ 연구방법 및 재료

#### [실험 재료]

- 본 실험에서는 조은그린(주)의 수출용 파프리카에서 순수 분리한 검은 곰팡이 *Alternaria alternata*(*A. alternata*)를 대상으로 하여 파프리카에 접종하여 플라즈마 시스템으로 처리한 후 냉장보관하여 살균효과를 확인하였고, 곰팡이 배양 배지는 PDA(Potato Dextrose Agar, BD company, USA)를 사용하였음.

#### [파프리카 준비]

- 조은그린(주)에서 구입한 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연 건조하여 준비하였음.

#### [곰팡이 포자 현탁액 준비]

- 0.1% Tween 80(AMRESCO, USA) 3-5 ml을 곰팡이가 충분히 자란 petri dish에 넣고 cell scraper를 이용하여 긁어모은 포자 현탁액을 멸균거즈로 걸러 conical tube에 모았으며, 포자 현탁액 농도는 hemocytometer로 측정하여 7.0 log CFU/ml로 사용하였음.

#### [곰팡이 포자의 파프리카 접종]

- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 곰팡이 포자 현탁액 10  $\mu$ l 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 컨베이어 플라즈마 처리하였음.

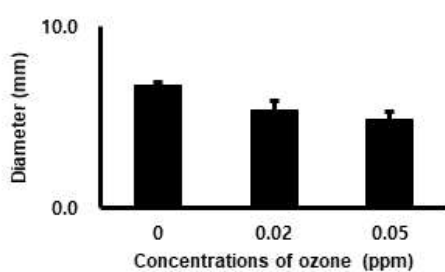
#### [플라즈마 처리]

- 처리조건은 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간 10 sec. 및 오존 농도(0-0.05 ppm)에 따라 수행하였음.

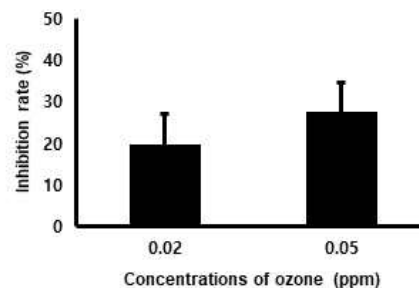
### ○ 연구결과 및 고찰

- 살균한 파프리카에 곰팡이 포자 현탁액을 접종하고 오존 농도(0.02 또는 0.05 ppm)를 달리하여 상용화 컨베이어 플라즈마 처리 후 냉장(5 $\pm$ 2 $^{\circ}$ C) 조건에서 최대 21일간 저장했을 때 나타난 사멸효과를 오존 농도(ppm)에 따른 검은 곰팡이병 병징으로써 <그림 3-4>에 나타내었음.

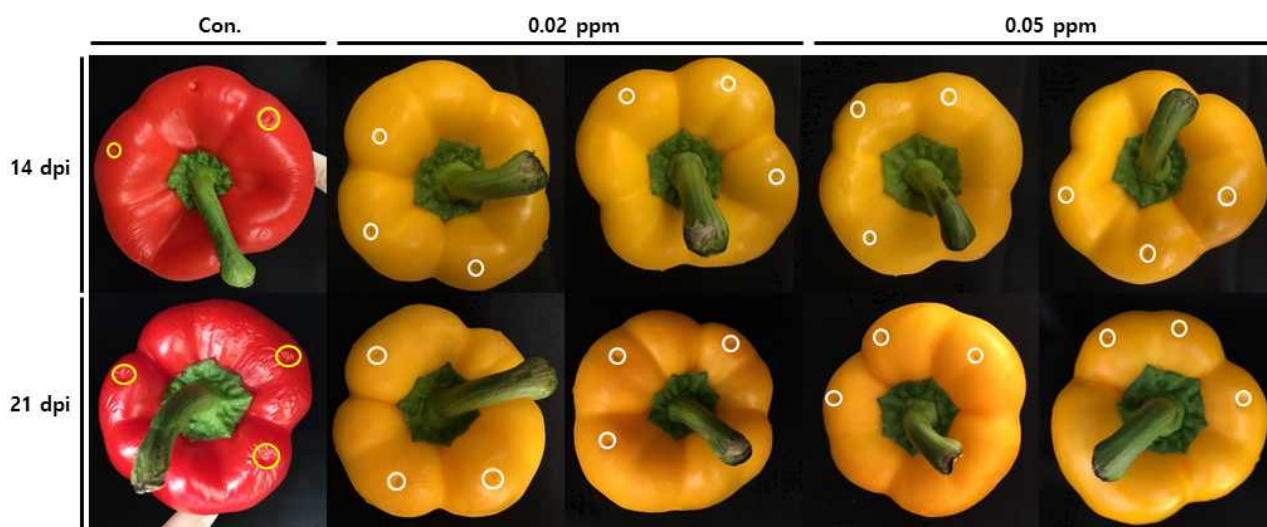




<병징 크기(mm)>



<억제율(%)>



<그림2-129> 플라즈마 오존 농도에 따른 파프리카 집종 *A. alternata*의 사멸효과

- 0.05 ppm의 오존 농도로 플라즈마 처리하였을 때 파프리카 집종 무름병 병징의 크기가 감소하여 inhibition rate는 약 30%로 0.02 ppm 처리한 파프리카와 비교하였을 때, 병징 크기는 감소하고, inhibition rate는 약 10% 증가하였음.
- 14 dpi 보다 21 dpi에서 무처리군의 병징은 더 악화되었으나 플라즈마 처리군은 검은 곰팡이병이 악화되지 않음.
- 플라즈마 처리군에서 약 20~30%의 검은 곰팡이병 억제 효과가 나타난 바, 1, 2차연도의 lab scale 및 상용화 대기압 플라즈마 시스템 적용 결과와 유사한 결과를 도출하였음. 즉, 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 및 오존 0.05 ppm의 조건으로 10초간 컨베이어 플라즈마 처리 시 생성된 오존 등 활성종이 *A. alternata*의 증식을 억제한 것으로 사료됨.



## ㉔ *Fusarium spp.* 방제 최적 상용화용 플라즈마 처리 공정 확립

### ○ 연구방법 및 재료

#### [실험 재료]

- 본 실험에서는 농촌진흥청 농업미생물은행(Wanju, Korea)으로부터 분양받은 시들음병을 유발하는 *Fusarium spp.*(KACC 40240)을 파프리카에 접종하여 플라즈마 시스템으로 처리한 후 냉장보관하여 살균효과를 확인하였고, 곰팡이 배양 배지는 PDA(Potato Dextrose Agar, BD company, USA)를 사용하였음.

#### [파프리카 준비]

- 조은그린(주)에서 구입한 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연 건조하여 준비하였음.

#### [곰팡이 포자 현탁액 준비]

- 0.1% Tween 80(AMRESCO, USA) 3-5 ml을 곰팡이가 충분히 자란 petri dish에 넣고 cell scraper를 이용하여 긁어모은 포자 현탁액을 멸균거즈로 걸러 conical tube에 모았으며, 포자 현탁액 농도는 hemocytometer로 측정하여 7.0 log CFU/ml로 사용하였음.

#### [곰팡이 포자의 파프리카 접종]

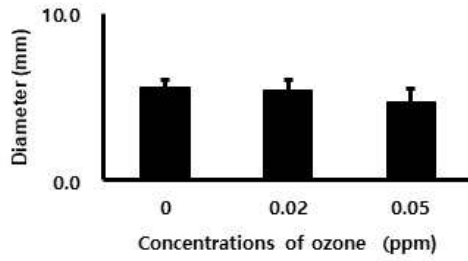
- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 곰팡이 포자 현탁액 10  $\mu$ l 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 컨베이어 플라즈마 처리하였음.

#### [플라즈마 처리]

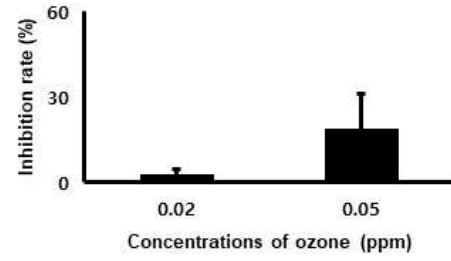
- 처리조건은 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간 10 sec. 및 오존 농도(0-0.05 ppm)에 따라 수행하였음.

### ○ 연구결과 및 고찰

- 살균한 파프리카에 곰팡이 포자 현탁액을 접종하고 오존 농도(0.02 또는 0.05 ppm)를 달리하여 플라즈마 처리 후 냉장(5 $\pm$ 2 $^{\circ}$ C) 조건에서 최대 21일간 저장했을 때 나타난 사멸효과를 오존 농도(ppm)에 따른 시들음병 병징으로써 <그림 3-6>에 나타내었음.



<병징 크기(mm)>



<억제율(%)>



<그림2-130> 플라즈마 오존 농도에 따른 파프리카 접종 *Fusarium spp.*의 사멸효과

- 0.05 ppm의 오존 농도로 플라즈마 처리하였을 때 파프리카 접종 시들음병의 병징 크기가 감소하여 inhibition rate는 약 20%로 무처리 및 0.02 ppm 처리한 파프리카와 비교하였을 때, 병징 크기는 감소하고, inhibition rate는 약 15% 증가하였음.
- 14 dpi 보다 21 dpi에서 무처리군의 병징은 더 악화되었으나 플라즈마 처리군은 시들음병이 악화되지 않음.
- 플라즈마 처리군에서 약 20%의 시들음병 제어 효과가 나타난 바, 1, 2차연도의 lab scale 및 대용량 플라즈마 시스템 적용 결과와 유사한 결과를 도출하였음. 즉, 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 및 오존 0.05 ppm의 조건으로 10초간 컨베이어 플라즈마 처리 시 생성된 오존 등 활성종이 *Fusarium spp.*의 증식을 억제한 것으로 사료됨.

## ② 최적 해충 방제 기술 적용 가능성 테스트

### ○ 연구방법 및 재료

- 파프리카 상장에서 플라즈마 최적 처리 조건을 기반으로 PEEC에 대상 해충(왕담배나방 성충, 3령 유충, 1령 유충, 차응애, 오이총채벌레, 목화진딧물, 꽃노랑총채벌레)을 3-20마리 접종 후 3반복 실험을 진행함.
- PEEC의 적용은 아래 <그림2-131> 과 같이 파프리카 보관상자에 해충의 이탈 방지를 위한 것임.
- 플라즈마를 10초간 처리한 후, 바로 사충율을 측정하고 또한, 플라즈마 처리된 해충을 24℃ 향온기에 보관 후 24시간 후, 사충율을 측정하였음.



<그림2-131> 파프리카 처리 상자에 접종된 PEEC. PEEC내에는 다양한 해충이 접종된 상태임.



<그림2-132> 파프리카 처리용 플라즈마 기반 전처리 장치.

### ○ 연구결과

- 파프리카에 접종한 해충을 플라즈마 처리 후, 관찰 결과, 대상 처리 해충에서 사충 혹은 기절 현상이 발견되지 않았음.
- 처리 24시간 후 사충율 평가 결과, 무처리 대비 사충율은 발견되지 않아, 플라즈마를 이용한 직접적인 살충효과는 현재 처리 조건에서는 생성되지 않았음.

### ○ 고찰

- 본 연구에서는 플라즈마를 적용한 단독 해충의 살충 효과는 있으나, 해충 살충 조건으로 신선 농산물에는 적합한 조건이 아님을 확인하였음.
- 본 연구 결과를 토대로, 플라즈마를 적용한 해충 효과가 있음을 확인하였고, 해충방제를 위한 별도의 공정을 개발하는데 중요한 데이터를 확보하였음.

③ 플라즈마 처리 파프리카 저장성 품질보존 중규모 실증 평가

㉞ 최적 플라즈마 처리 공정 적용 현장 실증 평가 (*E. caratovora*)

○ 연구방법 및 재료

[실험 재료]

- 본 실험에서는 농촌진흥청 농업미생물은행(Wanju, Korea)으로부터 분양받은 무름병 세균 (*Erwinia caratovora* subsp., *E. caratovora*, KACC 105273)을 파프리카에 접종하여 조은그린(주) 선과장의 플라즈마 시스템으로 처리한 후 냉장 보관하여 살균효과에 대한 실증 평가를 진행하였음. 세균 배양에는 LB(Luria-Bertani, BD company, USA) 배지를 사용하였음.

[파프리카 준비]

- 조은그린(주)에서 구입한 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연 건조하여 준비하였음.

[세균 시료 준비]

- 세균은 LB broth에 접종하여 30℃ shaking incubator에서 18시간 동안 진탕배양한 후 spectrophotometer(Biochrom, UK)를 이용하여 세균현탁액 농도를 6.0 log CFU/ml로 맞추어 사용하였음.

[세균의 파프리카 접종]

- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 세균현탁액 10 µl 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 컨베이어 플라즈마 처리하였음.

[플라즈마 처리]

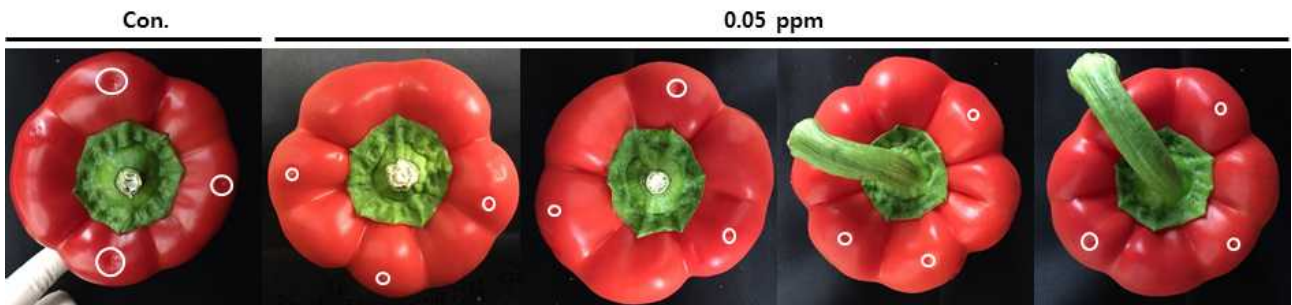
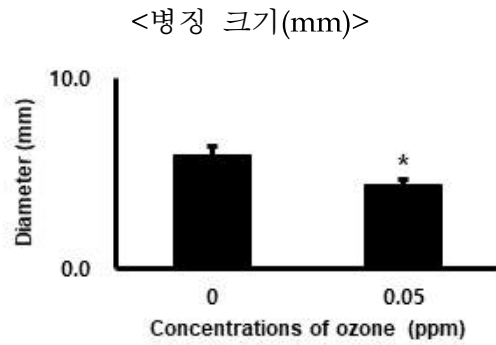
- 처리조건은 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간 10 sec. 및 오존 농도 0.05 ppm에 따라 수행하였음.



<그림2-133> 조은그린(주) 선과장 내 상용화용 플라즈마 시스템

○ 연구결과 및 고찰

- 살균한 파프리카에 세균현탁액을 접종하고 0.05 ppm의 오존 농도로 플라즈마 처리 후 냉장(5±2℃) 조건에서 21일간 저장했을 때 나타난 사멸효과를 오존 농도(ppm)에 따른 무름병 병징으로써 <그림2-134>에 나타내었음.



<그림2-134> 플라즈마 오존 농도에 따른 파프리카 접종 *E. carotovora*의 사멸효과

- 0.05 ppm의 오존 농도로 플라즈마 처리하였을 때 파프리카 접종 무름병 병징의 크기가 유의적으로 감소하여 inhibition rate는 약 25%로 나타남.
- 따라서, 상용화 플라즈마 시스템은 파프리카에 무름병을 야기해 품질 저하를 초래하는 *E. carotovora*의 방제에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 사료됨.

㊤ 최적 플라즈마 처리 공정 적용 현장 실증 평가 (*A. alternata*)

○ 연구방법 및 재료

[실험 재료]

- 본 실험에서는 조은그린(주)의 수출용 파프리카에서 순수 분리한 검은 곰팡이 *Alternaria alternata*(*A. alternata*)를 대상으로 하여 파프리카에 접종하여 조은그린(주) 선과장의 플라즈마 시스템으로 처리한 후 냉장 보관하여 살균효과에 대한 실증 평가를 진행하였음. 곰팡이 배양 배지는 PDA(Potato Dextrose Agar, BD company, USA)를 사용하였음.



[파프리카 준비]

- 조은그린(주)에서 구입한 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연 건조하여 준비하였음.

[곰팡이 포자 현탁액 준비]

- 0.1% Tween 80(AMRESCO, USA) 3-5 ml을 곰팡이가 충분히 자란 petri dish에 넣고 cell scraper를 이용하여 긁어모은 포자 현탁액을 멸균거즈로 걸러 conical tube에 모았으며, 포자 현탁액 농도는 hemocytometer로 측정하여 7.0 log CFU/ml로 사용하였음.

[곰팡이 포자의 파프리카 접종]

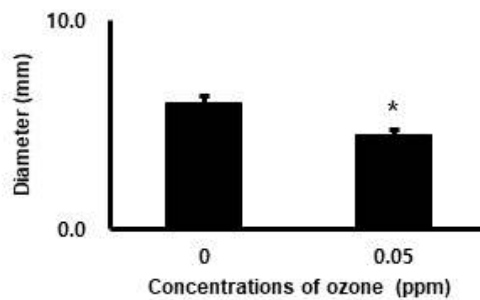
- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 곰팡이 포자 현탁액 10 µl 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 컨베이어 플라즈마 처리하였음.

[플라즈마 처리]

- 처리조건은 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간 10 sec. 및 오존 농도 0.05 ppm에 따라 수행하였음.

○ 연구결과 및 고찰

- 살균한 파프리카에 곰팡이 포자 현탁액을 접종하고 오존 농도 0.05 ppm으로 플라즈마 처리 후 냉장(5±2℃) 조건에서 21일간 저장했을 때 나타난 사멸효과를 오존 농도(ppm)에 따른 검은 곰팡이병 병징으로써 <그림2-135>에 나타내었음.



<병징 크기(mm)>



<그림2-135> 플라즈마 오존 농도에 따른 파프리카 접종 *A. alternata*의 사멸효과



- 0.05 ppm의 오존 농도로 플라즈마 처리하였을 때 파프리카 접종 검은 곰팡이병 병징의 크기가 유의적으로 감소하여 inhibition rate는 약 25%로 나타남.
- 따라서, 플라즈마 시스템은 파프리카에 검은 곰팡이병을 야기해 품질 저하를 초래하는 *A. alternata*의 방제에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대됨.

#### ㉔ 최적 플라즈마 처리 공정 적용 현장 실증 평가 (*Fusarium spp.*)

##### ○ 연구방법 및 재료

###### [실험 재료]

- 본 실험에서는 농촌진흥청 농업미생물은행(Wanju, Korea)으로부터 분양받은 시들음병을 유발하는 *Fusarium spp.*(KACC 40240)을 파프리카에 접종하여 조은그린(주) 선과장의 플라즈마 시스템으로 처리한 후 냉장 보관하여 살균효과에 대한 실증 평가를 진행하였음. 곰팡이 배양 배지는 PDA(Potato Dextrose Agar, BD company, USA)를 사용하였음.

###### [파프리카 준비]

- 조은그린(주)에서 구입한 수출용 파프리카를 1% 락스에 2분간 침지하여 살균한 뒤 증류수로 세척하고 clean bench에서 자연 건조하여 준비하였음.

###### [곰팡이 포자 현탁액 준비]

- 0.1% Tween 80(AMRESCO, USA) 3-5 ml을 곰팡이가 충분히 자란 petri dish에 넣고 cell scraper를 이용하여 긁어모은 포자 현탁액을 멸균거즈로 걸러 conical tube에 모았으며, 포자 현탁액 농도는 hemocytometer로 측정하여 7.0 log CFU/ml로 사용하였음.

###### [곰팡이 포자의 파프리카 접종]

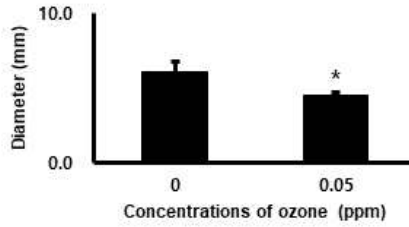
- 락스 살균한 파프리카의 표면을 멸균한 팁으로 살짝 긁어 곰팡이 포자 현탁액 10  $\mu$ l 접종하고 clean bench에서 10분 휴지시킨 후 컨베이어 플라즈마 처리하였음.

###### [플라즈마 처리]

- 처리조건은 파워 500 W, 압력 2.5 bar, 처리시간 10 sec. 및 오존 농도 0.05 ppm에 따라 수행하였음.

##### ○ 연구결과 및 고찰

- 살균한 파프리카에 곰팡이 포자 현탁액을 접종하고 오존 농도 0.05 ppm로 플라즈마 처리 후 냉장(5 $\pm$ 2 $^{\circ}$ C) 조건에서 21일간 저장했을 때 나타난 사멸효과를 오존 농도(ppm)에 따른 시들음병 병징으로써 <그림2-136>에 나타내었음.



<병징 크기(mm)>



<그림2-136> 플라즈마 오존 농도에 따른 파프리카 접종 *Fusarium spp.*의 사멸효과

- 0.05 ppm의 오존 농도로 플라즈마 처리하였을 때 파프리카 접종 시들음병 병징의 크기가 유의적으로 감소하여 inhibition rate는 약 26%로 나타남.
- 따라서, 상용화용 플라즈마 시스템은 파프리카에 시들음병을 야기해 품질 저하를 초래하는 *Fusarium spp.*의 방제에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대됨.

### ㉔ 플라즈마 처리 파프리카 저장성 품질 변화 분석

#### ○ 연구방법 및 재료

- 조은그린(주) 선과장에 설치된 상용화용 플라즈마 시스템의 성능 및 파프리카의 저장성 향상 최적 조건을 구축하기 위해 박스포장(30개/박스, 3박스/1회, 3회 반복)의 파프리카를 적용하여 플라즈마를 10초간 처리하였음.
- 실제 파프리카 선과장에서 적용할 조건(air brush로 먼지 제거 후 바로 플라즈마 처리)으로 실험을 진행하였음.
- 플라즈마 처리하고 조은그린(주) 선과장의 저장고(7~8°C)에 보관하여 4주간 관찰을 하였음.



<그림2-137> 상용화용 플라즈마 시스템 적용 플라즈마 처리



<그림2-138> 플라즈마 처리 후, 조은그린(주) 선과장의 저장고에 보관(4주간)

[표2-26] 파프리카 저장성 향상을 위한 처리 테스트 조건 (30개/박스, 3박스/1회, 3반복 처리, 빨간파프리카)

SampleNo.	처리 농도(ppm)	처리조건/처리 시간(sec)	
		0	10
1	0.05	무처리	1-10

○ 결과

- 플라즈마 처리후 각 7, 14, 28일까지 파프리카의 저장상태를 크게 4부분(꼭지 시들음, 과실 시들음, 꼭지 곰팡이 발생, 과실의 무름 및 변색)으로 구별하여 관찰을 하였음.
- 그 결과, 플라즈마 처리후, 7일째까지는 파프리카의 신선도가 어느정도 유지가 되는 것으로 보여졌고, 꼭지의 시들음 개선도가 무처리 파프리카에 비해 플라즈마 처리한 파프리카 군에서 약 5% 향상됨을 확인하였음.
- 14일째에는 꼭지 및 과실에 시들음 현상이 관찰되기 시작했고, 꼭지 시들음 개선도는 무처리 및 플라즈마 처리 군에 차이는 없었으나, 과실 시들음 개선도에서 플라즈마 처리한 파프리카 군에서 약 1% 정도 향상됨을 확인하였음.
- 28일째에는 대체적으로 과실의 시들음 현상이 일어났는데, 플라즈마 처리한 파프리카 군에서 꼭지의 시들음 개선도가 약 3% 향상됨을 확인하였음.



<무처리>



<1-10>

<그림2-139> 상용화용 플라즈마 시스템 적용 플라즈마 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 7일)



<무처리>



<1-10>

<그림2-140> 상용화용 플라즈마 시스템 적용 플라즈마 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 14일)



<무처리>



<1-10>

<그림2-141> 상용화용 플라즈마 시스템 적용 플라즈마 처리에 따른 파프리카 상태 비교(처리후 28일)

[표2-27] 조건별 플라즈마 처리 파프리카의 상태 비교 (처리개수: 총 30개/박스, 3반복 평균값±표준편차)

(플라즈마 처리후 7일차)

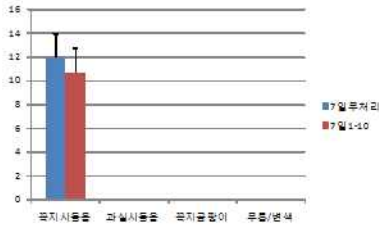
상태	무처리		1-10	
	개	%	개	%
꼭지시들음	12±2.0	40.0	10.7±2.1	35.7
과실 실들음	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0
꼭지 곰팡이 발생	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0
과실 무름/변색	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0

(플라즈마 처리후 14일차)

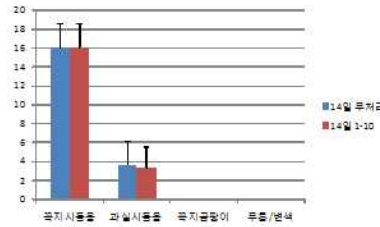
상태	무처리		1-10	
	개	%	개	%
꼭지시들음	16.0±2.6	53.3	16.0±2.6	53.3
과실 실들음	3.7±2.5	12.3	3.3±2.3	11.0
꼭지 곰팡이 발생	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0
과실 무름/변색	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0

(플라즈마 처리후 28일차)

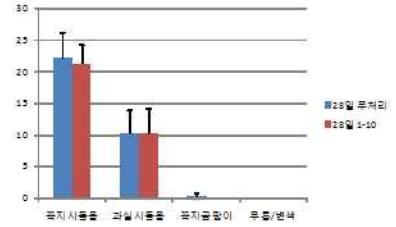
상태	무처리		1-10	
	개	%	개	%
꼭지시들음	22.3±4.0	74.3	21.3±3.0	71.0
과실 실들음	10.3±3.7	34.3	10.3±4.0	34.3
꼭지 곰팡이 발생	0.3±0.6	0.0	0.0±0.0	0.0
과실 무름/변색	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0



<플라즈마 처리후, 7일>



<플라즈마 처리후, 14일>



<플라즈마 처리후, 28일>

<그림2-142> 플라즈마 처리후, 시간에 따른 파프리카 상태 비교

- 결론적으로, 수출용 파프리카의 보관상태는 7일부터 꼭지에서 시들음 현상을 시작으로 서서히 신선도가 떨어지는 것을 확인하였고, 플라즈마 처리한 파프리카 군에서 꼭지 시들음의 개선과 14일째에는 과실의 시들음 개선 향상을 보였음.
- 해외 수입업체의 관계자는 파프리카의 신선도를 평가하는 기준 중, 꼭지부분의 신선도를 중요하게 생각을 하였고, 이는 7일째까지 플라즈마 처리한 파프리카의 꼭지 신선도 개선에 의의가 있음을 알 수 있음. 또한, 14일째에는 과실에서 시들음 현상이 이루어지는데 플라즈마 처리 파프리카 군에서 과실 시들음 현상을 지연시킴으로 해외 수출후 현지에서 보관시 신선도 유지에 도움을 줄 것으로 판단됨.
- 본 연구에선 7일 정도 신선도 유지를 목표로하여 플라즈마 처리 조건을 구축하였으며, 최장 4주까지 관찰을 한 결과는 꼭지 시들음과 꼭지에 곰팡이 발생을 지연하는 효과를 확인할 수 있었으나 전반적으로 파프리카의 물리적인 노화의 진행이 빠르게 진행됨을 알 수 있었음.

#### (다) 플라즈마 처리 파프리카의 해외 실증 평가

##### ① 수출 파프리카의 수입국 현지 플라즈마 처리 샘플 평가

- 최종 구축된 플라즈마 처리 공정 조건을 해외 실증을 통해 효과를 평가하기로 함.
- 해외 유통경로는 조은그린(주)의 유통경로를 이용하여 일본 업체에 협조를 받아 진행하였음.

##### ○ 실증방법

- 조은그린(주) 선과장에 구축된 상용화용 플라즈마 시스템을 적용하여 설별과정을 통해 박스에 포장된 수출 파프리카에 플라즈마(뚜껑이 열린 상태)를 처리함.
- 플라즈마 처리 조건은 다음과 같으며 농도를 두 조건으로 하여 진행함.
- 파프리카는 철원지역에서 생산되는 노란색과 빨간색 파프리카를 사용하였음.
- 기간은 제일 저장성 문제가 있는 6~7월에 평가를 진행하여 2주까지 저장상태를 평가함.



[표2-28] 파프리카 저장성 향상을 위한 해외실증 테스트 조건 (20~22개/박스, 총 62박스/1회, 빨강 및 노랑 파프리카)

SampleNo.	처리 농도(ppm)	처리조건/처리 시간(sec)	
		0	10
1	0.02	무처리	1-10
2	0.05		2-10

[플라즈마 처리된 파프리카의 박스포장 및 선적]

- 박스채 처리된 파프리카는 강원도 철원 조은그린(주) 선과장에서 부산으로 냉장컨테이너로 배송하여 부산항에서 선적하여 일본 삿포로 ISHIKARI항으로 이동.
- 일본 삿포로에 위치한 마루토청과(주)의 저장고에 2주간 보관.



<그림2-143> 국외(강원도 철원-부산-일본 삿포로 구간) 파프리카 유통 경로



<그림2-144> 해외실증(일본)- 육로 및 선박을 이용한 플라즈마 처리 파프리카의 이동 경로 (강원 철원->일본 삿포로)



사진삭제

사진삭제

<해외실증 장소-마루토청과(주)>

<플라즈마 처리된 파프리카의  
일본 삿포로 하역>

<마루토청과(주) 저장고에  
보관된 플라즈마 처리  
파프리카>

<그림2-145> 플라즈마 처리된 파프리카의 해외실증을 위한 실증장소 및 파프리카 저장고

사진삭제

사진삭제

< 실증 기준 논의 및 시트 작성 법 설명 >



사진삭제

사진삭제

<플라즈마 처리 파프리카의 실증 평가>

<그림2-146> 플라즈마 처리된 파프리카의 해외실증 평가

○ 실증결과

- 해외실증의 경우, 빨간파프리카와 노란파프리카를 모두 평가하였음.
- 플라즈마 처리후 파프리카의 상태를 두가지(1. 파프리카의 신선도, 2. 파프리카의 상태변질 정도) 정도로 구분하여 평가함. 즉, 플라즈마 처리 유무에 따른 신선도 상태와 변질 상태를 구분하여 평가하였음.
- 플라즈마 처리후, 보관 7일째의 파프리카는 플라즈마 무처리와 처리 평가 결과, 모두 상태가 우수하였음. 따라서, 데이터의 차이가 없으므로 정리하지는 않았으며, 14일째 평가한 데이터를 분석하였음.
- 평가 참여자는 정확한 평가를 위해 실제 청과업체 종사자들[마루토청과(주) 관계자, 서울청과(주) 관계자]이 참관하여 함께 평가를 진행하였음.

[노란 파프리카- 처리후 14일차]

[표2-29] 플라즈마 처리에 따른 파프리카 신선도 평가 (20개/1박스, 3박스/1회 처리, 평균값±표준편차)

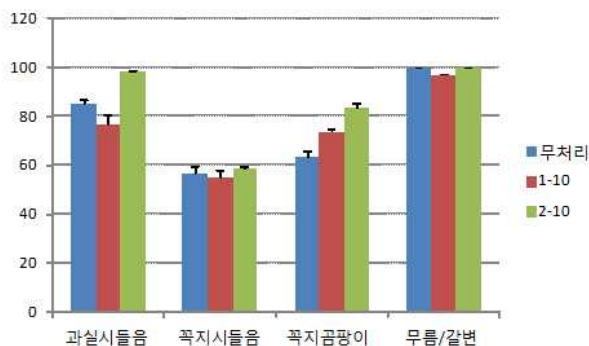
상태	무처리		1-10		2-10	
	개	%	개	%	개	%
꼭지 신선도	17.0±1.7	85.0	15.3±4.0	76.7	19.7±0.5	98.3
과실 신선도	11.3±2.9	56.7	14.0±3.0	55.0	11.7±1.2	58.4
꼭지 곰팡이 발생 억제	12.7±2.1	63.5	14.7±1.5	73.3	16.7±2.1	83.4
과실 무름/변색 억제	20.0±0.0	100.0	19.3±0.5	96.5	20.0±0.0	100.0

\*숫자가 높을수록 신선도 상태가 우수함을 의미

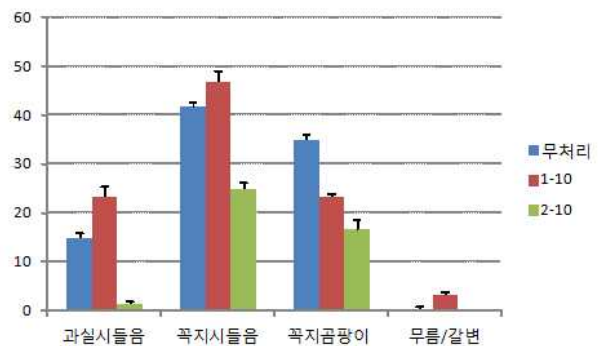
[표2-30] 플라즈마 처리에 따른 파프리카 변질 상태 평가 (20개/1박스, 3박스/1회 처리, 평균값±표준편차)

상태	무처리		1-10		2-10	
	개	%	개	%	개	%
꼭지 신선도	3.0	15.0	4.7	23.4	0.3	1.5
과실 신선도	8.3	41.7	9.3	46.7	8.3	25.0
꼭지 곰팡이 발생 억제	7.0	35.0	4.7	23.4	3.3	16.7
과실 무름/변색 억제	0.0	0.0	0.6	3.3	0.0	0.0

\*숫자가 높을수록 변질이 많이 된 것을 의미



<플라즈마 처리에 따른 파프리카 신선도 평가>



<플라즈마 처리에 따른 파프리카 변질 상태 평가>

<그림2-147> 해외실증 평가 (노란파프리카, 플라즈마처리후 14일째)

- 노란파프리카를 대상으로 플라즈마 처리 후 14일째 신선도 및 변질 상태를 평가한 결과 0.05ppm(샘플이름: 2-10)의 농도로 처리한 파프리카가 신선도가 우수하였으며, 변질된 상태도 무처리 파프리카에 비해 상태가 양호함을 최종 평가하였음.

[빨간 파프리카- 처리후 14일차]

[표2-31] 플라즈마 처리에 따른 파프리카 신선도 평가 (20개/1박스, 3박스/1회 처리, 평균값±표준편차)

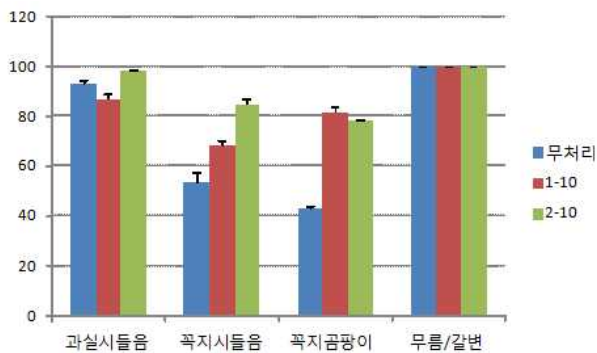
상태	무처리		1-10		2-10	
	개	%	개	%	개	%
꼭지 신선도	18.7±1.5	93.3	17.3±2.5	86.7	19.7±0.6	98.3
과실 신선도	10.7±4.5	53.3	13.7±2.3	68.3	17.0±2.0	85.0
꼭지 곰팡이 발생 억제	11.3±0.6	43.4	16.3±2.3	81.7	15.7±0.6	78.3
과실 무름/변색 억제	20.0±0.0	100.0	20.0±0.0	100.0	20.0±0.0	100.0

\*숫자가 높을수록 신선도 상태가 우수함을 의미

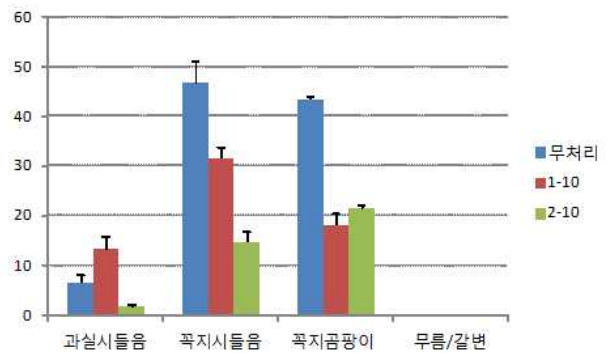
[표2-32] 플라즈마 처리에 따른 파프리카 변질 상태 평가 (20개/1박스, 3박스/1회 처리, 평균값±표준편차)

상태	무처리		1-10		2-10	
	개	%	개	%	개	%
꼭지 신선도	1.3±1.5	6.7	2.7±2.5	13.3	0.3±0.6	1.7
과실 신선도	9.3±4.5	46.7	6.3±2.3	31.7	3.0±2.0	15.0
꼭지 곰팡이 발생 억제	8.7±0.6	43.4	3.7±2.3	18.3	4.3±0.6	21.7
과실 무름/변색 억제	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0

\*숫자가 높을수록 변질이 많이 된 것을 의미



<플라즈마 처리에 따른 파프리카 신선도 평가>



<플라즈마 처리에 따른 파프리카 변질 상태 평가>

<그림2-148> 해외실증 평가 (빨간파프리카, 플라즈마처리후 14일째)

- 빨간파프리카를 대상으로 플라즈마 처리 후 14일째 신선도 및 변질 상태를 평가한 결과, 무처리에 비해 0.02과 0.05ppm(샘플이름: 각각 1-10과 2-10)의 농도로 처리한 파프리카 군에서 모두 신선도가 우수하였으며, 특히 0.05ppm처리시 0.02ppm보다 우수함.
- 변질된 상태는 무처리 파프리카에 0.05ppm의 농도로 처리한 파프리카 군이 변질이 덜되어 상태가 양호함을 최종 평가하였음.

### 제 3 절. 연구개발 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용-홍보		기 타 (타 연 구 활 용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SC I	비 SC I							
단위	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	10	10						60					5	5	5	5				
최종목표	2	2		1		47,600	25,100	2			3	3	6.0	5	3	1		1		
1차연도	목표							1						1	1			-		
	실적							1						3	0			4		
2차연도	목표	1						1			1	1	2.0	2	1			-		
	실적	2						5			0	2	0.0	4	0			1		
3차연도	목표	1	1								1	1	2.0	2	1	1				
	실적	1	2								2	0	5.2	4	3	2		3		
소계	목표	2	1					-	-	2		2	2	4.0	5	3	1	-		
	실적	3	2					-	-	6		2	2	5.2	11	3	2	8		
종료 1차연도		1		1		9,000	4,500				1	1	2.0	1				1		
종료 2차연도						9,200	4,700													
종료 3차연도						9,500	5,000													
종료 4차연도						9,800	5,300													
종료 5차연도						10,100	5,600													
소 계	0	1		1		47,600	25,100	0			1	1	2.0	1	0	0		1		
합 계	3	2		0		0	0	6			2	2	5.2	11	3	2		8		



가. 논문게재

No	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부 (SCI/비SCI)	게재일	IF
1	Antifungal effect of non-thermal atmospheric plasma and its application for control of postharvest <i>Fusarium oxysporum</i> decay of paprika	Food control	고선민, 박미리, 김현승, 최원석, 정래동	98	네덜란드	ELSEVIER	SCI	2018. 11.15	4.248
2	파프리카의 저장성 향상을 위한 플라즈마 살균 시스템 개발과 이의 효과 검증	강원농업생명환경연구	김현승, 고선민, 정래동, 권덕호, 박미리	30	대한민국	강원대학교 농업생명과학연구원	비SCI	2018. 12.30	-
3	저온 대기압 플라즈마를 이용한 저장성병원균 <i>Alternaria alternata</i> 및 <i>Botrytis cinerea</i> 의 제어 효과	강원농업생명환경연구	고선민, 김현승, 박미리, 정래동	30	대한민국	강원대학교 농업생명과학연구원	비SCI	2018. 12.30	-
4	Plasma-based organism evaluation equipment using atmospheric-pressure plasma jets: Efficacy for controlling insect pests	Journal of Asia-Pacific entomology	권덕호, 김현승, 박미리	22	네덜란드	ELSEVIER	SCIE	2019. 06.25	0.967

나. 국내 및 국제학술회의 발표

No	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	2017 Asian Conference on Plant Phytopathology	강민지, 정래동, 최원석, 박미리	2017.09.13	국제컨벤션센터, 제주도	대한민국
2	2017 Asian Conference on Plant Phytopathology	김남연, 고선민, 정희원, 정래동	2017.09.14	국제컨벤션센터, 제주도	대한민국
3	2017 한국응용곤충학회	권덕호	2017.10.26	웰리힐리파크, 강원도 횡성	대한민국
4	XV International Congress of Acarology	권덕호, 강태준, 이시혁	2018.09.07	Antalya	터키
5	2018 춘계한국식물병리학회	고선민, 김현승, 박미리, 정래동	2018.04.26	충북대학교, 충북 청주	대한민국
6	2018 International Joint Conference on Plant Protection	고선민, 김현승, 박미리, 정래동	2018.10.24	광주 김대중컨벤션센터, 광주	대한민국

7	2018 한국응용곤충학회	권덕호, 김현승, 박미리	2018.10.25	광주 김대중컨벤션센터, 광주	대한민국
8	2019 춘계한국식물병리학회	고선민, 김현승, 박미리, 정래동	2019.04.25	The Westin Chosun, 부산	대한민국
9	2019 American Phytopathological Society	김현승, 주상연, 박미리	2019.08.06	Cleveland, Ohio	미국
10	2019 추계한국식물병리학회	고선민, 김현승, 박미리, 정래동	2019.10.17	Jungheung Gold Spa & Resort, 전남 나주	대한민국
11	2019 한국농약과학회	권덕호, 김현승, 장홍섭, 박미리	2019.10.31	MVL호텔, 전남 여수	대한민국

다. 지식재산권

No	지식재산권 등 명칭	국명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	농산물 살균용 대기압 플라즈마 시스템	대한민국	(재)철원플라즈마산업기술연구원	2018.12.05	10-2018-0155020				100
2	플라즈마를 이용하는 살충 효과 평가 장치	대한민국	(재)철원플라즈마산업기술연구원 / 서울대학교	2018.12.05	10-2018-0154699				100
3	플라즈마를 이용하는 살충 효과 평가 장치	대한민국				(재)철원플라즈마산업기술연구원 / 서울대학교	2019.07.12	10-2001492	100
4	농산물 살균용 대기압 플라즈마 시스템	대한민국				(재)철원플라즈마산업기술연구원	2019.07.31	10-2007900	100
5	농산물 살균 처리 플라즈마 시스템 및 방법	대한민국	(재)철원플라즈마산업기술연구원	2019.10.31	10-2019-0137886				100

라. 전문 연구 인력 양성

No	분류	기준 년도	현황											
			학위별				성별		지역별					
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	
1		2019		2			1	1					2	

마. 홍보실적(신문, 방송, 저널 등)

No	홍보유형	매체명	제목	일시
1	지방일간지	강원일보	[철원]철원플라즈마연구소 정부 개발기관 선정	2017.05.02
2	지방일간지	강원도민일보	파프리카 저장성 향상 연구 속도	2017.05.02
3	중앙일간지	i전국매일신문	철원플라즈마산업기술연구원 “수출 농산물 저장성” 성과보고회 개최	2019.06.20
4	지방일간지	철원인터넷뉴스	강원철원-플라즈마 시스템 처리..농산물 저장기간 증가	2019.06.21
5	지방일간지	강원도민일보	플라즈마 기술 수출농산물 저장성 향상	2019.06.21

바. 전시회(전시회, 박람회, 제품설명회 등)

No	유형	행사명칭	전시품목	장소	활용년도
1	전시회	제2회 강원과학기술대축전	신선농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템	원주인터불고호텔	2017
2	전시회	제35회 태봉제	신선농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템	철원종합운동장	2017
3	전시회	제3회 강원과학기술대축전	신선농산물 저장성 향상 플라즈마 시스템	원주인터불고호텔	2018

사. 수상실적

No	일자	수상명칭	수상자(기관)	비고
1	2017.11.10	국무총리 표창장	농업회사법인 조은그린(주) 대표 (신정훈)	
2	2018.11.22	농림축산식품부장관 최우수상	농업회사법인 조은그린(주)	
3	2019.12.19	강원도지사 표창장	(재)철원플라즈마산업기술연구원 주관기관 과제책임자 (박미리)	

# 제 3 장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

## 제 1 절. 목표

### 가. 1차년도

#### (1) 개발 목표

- 주관연구기관((재)철원플라즈마산업기술연구원)
  - 수출 농산물의 저장성 향상을 위한 친환경 플라즈마 시스템 개발 (lab scale 모듈)
  - 플라즈마 처리 최적 공정 기술 개발
- 협동연구기관1(전남대학교)
  - 플라즈마 처리에 따른 저장성 관련 병원균의 감수성 평가 및 수출 농산물 품질변화 평가
- 협동연구기관2(서울대학교)
  - 검역대상해충 사육 시스템 구축 및 플라즈마 처리 검역 해충 살충 효과 검증
- 협동연구기관3(농업회사법인 조은그린(주))
  - 농산물 조직의 노화 유발 인자 노출 최소화를 위한 플라즈마 처리 병용 가능 패키징법 개발

#### (2) 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관((재)철원플라즈마산업기술연구원)
  - 수출 농산물의 저장성 향상을 위한 친환경 플라즈마 시스템 설계 및 구축
  - 병원성 미생물 살균 및 해충 살충 효과에 의한 플라즈마 처리 최적 조건 구축
- 협동연구기관1(전남대학교)
  - 파프리카의 주요 저장병 관련 병원성 미생물 선별
  - 조건별 플라즈마 처리 미생물의 살균 효과 평가
  - 조건별 플라즈마 처리 농산물의 품질 변화 테스트 (당도, 강도 등 물성 테스트)
- 협동연구기관2(서울대학교)
  - 검역 해충(담배나방, 총채벌레) 채집, 실내 사육 시스템 구축 및 인공배지 개발
  - 각 령기별 특성 확인 및 안전한 시료 확보를 위한 체계 구축
  - 플라즈마 처리에 의한 치사력 평가
- 협동연구기관3(농업회사법인 조은그린(주))
  - 농산물 유통 시, 외부 환경으로부터 발생하는 조직 노화 유발 인자의 노출 최소화를 위한 패키징법 개발
  - 패키징법 적용 농산물의 품질 변화 및 저장성 향상 검증
  - 플라즈마 처리 병용 패키징 효과 검증

## 나. 2차년도

### (1) 개발 목표

- 주관연구기관((재)철원플라즈마산업기술연구원)
  - 수출 농산물 저장성 향상 플라즈마 최적 공정 기술 개발
  - 현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 설계 및 구축
- 협동연구기관1(전남대학교)
  - 플라즈마 최적 공정조건을 위한 조건별 병원성 미생물 살균효과 검정 및 모니터링 샘플 평가
- 협동연구기관2(서울대학교)
  - 플라즈마 최적 공정조건을 위한 조건별 검역 해충 살충 효과 검정 및 모니터링 샘플 평가
- 협동연구기관3(농업회사법인 조은그린(주))
  - 플라즈마 처리 농산물(샘플) 국내 유통 단계별 품질변화 및 저장성 향상 모니터링

### (2) 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관((재)철원플라즈마산업기술연구원)
  - 병원성 미생물 살균 제어 최적 공정 기술개발
  - 검역대상 해충 살충 제어 최적 공정 기술 개발
  - 농산물 저장성 품질 유지를 위한 최적 공정 기술 개발
  - 현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 설계 및 구축
- 협동연구기관1(전남대학교)
  - 조건별 플라즈마 처리에 따른 파프리카 병원성 미생물 제어 최적 조건의 효과 검정 (살균효과 90% 이상)
  - 조건별 플라즈마 처리에 따른 파프리카 저장성 향상 평가 (최대 5일 저장성 연장)
- 협동연구기관2(서울대학교)
  - 플라즈마 처리 조건에 따른 치사력 평가
  - 반복간 평가후 통계적인 유의성 검정
- 협동연구기관3(조은그린(주))
  - 국내 유통 파프리카를 대상으로 플라즈마 처리 후, 유통과정에서 품질변화를 모니터링 및 데이터베이스화
  - 플라즈마 처리 병용 포장 파프리카의 유통과정 중 품질변화 모니터링 및 데이터베이스화



## 다. 3차년도

### (1) 개발 목표

- 주관연구기관((재)철원플라즈마산업기술연구원)
  - 현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 및 최적 처리공정 기술개발
- 협동연구기관1(전남대학교)
  - 최적 저장성병 방제 기술 확립 및 적용
  - 플라즈마 처리후 저장성 품질보존 중규모 실증 평가
- 협동연구기관2(국립한국농수산물대학교)
  - 최적 해충 방제 기술 확립 및 적용
  - 플라즈마 처리후 해충 제거 중규모 실증 평가
- 협동연구기관3(조은그린(주))
  - 수출 파프리카의 수입국 현지 플라즈마 처리 샘플 평가

### (2) 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관((재)철원플라즈마산업기술연구원)
  - 현장 적용 가능한 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 설계 및 시스템 시제품 개발
  - 현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템의 최적 공정 기술개발 및 메뉴얼 구축
- 협동연구기관1(전남대학교)
  - 최적 플라즈마 처리 공정 적용 현장 실증평가
  - 수출용 샘플 실증 시험을 통한 수출 농산품의 품질변화 분석
  - 플라즈마 처리 파프리카의 선적 전, 하역후, 검역 등 품질보전 모니터링 실증평가
- 협동연구기관2(국립한국농수산물대학교)
  - 상용화 플라즈마 시스템의 조건별 치사력 평가 및 최적 조건 확립
  - 플라즈마 처리 파프리카의 선적 전, 하역후, 검역 등 품질보전 모니터링 실증평가
  - 반복간 평가 후 통계적인 유의성 검정
- 협동연구기관3(조은그린(주))
  - 플라즈마 처리 파프리카의 선적 전, 하역후, 검역 등 품질보전 모니터링
  - 현장 실증평가를 통한 문제점 파악 및 개선
  - 플라즈마 처리 파프리카 수입국 대상 현지 조사
  - 수입국 Market trial 실시하여 수출국 (원거리 수출국 또는 일본내 원거리 타지역) 확대

<연차별 연구개발의 목표 및 내용>

구분	연도	기관	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차년도	2017	주관기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>수출 농산물의 저장성 향상을 위한 친환경 플라즈마 시스템 개발(lab scale 모듈)</li> <li>플라즈마 처리 최적 공정 기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수출 농산물의 저장성 향상을 위한 친환경 플라즈마 시스템 설계 및 구축</li> <li>병원성 미생물 살균 및 해충 살충 효과에 의한 플라즈마 처리 최적 조건 구축</li> </ul>
		협동연구기관1	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라즈마 처리에 따른 저장성 관련 병원균의 감수성 평가 및 수출 농산물 품질변화 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>파프리카의 주요 저장병 관련 병원성 미생물 선별</li> <li>조건별 플라즈마 처리 미생물의 살균 효과 평가</li> <li>조건별 플라즈마 처리 농산물의 품질 변화 테스트 (당도, 강도 등 물성 테스트)</li> </ul>
		협동연구기관2	<ul style="list-style-type: none"> <li>검역대상 해충 사육 시스템 구축 및 플라즈마 처리 해충 살충 효과 검증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>검역 해충(담배나방, 총채벌레) 채집</li> <li>실내 사육 시스템 구축 및 인공배지 개발</li> <li>각 령기별 특성 확인 및 안전한 시료 확보를 위한 체계 구축</li> <li>플라즈마 처리에 따른 치사력 평가</li> </ul>
		협동연구기관3 (기업)	<ul style="list-style-type: none"> <li>농산물 조직의 노화 유발 인자 노출 최소화를 위한 플라즈마 처리비용 가능 패키징법 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>농산물 유통 시, 외부 환경으로부터 발생하는 조직 노화 유발 인자의 노출 최소화를 위한 패키징법 개발</li> <li>패키징법 적용 농산물의 품질 변화 및 저장성 향상 검증</li> <li>플라즈마 처리 비용 패키징 효과 검증</li> </ul>
2차년도	2018	주관기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>수출 농산물 저장성 향상 플라즈마 최적 공정 기술 개발</li> <li>현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 설계 및 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>병원성 미생물 살균 제어 최적 공정 기술개발</li> <li>검역대상 해충 살충 제어 최적 공정 기술 개발</li> <li>농산물 저장성 품질 유지를 위한 최적 공정 기술 개발</li> <li>현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 설계 및 구축</li> </ul>
		협동연구기관1	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라즈마 최적 공정조건을 위한 조건별 병원성 미생물 살균효과 검증 및 모니터링 샘플 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>조건별 플라즈마 처리에 따른 파프리카 병원성 미생물 제어 최적 조건의 효과 검증 (살균효과 90% 이상)</li> <li>조건별 플라즈마 처리에 따른 파프리카 저장성 향상 평가 (5일 저장성 연장)</li> </ul>
		협동연구기관2	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라즈마 최적 공정조건을 위한 조건별 검역 해충 살충효과 검증 및 모니터링 샘플 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라즈마 처리 조건에 따른 치사력 평가</li> <li>반복간 평가후 통계적인 유의성 검증</li> </ul>
		협동연구기관3 (기업)	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라즈마 처리 농산물(샘플) 국내 유통 단계별 품질변화 및 저장성 향상 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내 유통 파프리카를 대상으로 플라즈마 처리 후, 유통과정에서 품질변화를 모니터링 및 데이터베이스화</li> <li>플라즈마 처리 비용 패키징 파프리카의 유통과정 중 품질변화 모니터링 및 데이터베이스화</li> </ul>
3차년도	2019	주관기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 및 처리공정 기술개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>현장 적용 가능한 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 설계 및 시스템 시제품 개발</li> <li>현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템의 최적 공정 기술개발 및 매뉴얼 구축</li> </ul>
		협동연구기관1	<ul style="list-style-type: none"> <li>최적 저장성병 방제 기술 확립 및 적용</li> <li>플라즈마 처리후 저장성 품질보존 중규모 실증 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>최적 플라즈마 처리 공정 적용 현장 실증평가</li> <li>수출용 샘플 실증 시험을 통한 수출 농산물의 품질변화 분석</li> <li>플라즈마 처리 파프리카의 선적전, 하역후, 검역 등 품질보전 모니터링 실증평가</li> </ul>
		협동연구기관2	<ul style="list-style-type: none"> <li>최적 해충 방제 기술 확립 및 적용</li> <li>플라즈마 처리후 해충 제거 중규모 실증평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상용화 플라즈마 시스템의 조건별 해충 치사력 평가 및 최적 조건 확립</li> <li>플라즈마 처리 파프리카의 선적전, 하역후, 검역 등 품질 보전 모니터링 실증평가</li> <li>반복간 평가 후 통계적인 유의성 검증</li> </ul>
		협동연구기관3 (기업)	<ul style="list-style-type: none"> <li>수출 농산물의 수입국 현지 플라즈마 처리 샘플 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라즈마 처리 파프리카의 선적전, 하역후, 검역 등 품질보전 모니터링</li> <li>현장 실증평가를 통한 문제점 파악 및 개선</li> <li>플라즈마 처리 파프리카 수입국 대상 현지 조사</li> <li>수입국 Market trial 실시 및 수출국(원거리 수출국 또는 일본내 타지역) 확대</li> </ul>

## 제 2 절. 목표 달성여부

### 가. 연구개발 성과 및 달성도

구분	연도	연구개발 목표	가중치	평가의 착안점 및 기준	달성도 (%)
1차년도	2017	○ 수입 농산물 저장성 향상을 위한 플라즈마 시스템 설계 및 구축 (lab scale 모듈)	50%	- 상용화를 위한 플라즈마 시스템의 모듈 일부를 소형화하여 저장성 향상 및 살충효과 검정용 시스템 설계 및 구축	100
		○ 플라즈마 처리에 따른 저장성 관련 병원균의 감수성 평가	15%	- 병원균별 최적 플라즈마 살균 조건 도출 - 병원균 사멸 산정(병원성 진균 3종 이상)	100
		○ 플라즈마 처리 수출농산물의 품질 변화 테스트	15%	- 플라즈마 처리 후 생리적 변화 평가 및 세기 설정 - 처리공정 최적화 여부	100
		○ 검역대상 해충 사육시스템 구축 ○ 플라즈마 처리에 따른 검역대상 해충 살충효과 검정	15%	- 채집을 통한 검역대상 해충(담배나방, 총채벌레) 채집 및 확보 - 담배나방 및 총채벌레 최적 실내 사육시스템 구축 - 해충별 최적 플라즈마 살충 조건 도출	100
		○ 수출 농산물 선과작업 및 유통시 품질저하 외부인자 차단용 패키징법 개발	5%	- 패키징법 적용에 의한 농산물 품질 저하 지연성 테스트	100
2차년도	2018	○ 수출 농산물 저장성 향상 플라즈마 최적 공정 기술개발 ○ 플라즈마 처리 최적 조건의 효과 검정	40%	- 병원성 미생물 살균 최적 공정 구축 (살균력 90% 이상) - 해충 살충 최적 공정 구축 (살충력 90% 이상)	100
		○ 플라즈마 처리 농산물 모니터링 평가	30%	- 저장성 향상 공정개발 적합성 여부(국내 유통망을 이용하여 모의 테스트)	100
		○ 플라즈마 병용처리 패키징기술의 저장성 향상 및 실용성 검토	10%	- 융·복합 기술 처리방법 최적화	100
		○ 현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템 설계 및 구축	20%	- 플라즈마 시스템 설계 및 구축 진행 여부	100
3차년도	2019	○ 현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템의 최적 공정 기술개발	50%	- 병원성 미생물 살균 최적 공정 구축 (살균력 90% 이상) - 해충 살충 최적 공정 구축 (살충력 90% 이상)	80
		○ 플라즈마 처리 수출 농산물 품질 보전 모니터링 실증평가	50%	- 플라즈마 처리 농산물의 수출 유통 과정에서의 저장성 향상 및 품질보전 여부	100
최종평가		○ 현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템의 최적 공정 기술개발	50%	- 대량 저장성 향상 공정 적합성 여부	100
		○ 현장 맞춤형 상용화 플라즈마 시스템을 이용한 수출 농산물(파프리카) 저장성 향상 기술개발	50%	- 농산물 유통 과정에서 저장성 향상 및 품질보전 여부 (1주일 이상)	100

가시적 성과	○ 수출 농산물 저장성향상 플라즈마 시스템 실용화 개발 1건, 최적 공정 매뉴얼 개발	100
-----------	---	-----

- 수출 농산물의 저장성 향상을 위한 현장 맞춤형 상용화용 플라즈마 시스템을 개발하였고, 이에 따른 수출 파프리카를 대상으로 하여 최적 공정 조건 구축을 위해 연차별 계획에 따라 수행하였음.
- 따라서, 수출 파프리카 대상 저장성 향상(1주일 이상) 실용화 플라즈마 시스템을 개발을 완성하였고, 이에 따른 최적 공중 매뉴얼을 개발하였음.

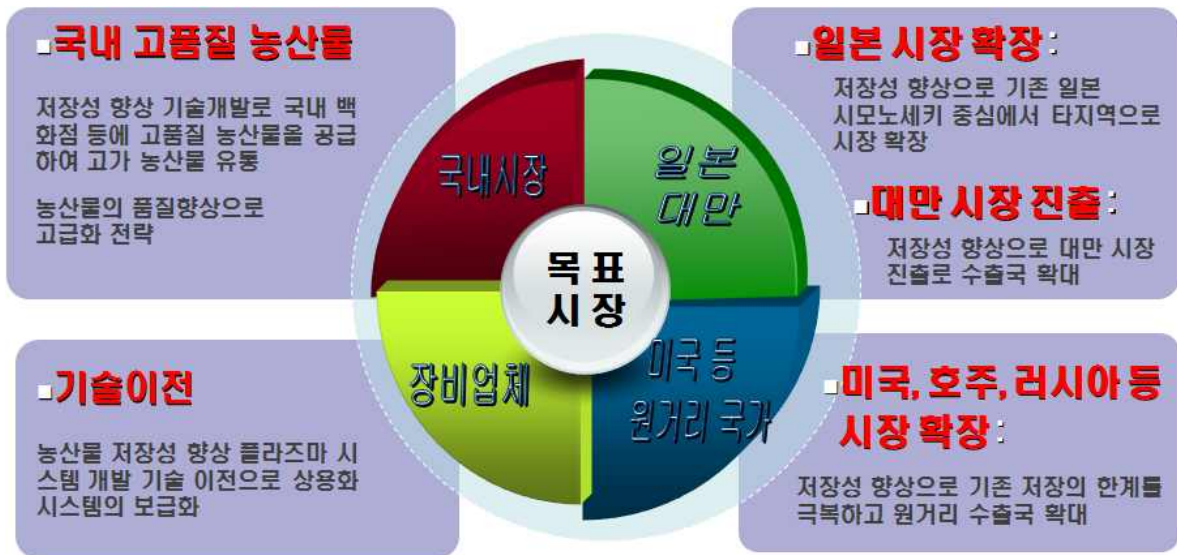
### 제 3 절. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책

- 수출 검역대상 해충 살충 제어에 대한 기술 개발은 2차년도에 가능성 여부를 평가하기위해 평가시스템을 구축하고 이를 이용한 평가법을 개발하였고, 평가시스템으로 플라즈마 적용 해충 살충효과를 데이터베이스화하였으며, 3차년도에 상용화용 플라즈마 시스템의 해충 살충 평가에서는 신선 농산물의 저장성 향상 조건과 병행하였을 때, 해충 살충 조건은 파프리카 상태를 고려한 조건에 맞추는데 어려움이 있었음.
- 플라즈마의 살충효과를 검정하는 방법은 현재 없으며, 본 연구에서는 평가법부터 구축할 필요가 있었음. 이에따라, 플라즈마의 살충효과를 평가할 수 있는 평가시스템과 이를 이용한 평가법을 구축하여 파프리카의 물성 특성을 절충한 해충살충 조건을 구축하기 위한 노력을 하였으나, 어려움이 있어 본 연구에서는 저장병을 제어하고 신선도를 유지하는데 집중을 하여 저장성 향상 플라즈마 시스템을 개발을 완료하였음.
- 본 연구에서 플라즈마에 의한 대상 해충별 살충 조건을 구축하였고, 이를 수행하는 과정에서 평가시스템 및 평가법을 최초로 개발하였음. 향후 이 평가시스템과 기술을 적용하여 단독 검역대상 해충방제를 위한 시스템 개발이 필요할 것으로 사료됨.

## 제 4 장. 연구결과의 활용 계획 등

### 제 1 절. 연구개발 결과의 활용방안 및 활용분야

- WTO/FTA 체제에서 화학적 방법 대체기술로 국제기준에 부합하는 신선 수출농산물 저장성 관리 체계 매뉴얼 작성
- 플라즈마 기술과 친환경 제제 등 신기술을 기반으로 수출 농산물의 고품질 상품화와 시장 확대를 산업생산성 향상 도모
- 신선 수출 농산물의 안전하고 경제성 있는 저장성 처리 기술적용의 실용화
- 플라즈마 이용 신선 농산물의 저장성 향상 원천기술을 국제적으로 기술이전 함으로써 국가 위상 제고
- 플라즈마 신산업 기술을 신선 농산물의 수출뿐만 아니라 내수에도 적용하여 국민의 위생안전에 활용



## 제 2 절. 기대성과 및 파급효과

### 가. 기술적 측면

- FAO, WHO 등은 국제 식량교역과 공중보건제품의 위생적 생산 및 관리에서 친환경 물리적 방법인 저온플라즈마 기술을 이용할 것을 권고하고 있는 현실에서 플라즈마 조사 신선농산물의 수출입 증대가 예상된다.
- 국제적으로 식품의 선진 위생화 방법을 요구함에 따라 공정이 간편하고 처리효과가 확실하며 안전하고 산업적으로 환경오염이 없는 무공해 위생화 기술을 충족하여 타 위생화 방법과 융합기술을 생산
- 친환경 플라즈마 기술을 도입하여 수출용 농산물의 저장성 향상 기술개발로 다양한 플라즈마 활용화와 맞춤형 장비를 개발하여 주요 수출 농산물의 저장 및 유통을 위한 매뉴얼 마련
- 화학적 저장성 향상 기술 대비 과학적 근거를 갖는 환경 친화적, 경제적인 농산물의 안전한 저장성 방법 제시

### 나. 경제적 · 산업적 측면

- 수출 농산물의 검역 및 품질관리에서 발생하는 손실·폐기 물량의 감소와 제품 신용도 상승으로 인한 국내산 신선 농산물의 수출 증대 예상
- 처리 후 약해와 잔류 농약의 부재로 재선별 과정이 필요하지 않아 경제성이 큼.
- 기존 저장성 향상 기술 대비 처리시간 단축 및 저비용 신기술을 이용하여 우리 신선농산물의 고품질 상품화와 시장 확대에 기여
- 신선 농산물 수출 과정 중 발생하는 클레임의 감소, 잔류농약 검출 대안을 마련하여 소득 및 신선농산물 폐기 처리 비용을 감소시켜 농가의 경쟁력 향상과 소득 증대에 기여
  - ※ 플라즈마를 이용한 수출 농산물의 폐기율 절감이 '20년(10%) → '30년(30%) → '40년(50%) 정도 예상되며 이에 따른 연 4,000억원 상당의 저장 중 부패 및 방제처리로 인한 상품성 저하에 따른 손실비용 절감
- 플라즈마 이용 기술 기반 안전 위생 및 저장성 향상 기술 절차에 따른 주요 수출 농산물의 해외 시장 확대와 식물 검역 및 저장성 향상 통합 관리 시스템 구축에 기여



## 붙임. 참고문헌

1. 박기환, 김경필, 이병훈, 허성운, 2013. 농식품 수출진흥 중장기 종합정책 마련연구 C2013-49
2. 정확균, 이혜진, 김창길, 2016. 2016 국내외 친환경 농산물 생산실태 및 시장전망 제 131호, 한국농촌경제연구원
3. 한국농촌경제연구원, 2012. 농산물 수출현황자료 R739 연구자료-2
4. 한국농수산물유통공사, 2016. 농림축산식품 수출입현황
5. Abbott, W.S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18, 265-267.
6. Bonizzoni, G., Vassallo, E., 2002. Plasma physics and technology; industrial applications. *Vacuum* 64, 327-336.
7. Chu, P.K., Chen, J., Wang, L., Huang, N., 2002. Plasma-surface modification of biomaterials. *Mater. Sci. Eng. R Rep.* 36, 143-206.
8. Das, B.K., & Kim, J.G. 2010. Combined effect of heat treatment and washing solutions on the quality and microbial reduction of fresh-cut paprika. *Horticulture environment and biotechnology*, 51, 257-261.
9. Donohue, K.V., Bures, B.L., Bourham, M.A., Roe, R.M., 2006. Mode of action of a novel nonchemical method of insect control: atmospheric pressure plasma discharge. *J. Econ. Entomol.* 99, 38-47.
10. Ebihara, K., Mitsugi, F., Ikegami, T., Nakamura, N., Hashimoto, Y., Yamashita, Y., Baba, S., Stryczewska, H.D., Pawlat, J., Teii, S., 2013. Ozone-mist spray sterilization for pest control in agricultural management. *Eur. Phys. J-Appl. Phys.* 61, 24318.
11. El-Aziz, M.F.A., Mahmoud, E.A., Elaragi, G.M., 2014. Non thermal plasma for control of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Stored Prod. Res.* 59, 215-221.
12. Goldston, R.J., Rutherford, P.H., 1995. Introduction to plasma physics. CRC Press.
13. Gomez, E., Rani, D.A., Cheeseman, C., Deegan, D., Wise, M., Bocaccini, A., 2009. Thermal plasma technology for the treatment of wastes: a critical review. *J. Hazard. Mater.* 161, 614-626.
14. Jeyaratnam, J., 1990. Acute pesticide poisoning: a major global health problem. *World Health Stat Q* 43, 139-144.
15. Kawasaki, T., Eto, W., Hamada, M., Wakabayashi, Y., Abe, Y., Kihara, K., 2015. Detection of reactive oxygen species supplied into the water bottom by atmospheric non-thermal plasma jet using iodine-starch reaction. *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, 086201.
16. Kogelschatz, U., 2003. Dielectric-barrier discharges: their history, discharge physics, and industrial applications. *Plasma Chem. Plasma P.* 23, 1-46.
17. Kriegseis, J., Grundmann, S., Tropea, C., 2011. Power consumption, discharge capacitance and light emission as measures for thrust production of dielectric barrier discharge plasma actuators. *J. Appl. Phys.* 110, 013305.

18. Perni, S., Shama, G., Kong, M.G., 2008. Cold atmospheric plasma disinfection of cut fruit surfaces contaminated with migrating microorganisms. *J. Food Prot.* 71, 1619-1625.
19. Sarangapani, C., Misra, N., Milosavljevic, V., Bourke, P., O'Regan, F., Cullen, P., 2016. Pesticide degradation in water using atmospheric air cold plasma. *J. Water Process Eng.* 9, 225-232.
20. Selcuk, M., Oksuz, L., Basaran, P., 2008. Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. *Bioresour. Technol.* 99, 5104-5109.
21. ten Bosch, L., Köhler, R., Ortmann, R., Wieneke, S., Viöl, W., 2017. Insecticidal effects of plasma treated water. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 14, 1460.
22. Thakore, Y., 2006. The biopesticide market for global agricultural use. *Ind. Biotechnol.* 2, 194-208.
23. Wang, R., Nian, W., Wu, H., Feng, H., Zhang, K., Zhang, J., Zhu, W., Becker, K., Fang, J., 2012. Atmospheric-pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: inactivation and physiochemical properties evaluation. *Eur. Phys. J. D* 66, 276.
24. Zhang, X., Liu, D., Zhou, R., Song, Y., Sun, Y., Zhang, Q., Niu, J., Fan, H., Yang, S.-z., 2014. Atmospheric cold plasma jet for plant disease treatment. *Appl. Phys. Lett.* 104, 043702.
25. Zhou, Z., Huang, Y., Yang, S., Chen, W., 2011. Introduction of a new atmospheric pressure plasma device and application on tomato seeds. *Agric. Sci.* 2, 23-27.

주 의

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