

발간등록번호

11-1543000-002216-01

# 수중플라즈마를 이용한 친환경 원예작물 수확 후 관리 및 재배 시스템 개발 최종보고서

2017. 12. 17.

주관연구기관 / 서울대학교 산학협력단

협동연구기관 / 안동대학교 산학협력단

협동연구기관 / 주식회사 엔팩

농림축산식품부

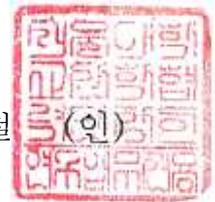
# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “수중 플라즈마를 이용한 친환경 원예작물 수확 후 관리 및 재배 시스템 개발”(개발기간 : 2015 . 12 . ~ 2017 . 12 .)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017 . 12. 17.

주관연구기관명 : 서울대학교 산학협력단 (대표자) 김 성 철



협동연구기관명 : 안동대학교 산학협력단 (대표자) 권 순 태



협동연구기관명 : (주)엔팩 (대표자) 조 성 윤



주관연구책임자 : 이 은 진

선임연구원 : 권 송

협동연구책임자 : 신 종 화

선임연구원 : 류 주 현

협동연구책임자 : 박 찬 일

책임연구원 : 홍 용 철

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

## 보고서 요약서

과제고유번호	115087-2	해당단계 연구기간	2015. 12 ~ 2017. 12	단 계 구 분	(2/2)
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	농생명산업기술개발			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세 부 과 제 명	수중플라즈마를 이용한 친환경 원예작물 수확 후 관리 및 재배 시스템 개발			
연구책임자	이 은 진	해당단계 참 여 연구원 수	총: 13명 내부: 11명 외부: 2명	해당단계 연구 개발 비	정부: 100,000 천원 민간: 34,000 천원 계: 134,000 천원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총: 16명 내부: 13명 외부: 3명	총 연구개발비	정부: 200,000 천원 민간: 68,000 천원 계: 268,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	서울대학교 원예생명공학과				
협 동 연 구	연구기관명: 안동대학교			연구책임자: 신종화	
협 동 연 구	연구기관명: (주)엔팩			연구책임자: 박찬일	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 플라즈마 기술의 농식품 분야 융합은 농식품 분야의 고부가가치 창출을 위한 선도적인 새로운 패러다임을 제시함.</li> <li>○ 하지만, 다양한 품목과 적용분야가 다양한 농업에 있어 적절한 적용방안을 위한 협업체계 확충이 필요함</li> <li>○ 따라서 본 연구과제는 플라즈마 기술 중에서도 플라즈마 방전에 따른 활성수 제조기술 및 장치를 개발하여 친환경 원예작물 수확 후 관리기술 및 절화수명 연장, 엽채류 재배, 새싹채소 재배 등 다양한 원예산업에 적용하여 유망한 분야를 찾고, 적용을 위한 적절한 기술을 개발하는데 목적이 있음</li> <li>○ 나날이 증가하고 있는 농산물 세척과정에 적용하기 위한 수중 플라즈마 활성수 제조장치의 가동조건과 효과를 구명하</li> </ul>				보고서 면수: 141page	

였음

- 수출용으로 재배되는 절화의 수확 후 관리를 위한 플라즈마 활성수의 활용방안을 제시하여 절화 유통간 적용할 수 있는 가이드라인을 제시함
- 원예작물의 육묘공정이나 어린잎 채소 재배, 새싹채소 재배 시 병방제와 생육을 촉진을 위해 적용할 수 있는 플라즈마 활성수 제조장치의 활용을 위한 가이드라인을 제시함
- 플라즈마 처리에 따른 질산태질소의 수중 생성 및 활성수 처리에 따른 원예작물의 생육증진 결과를 생산공정에 적용하여 적절한 액비 생산공정 개발을 위해 비료 생산업체와 공동연구를 진행하기로 함

국문 요약문

		코드번호	D-01
<p>연구의 목적 및 내용</p>		<p>○ 연구의 목적 원예작물 수확 후 관리 및 재배 시스템에 적합한 수중 플라즈마 발생장치 개발로 플라즈마 기술의 원예적 적용을 통한 친환경 농생명산업기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 친환경 원예작물 수확 후 관리 및 재배를 위한 수중 플라즈마 활성수 적정 처리 기술 개발             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수중 플라즈마를 이용한 원예작물의 살균소독 및 세척 기술 개발</li> <li>- 수중 플라즈마를 이용한 수출용 화훼류 절화수명연장 기술 개발</li> <li>- 수중 플라즈마를 이용한 엽채류 재배 시스템 개발</li> <li>- 수중 플라즈마를 이용한 새싹채소 및 어린잎채소 재배 시스템 개발</li> </ul> </li> <li>• 원예작물 수확 후 관리 및 재배 시스템에 적합한 수중 플라즈마 발생장치 개발</li> <li>• 플라즈마 기술의 원예적 적용을 위한 가이드라인 제시</li> </ul> <p>○ 연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 플라즈마 활성수의 물리화학적 특성(EC, pH, ORP, ROS, RNS) 조사</li> <li>• 플라즈마 활성수의 살균력(일반세균, 대장균, 병원성 세균) 검정</li> <li>• 플라즈마 발생조건 및 유통 환경에 따른 원예작물의 살균소독 및 세척 조건 규명</li> <li>• 플라즈마 발생조건 및 수확 후 관리단계에 따른 수출용 화훼류 절화수명연장 효과 평가</li> <li>• 플라즈마 발생조건에 따른 엽채류 생산성 비교 및 병 발생 억제를 위한 활성수 이용 조건 확립</li> <li>• 플라즈마 발생조건 및 생산 단계에 따른 새싹채소 및 어린잎채소의 재배 시스템 개발</li> <li>• 플라즈마 처리에 따른 원예작물의 생리조직학적 변화 및 대사산물 변화 조사</li> <li>• 원예작물의 이용 분야별 최적 수중 플라즈마 발생장치 개발 및 성능 평가</li> </ul>	
<p>연구개발성과</p>		<p>○ 당근 및 생강의 플라즈마 활성수 살균소독 효과 규명</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 수중방전 플라즈마 활성수 처리에 따른 세척 후 품질변화 조사</li> <li>• 처리 후 저장기간 동안 미생물 발생, 품질(색, 경도 등) 변화 모니터링</li> </ul> <p>○ 플라즈마 활성수 처리가 수출용 화훼류의 선도 유지에 미치는 영향 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 수중방전 플라즈마 활성수 처리에 따른 수확 후 절화품질변화 조사</li> </ul>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 절화 수명, 품질 변화, 미생물 발생 모니터링</li> <li>○ 플라즈마 활성화수 처리가 엽채류 생산에 미치는 영향 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 마이크로웨이브 플라즈마 활성화수 처리에 따른 상추류 생육 평가</li> </ul> </li> <li>○ 새싹채소 및 어린잎채소 종자의 플라즈마 활성화수 소독 효과 규명 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 마이크로웨이브 플라즈마 발생조건(RNS, 방전시간 등)별 활성화수처리에 따른 미생물 발생 및 종자 발아력 검정</li> </ul> </li> <li>○ 수중방전 전극개발 및 최적화</li> <li>○ 플라즈마 활성화수 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 플라즈마 활성화수의 물리화학적 특성 분석</li> <li>- 플라즈마 활성화수의 살균력 검정</li> <li>- 플라즈마 활성화수의 라디칼 분석을 통한 플라즈마 발생조건 최적화 조건 도출</li> </ul> </li> </ul>				
<p style="text-align: center;">연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기술적 측면 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 수확 후 관리 및 재배관리 등 원예산업에 적용할 수 있는 장치 개발 및 개선</li> <li>• 원예작물의 살균소독 세척 분야에서 품질과 안전성을 고려한 친환경적인 대안 제공</li> <li>• 친환경 살균소독 세척 시스템 구축을 위한 기초자료 제공</li> <li>• 친환경 절화수명연장 기술 개발을 통한 수확 후 관리비용 절감 및 수출경쟁력 향상</li> <li>• 플라즈마 활성화수를 이용한 친환경 엽채류 및 새싹·어린잎채소 대량 생산시스템 구축</li> </ul> </li> <li>○ 경제 산업적 측면 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 살균소독 비용 감소로 인한 업체 경쟁력 향상</li> <li>• 친환경 유묘생산을 위한 활성화수 재배 시스템 개발로 농가 생산비 부담 경감</li> <li>• 양액재배 시스템에 적용하여 비료 및 농약사용량을 감소시켜 생산비 절감 효과 증대</li> <li>• 환경오염 방지로 인한 국가신인도 제고</li> <li>• 기술이전을 통한 산업화와 기업창업을 통한 일자리 창출</li> <li>• 친환경 유묘 생산 및 수확 후 관리 매뉴얼 제작 및 교육을 통한 농가 경쟁력 증대</li> <li>• 플라즈마 기술의 원예산업화를 통한 농기계 수출시장 발굴 확대</li> <li>• 농산업과 플라즈마 산업 융합을 통한 글로벌 브랜드 개발</li> </ul> </li> </ul>				
<p style="text-align: center;">중심어 (5개 이내)</p>	살균소독	세척기술	재배시스템	친환경	플라즈마

< SUMMARY >

		코드번호	D-02
Purpose& Contents	<p>○ Purpose of research</p> <p>The development of plasma source for post-harvest management of horticultural crops and eco-friendly agricultural technology through horticultural application of plasma technology</p> <p>○ Development of an underwater plasma active water treatment technology for post-harvest management and cultivation of environmentally friendly horticultural crops</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Development of disinfection and washing technology of horticultural crops using underwater plasma</li> <li>- Development of technology to extend the lifespan of cut flowers for exportation using underwater plasma</li> <li>- Development of leaf vegetable cultivation system using underwater plasma</li> <li>- Development of sprout vegetable and young leaf cultivation system using underwater plasma</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Development of underwater plasma source for horticultural crop management and cultivation system</li> <li>• Present guidelines for horticultural application of plasma technology</li> </ul> <p>○ Contents of research</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Physicochemical characterization of plasma activated water (EC, pH, ORP, ROS, RNS)</li> <li>• Evaluation of plasma activated water sterilization efficiency (general bacteria, <i>E-coli</i>, pathogenic bacteria)</li> <li>• Investigation of disinfection and cleaning conditions of horticultural crops according to plasma generation conditions and distribution environment</li> <li>• Analysis of lifespan extension effect of cut flower for exportation according to plasma generation condition and post-harvest management stage</li> <li>• Comparison of productivity of leaf vegetables according to plasma generation conditions and establishment of active water use condition for inhibition of disease occurrence</li> <li>• Development of sprout vegetable and young leaf cultivation system according to plasma generation condition and production stage</li> </ul>		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analysis of physiological and biochemical changes of horticultural crops by plasma treatment</li> <li>• Development and performance evaluation of optimized underwater plasma source for applications of horticultural crops</li> </ul>
Results	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Analysis of disinfection effect of carrot and ginger by plasma activated water <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analysis of quality changes after washing using plasma activated water</li> <li>• Monitoring of microbial development and quality changes (color, degree of hardness, etc.) during storage time after plasma activated water treatment</li> </ul> </li> <li>○ Analysis of keeping freshness effect after plasma activated water treatment <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quality analysis of cut flowers after plasma activated water treatment</li> <li>• Monitoring of cut flowers lifespan, quality changes, microbial development</li> </ul> </li> <li>○ Analysis of production effect of leafy vegetables by plasma activated water <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluation of lettuce growth and development by microwave plasma activated water</li> </ul> </li> <li>○ Investigation of sprout vegetables and young leafy vegetables sterilization effect by plasma activated water <ul style="list-style-type: none"> <li>• Effect investigation of microbial development and seed germination by plasma activated water according to plasma condition (RNS, treatment times, etc.)</li> </ul> </li> <li>○ Development and optimization of underwater plasma electrode</li> <li>○ Characteristics analysis of plasma activated water <ul style="list-style-type: none"> <li>- Physicochemical characterization of plasma activated water</li> <li>- Sterilization effect evaluation of plasma activated water</li> <li>- Establishment of optimized plasma generation condition through radical analysis of plasma activated water</li> </ul> </li> </ul>
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Technological aspects <ul style="list-style-type: none"> <li>• Development and improvement of plasma systems for post-harvest management and cultivation management</li> <li>• Providing eco-friendly alternative considering quality and safety in disinfection cleaning of horticultural crops</li> <li>• Providing basic data for construction of environment-friendly</li> </ul> </li> </ul>

	<p>disinfection and washing system</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduction of post-harvest management cost and improvement of export competitiveness through development of environmentally-friendly cut flower life extension technology</li> <li>• Construction of eco-friendly leafy vegetables and sprout · juvenile leafy vegetables mass production system using plasma activated water</li> </ul> <p>○ Economic aspects</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Improved company competitiveness due to reduction of disinfection cost</li> <li>• Reduction of production cost by development of plasma activated water cultivation system for eco-friendly seedling production</li> <li>• Reduction of production cost by reducing fertilizer and pesticide usage through plasma technology applying to nutrient solution system</li> <li>• Raising national reputation due to environmental pollution prevention</li> <li>• Job creation through industrialization and foundation of enterprises by technology transfer</li> <li>• increasing of competitiveness of farm through production of eco-friendly seedling and education of post-harvesting management manuals</li> <li>• Diversification of export markets by industrialization of plasma technology for horticulture industry</li> <li>• Global brand development through fusion of agriculture and plasma industry</li> </ul>				
Keywords	disinfection	washing technique	cultivation system	environmental-friendly	plasma

# Contents

Chapter 1. Introduction .....	11
Chapter 2. Current Development of Related Technology .....	19
Chapter 3. Research Data: Approaches, Results and Discussion .....	23
Chapter 4. Goal Achievement and Contribution to Relevant Areas .....	131
Chapter 5. Plan to Use Research Results .....	132
Chapter 6. Overseas Science and Technology Information Collected during the Research Process .....	133
Chapter 7. Security Rating of R&D Achievement .....	134
Chapter 8. Research Facilities Registered in National Science and Technology Comprehensive Information System .....	135
Chapter 9. Implementation of Safeguard in Laboratories .....	136
Chapter 10. Representative Research Achievement .....	137
Chapter 11. ETC .....	138
Chapter 12. Reference .....	139

# 목 차

제1장. 연구개발과제의 개요 .....	11
제2장. 국내외 기술개발 현황 .....	19
제3장. 연구수행 내용 및 결과 .....	23
제4장. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	131
제5장. 연구결과의 활용계획 등 .....	132
제6장. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	133
제7장. 연구개발성과의 보안등급 .....	134
제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설.장비현황	135
제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	136
제10장. 연구개발과제의 대표적 연구실적 .....	137
제11장. 기타사항 .....	138
제12장. 참고문헌 .....	139

# 제1장. 연구개발과제의 개요

코드번호	D-03
------	------

## 제1절. 연구개발 목적

### 플라즈마를 활용한 농업분야 적용기술 개발

친환경 재배의 관심이 높아지면서 화학약품을 대체하기 위하여 오존살균법, 전기장살균법 등 여러 방법들이 농업분야에 적용되어 왔지만 화학약품에 비하여 효율이 떨어지는 단점이 있어 상용화에 어려움이 있다.

플라즈마란 고체, 액체, 기체의 세 가지 상태 외의 제 4의 물질상태로 분류되고 있다(그림 1). 기체를 이온화시켜 고농도의 활성종을 발생시켜 살균 및 여러 분야에 적용할 수 있으며 플라즈마 발생 과정에서 부산물이 발생하지 않는 친환경 기술이다. 기존에 농업분야에 사용하기 위해 연구되었던 플라즈마는 플라즈마에서 발생된 라디칼들이 가스 상태로 처리하게 되는 방식으로 처리하는 물체에 열이 가해지거나 가스와 접촉이 이루어지지 않는 부분은 처리가 되지 않는 문제점이 있다.

따라서 가스상태의 플라즈마 처리의 단점을 극복하기 위하여 최근 플라즈마에서 발생된 라디칼들을 액체 안에 용존시켜 활성 라디칼을 장기간 보관할 수 있는 연구들이 진행되고 있다(그림 2).

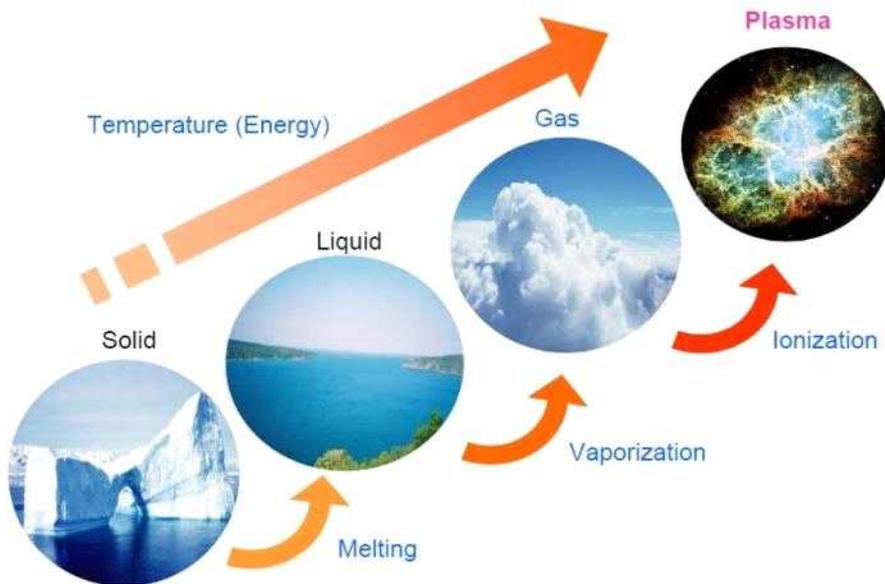


그림 4. 에너지 변화에 따른 물질의 상태변화, 물질의 제 4상태 플라즈마

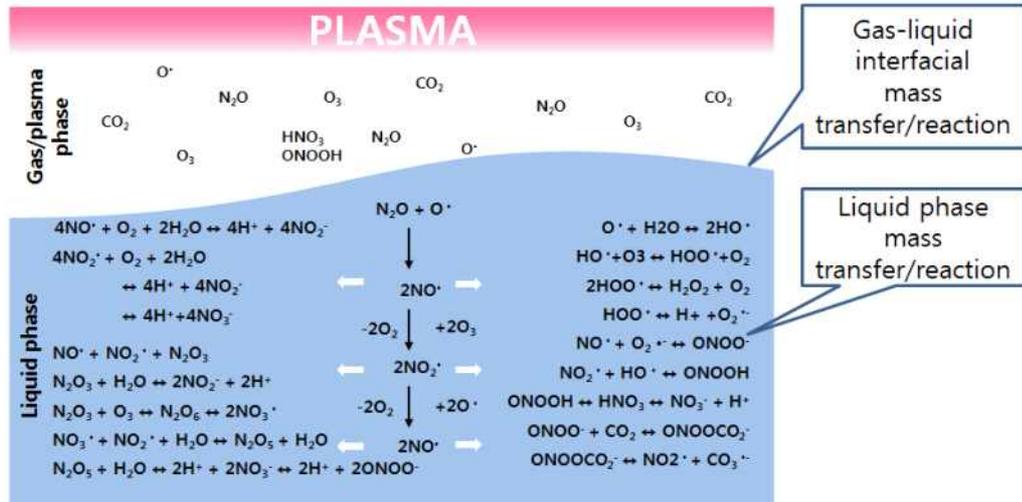


그림 5. 플라즈마와 액체의 화학반응

플라즈마에서 발생된 라디칼들의 작용을 통해 활성수를 만들 수 있는 방법으로는 마이크로웨이브 플라즈마를 이용하는 방법과 물 안에서 플라즈마를 발생시키는 수중 플라즈마 기술 등이 소개되고 있다.

국내의 연구진들은 마이크로웨이브 플라즈마는 진공 설비 없이 대기압에서 고농도의 NOx 가스를 생성시킬 수 있는 장치로 생성된 NOx 가스를 물에 용해시킬 경우 공기중의 질소를 물속에 고정할 수 있어 질소의 이용률을 높여 경제적 부담 경감 및 환경 개선효과를 얻을 수 있을 것으로 판단하고 있다(그림 3, 4).

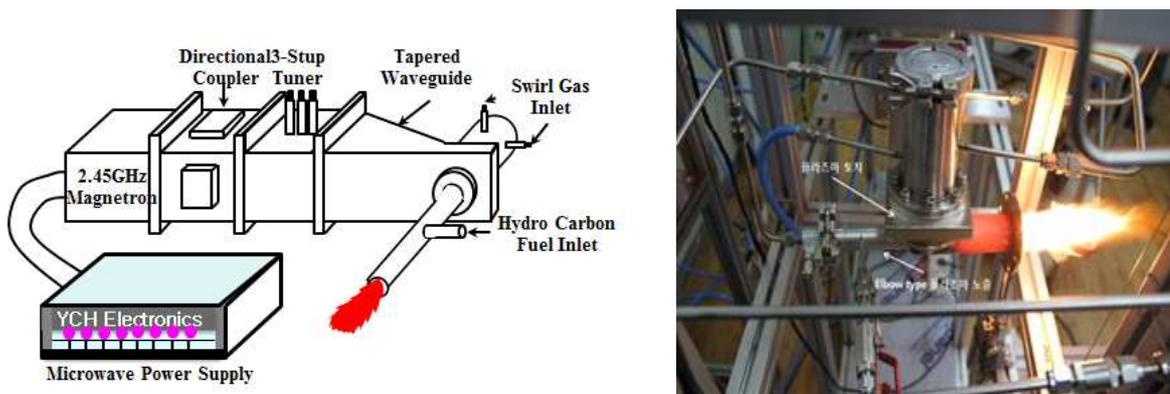


그림 6. 마이크로웨이브 플라즈마 발생시스템(좌)의 개략도와 플라즈마 발생(우)

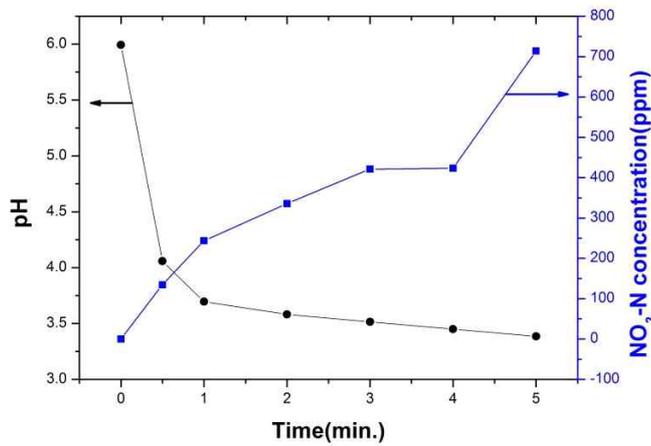


그림 7. 마이크로웨이브 플라즈마 처리에 따른 pH와 질산태질소(NO<sub>3</sub>-N)의 농도 변화

국가핵융합연구소에서 개발한 수중 플라즈마 발생장치의 경우 플라즈마를 수중에서 발생시켜 OH와 같은 활성 라디칼들을 다량 생성시킬 수 있으며, 기존 방식과는 달리 간단한 전원장치로 다양한 구조의 반응기에 설치가 가능하여 대용량 처리 및 기존 시설에 사용이 가능한 장점을 가지고 있는 것으로 보고되었다(그림 5).

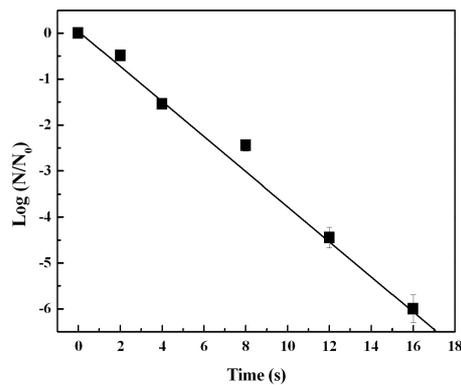


그림 8. 순환식 수중 플라즈마 발생장치(좌)와 대장균 살균 결과(우)

플라즈마-농식품 융합기술은 전 세계적으로 아직 시작 단계에 있으므로 선도적으로 추진할 수 있으며, 이를 통해 제 2의 농업혁명을 기대할 수 있는 패러다임의 변화를 선도할 수 있을 것으로 여겨지고 있다.

## 제2절. 연구개발의 필요성

### 가. 원예작물 살균소독 및 세척기술 현황

근채류(생강, 당근 등)의 시장규모가 4,000억원(생강은 연간 1,000억원) 규모이지만 형상이 부정형이거나 대부분 흙이 묻은 상태로 유통되기 때문에 상품화 소재에 많은 인력과 전처리 가공공정 중 품질손실과 폐기율이 높은 것이 유통의 걸림돌이 되고 있다. 국내 유통 당근의 대부분(90% 이상)은 흙 당근으로 유통되고 특히 생강은 근채류 중 가장 세척과 박피가 어려운 품목으로 구분된다. 국내유통 당근의 대부분이 미세척 상태인 흙 당근으로 출하되고 있고 세척 처리되는 비율은 전체 출하물량의 약 5% 미만으로 매우 미미함. 하지만 최근 소비트렌드에 맞춰 세척 당근의 소비 형태는 점점 증가할 것으로 예상된다(그림 6).



그림 9. 유통중인 흙당근(좌)과 세척당근(중), 세척공정(우)

근채류는 토양 세균, 흙 등 이물질 오염이 때문에 유통 중 부패가 심하고 식재료화가 어려우므로 신선편이용 1차 가공을 위해 세척 기술이 매우 중요한 비중을 차지하고 있다. 신선 원예작물에 적용이 가능한 세척 기술로는 현재까지 오존수, 염소계열의 차아염소산나트륨( $\text{NaOCl}$ )과 차아염소산칼슘( $\text{Ca(OCl)}_2$ ), 전해수, 이산화염소수( $\text{ClO}_2$ ), 과산화수소수 등이 있으나 이들의 문제점은 신선농산물에 잔류하여 나타나게 되는 냄새로 인해 실제 적용이 어려움 경우가 많은 것으로 보고되고 있다(그림 7).



그림 10. 여러 원예산물 세척용 제품들과 장비

또한 잔류 냄새이외에도 세척수를 만들어내기 위한 설비시설을 갖추는데 경제적 부담이 큰 편으로 보다 경제적인 설비의 개발이 요구되고 있다.

플라즈마 활성화수 제조 기술 개발은 최근 몇몇 연구에서 보고된 대기압플라즈마를 이용한 저장기술 향상과는 차별화 되는 것으로 대기압 플라즈마 기술은 저온저장고 등의 시설 내부의 세척, 1차 가공 및 신선편이용 농산물이 아닌 원료 자체를 유통하는 목적으로 사용되고 있는 반면에, 흙이 많이 있는 상태로 유통되고 미생물 번식이 활발한 근채류에는 플라즈마 활성화수를 이용한 새로운 세척 기술을 적용함으로써 현재 연간 2000억 원 이상인 신선편이 근채류 시장을 더 확대할 수 있을 것으로 판단된다.

최근 소비트렌드에 맞춰 소포장, 신선편이용 제품, 세척 농산물, 1차 원료 가공 및 유통 등에 적용 가능한 품질관리 시스템 구축이 가능할 것으로 보이며, 수출 대상(세척 당근, 세척 생강) 품목별 유통관리 기술 개발과 신선 농산물의 유통 중 안전성 향상을 위한 미생물 저감화 기술 개발에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 오존수나 이산화염소수, 과산화수소수 등 세척수로 사용되지만 잔류 효과로 인해 실제 이용에 제한이 있던 부분을 해결하여 보완 및 개선방안으로 활용이 기대되고 있다.

#### 나. 절화수명연장 기술 현황

화훼류는 생체라는 특성상 대부분이 수분으로 이루어져 있기 때문에 수확 후부터 유통 단계를 거쳐 최종 소비자에 이르기까지 여러 단계를 거치면서 약 25~35% 정도 품질 손실을 겪게 되며, 수확 후 관리 여부에 따라 개화불량 및 조기개화, 꽃의 노화 등 상품성이 크게 떨어지는 문제가 발생할 수 있다. 화훼류 가운데 절화는 신선도가 특히 중요하며, 선도유지가 곧바로 상품성 및 가격과 직결되기 때문에 절화 유통 단계별로 통합적인 선도유지대책이 요구되고 있다.

절화 유통시 품질을 저하시키는 3대 요인은 노화호르몬인 에틸렌의 발생과 온도에 따른 꽃의 호흡, 잿빛곰팡이병원균과 같은 미생물의 번식으로 보고되고 있으며, 이 중 미생물의 번식으로 절화 절단면이 부패되거나 공기 유입으로 도관의 기능이 손상되면 수분흡수가 억제되어 절화의 수명이 크게 단축된다. 따라서, 절화의 선도유지를 위해서는 수확 직후 수분과 당 에너지를 충족시켜주는 전처리를 하거나 영양제나 살균제 등을 조제한 보존용액으로 후처리를 실시하고 있다.

일반적으로 절화의 전처리제로 promalin (GA4+7+BA)이나 1-MCP (1-methylcyclopropene) 처리가 조기개화 억제 및 선도유지에 상당히 효과적이지만 처리 방법이 복잡하고 비용 부담이 큰 단점이 있다. 절화의 후처리제로는 silver thiosulfate (STS)와 8-hydroxyquinoline sulfate (HQS)를 단용 처리하거나 sucrose를 혼합한 보존용액이 많이 사용되고 있는데, 이 중 에틸렌의 생성 및 작용을 억제하는 silver nitrate와 STS에는 환경오염을 유발하는 Ag<sup>+</sup>가 함유되어 있어 사용이 제한되고 있으며, HQS 역시 인체독성이 있고

고농도 처리시 잎의 피해, 줄기 갈변, 꽃의 황변 등의 문제가 있기 때문에 친환경적인 대체물질을 개발하기 위한 연구가 필요하다.

절화보존용액 내에 함유된 sugar는 줄기의 도관을 막는 미생물의 성장 역시 돕기 때문에 반드시 살균제와 혼용 처리해야 하는데, 살균제는 미생물에 대한 살균작용, 보존용액의 산성화, 절화의 수분흡수를 촉진할 수 있다. 중성이나 알칼리성에 비해 산성 용액에서 절화의 물올림이 향상되기 때문에 절화보존용액의 pH는 3.5~4.5 정도가 적당한 것으로 보고되고 있다.

네덜란드에서 개발된 Chrysal 제품들이 다양한 절화의 수명연장에 널리 이용되고 있으며, 상용화된 제품별로 잎의 황화 방지(GA), 미생물 번식에 의한 도관 막힘 방지(quaternary ammonium compounds, aluminum sulfate + 살균제/계면활성제), 에틸렌 피해 억제(aminooxyacetic acid, silver nitrate), 양분 공급(sugar + acidifier + biocides)등 상업적 목적에 맞는 다양한 물질들이 포함되어 있다.

최근 전 세계적으로 농산물 품질보증에 대한 관심이 커지고 있는데, MPS(M: Milieu → Environment, P: Programma → program, S: Sierteelt → Floriculture)는 화훼 생산 및 유통단계에서 환경영향을 최소화하는 가운데 신선도와 품질관리, 고용 노동관리 등 화훼산업 전반적인 활동까지 아우르는 친환경적인 화훼생산인증제도로서, 향후 모든 산업에서 지속가능한 녹색성장이 화두이자 흐름이 될 것이며, 네덜란드에서 시작된 MPS는 화훼생산자를 위한 환경인증 프로그램인 동시에 화훼유통의 ISO 마크로 일컬어지며 세계적인 화훼산업의 표준으로 자리매김 할 것으로 예상된다.

플라즈마 활성수는 기본적으로 낮은 pH와 살균력을 가지기 때문에 절화의 물올림을 향상시키는 전처리제나 보존용액 내 미생물의 번식을 억제하는 후처리제로 개발된다면 절화 유통에 있어 친환경적인 품질관리 시스템 구축이 가능할 것으로 판단된다.

#### 다. 친환경 농산물 재배 현황

DDA·FTA 체결로 농업시장은 국제경쟁 시대에 돌입하였으며, 농산물 시장개방에 대응하여 국내 농산물의 질적 경쟁력 제고를 위해 친환경 농업의 육성이 필요하다. 친환경 농산물 생산은 2000-2011년 사이 연평균 40% 이상 급격히 증가해 왔으며, 농산물의 안전성과 건강을 추구하는 웰빙 트렌드가 확산되면서 친환경 농산물의 소비가 계속 늘어나고 있다. 친환경 농산물에 대한 소비의향은 높은 반면, 가격이 지나치게 높다는 인식이 지배적이기 때문에 저렴하면서도 신뢰성이 높은 친환경 농업생산기술이 필요한 실정이다.

2011년 기준 친환경 농산물 품목 종류별 출하량을 보면, 채소류 701,894톤(38.6%), 곡류 404,825톤(22.3%), 과실류 433,346톤(23.8%) 등으로 채소류가 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 시설 내에서 재배되는 작물은 비닐이나 유리 등 피복자재로 둘러싸여 생육되므로 환경에 따라 병 발생을 줄이는 것이 큰 화두가 되어 왔으며, 시설재배 환경

아래에서는 마름병, 점무늬병, 시들음병, 무름병, 흑병 등의 세균병이 흔히 발생하여 많은 피해를 입히고 있다.

일본, 중국 등 대규모 시장에서의 수출 경쟁력을 확보하고 유리온실 내에서 안정적으로 친환경 농산물을 생산하기 위해서는 연작장해의 염려가 없는 수경재배 시스템의 도입이 요구되고 있다. 최근 농산물에 대한 잔류농약 기준이 강화되고 있어 친환경 농산물에 대한 신뢰도를 제고시킬 수 있도록 철저한 인증시스템 구축이 필수적이다.

플라즈마 활성수의 특성을 이용한 원예작물 재배시스템의 확립은 화학비료나 농약의 사용절감으로 친환경 농산물 수확량 증대와 신뢰도를 제고시키며, 세계적 친환경 농업 기술에 있어서 선도적 역할의 기틀이 될 것으로 기대되고 있다.

#### 라. 새싹채소 및 어린잎채소 현황

웰빙 트렌드에 부응하는 새싹·어린잎채소 산업은 농업의 새로운 성장 동력으로 신장하고 있다. 하지만 채소류 중에서도 특히 새싹채소 및 그 종자의 미생물 오염도가 높은 수준이며, 1995년 이래로 관련한 식중독 발병 사례가 증가하는 추세에 있다. 세계적으로 새싹 및 어린잎채소의 미생물학적 위해성이 강조되고 있는 가운데, 영양학적·기능적으로 우수한 웰빙식품인 새싹 및 어린잎채소에 대한 국내 소비자들의 수요가 증가함에 따라 국내 생산 새싹 및 어린잎채소의 미생물학적 위해 실태 분석 및 저감화 방안 마련이 필요한 실정이다.

새싹 및 어린잎채소 재배와 유통을 위협하는 위해 슈퍼박테리아 등의 유해미생물 (*E-coli* O-157, *Bacillus cereus*, *Salmonella* spp.) 대한 친환경적 제어기술 개발이 필요한데, 새싹 및 어린잎채소 유해미생물 오염경로는 종자자체에 오염되어 있거나 재배과정 중에서 재배도구, 관개수, 작업도구, 사람 등에 의해서 오염되는 것으로 알려져 있으며, 이 중에서 종자에 의해 유해미생물이 유입되는 경우가 많으므로 초기 종자 소독이 가장 중요한 기술로 여겨지고 있다. 따라서 새싹 및 어린잎채소 재배와 유통을 위협하는 유해미생물에 대한 친환경적 제어기술 개발 필요하며 종자에 오염된 유해미생물을 살균 처리하여 오염원 제거하는 것이 필수이라 할 수 있다(그림 8).



그림 11. 드림회전식 새싹채소 생산설비 및 어린잎채소 재배농장

채소 종자 소독은 락스 등을 사용하여 실시하고 있으나 처리효과 발아율에 미치는 영향 등에 대한 연구가 미진하다. 새싹채소 생산 후 신선도를 유지하기 위하여 전처리 단계에서 냉수를 이용하고 세척방법으로 chloline를 이용한 것이 가장 효과적인 것으로 알려져 있으나 안전성 우려 때문에 친환경적 세척방법 개발이 필요하다. 오존수는 오존가스보다 안전하기 때문에 실용적인 사용방법으로 이용되어 왔으나 물에 용해되는 오존량이 극미량이고 반감기가 20분으로 짧은 것이 단점으로 알려져 있다.

플라즈마 활성화수 제조기술을 새싹채소 생산공정에 이용하기 위한 시도는 FTA 대응 농업부문 새로운 성장동력 산업으로 소비가 증가 추세인 새싹 및 어린잎채소 산업 보호 육성과 안전먹거리 생산을 위한 기술 개발이 가능할 것으로 판단된다.

### 제3절. 연구개발 범위

#### 1. 플라즈마 활성화수의 원예산업 적용기술 개발

- 가. 플라즈마 활성화수 활용에 따른 유통 환경에 따른 원예작물의 살균소독 및 세척 조건 규명
- 나. 플라즈마 활성화수 처리에 의한 수확 후 관리단계에 따른 수출용 화훼류 절화수명연장 효과 평가
- 다. 플라즈마 활성화수를 이용한 엽채류 생산성 비교 및 병 발생 억제를 위한 적정 처리 조건 확립
- 라. 플라즈마 활성화수를 적용한 생산 단계에 따른 새싹채소 및 어린잎채소의 재배 시스템 개발
- 마. 플라즈마 활성화수 처리에 따른 원예작물의 생리조직 및 대사산물 변화 조사

#### 2. 원예산업 적용을 위한 플라즈마 활성화수 제조장치 개발 및 성능평가

- 가. 질산화 활성화수 및 산화수(플라즈마 활성화수) 제조기술 및 발생장치 개발
- 나. 플라즈마 활성화수의 물리화학적 특성(EC, pH, ORP, ROS, RNS) 조사
- 다. 플라즈마 활성화수의 살균력(일반세균, 대장균, 병원성 세균) 검정

## 제2장. 국내외 기술개발 현황

코드번호

D-04

### 제1절. 국내 연구개발 현황

#### 1. 국내 플라즈마 활성수 제조기술 및 장치 개발 현황

플라즈마 방전에 의한 활성수 제조기술 개발은 현재 반도체나 물과 대기의 고도처리 등에서 광범위하고 활발하게 그 응용기술이 개발되고 있다. 농업적 적용을 위해 대기 중에 오존을 만들어 살균하는 방법에 플라즈마가 이용되면서 농업분야에서 주목을 받게 되었으며, 수중에서 플라즈마를 방전하는 기술이 개발되면서 free radical이나 오존 등을 함유하는 활성수의 제조기술을 이용하여 산화공정에 응용하기 위한 기술개발이 이루어지고 있다. 그동안 플라즈마 방전방식으로는 코로나 방전에 대한 연구가 많이 수행되었고, 최근에는 코로나 방전보다 에너지 효율이 높고 상용화의 가능성이 큰 절연체 격막방식 (Dielectric Barrier Discharge, DBD)에 대한 연구가 진행되고 있다. 오존을 연면 방전체의 방전으로 발생시킬 때 오존의 생성이 온도, 압력, 습도, O<sub>2</sub> 농도와 관련이 있는 것으로 보고되었고(봉춘근, 1994), 전압증가에 따른 오존 발생특성이 방전선의 온도 변수에 영향을 받는다고 보고되었다(문재덕, 1996). 펄스코로나 유도플라즈마를 이용한 가스 중 TEC 처리에 대한 연구결과나 연면방전 플라즈마를 이용한 방전시 톨루엔 처리에 관한 연구들이 수행되었다(부문자, 1997).

#### 2. 국내 플라즈마 활성수의 원예산업 적용기술 개발 현황

플라즈마 방전을 통해 제조된 활성수를 농업에 활용하고자 하는 연구는 일부 소개가 되고 있지만 아직까지 미미한 실정이다. 현재는 전해수 및 오존수를 원예산물의 세정수와 살균수로 활용하고자, 기초적 성능 연구와 오존수의 저장성 등 실용화 가능성에 대한 연구도 일부 이루어지고 있다. 오존수를 활용한 부분가공 원예산물의 청정화 및 유통성 증진에 대한 검토나, 오존수 침지처리가 복숭아 수확 후 선도에 미치는 영향 조사 등이 이루어졌다(황용수 등, 2003; 조재욱 등, 2003). 전해수를 이용한 연구들도 수행되어 격막 방식에 따라 제조한 전해수의 세척 및 보관 효과나 식품첨가제를 첨가한 전해산화수의 세정효과 연구, 세정수로서의 전해산화수 적용 특성에 따른 색도 및 미생물 측정 등과 같은 연구들이 이루어졌다(김명호 등, 2004; 정승원 등, 2002; 정진용 등, 2000).

절화의 노화요인으로 에틸렌이 대두되어 왔기 때문에, 에틸렌의 생성 및 작용을 억제하는 silver thiosulfate(STS)가 절화수명 연장제로 가장 널리 이용되어 왔다(Lee and Kim, 1993; Reid et al., 1980). 그러나 절화장미의 에틸렌 작용 억제제로 STS를 사용할 경우에는 처리시 화기로까지 Ag<sup>+</sup>이 도달하였음에도 불구하고 질산은 처리에 비하여

절화수명의 연장효과가 낮았다는 보고가 있다(Son et al., 1993). 절화류의 노화를 촉진하는 요인은 에틸렌뿐 아니라 유통시 줄기의 도관으로 기포가 들어가거나, 절단시 분비되는 유액에 박테리아나 세균이 번식하여 수분흡수가 물리적으로 방해받아 수명이 단축된다(Kwon and Kim, 2000). 플라즈마 활성화수는 산도와 산화성분의 영향으로 친환경적이며 절화의 수명을 효과적으로 연장시킬 수 있을 것으로 기대가 되며, 연장 효과를 밝힘으로써 절화수명 연장용 플라즈마 장치를 개발을 위한 기초자료를 연구가 필요하다.

새싹·베이비채소의 유해미생물 오염경로는 종자에 의해 유해미생물이 유입되는 경우가 많으므로 초기 종자 소독이 중요하다. 종자 소독에 관해서는 국내에서는 식물병원균 중 채소 종자 전염병원균을 살균할 목적으로 건열처리에 대한 연구가 이루어 졌다. 75°C에서 건열처리는 종자전염을 일으키는 박만할병(*Fusarium oxysporum*)을 100% 불활성화 시키지 못하였다(이 등, 2008). 또한 최근에는 새싹채소 종자를 살균하기 위하여 전자빔을 이용하여 살균효과를 조사한 결과 대장균 등 식중독 관련균은 1-3 kGy 범위의 선량에서 발아채소에 혼입된 병원성미생물의 사멸관리가 가능한 것으로 확인되었다(권중호, 2009). 또한 초기발아율이 95% 이상인 새싹 종자를 전자빔 살균처리하면 적무는 5 kGy까지, 브로콜리는 2 kGy까지 유의적인 차이가 없었다. 그러나 무순, 양배추 등은 1 kGy 이상 조사시 발아율이 90% 이하로 감소되었다. 전반적으로 전자빔은 감마선보다 종자의 발아율에 미치는 영향이 다소 낮았다. 이 등은(2009) 다채 어린잎을 25°C에서 염소 50~100ppm처리시 미생물 수를 억제하는데 효과가 높은 것으로 나타났다고 보고하였다.

## 제2절. 국외 기술개발 현황

### 1. 국외 플라즈마 활성화수 제조기술 및 장치 개발 현황

플라즈마 방전에 의한 활성화수 제조기술 개발은 최근 반도체 및 물과 대기의 고도처리 등에서도 광범위하고 활발하게 그 응용기술이 개발되고 있다. 물에 대한 고압방전 처리는 오존, 과산화수소, radicals(OH<sup>-</sup>, H<sup>-</sup>), 자외선 생성에 의한 살균 등의 효과를 얻을 수 있고 오존발생기보다 효과적이며 경제적인 것으로 보고되고 있다(Anpio 등, 1998). Anpio 등은 방전에 의하여 발생하는 자외선 파장은 190~340 nm 인 것으로 보고하였고 후속연구(Anpio 등, 2002)에서 방전처리수가 액상 식품에도 활용될 수 있는 것으로 보고하였다. 또한, Kurahashi 등 (1997)은 물에 대한 방전처리는 H radical은 생성시키지 않지만, 방전처리로 만들어지는 활성화산소는 탈색, 탈취, 살균 등에 이용될 수 있다고 제시하였다. 이 외에도 코로나 방전을 물 표면에 직접 접촉시켜 오존 용해량이 증가하는 것을 확인하였고(I. Suarasan 등, 2002), 2개의 평판 알루미늄 전극을 이용 하한 절연체 격벽 방식(Dielectric Barrier Discharge, DBD) 사용하거나(U. Kogelschata 등, 1997), 평판 사이에 물을 채워 전극 부분에 국소적으로 높은 전계를 만들어 방전하는 수중방전법 개발하는 등(H.M. Jones 등, 1995) 플라즈마 방전을 이용한 활성화수를 만드는 노력을 해오고 있다.

## 2. 국외 플라즈마 활성화수의 원예산업 적용기술 개발 현황

해외에서도 건조공기를 이용한 방전으로 밀의 발아나 sugar beet 종자의 발아에 미치는 영향 연구(L. Mortensen 등, 1996; P. Szendro 등, 2002)를 수행하였고, 가스상 오존 처리에 의한 포장된 오렌지의 살균 효과를 구명하였다(L. Palou 등, 2003). 액상의 활성화수에 대한 연구는 A.M. Anpilove 등 (2002)이 플라즈마 방전을 통하여 제조된 활성화수를 이용하여 살균력을 검정하는 연구를 진행하였다.

미국 등 선진국에서는 현재 신선편이 농산물 세척에 가장 널리 사용되는 염소세척을 대체하기 위하여 오존수 현장 적용 시스템 개발, 과산화초산 혼합제 등 기타 살균소독제를 개발하여 산업화 하였다. 미국의 연구기관 중 USDA에서는 사과 슬라이스의 품질과 품질수명 연장 첨가물을 개발하여 실용화하였고, 박테리오파지를 이용한 신선편이 채소의 안전성 향상 기술 연구와 식물조직의 상처 및 특성에 따른 특성 연구를 하여 연구리포트, 책자 발간 및 농산물 안전성 관련 프로그램에 활용하고 있다. 살균소독 세척과 관련하여 미국 UC Davis에서는 염소세척의 효과를 더 높이기 위한 살균소독 세척기술 연구, 전해수, 계면활성제 이용, 과산화초산 화합물 등 새로운 살균소독제 활용 연구를 하여 UC Davis-0] 수확 후 관리 관련 기술정보(책자발행, Postharevst short course 등 교육) 프로그램을 통해 정보를 제공하고 있다. 미생물의 신속 검출 방법이 산업체에서도 적용되어 PCR로 병원성 대장균 검출이 도입되었고, 보다 신속한 진단을 위하여 배지 및 키트개발에 대한 연구가 수행되었으며, 유럽에서는 일부 미생물 진단 키트가 산업체 현장에서 사용이 시작되었다.

또한 일본에서는 신선편이 품목별 품질 및 미생물 제어 최적 포장조건을 구명하고, 살균소독 방법으로 주로 전해수 이용, 소성칼슘 등 친환경 살균소독제 효과에 대한 연구 및 염소보다 효과가 우수한 살균소독제 선발을 위한 acidified sodium chlorite 등의 살균효과에 대한 연구가 수행되었다.

새싹·어린잎채소의 종자세균 살균방법은 보통 calcium hypochlorite, sodium hypochlorite, 에탄올, 오존수, 유기산 등을 이용하는 방법이 연구되어 왔다(Beuchat, 2001; Bari, 1999; Lang 등, 2001; sharma 등, 2002). 그러나 이러한 표면 살균방법을 이용하여 종자 미생물을 완전하게 살균하는 것은 불가능하다(Taormina, 1999). 미국에서는 새싹채소에 의한 인한 식중독 현상이 자주 발생하자 새싹채소 종자를 20,000ppm의 calcium hypochlorite 용액을 이용하여 살균한 후 사용할 것을 추천하고 있다. Bari 등 (2003)은 녹두 알팔파 등의 씨앗에서 *E-coli* O157:H7 를 살균할 목적으로 건열살균 후 초음파세척기에 산화전해를 넣고 종자를 살균한 결과 식중독 균밀도는 급격히 감소하였으나 완전한 살균은 불가능하였다. 또한 식중독균 이외에 일반 세균에 대한 효율적인 살균방법에 대한 연구는 미진한 편이다.

고압의 방전처리는 대기 중의 번개현상과 유사하게 공기 중의 질소가스를 산화시켜 질소산화물을 생성시키며 이 때 생성되는 물질에는 NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, OH<sup>-</sup> 등이 포함되며, 따라서 방전처리수는 산화력 및 살균력을 지니므로 (Pinart 등, 1996; Samouilov 등, 1998) 산업용 폐수처리에서 오존보다 강력한 효과를 나타내어 COD, BOD 감소에 효과적이며 탈색효 과도 우수한 것으로 보고하였다(Balakrinam 등, 2002). 그러나 방전처리로 발생하는 질소산화물은 생체의 대사작용은 물론 면역체계도 영향을 미치는 것으로 제시된 바 있어(Alexandre 등, 1998; Moorcroft 등, 2001) 이의 활용이 제한적일 가능성도 배제할 수 없다. 방전에 의한 다양한 질소산화물, 활성산소 등의 발생은 방전처리 과정에서 부여되는 current intensity, 방전시간 등의 영향을 받으며 대체적으로 동일한 조건에서 방전처리시간이 길어지면 질소산화물의 생성량도 증가한다(Pinart 등, 1996). 한편 코로나 방전 처리수를 sugar beet 종자에 처리하였을 때 종자의 발아력이 향상되어, 발아율이 낮은 종자의 발아력 향상에 이용할 수 있는 가능성도 제시된 바 있다(Szendro 등, 2002).

## 제3장. 연구수행 내용 및 결과

코드번호

D-05

### 제1절. 연구개발의 최종목표 및 주요 내용

#### 1. 연구개발의 최종 목표

- 가. 원예작물 수확 후 관리 및 재배 시스템에 적합한 플라즈마 활성수 제조기술 및 발생장치 개발
- 나. 친환경 원예작물 수확 후 관리 및 재배를 위한 플라즈마 활성수 적정 처리 기술 개발
  - (1) 플라즈마 활성수를 이용한 원예작물의 살균소독 및 세척 기술 개발
  - (2) 플라즈마 활성수를 이용한 수출용 화훼류 절화수명연장 기술 개발
  - (3) 플라즈마 활성수를 이용한 엽채류 재배 시스템 개발
  - (4) 플라즈마 활성수를 이용한 새싹채소 및 어린잎채소 재배 시스템 개발
- 다. 플라즈마 기술의 원예적 적용을 위한 가이드라인 제시

#### 2. 주요 연구내용

- 가. 원예산업 적용을 위한 플라즈마 활성수 제조장치 개발 및 성능평가
  - (1). 질산화 활성수 및 산화수(플라즈마 활성수) 제조기술 및 발생장치 개발
  - (2). 플라즈마 활성수의 물리화학적 특성(EC, pH, ORP, ROS, RNS) 조사
  - (3). 플라즈마 활성수의 살균력(일반세균, 대장균, 병원성 세균) 검정
- 나. 플라즈마 활성수의 원예산업 적용기술 개발
  - (1). 플라즈마 활성수 활용에 따른 유통 환경에 따른 원예작물의 살균소독 및 세척 조건 규명
  - (2). 플라즈마 활성수 처리에 의한 수확 후 관리단계에 따른 수출용 화훼류 절화수명 연장 효과 평가
  - (3). 플라즈마 활성수를 이용한 엽채류 생산성 비교 및 병 발생 억제를 위한 적정 처리 조건 확립
  - (4). 플라즈마 활성수를 적용한 생산 단계에 따른 새싹채소 및 어린잎채소의 재배 시스템 개발
  - (5). 플라즈마 활성수 처리에 따른 원예작물의 생리조직 및 대사산물 변화 조사

#### 3. 과제별(세부·협동) 연구개발의 목표 및 내용

- 가. 제1세부과제명 : 수중 플라즈마를 이용한 친환경 원예작물 수확 후 관리 기술 개발
  - (1). 수중 플라즈마를 이용한 원예작물의 살균소독 및 세척 기술 개발

(가). 당근 및 생강의 플라즈마 살균소독 조건 규명

①. 플라즈마 발생조건별 플라즈마 활성수 처리 효과 평가

- 발생조건: Water plasma / 과산화수소 농도(0, 0.5, 1.0, 2.0mM)

②. 유통 환경(상온, 저온)에 따른 처리 효과 평가

③. 처리 후 저장 기간 동안 미생물 발생, 품질(색, 경도 등) 변화 모니터링

④. 당근의 당, 색 관련 대사산물 변화 조사

⑤. 생강의 색, 향미 관련 대사산물 변화 조사

(나). 당근 및 생강의 플라즈마 활성수 세척 기술 개발

(다). 세척 당근 및 세척 생강 유통에 적용 가능한 플라즈마 활성수 살균소독 및 세척 가이드라인 제시

(2). 수중 플라즈마를 이용한 수출용 화훼류 절화수명연장 기술 개발

(가). 플라즈마 활성수 처리가 수출용 화훼류의 선도 유지에 미치는 영향 분석

①. 플라즈마 발생조건별 플라즈마 활성수 처리 효과 평가

- 발생조건: Water plasma / 과산화수소 농도 (0, 300, 600, 900  $\mu$ M)

②. 수확 후 관리 단계(전처리, 후처리)에 따른 처리 효과 평가

③. 복합 처리(플라즈마 + 당)에 따른 효과 평가

④. 절화 수명, 품질 변화, 미생물 발생 모니터링

⑤. 생리조직학적 변화 및 대사산물 변화

(나). 수출용 화훼류의 선도 유지를 위한 플라즈마 활성수 적정 처리 기술 개발

(다). 수출용 화훼류 절화수명연장을 위한 플라즈마 활성수 처리 가이드라인 제시

나. 제2협동과제명 : 수중 플라즈마를 이용한 친환경 원예작물 재배 시스템 개발

(1). 수중 플라즈마를 이용한 엽채류 수경재배 시스템 개발

(가). 플라즈마 활성수 처리가 엽채류 생산에 미치는 영향 분석

①. 플라즈마 발생조건별 플라즈마 활성수 처리 효과 조사

- 발생조건: Microwave plasma / pH (2, 3, 4, 5 등)

②. 상추류의 생육양상, 양분 흡수, 스트레스 특성 검정

③. 배양액의 수중 플라즈마 처리를 통한 양액 변화 분석

④. 생리조직학적 변화 관찰

(나). 친환경 엽채류 생산을 위한 플라즈마 활성수 적정 처리 기술 개발

(다). 친환경 엽채류 생산을 위한 플라즈마 활성수 제조조건 가이드라인 제시

(2). 수중 플라즈마를 이용한 새싹채소 및 어린잎채소 재배 시스템 개발

(가). 새싹채소 종자 발아력 향상을 위한 플라즈마 활성수 처리 조건 규명

- ①. 플라즈마 발생조건별 플라즈마 활성수 처리 효과 조사
  - 발생조건: Microwave plasma / 과산화수소 농도(0, 0.5, 1.0, 2.0mM)
- ②. 종자 발아력 검정 및 생육양상 조사
- ③. 미생물 발생정도
- (나). 새싹채소 및 어린잎채소 세척 기술 개발
- (다). 식품 안전성 확보를 위한 새싹채소 및 어린잎채소 플라즈마 활성수 제조조건 가이드라인 제시

다. 제2협동과제 : 원예작물 수확 후 관리 및 재배 시스템에 적합한 수중 플라즈마 발생장치 개발

- (1). 플라즈마 활성수 특성 분석 및 최적화
  - (가). 수중방전 전극 개발 및 최적화
  - (나). 플라즈마 발생조건에 따른 플라즈마 활성수의 특성 분석
    - ①. 플라즈마 활성수의 물리화학적 특성(EC, pH, ORP, ROS, RNS) 분석
    - ②. 플라즈마 활성수의 살균력(일반세균, 대장균, 병원성 세균) 검정
    - ③. 플라즈마 활성수의 활성 라디칼 분석을 통한 플라즈마 발생조건 최적화 조건 도출
  - (다). 원예작물 이용 분야별 플라즈마 활성수 발생장치 최적화 및 scale-up 인자 도출
- (2). 플라즈마 활성수 생산을 위한 pilot scale 장비 제작
  - (가). 플라즈마 활성수 생산을 위한 pilot scale 장비 제작 및 성능 평가, 운전매뉴얼 제작
  - (나). 원예작물 이용 분야 적용을 통한 장비 보완 및 공정 최적화
- (3). 협동과제 추진체계



그림 12. 팀별 연구과제 추진체계

#### 4. 연구개발 추진체계

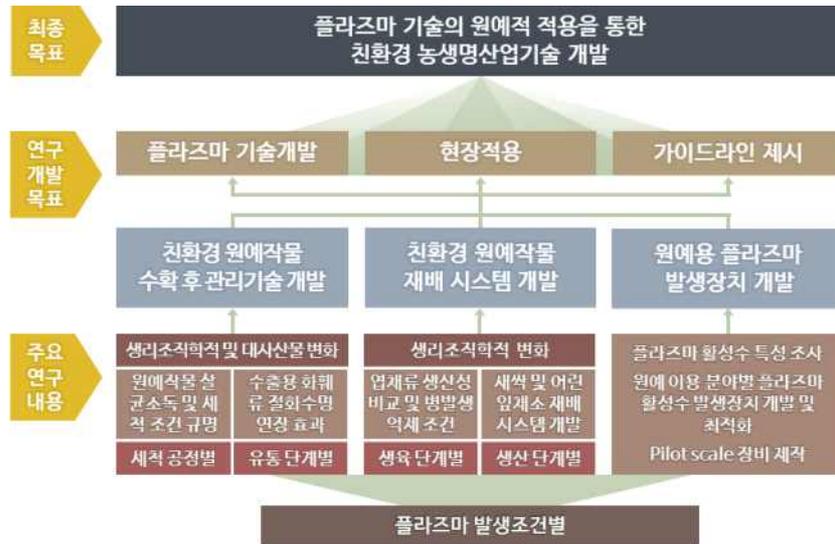


그림 13. 연구개발 추진체계

#### 5. 연구개발 추진 일정

2016년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	당근 및 생강의 플라즈마 활성화 살균소독 효과 규명													20,000	이은진 (서울대)
2	플라즈마 활성화 처리가 수출용 화훼류의 선도 유지에 미치는 영향 분석													20,000	이은진 (서울대)
3	플라즈마 활성화 처리가 엽채류 생산에 미치는 영향 분석													20,000	신중화 (안동대)
4	새싹채소 및 어린잎채소 종자의 플라즈마 활성화 소독 효과 규명													10,000	신중화 (안동대)
5	플라즈마 활성화 처리가 새싹채소 및 어린잎채소의 생장에 미치는 영향 분석													10,000	신중화 (안동대)
6	수중방전 전극개발 및 최적화													30,000	박찬일 (엔팩)
7	플라즈마 발생조건에 따른 플라즈마 활성화의 특성													15,000	박찬일 (엔팩)
8	원예작물 이용 분야별 플라즈마 활성화 발생장치 최적화 및 scale-up 인자 도출													9,000	박찬일 (엔팩)

2017년																
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	당근 및 생강의 플라즈마 활성화 세척 기술 개발	■	■	■	■	■	■								12,000	이은진 (서울대)
2	세척 당근 및 생강 유통에 적용 가능한 플라즈마 활성화 살균소독 및 세척 가이드라인 제시							■	■	■	■				8,000	이은진 (서울대)
3	수출용 화훼류 선도 유지를 위한 플라즈마 활성화 적정 처리 기술 개발	■	■	■	■	■	■								12,000	이은진 (서울대)
4	수출용 화훼류 절화수명연장을 위한 플라즈마 활성화 처리 가이드라인 제시							■	■	■	■				8,000	이은진 (서울대)
5	친환경 엽채류 생산을 위한 플라즈마 활성화 처리기술 개발	■	■	■	■	■	■								6,000	신종화 (안동대)
6	친환경 엽채류 생산을 위한 플라즈마 활성화 이용 가이드라인 제시							■	■	■	■				4,000	신종화 (안동대)
7	플라즈마를 이용한 새싹채소 및 어린잎채소 세척기술 개발	■	■	■	■	■	■								6,000	신종화 (안동대)
8	식품안전성 확보를 위한 새싹채소 및 어린잎채소 플라즈마 처리 가이드라인 제시							■	■	■	■	■			4,000	신종화 (안동대)
9	계획수립 및 자료조사	■													2,000	박찬일 (엔팩)
10	설계도면 작성		■	■	■	■									4,000	박찬일 (엔팩)
11	진공펌프 설치				■	■	■	■							9,000	박찬일 (엔팩)
12	전체시스템 구성						■	■	■	■					25,000	박찬일 (엔팩)
13	주요평가방법에 따른 성능평가항목 결정					■	■	■							5,000	박찬일 (엔팩)
14	실험실에서 성능평가 모의 실험							■	■	■	■				20,000	박찬일 (엔팩)
15	성능평가 표준방법 확립										■	■	■		2,000	박찬일 (엔팩)
16	1차 시제품 설계도면 작성										■	■	■		4,000	박찬일 (엔팩)
17	1차 시제품 가공 및 평가												■	■	3,000	박찬일 (엔팩)

## 제2절. 연구결과

### 1. 수증 플라즈마를 이용한 친환경 원예작물 수확 후 관리 기술 개발

#### 가. 수증 플라즈마를 이용한 신선편이 원예작물의 살균소독 및 세척 기술 개발

##### (1). 연구 목적

신선 원예작물에 적용이 가능한 세척 기술로는 현재까지 오존수, 염소계열의 차아염소산나트륨( $\text{NaOCl}$ )과 차아연소산칼슘( $\text{Ca(OCl)}_2$ ), 전해수, 이산화염소수( $\text{ClO}_2$ ), 과산화수소수 등이 있으나 이들의 문제점은 신선농산물에 잔류하여 나타나게 되는 냄새로 인해 실제 적용이 어려움 경우가 많은 것으로 보고되고 있다. 또한 잔류 냄새이외에도 세척수를 만들어내기 위한 설비시설을 갖추는데 경제적 부담이 큰 편으로 보다 경제적인 설비의 개발이 요구되고 있다. 이에 본 연구는 플라즈마 방전 기술로 만들어진 산화수를 이용하여 기존의 문제점을 개선한 살균 소독 및 세척 기술 개발을 목적으로 수행되었다.

##### (2). 당근 및 생강의 플라즈마 살균소독 조건 규명

###### (가). 플라즈마 발생조건별 플라즈마 활성수 처리 효과 평가

###### ①. 연구수행방법

일반적인 세척공정은 비가열 가공공정만을 거치게 되므로 식품원료 내에 존재하는 미생물이 유지될 수밖에 없는 문제점 내포하고 있다. 이에 비해 전기적 방전들은 공통적인 특정 화학적 반응 메커니즘과 분자 형성, 특정한 라디칼 및 UV 발생과 같은 물리적인 현상들을 나타내고 있다. 따라서 수증전극에서 발생한 플라즈마는 물을 분해하여 활성산소(ROS)를 생성하고, 이후 물과의 반응으로 과산화수소( $\text{H}_2\text{O}_2$ , hydrogen peroxide) 생성한다. 이에 물속에 용존되어 있는 과산화수소의 용존량을 기준으로 수증플라즈마 활성수의 특성을 정량하고자 한다.

###### ②. 구체적인 내용

제2협동과제에서 제작한 수증플라즈마 활성수 발생장치(이후 산화수 시스템)를 이용하여 전극 1개가 설치된 3L의 수조에 2L의 수돗물을 채운 후 방전시간과 방전전압(100 ~ 150V)의 조절하여 과산화수소의 발생량 및 활성수의 화학적 특성 변화를 조사하였다(그림 11). 산도변화(pH)와 전기전도도(EC)는 각각 pH meter (HP 9010, Trans Instruments, 싱가포르)와 Conductivity meter (HC 9021, Trans Instruments, 싱가포르)를 이용하여 측정하였고, 과산화수소의 농도는 즉각적인 확인을 위해 Hydrogen Peroxide Test Strips (0-25ppm: Quantofix 100, SEOH, USA, 0-100ppm: Peroxide Check, WaterWorks, USA: 0-30,000ppm:

481116 Peroxide Test Strip, Industrial Test Systems, USA) 을 이용하여 대략적인 생성범위를 추정하였고(그림 12), 정량분석을 위해 서울대학교 농생명과학 공동기기원의 이온 크로마토그래피(ICS5000, ThermoDionex, 미국)를 작동 조건을 최적화하여 사용하였으며 상세한 기구 구성은 다음과 같다. 시료 주입은 ThermoDionex사의 오토샘플러, 검출기는 Pulsed amprometry(ED40), 그리고 실험에 이용된 컬럼으로는 CarboPac\_SA10 Analytical (4×250mm, Dionex, USA), CarboPac\_SG10 Guard (4×50mm, Dionex, USA)을 이용하였다.

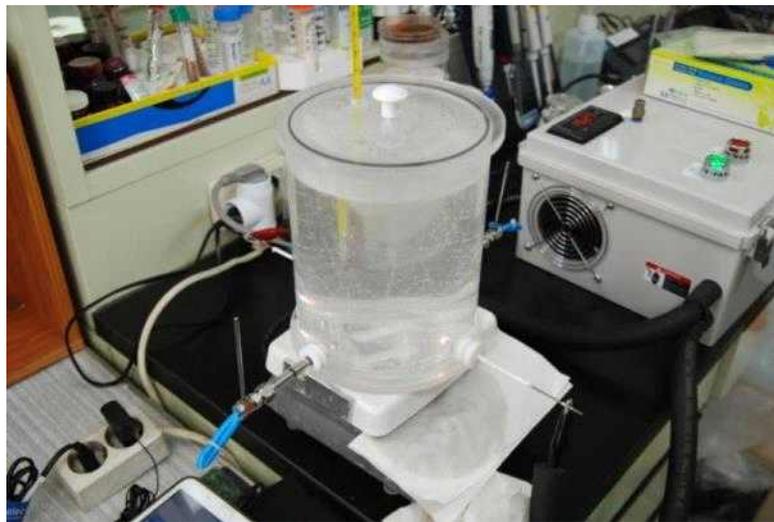


그림 14. 플라즈마 수중방전 중인 산화수 시스템



그림 15. 농도범위별 Analytical strip

### ③. 연구결과

플라즈마 수중방전의 전압과 방전시간에 따른 산도(pH)와 전기전도도(EC)의 변화는 나타나지 않았다. 방전전압과 방전시간이 증가할수록 활성수 온도의 증가량이 다르게 나타났다. (그림 13)

120V로 방전시 분당 2.3℃ 씩 증가하였으며, 150V로 방전하였을 때는 분당 5.2℃ 씩 증가하는 양상을 보여 150V로 방전하게 되면 수온이 너무 급격하게 올라가 120V이하로 방전하는 것이 좋을 것으로 판단하였다.

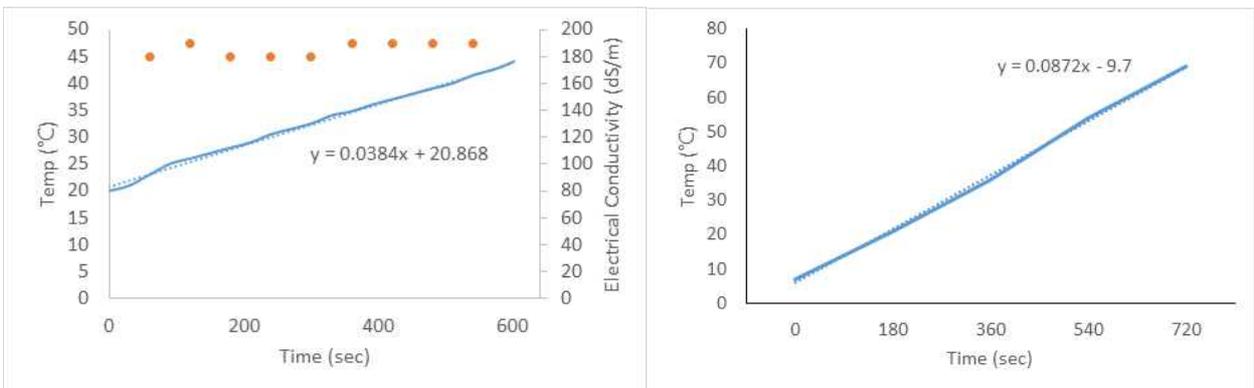


그림 16. 수중방전에 따른 EC의 변화와 온도변화 (좌: 120V, 12A; 우: 150V, 15A)

플라즈마 수중방전으로 발생하는 활성산소는 반감기가 극히 짧고 측정이 어렵기 때문에 과산화수소의 농도를 기준으로 산화수 시스템의 처리기준을 설정하였다. 방전시간이 증가함에 따라 과산화수소의 발생량이 증가하였으며, 방전시간이 길어질수록 온도가 증가하여 120V로 30분 방전시 17°C의 물이 94°C에 도달하여 30분 방전을 최대 방전량으로 산정하였다. 이상의 조건에서 과산화수소의 최대발생량은 25분정도 방전하였을 때 68ppm(약 2,200  $\mu$ M)으로, 그 이상의 방전에서는 줄어드는 양상을 나타내었다. 그 원인은 발생된 과산화수소가 플라즈마 방전에 의해 다시 해리되어 감소하는 것으로 제2협동과제 연구진이 판단해 주었다(그림 14).

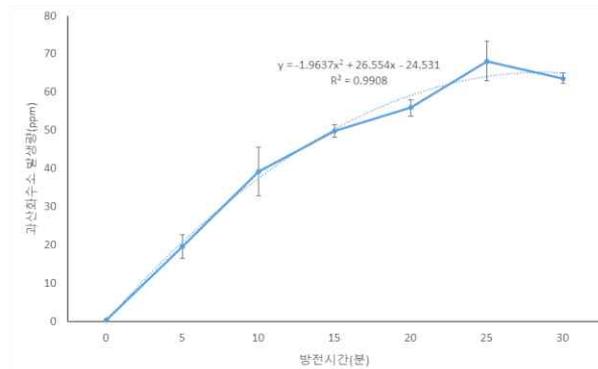


그림 17. 플라즈마 방전시간에 따른 과산화수소 발생량

과산화수소의 발생량과 전력량(전압과 평균 전류의 조합)의 상관식을 구하여 효율적인 처리방안을 모색해 보았다. 120V로 방전하였을 경우 과산화수소 1ppm 당 5.72W의 에너지가 투입되는 것으로 산정되었고, 150V로 방전하였을 경우 과산화수소 1ppm당 3.46W의 에너지가 투입되는 것으로 산정되었다(그림 15).

따라서 산화수 생성시 가능한 고압으로 방전하는 것이 과산화수소 생성의 에너지효율을 높일 수 있는 것으로 판단되나, 온도의 급격한 상승과 전극의

안정성을 고려하였을 때 120V 이하로 25분정도 방전하는 것이 적절할 것으로 판단되었다.

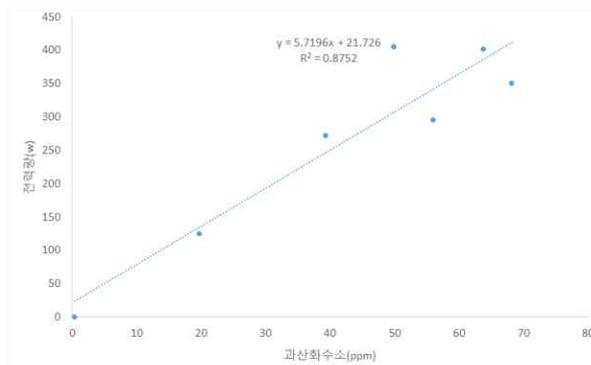


그림 18. 과산화수소 생성과 전력량 상관관계

(나). 유통 환경(상온, 저온)에 따른 처리 효과 평가

①. 연구수행방법

식물재료로는 급식, 외식업체의 수요에 비해 세척유통 비율이 낮은 식재료인 당근과 생강 외에도 보관기간이 짧은 콩나물을 선정하여 플라즈마 활성수의 종류별 효과를 비교하였다. 당근과 생강, 콩나물을 산화수로 세척하여 4℃ 저온실과 실내에 저장하여 온도별 품질변화를 비교해 보았다. 다른 플라즈마 활성수인 질산화물 활성수의 세척수로의 활용 가능성을 확인하기 위해 질산화물 활성수를 pH 3, 4, 5로 조정하여 세척수로 사용하였다. 수중방전에 의해 발생된 과산화수소 용존량을 기준으로 방전시간에 따른 산화수를 이용하여 세척한 후 시료들의 품질변화를 관찰하였다.

②. 구체적인 내용

실험에 사용된 당근과 생강은 마트에서 당일 입고된 국내산 농산물을 구입하여 외관이 깨끗하고, 색이 선명하며, 크기와 모양이 균일한 것을 선별하여 사용하였다. 콩나물은 500g을 구입하여 세척수 처리별로 20g씩 나누어 3반복으로 처리하였다. 1차 세척은 애벌세척과정으로, 당근과 생강은 흐르는 물에 1분간 부드러운 솔을 이용하여 외부 이물질을 제거하였으며, 콩나물은 흐르는 물에 10초정도 두어 이물질을 제거하였다. 2차 세척은 살균세척과정으로, 과산화수소의 농도가 0.5, 1.0, 2.0mM이 되도록 방전시킨 산화수(pH 7.3)와 pH를 3, 4, 5로 조정된 질산화물 활성수를 수조에 넣은 후 1차 세척한 당근과 생강, 콩나물을 넣고 각각 5분 동안 침지하였다. 3차 세척은 헹굼세척으로 냉각수에 5분간 침지하여 잔여 활성수를 제거하였다. 모든 세척과정에 이용된 냉각수는

냉장보관된 냉각수(5℃)를 이용하였고, 시료와 냉각수의 비율은 1:10으로 하였다. 시료를 꺼내어 소독된 채반에 놓아 10분간 자연탈수 시킨 후 보관용기에 넣어 상온(10~15℃)과 저온실(0~4℃)에 각각 보관하였다. 보관 후 종류별로 주기적인 관찰을 통해 품질 변화를 조사하였으며, 5척도(5: 상품성이 좋다, 4: 약간 좋다, 3: 상품성이 보통이다, 2: 약간 나쁘다, 1: 상품성이 나쁘다)로 구분하여 관능평가를 실시하였다.

### ③. 연구결과

상온에 저장한 당근은 저장 10일 후부터 질산화물 활성수 pH 3, 4 처리구에서 백화현상이 관찰되었으며, 15일 후부터는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 2.0mM 처리구를 제외한 나머지 처리구에서는 곰팡이의 발생이 시작되어 상품성을 잃어버렸다(그림 16). 특히 질산화물 처리구에서 산화수 처리구보다 곰팡이의 발생이 빨리 나타나 세척용으로는 부적합한 것으로 판단되었다. 저온에 저장한 당근은 16주차부터 상품성이 크게 떨어지기 시작하였으며, 상온에서와 마찬가지로 질산화물 활성수 처리구의 상품성이 먼저 저하되는 양상을 보였다.

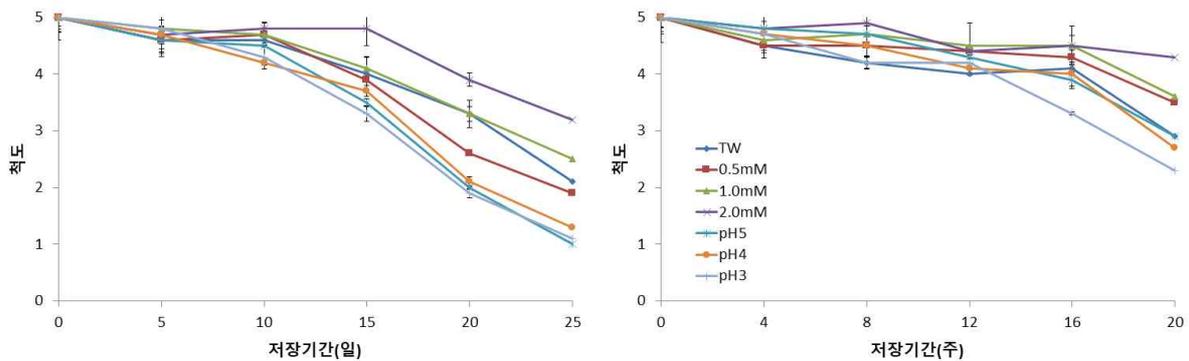


그림 19. 세척당근의 저장온도에 따른 관능적 품질변화(상온(좌), 저온(우))

생강은 상온에서 저장 3주 후부터 과산화수소 1.0mM과 2.0mM 처리구를 제외하고는 무름현상이 발생하면서 상품성이 떨어졌다. 저온에서 보관한 생강에서는 품질의 변화가 크게 나타나지 않았다(그림 17). 질산화물 활성수 pH3처리구는 저장 2주차부터 조직이 물러지며 상품성이 떨어지는 현상을 보인 반면, 과산화수소 2.0mM 처리구는 4주까지 상품성을 유지하였다. 육안으로 보이는 곰팡이의 발생은 없었으나, 표면색이 약간 진해지고, 일부 물러짐이 발생하였다. 상온과 마찬가지로 과산화수소 1.0, 2.0mM 처리구가 다른 처리구에 비해 무름현상이 적게 관찰되었다.

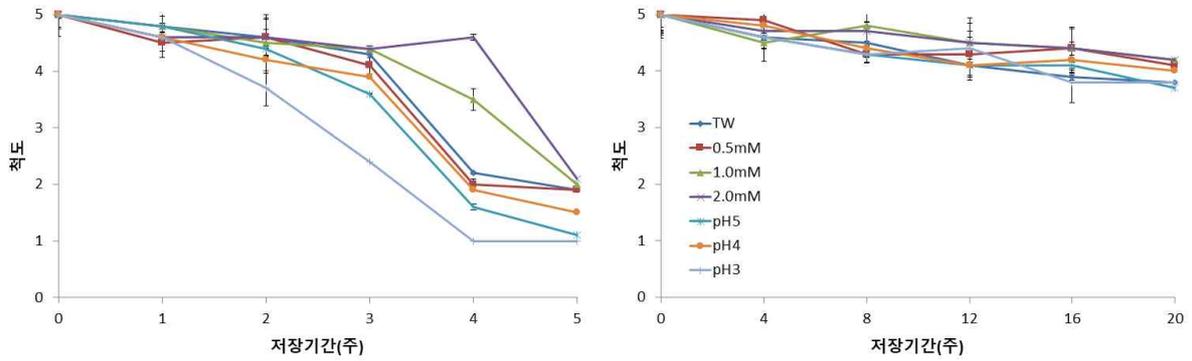


그림 20. 세척생강의 저장온도에 따른 관능적 품질변화(상온(좌), 저온(우))

일반적으로 상품성을 빠르게 잃어버리는 콩나물은 3일차부터 변색이 시작되었고, 대조구인 수돗물 처리수보다 산화수 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 2mM 처리구에서 Shelf-life가 약 2배 정도 길어지는 효과를 확인할 수 있었다(그림 18). 특히 질산화물 pH3 처리구는 수돗물보다도 상품성을 빨리 잃어버리는 현상을 나타내었다.

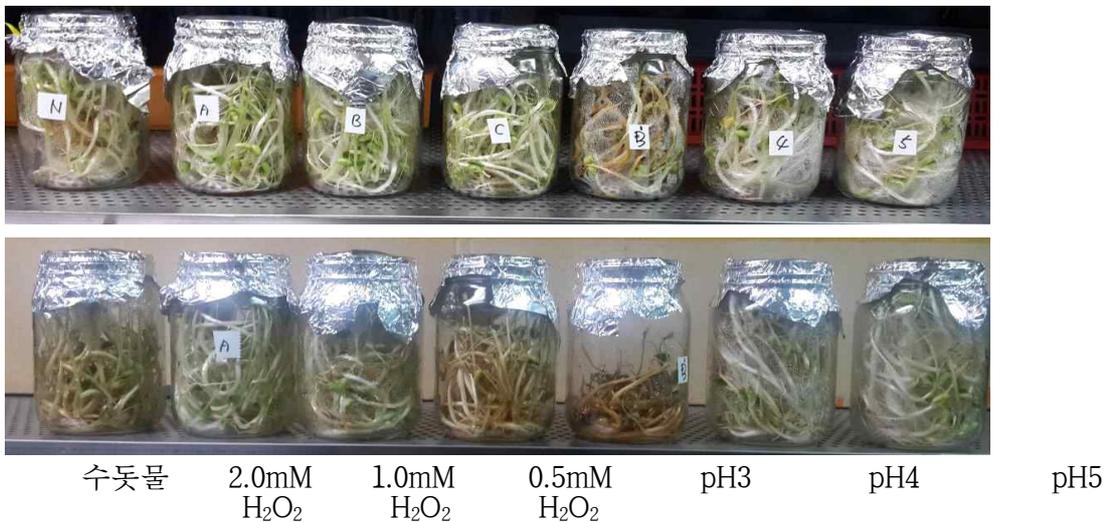


그림 21. 세척콩나물 상온 저장 5일차(상)와 8일차(하) 모습.

(다). 처리 후 저장 기간 동안 미생물 발생, 품질(색, 경도 등) 변화 모니터링

①. 연구수행방법

세척 후 유통과정을 거치면서 병원성 미생물에 대한 오염 발생 가능성은 항상 존재하고 있다. 품질저하와 안전성 문제가 식중독 등과 같은 사고로 이어질 수 있어 식재료의 품질 보존 및 안전성을 확보할 수 있는 방안이 요구되고 있다. 플라즈마 활성화수 처리에 따른 세척당근과 세척 생강의 저장기간 동안 품질 변화를 항목별로 평가하고, 과산화수소가 용해되어 있는 산화수를 이용하여 세척한 후 상품성에 차이가 많이 나는 시기의 미생물발생량과 표면색, 경도의 변화 등을 조사하였다.

## ②. 구체적인 내용

### ㉑ 세척당근과 세척생강의 미생물 발생량 조사

#### ㉑-1 당근의 곰팡이 발생량 조사

상온은 곰팡이의 생육이 원활하도록 고온 고습의 환경(27°C, 70%)에서 저장하였으며, 저온은 4°C 저장고에 PE백에 넣어 보관하였다. 곰팡이가 발생한 당근 시료를 2등분하여 잘린 면이 아래를 향하게 두고, 곰팡이 발생면과 수직이 되도록 디지털카메라(Nikon D80, Nikon Inc., Tokyo, Japan)로 촬영하였다. 촬영된 이미지는 이미지분석프로그램 SigmaScan Pro (version 5.0, Jandel Scientific, Chicago, IL, USA)를 이용하여 실시. 임계값은 hue값은 0 ~ 25, saturation값은 50 ~ 100으로 조정하여 시행하였고, 발생율은 전체 면적에 해당하는 픽셀 수에서 곰팡이가 발생하지 않은 픽셀 수를 제외한 값을 백분율로 나타내었다.

#### ㉑-2 일반세균과 대장균 및 유해성 발생량 정량적 조사

시료 10g을 정량한 후 멸균생리식염수 190mL에 담아 Homogenizer(HG-15A, Daihan Scientific Inc, Korea)를 이용하여 저속으로 2분간 균질화하였다. 균질화된 각각의 시험용액 1 mL를 10배 희석법에 따라 희석하였다. 일반세균수와 대장균수는 시험용액 1 mL와 각 10배 단계 희석액 1 mL씩을 Aerobic Count Plate Petrifilm과 Coliform Count plate Petrifilm TM (3M, St. Paul, MN, USA)에 각각 접종한 후 36±1°C 에서 24-48시간 배양한 후 생성된 붉은 집락을 일반세균과 대장균군수로 계산하여 그 평균집락수에 희석배수를 곱하여 산출하였다. 유해성균인 살모넬라(*Salmonella* spp.)균의 발생량을 조사하기 위해 Salmonella Shigella agar배지에 희석액을 접종한 후 36±1°C 에서 48시간 배양하였다.

#### ㉒ 세척당근과 생강의 품질 변화(경도) 조사

저장당근과 생강의 표면경도를 측정하기 위해 물성분석기 Texture Analyzer (CT3 4500, Brookfield Engineering Lab., USA)로 측정하였다. 측정조건으로는 TA4/1000 실린더 프로브를 이용하여 compressor모드로 하였고, plunger diameter는 5mm로, crosshead speed는 120mm/min로 시행하였다.

## ③. 연구결과

### ㉑ 세척당근 미생물 발생량 조사

#### ㉑-1 곰팡이 발생량 조사

세척당근의 곰팡이는 고온고습저장 15일 후에 관찰되었으며, 과산화수소 2.0mM 세척수 처리구에서 곰팡이 발생이 지연되어 상품성이 유지되는 것을 확인할 수 있었다(그림 19, 20).

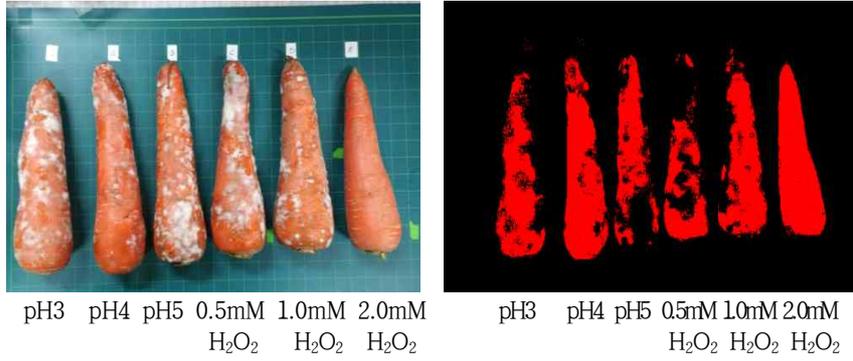


그림 19. 이미지 분석프로그램 픽셀 산출

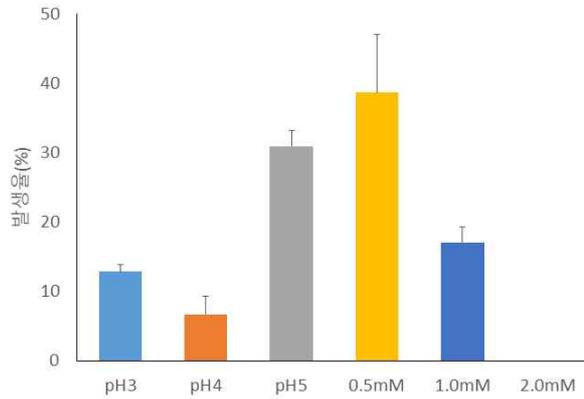


그림 20. 세척당근의 세척수 종류별 곰팡이 발생량(고온저장 15일 후)

㉠-2 세균 발생량 정량 조사

플라즈마 방전량을 증가시켜 과산화수소의 양을 증가시킬수록 세척시 살균효과는 증가하였다. 과산화수소 1.0mM 산화수는 약 1 log의 일반세균 밀도를 줄일 수 있었고, 과산화수소 2.0mM 산화수는 약 2 log의 일반세균 밀도를 줄이는 효과를 나타내었다. 대장균군의 밀도 또한 일반세균과 비슷하게 감소하였으며, 살모넬라균은 본 실험의 당근과 생강 시료에서는 검출되지 않았다(표 1, 2).

표 1. 산화수 세척 후 당근의 일반세균과 대장균군, 살모넬라균 밀도

처리 (mM H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	일반세균 (log <sub>10</sub> CFU/g)	대장균군 (log <sub>10</sub> CFU/g)	살모넬라( <i>Salmonella</i> spp.) (log <sub>10</sub> CFU/g)
0	4.76 ± 0.27 a <sup>z</sup>	3.18 ± 0.21 a	비검출
0.5	4.07 ± 0.17 b	2.90 ± 0.15 b	비검출
1.0	3.74 ± 0.20 b	2.60 ± 0.18 b	비검출
2.0	2.86 ± 0.22 c	비검출 c	비검출

<sup>z</sup>Means within each column followed by different small letters are significantly different (P<0.05).

표 2. 산화수 세척 후 생강의 일반세균과 대장균군, 살모넬라군 밀도

처리 (mM H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	일반세균 (log <sub>10</sub> CFU/g)	대장균군 (log <sub>10</sub> CFU/g)	살모넬라( <i>Salmonella</i> spp.) (log <sub>10</sub> CFU/g)
0	5.15 ± 0.27 a <sup>z</sup>	3.15 ± 0.18 a	비검출
0.5	4.37 ± 0.17 b	2.26 ± 0.26 b	비검출
1.0	3.76 ± 0.20 c	1.85 ± 0.09 c	비검출
2.0	3.22 ± 0.13 d	1.70 ± 0.08 c	비검출

<sup>z</sup>Means within each column followed by different small letters are significantly different (P<0.05).

당근의 경우 세척 직후에는 미생물의 밀도가 과산화수소 2.0mM 산화수 처리구에서 가장 낮았지만 저장기간이 경과함에 따라 미생물의 수가 급격히 증가하여 5일차부터는 미생물의 밀도가 비슷해졌다. 생강의 경우에는 약간 다르게 나타나, 과산화수소 1.0, 2.0mM 산화수 처리구에서 다른 처리구에 비해 미생물의 밀도가 낮게 유지되는 것이 관찰되었다(그림 21).

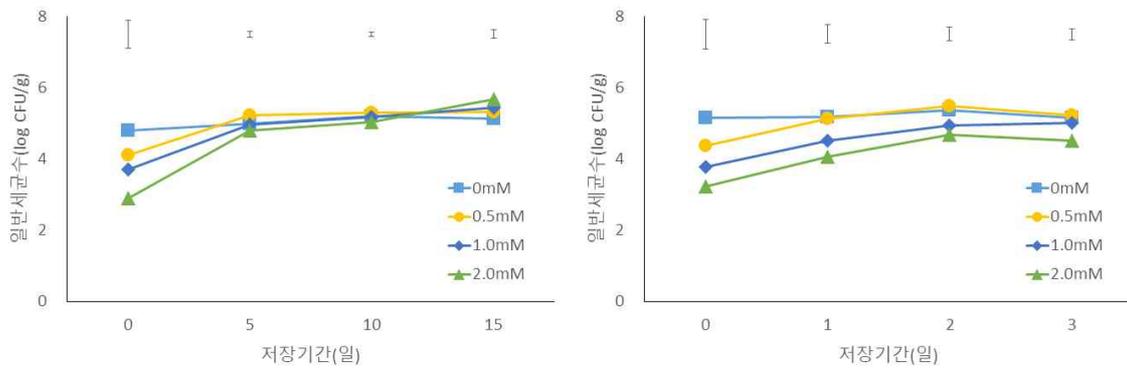


그림 21. 산화수 처리별 저장기간에 따른 당근(A)과 생강(B)의 일반세균수 변화

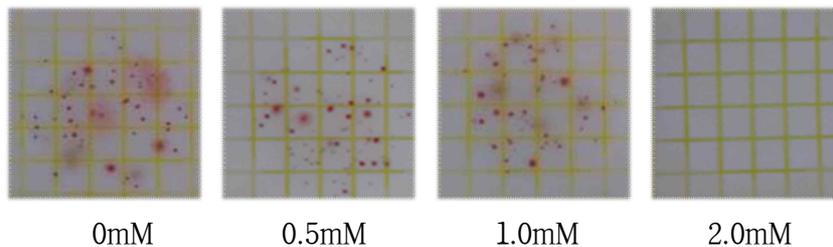


그림 22. 일반세균 검출(3M Aerobic Count Plate Petrifilm)

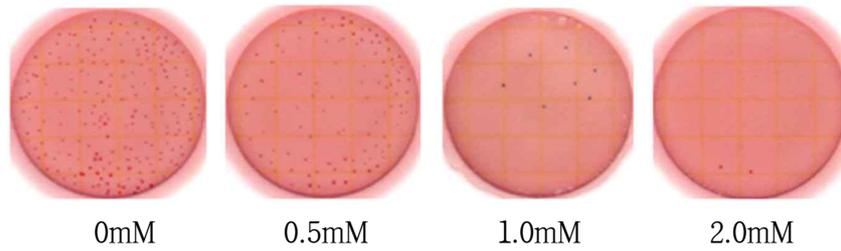


그림 23. 대장균군 검출(3M Coliform Count plate Petrifilm)

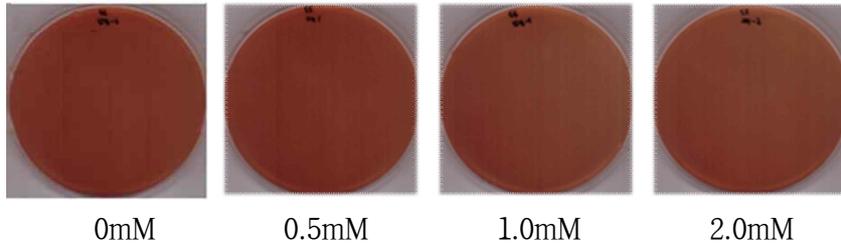


그림 24. 살모넬라균 검출(Salmonella Shigella agar)

㉔ 세척당근 및 생강의 품질 변화 조사

상온에서 저장한 당근의 상품성을 잃었을 때 표피의 경도를 측정된 결과, 곰팡이의 발생정도와 당근표피의 경도는 반비례하였다. 표피로부터 1.5mm정도까지는 플라즈마 활성화수 내 과산화수소의 농도가 증가할수록 표피의 경도가 증가하는 양상을 나타내었고, 이는 관능평가와 비슷한 결과임을 확인할 수 있었다(그림 25).

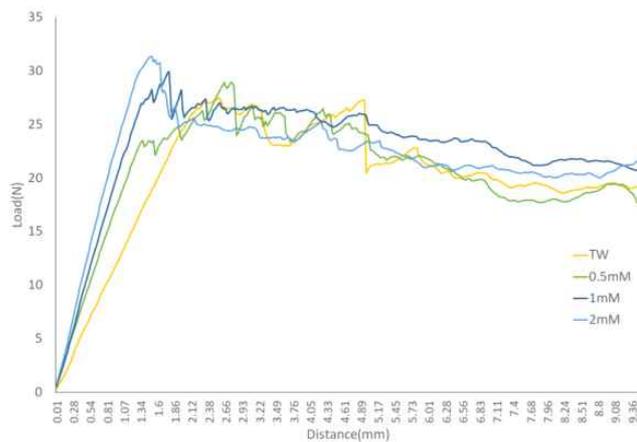


그림 25. 수중플라즈마 활성화수 처리에 따른 저장당근의 경도 변화

상온에서 저장한 생강의 상품성을 잃었을 때 경도를 측정된 결과, 곰팡이의 발생정도와 당근표피의 경도는 반비례하였다. 표피로부터 1.3mm정도부터 차이가 나타나 플라즈마 활성화수 내 과산화수소의 농도가 증가할수록 표피의 경도가 증가하는 양상을 나타내었다(그림 26).

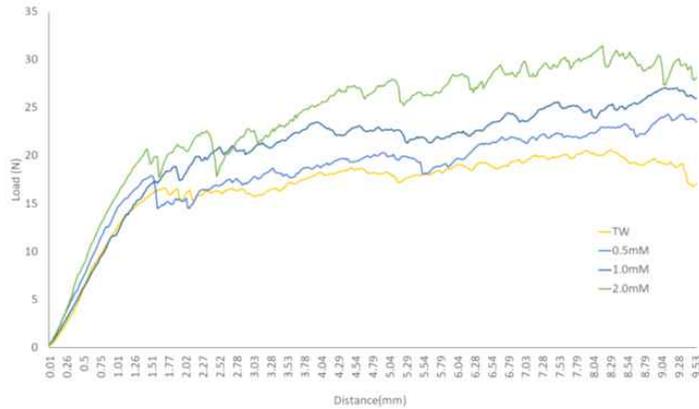


그림 26. 수중플라즈마 활성화수 처리에 따른 저장생강의 경도 변화

(라). 당근의 당, 색 관련 대사산물 변화 조사

①. 연구수행방법

㉞ 당관련 대사산물 조사

당근의 유세포 중 액포에 저장된 화합물의 대부분은 가용성 당이며, 저장뿌리 건조 중량의 34 ~ 70%를 차지하며, 특히 자당은 당근의 성숙기에 생성되는 주된 저장성 당으로 알려져 있다. 이러한 감미는 당근 품질 기준의 중요한 요인으로 유통과정의 품질변화를 파악하기 위해서는 발생하는 당함량의 변화를 파악해야 한다.

㉟ 색 관련 대사산물 조사

$\beta$ -Carotene(all-trans- $\beta$ -carotene)은 provitamin A로서 노란색, 주황색 혹은 녹황색을 띠는 야채 및 과일류에 다량 존재하는 carotenoid 계열의 천연색소이다. 당근, 시금치, 토마토, 오렌지 등의 식물체에 다량 함유되어 있는 이들은 식물세포를 과도한 빛에너지로부터 보호하는 역할을 하는 색소 성분으로 성분 추출을 위하여 알칼리 비누화법과 용매 추출을 동시에 수행하는 방법을 사용하고 있다. 또한, 박 등 (1995)에 의하면 당근 내의 카로티노이드의 함량과 색깔 측정을 통한 방법이 정의 상관관계를 보이는 것으로 보고된 바 있다.

②. 구체적인 내용

㉞ 당관련 대사산물 조사

당함량 조사는 일반적인 생육조사를 끝낸 당근을  $-70^{\circ}\text{C}$ 의 초저온 냉동고에서 동결시킨 후 잘게 잘라서 동결건조기를 이용하여  $-50^{\circ}\text{C}$ 에서 48시간 건조시켰으며, 동결된 시료를 막자사발에서 분쇄하여 냉장고에 보관 후 정량을 칭량하여 분석시료로 사용하였다.

추출은 최 등(1981)의 방법에 의하여 각각의 시료를 2g 칭량하여 99% ethanol 10ml를 가한 후에 다시 80% ethanol로 전체중량을 20g 되게 정량하여 이를 5분간 80rpm으로 진탕하여 8,000rpm으로 20분간 원심분리를 하였다. 여기서 상정액을 추출하고 다시 여과시 킨후 분석시료로 사용하였다.

분석기기는 HPLC(Waters 510), RI detector(Waters 410)를 사용하였다. Column은 Supelcosil LC-NH2 column(5 μm, 25cm × 4.6cm)을 사용하였다. 이동상의 비율은 acetonitrile : water (v : v, 75 : 25)로 하여 파장은 660nm, 유속은 1.5ml/min, 온도는 35℃로 하였다.

#### ㉔ 색 관련 대사산물 조사

##### ㉔-1 β-carotene 분석

β-carotene 분석은 당분석과 동일한 방법으로 시료를 조제하고, Janice와 Rodney(1986)의 방법에 준하여 각각의 시료를 1g씩 칭량하여 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5g, MgCO<sub>3</sub> 1g과 tetrahydrofuran 125ml로 β-carotene을 추출한 후 여과지(Whatman No. 2)로 다시 여과시켰다. 이를 다시 40℃ 항온조건에서 감압농축기로 농축한 후 tetrahydrofuran으로 10ml 되게 정량하여 분석시료로 하였다. 분석 기기는 HPLC (Spectrasystem P2000과 UV1000)를 사용하였다.

Column은 Waters VERSAPAK C18 column (10mm, 25cm × 4.1mm)을 사용하였다. 이동상의 비율은 acetonitrile : tetrahydrofuran : water(v : v : v, 85 : 12.5 : 2.5)로 하였으며 파장은 470nm, 유속은 2ml/min, 온도는 26℃로 하였다.

##### ㉔-2 색 분석

당근의 색 측정은 박 등 (1995)의 방법에 따라 최대지름부위를 잘라 바깥쪽(Phloem부위)를 휴대용 분광광도계 (Konica-Minolta CM-2500C, Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였다.

측정된 L, a, b값을 이용하여 색상 변화를 알아보기 위해 식(1)을 이용하여 측정값을 색상각(Hue Angle) 값으로 변환하였고, 식(2)를 이용하여 백화지수(WI)를 산출하였다.

$$\text{Hue angle (H}^\circ) = \arctan(b^*/a^*) \cdot 180/\pi \quad (1)$$

$$WI = 100 - [(100 - L)^2 + a^2 + b^2]^{1/2} \quad (2)$$



그림 27. 색상각(hue angle)에 따른 색상환(color wheel)

㉔ 향미관련 대사산물 조사

당근의 향미관련 대사산물은 열탈착식 가스크로마토질량분석기(TDS-GC-MSD, Thermal Desorption System Gas Chromatograph Mass Spectrometer)를 이용하여 분석하였다. 각 파트의 장비명과 모델명, 제작사는 다음과 같다

- GC(Gas Chromatography) : Clarus 680 (PerkinElmer)
- MSD(Mass Selective Detector) : Clarus SQ8T (PerkinElmer)
- TDs(Termal Desorption System) : TurboMatrix 350 (PerkinElmer)

표 3. GC/MSD 장비의 분석조건

Items		GC/MSD Conditions
Split Ratio		Splitless
Detector		MSD (Clarus SQ8T (PerkinElmer))
Column		Elite-5MS (PerkinElmer) 60.0m X 320 $\mu$ m X 1 $\mu$ m
Carrier GAS and Column Flow		He(99.999%), 1m l /min
Temperature program	Initial Temperature	50°C (5min)
	Heating rate	5°C/min, 220°C, (holding 10min)
	Final Temperature	10°C/min, 250°C, (holding 5min)
	MS Source	230°C
MS Condition	MS Quad	150°C
	Mode	EI
	Ionization Energy	70 eV
	Detection mode	TIC(scan), m/z: 35 ~ 350

표 4. TDS장비의 분석 조건

Items		TDS Conditions
Split Ratio		10 : 1
Carrier GAS and TDS Flow		He(99.999%), 1m l /min
Desorption Temperature program	Initial Temperature	30°C (holding 3min)
	Final Temperature	60°C/min, 280°C, (holding 5min)
CIS Temperature program	Initial Temperature	-30°C (holding 5min)
	Final Temperature	12°C/min, 280°C, (holding 5min)
Transfer line Temperature		300°C



그림 28. 세척당근 가스 포집전 정량 (좌측부터 수돗물, 0.5mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 1.0mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 2.0mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)



그림 29. 세척당근의 가스 포집중인 모습

### ③. 연구결과

#### ㉞ 당관련 대사산물 조사

당 함량은 당근의 맛을 결정하는 가장 중요한 성분이다. 당근 뿌리가 주로 함유하고 있는 주요 당은 sucrose, glucose 그리고 fructose 이다 (Goris, 1969a; Alabran 과 Mabrouk, 1973). 세 가지의 당 중에서 Sucrose의 함량이 다른 당에 비해 약 두 배가 많았다(그림 30). 또한 각 당근의 glucose의 함량은 fructose와 거의 비슷한 경향을 나타내었다. Rafal Baranski at al.(2012)등도 환원당보다 비 환원당의 함량이 2.5배 높다고 보고하였다. 저장기간이 길어질수록 Glucose와 Fructose는 증가하고 Sugar는 감소하는 양상이 관찰되었다. 세척수의 과산화수소 농도에 따른 당함량의 차이는 뚜렷하게 나타나지 않았다.

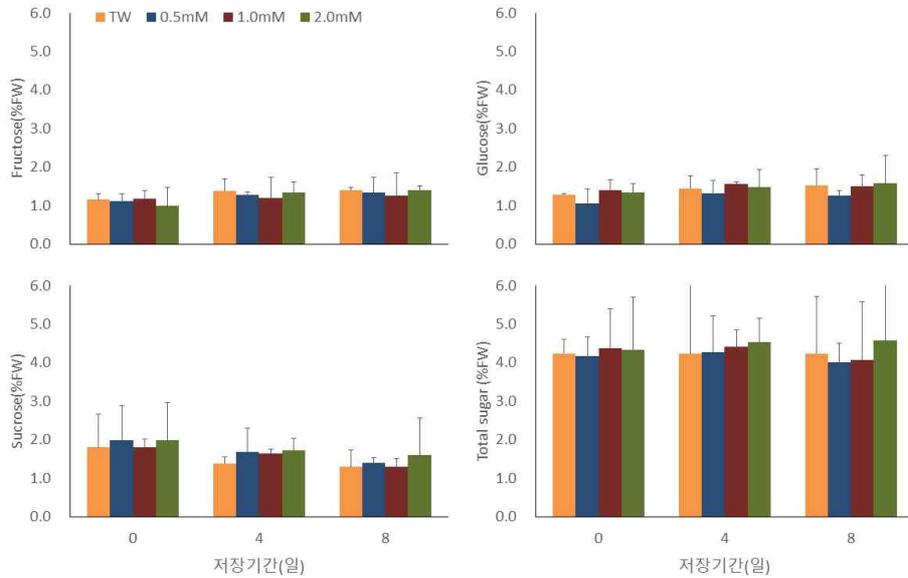


그림 30. 저장기간과 산화수 처리에 따른 세척당근 당함량 변화

㉞ 색 관련 대사산물 조사

㉞-1  $\beta$ -carotene 분석

당근은 착색에 관여하는 여러 가지 carotenoid를 가지고 있는데, 주요 색소들은  $\alpha$ -carotene과  $\beta$ -carotene이다(Goris, 1969a, Goris, 1969b). 당근 뿌리 중 전체의 carotenoid 함량은 성숙한 주황색 당근의 경우  $\beta$ -carotene이 80%,  $\alpha$ -carotene이 20%(Banga 와 De Bruyn, 1964) 정도이다. 당근은 종류에 따라  $\beta$ -carotene의 함유량은 생체중의 850 $\mu$ g/100g부터 8,500 $\mu$ g/100g까지 다양하게 보고되고 있다(Bajai 등, 1980). 이번 실험에서 당근의 저장기간이 길어질수록  $\beta$ -carotene의 함량이 줄어드는 경향이 나타났으며, 세척수의 과산화수소 농도가 높을수록  $\beta$ -carotene의 함량이 높게 나타나는 경향을 확인하여 플라즈마 방전에 의한 세척수가 당근의 관능품질을 유지하는데 도움이 되는 것으로 판단할 수 있다(그림 31).

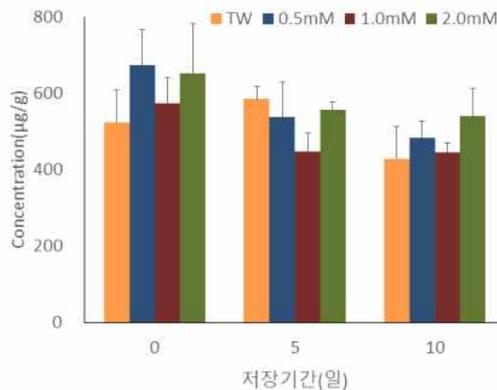


그림 31. 저장기간과 산화수 처리에 따른 세척당근  $\beta$ -carotene 함량 변화

㉔-2 색 분석

산화수의 과산화수소 농도가 증가함에 따라 L\*값과 a\*값, WI값이 감소하는 경향이 나타났다. 당근의 경우 유통 중에 표면에 나타나는 백화현상으로 인하여 쉽게 품질 저하를 보이는데, 이는 표면이 마쇄되어 노출된 세포벽이 건조되어 흔히 생기는 결함으로 WI값의 증가는 품질의 저하를 의미하고 있다. 따라서 산화수를 이용한 세척처리가 저장당근의 품질을 유지하는데 효과가 있는 것으로 판단하였다. 색상각(Hue angle)이 60° 에 가까워지는 것은 붉은 색이 줄어들고 노란색이 강해지는 것으로 β-carotene의 함량이 감소한 결과로 생각된다(그림 32).

표 5. 수중플라즈마 활성화수 처리 15일 경과 후 처리별 세척당근의 색변화

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Conc.(mM)	L*	a*	b*	WI	Hue
0	35.25 ± 4.42	37.63 ± 1.93	20.50 ± 0.01	22.35 ± 3.33	47.07 ± 1.60
0.5	34.33 ± 1.47	36.33 ± 4.30	21.17 ± 2.20	22.02 ± 3.90	44.22 ± 6.88
1.0	31.67 ± 5.83	32.67 ± 3.99	21.33 ± 3.88	21.32 ± 2.20	38.57 ± 3.67
2.0	28.67 ± 4.96	30.33 ± 3.13	20.83 ± 3.28	19.74 ± 0.76	35.72 ± 2.33

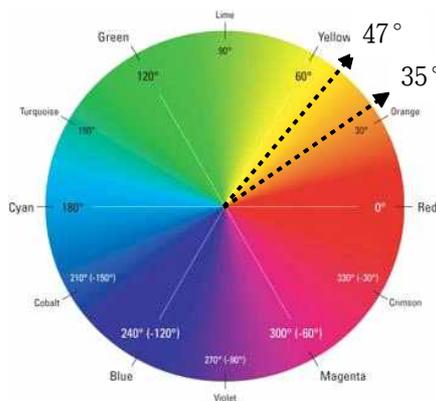


그림 32. 색상각(hue angle)에 따른 색상환(color wheel)

㉔ 향미 분석

당근의 향미성분으로 알려진 α-piene, Cymene, Limonene, r-terpinene, Terpinolene 등의 휘발성 성분들의 발생량이 과산화수소 농도가 증가할수록 증가하여 당근의 저장품질이 유지되는 것으로 판단하였다(표 6). 따라서 수중플라즈마 활성화수 내의 과산화수소 농도가 2mM 이상이 되도록 조성할 필요가 있을 것으로 판단하였다. 이와 함께 대조구인 수돗물 세척처리구에서는 휘발성 유기화합물(VOC)들이 높게 나와 저장에 따른 조직의 연화로 인한 영향으로 판단하였다.

표 6. 상온저장 당근 향미성분 비교분석

Compound Name		VOC Conc.( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
		0mM	0.5mM	1.0mM	2.0mM
VOC	Benzene	8.591	8.452	4.693	6.678
	Toluene	35.672	32.530	30.152	29.195
	Ethylbenzene	21.873	17.278	20.208	17.339
	m,p-Xylene	19.883	14.992	18.271	15.841
	styrene	8.741	3.926	11.861	11.105
	o-Xylene	7.310	5.059	7.314	5.610
NVOC	a-piene	45.905	13.591	34.171	33.897
	chemphene	40.165	0.994	22.814	20.251
	Sabinene	64.377	5.859	17.236	103.026
	myrcene	93.902	7.857	28.928	139.335
	beta-pinene	20.979	4.378	28.928	101.744
	phellanderene	8.733	2.047	4.857	16.891
	3-carene	3.214	0.730	1.630	9.021
	a-terpinene	5.600	1.870	3.630	23.212
	Cymene	348.807	116.860	215.374	1,461.027
	Limonene	105.730	20.594	75.775	235.609
	Eucalyptol	0.770	0.544	2.144	17.104
	r-terpinene	94.032	38.357	53.038	571.223
	Sabinene hydrate	XXX	XXX	XXX	1.633
	Terpinolene	653.801	172.663	579.658	2,028.310
	Linalol	XXX	XXX	XXX	XXX
	D-Fenchone	0.514	0.189	0.481	0.416
	ocimene	0.702	XXX	1.597	3.812
	Fenchyl alcohol	XXX	XXX	XXX	XXX
	isopulegol	0.296	0.001	0.129	0.293
	camphor	0.296	0.001	0.129	0.293
	boneol 1	14.984	XXX	12.729	6.682
	menthol	4.076	XXX	3.167	1.662
	boneol 2	1.452	XXX	1.375	0.594
	terpineol isomer 1	0.141	XXX	0.169	0.558
	terpineol isomer 2	0.083	XXX	0.125	0.210
	Nerol	0.010	XXX	0.410	0.723
	Geraniol	XXX	XXX	XXX	-
	pulegone	XXX	XXX	XXX	XXX
	Geranyl acetate	XXX	XXX	0.321	0.640
	caryophyllene	44.364	64.674	61.506	177.427
	a-Cedrene	4.675	6.891	6.635	19.300
	a-Humulene	2.919	4.118	5.309	12.612
	Famessene	24.690	14.749	41.333	80.096
	valencen	0.604	0.410	1.614	1.740
nerolidol-cis	22.764	7.221	59.243	52.591	
nerolidol-trans	XXX	0.275	XXX	XXX	
carypphyllene oxide	4.120	9.291	6.619	23.357	
Guaiol	0.346	0.807	0.534	2.025	
Cedrol	XXX	XXX	XXX	XXX	
a-bisabolol	0.017	XXX	0.004	XXX	

(마). 생강의 색, 향미 관련 대사산물 변화 조사

①. 연구수행방법

근채류인 생강 또한 토양 세균, 흙 등 이물질 오염 때문에 유통 중 부패가 심하고 식재료화에 어려움을 겪고 있다. 생강은 근채류 중에서도 가장 세척과 박피가 어려운 품목으로서 현재 가공 소재화를 위한 세척과 박피 작업은 물에 침지하여 2시간 정도 마찰에 의해 이루어지기 때문에 품질 저하와 손상에 따른 폐기 손실이 큰 것이 문제점으로 제기되고 있다. 따라서 생강의 저장 중 상품화율의 저하 요인은 주로 수분 탈수에 의한 상품성 상실과 생강 표면의 곰팡이 발생에 의한 것이며, 이를 줄이기 위해 세척을 통해 미생물의 농도를 줄일 수 있는 방안 마련이 요구되고 있다.

②. 구체적인 내용

㉠ 생강절편 색 분석

생강의 색 측정은 절편을 만들어 휴대용 분광광도계 (Konica-Minolta CM-2500C, Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였다.

측정된 L, a, b값을 이용하여 생강의 갈변정도를 기준으로 색상 변화를 알아보기 위해 식(1)을 이용하여  $\Delta L$ 값을 구하였고, 식(2)를 이용하여 색차( $\Delta E$ )를 산출하였다.

$$\Delta L = L_{initial} - L_{test} \quad (1)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (2)$$

㉡ 생강 향미관련 대사산물 조사

생강의 향미관련 대사산물도 열탈착식 가스크로마토질량분석기(TDS-GC-MSD, Thermal Desorption System Gas Chromatograph Mass Spectrometer)를 이용하여 분석하였으며, 당근의 분석방법과 동일하게 진행하였다.

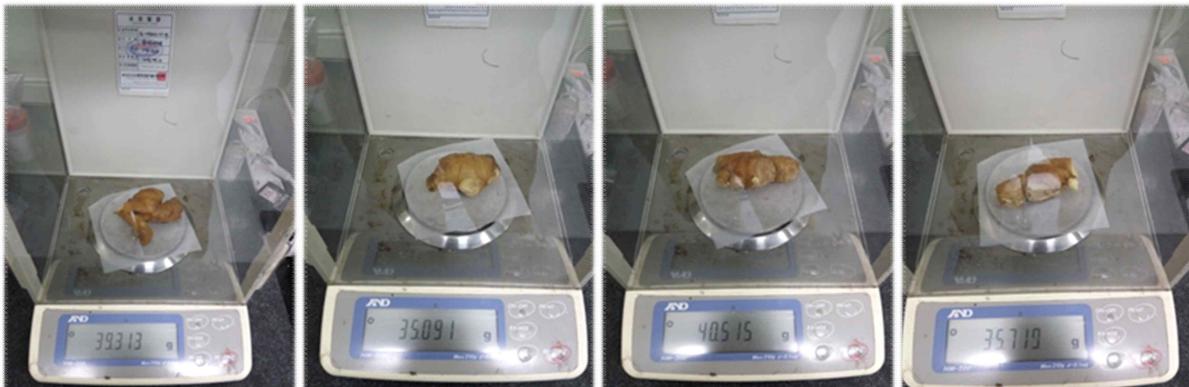


그림 33. 세척당근 가스 포집전 정량 (좌측부터 수돗물, 0.5mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 1.0mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 2.0mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)



그림 34. 세척당근의 가스 포집중인 모습

③. 연구결과

㉗ 색 분석

생강의 향미관련 대사산물 또한 당근과 같은 방법으로 수행한 결과, 산화수의 과산화수소 농도가 증가함에 따라 당근과 마찬가지로 L\*값이 감소하였고, 당근과는 달리 b\*값이 증가하는 경향을 확인하였지만 유의성은 나타나지 않았다(표 7). 과산화수소 2.0mM을 기준으로 ΔL의 값을 보았을 때 갈변의 진행이 덜 된 것을 확인할 수 있었고, ΔE값이 과산화수소의 농도와 반비례하는 것을 보여 과산화수소가 생강의 저장기간 동안 색상변화에 영향을 준 것으로 판단되었다.

표 7. 수중플라즈마 활성화수 처리 15일 경과 후 처리별 세척생강의 색변화

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Conc.(mM)	L*	a*	b*	ΔE
0	66.54±0.53	0.29±0.06	23.85±3.58	6.69±0.87
0.5	62.81±9.94	0.15±0.01	22.59±0.55	2.79±0.70
1.0	61.60±12.28	0.07±0.00	20.34±3.89	1.44±0.59
2.0	60.42±5.41	0.18±0.02	21.15±3.13	-

㉘ 향미관련 대사산물 조사

정유성분으로 알려진 생강의 향미성분인 camphene, Famesene, α-piène, caryophyllene oxide, Eucalyptol, Limonene 등의 휘발성 성분들의 발생량이 과산화수소 농도가 증가할수록 증가하여 생강의 저장품질이 유지되는 것으로 판단하였다(표 8). 따라서 당근과 마찬가지로 수중플라즈마 활성화수 내의 과산화

수소 농도가 2mM 이상이 되도록 조성할 필요가 있을 것으로 판단하였다. 하지만 환경적 이슈가 되고 있는 휘발성유기화합물(VOC)들이 대조구에서 유독 높게 나와 여러 샘플을 대상으로 한 분석이 추가적으로 요구되었다.

표 8. 수중 플라즈마 활성화수 처리에 따른 상온저장 생강 향미성분 비교분석

Compound Name		VOC Conc.( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
		0mM	0.5mM	1.0mM	2.0mM
VOC	Benzene	11.093	7.834	7.874	6.632
	Toluene	43.260	29.957	8.277	4.907
	Ethylbenzene	14.694	10.757	1.837	1.083
	m,p-Xylene	10.782	9.276	2.652	2.588
	styrene	2.224	1.415	0.843	0.843
	o-Xylene	3.091	2.528	0.804	0.777
NVOC	camphene	2.291	7.093	19.537	76.673
	Famessene	1.540	3.535	6.455	12.457
	a-piene	0.475	0.760	0.952	5.181
	nerolidol-cis	0.008	0.337	2.064	4.365
	valencen	-	0.146	0.983	4.464
	carypphyllene oxide	2.370	2.319	1.499	3.667
	Eucalyptol	0.183	0.453	0.577	2.333
	Limonene	0.727	0.840	0.882	1.775
	myrcene	0.092	0.094	0.381	0.478
	beta-pinene	0.058	0.061	0.227	0.478
	Cymene	0.226	0.195	0.304	0.362
	Sabinene	0.231	0.192	0.151	0.284
	D-Fenchone	0.167	0.176	0.172	0.230
	a-Humulene	0.055	0.038	0.074	0.204
	phellanderene	-	0.035	0.113	0.153
	a-Cedrene	0.072	0.147	0.179	0.224
	isopulegol	0.022	0.039	0.051	0.061
	camphor	0.022	0.025	0.051	0.061

(3). 당근 및 생강의 플라즈마 활성화수 세척 기술 개발

(가). 세척 공정시 이용 가능한 적정 플라즈마 활성화수 처리 조건 확립

본 과제를 통해 개발된 모세관 전극(Capillary electrode)을 사용하여 일반적으로 사용하는 220V의 전압에 연결하여 인가전압을 전압조정기를 사용해 조정하면서 방전을 하면 OH radical이 생성되어 과산화수소가 발생된 플라즈마 활성화수(산화수)의 생산이 가능하다. 본 실험장치에서는 과산화수소의 농도가 2.0mM인 산화수 3L를 제조하는데 전압조정기를 120V로 맞추어 인가전압을 1.2kV로 조정하고 23분간 방전시간을 하면 제조되었다. 이렇게 생성된 방전수의 특성을 보면, 냄새가 나지 않으며, 플라즈마 활성화수의 pH와 EC의 변화가 나타나지 않았다. 또한 생성된 과산화수소의 농도가 한 달 이상 유지되었다. ORP값은 방전 후 음의 값을 나타냈는데, 이는 수돗물에 함유되어 있는 칼슘과 나트륨이 플라즈마 발생 시 음극쪽으로 이온들이 모이게 되면서 나타나는 것으로 판단하였다. 또한 방전하는 방전시간이 길어지면 일정시간 후에는 오히려 과산화수소의 농도가 감소하기 때문에 적절한 방전시간을 유지하는 것이 필요하다.

본 기술을 기존의 오존발생기와 비교해보면 동일 세척수를 제조함에 있어, 살균력이 있는 과산화수소 농도를 만들기 위해 4L의 물을 20분 처리시 약 80Wh 사용(전극 6개)되어 활성화수 1L 제조에 약 20Wh(72kJ)의 에너지 사용되는 반면, 오존의 살균농도(10ppm/hr)를 10L 처리시 약 720Wh를 전력이 투입되어 활성화수 1L 제조에 약 72Wh(259.2kJ)의 에너지가 필요한 것으로 추정된다(표 9). 운영비용을 분석하면 다른 살균소독 기술과 비교했을 때, 오존발생기를 이용하였을 때 보다 70% 절감된 비용으로 산정하면 이산화염소와 비슷한 운영비용이 필요한 것으로 알 수 있다. 다른 기술과 비교하여 악취나 위험물질이 생성되지 않으면서 운영비용이 낮은 편으로 제품화가 되면 시장경쟁력은 충분할 것으로 예상된다(표 10).

표 9. 수중플라즈마 장치와 오존발생기의 에너지 투입량 비교

항 목	수중플라즈마	오존발생기
단위투입량	20W/1L	72W/1L
일일투입량	400kw/20ton/1day	1,440kw/20ton/1day
비 율 (%)	28	100

표 10. 살균소독기술 운영비용 비교 (56.7L/분 사용기준)

단위: 천원

구 분	시설장비 설치비	재 료 (화학약품)	부재료 (첨가제)	운영비	계
염소(NaOCl)	2,890	199	1,156	116	4,361
이산화염소(ClO2)	2,890	3,006	92	116	6,104
과산화초산	2,890	47,892	0	116	50,898
오존	16,184	0	0	2,774	18,958
UV	11,560	0	0	385	11,945

(4). 세척 당근 및 세척 생강 유통에 적용 가능한 플라즈마 활성화수 가이드라인 제시

(가). 원예작물 살균소독 및 세척용 플라즈마 pilot model 현장 적용시 이용

①. 예상 세척라인 적용방안

현재 근채류의 일반적인 세척공정은 다음과 같다(그림 35).



그림 35. 근채류의 세척공정 예

오존수는 살균효과가 뛰어나고 광범위한 pH에서 적용이 가능해 사용이 증가하였지만 오존가스의 발생과 고가의 설치비용으로 사용이 주춤하고 있다. 따라서 본 과제에서 개발된 플라즈마 산화수 제조장치를 적용하면 기존 세척장치에 전극을 연결하는 것만으로 세척수 제조 공정을 적용할 수 있을 것으로 기대하고 있다(그림 36).



그림 36. 세척기 세척수 공급 및 배수용 배관 설치 사진

본 과제로 활용된 세척수는 살균력이 장기간 유지됨에 따라 대형 저장조에 산화수를 저장하면서 정수세척 공정에도 적용이 가능할 것으로 판단되며, 단계별로 적용하여 산화수와와의 접촉을 늘려 원예산물의 품질은 유지하면서 미생물의 농도를 저감시키는 효과를 증대시킬 수 있을 것이라고 생각한다(그림 37).



그림 37. 세척생강 생산공정(2차 세척에 플라즈마 활성화수(산화수) 적용 고려)

나. 수중 플라즈마를 이용한 수출용 화훼류 절화수명연장 기술 개발

(1). 연구 목적

일반적으로 절화의 전처리제로 promalin (GA4+7+BA)이나 1-MCP (1-methylcyclopropene) 처리가 조기개화 억제 및 선도유지에 상당히 효과적이지만 처리 방법이 복잡하고 비용 부담이 큰 단점이 있다. 절화의 후처리제로는 silver thiosulfate (STS)와 8-hydroxy-quinoline sulfate (HQS)를 단용 처리하거나 sucrose를 혼합한 보존용액이 많이 사용되고 있는데, 이 중 에틸렌의 생성 및 작용을 억제하는 silver nitrate와 STS에는 환경오염을 유발하는 Ag+가 함유되어 있어 사용이 제한되고 있으며, HQS 역시 인체독성이 있고 고농도 처리시 잎의 피해, 줄기 갈변, 꽃의 황변 등의 문제가 있기 때문에 친환경적인 대체물질을 개발하기 위한 연구가 필요하다. 절화보존용액 내에 함유된 sugar는 줄기의 도관을 막는 미생물의 성장 역시 돕기 때문에 반드시 살균제와 혼용 처리해야 하는데, 살균제는 미생물에 대한 살균작용, 보존용액의 산성화, 절화의 수분흡수를 촉진할 수 있다. 중성이나 알칼리성에 비해 산성 용액에서 절화의 물올림이 향상되기 때문에 절화보존용액의 pH는 3.5~4.5 정도가 적당한 것으로 보고되고 있다. 네덜란드에서 개발된 Chrysal 제품들이 다양한 절화의 수명연장에 널리 이용되고 있으며, 상용화된 제품별로 잎의 황화 방지(GA), 미생물 번식에 의한 도관 막힘 방지(quaternary ammonium compounds, aluminum sulfate + 살균제/계면활성제), 에틸렌 피해 억제(aminooxyacetic acid, silver nitrate), 양분 공급(sugar + acidifier + biocides)등 상업적 목적에 맞는 다양한 물질들이 포함되어 있다. 최근 전 세계적으로 농산물 품질보증에 대한 관심이 커지고 있는데, MPS(M: Milieu → Environment, P: Programma → program, S: Sierteelt → Floriculture)는 화훼 생산 및 유통단계에서 환경영향을 최소화하는 가운데 신선도와 품질관리, 고용 노동관리 등 화훼산업 전반적인 활동까지 아우르는 친환경적인 화훼생산인증제도로써, 향후 모든 산업에서 지속가능한 녹색성장이 화두이자 흐름이 될 것이며, 네덜란드에서 시작된 MPS는 화훼생산자를 위한 환경인증 프로그램인 동시에 화훼유통의 ISO 마크로 일컬어지며 세계적인 화훼산업의 표준으로 자리매김 할 것으로 예상된다. 플라즈마 활성수는 기본적으로 살균력을 가지기 때문에 절화의 물올림을 향상시키는 전처리제나 보존용액 내 미생물의 번식을 억제하는 후처리제로 개발된다면 절화 유통에 있어 친환경적인 품질관리 시스템 구축이 가능할 것으로 판단된다.

(2). 플라즈마 활성수 처리가 수출용 화훼류의 선도 유지에 미치는 영향 분석

(가). 플라즈마 발생조건별 플라즈마 활성수 처리 효과 평가

①. 연구수행방법

연구는 플라즈마 발생조건에 따른 절화의 품질 특성을 평가하여 플라즈마 활성화수가 화훼류의 선도 유지에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행하였다. 플라즈마 활성화수의 효과를 평가하기 위해 총 3종류 절화(장미, 백합, 꽃도라지)의 2품종을 대상으로 실험하였다.

이중 장미(‘헤라’, ‘핑크파티’)는 길이 23 cm로 재절단 후 방전시간을 달리하여 발생된 과산화수소의 농도를 조정한 플라즈마 활성화수(300, 600, 900 μM)에 꽃아 품질 변화를 살펴보았다. 측정항목은 절화수명, 화경, 수분흡수량, 생체중, 상대수분함량, 엽록소 함량, 화색, 미생물 발생량 등을 살펴보았다. 백합(‘시베리아’, ‘메두사’)은 길이 26 cm로 재절단 후 같은 처리를 하였으며, 이후 절화수명, 화경, 수분흡수량, 생체중, 상대수분함량, 엽록소 함량, 미생물 발생량 등을 측정하였다. 꽃도라지(‘암바민트’, ‘로지나화이트’)는 길이 18 cm로 재절단 후 같은 처리를 하였으며, 이후 절화수명, 화경, 생체중, 엽록소 함량, 화색, 미생물 발생량 등을 살펴보았다.

‘헤라’ 장미와 ‘암바민트’ 꽃도라지의 화색 변화는 휴대용 분광광도계(Konica-Minolta CM-2500C, Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였다. 색상 변화를 알아보기 위해 식(1)을 이용하여 측정값을 색상각(Hue Angle) 값으로 변환하였고, 식(2)를 이용하여 색상차(ΔE)를 구하였다.

$$\text{Hue angle (H}^\circ) = \arctan(b^*/a^*) \cdot 180/\pi \quad (1)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_1 - L^*_0)^2 + (a^*_1 - a^*_0)^2 + (b^*_1 - b^*_0)^2} \quad (2)$$

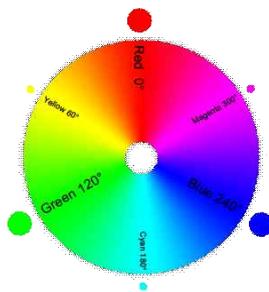


그림 38. 색상각(hue angle)에 따른 색상환(color wheel)

이때  $L^*_0$ ,  $a^*_0$ ,  $b^*_0$ 은 각각 최초의 명도, 적색도와 황색도 값을,  $L^*_1$ ,  $a^*_1$ ,  $b^*_1$ 은 처리후 7일째의 명도, 적색도와 황색도 값을 나타내었다.

## ②. 연구결과

### ① ‘헤라’ 장미

플라즈마 방전시간에 따라 증가한 과산화수소의 농도를 기준으로 ‘헤라’ 장미의 수확 후 품질특성을 평가하였다(그림 39). 절화수명은 플라즈마 활성화수 처리구에서 대조구에 비해 연장되는 효과를 보였으며, 특히 과산화수소의 농도가  $600\mu\text{M}$ 인 플라즈마 활성화수 처리구에서 절화수명이 대조구에 비해 29% 증가하였다(그림 40). 최대화경은 플라즈마 활성화수 처리구와 대조구의 큰 차이는 보이지 않았으나, 플라즈마 활성화수 처리구에서 약간 증가하는 경향을 보였다(그림 41). 수분흡수량은 플라즈마 활성화수 처리구에서 과산화수소의 농도가 증가할수록 대조구에 비해 증가하였다(그림 42). 생체중의 변화는 시간이 지남에 따라 대조구가 가장 많이 줄어들었고, 플라즈마 활성화수 처리구는 대조구에 비해 변화의 폭이 적었다(그림 43). 이러한 결과는 상대수분함량의 변화를 보면 시간이 지나면서 대조구의 상대수분함량이 급격히 낮아진 것이 원인이 된 것을 알 수 있었다(그림 44). 엽록소 함량 또한 플라즈마 활성화수 처리구가 대조구에 비해 높게 유지되었고, 처리구 중에서는  $600\mu\text{M}$  처리구가 엽록소 함량이 높게 유지되는 것으로 나타났다(그림 45). 화색은 플라즈마 활성화수 내 과산화수소의 농도가 증가할수록 음의 값이 커져 붉은 색을 띠는 것으로 조사되었고, 색상차 또한 과산화수소의 농도가 증가할수록 줄어들어 화색의 변화가 적은 것으로 조사되었다(표 9).



그림 39. 플라즈마 활성화수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘헤라’ 장미의 절화수명 실험

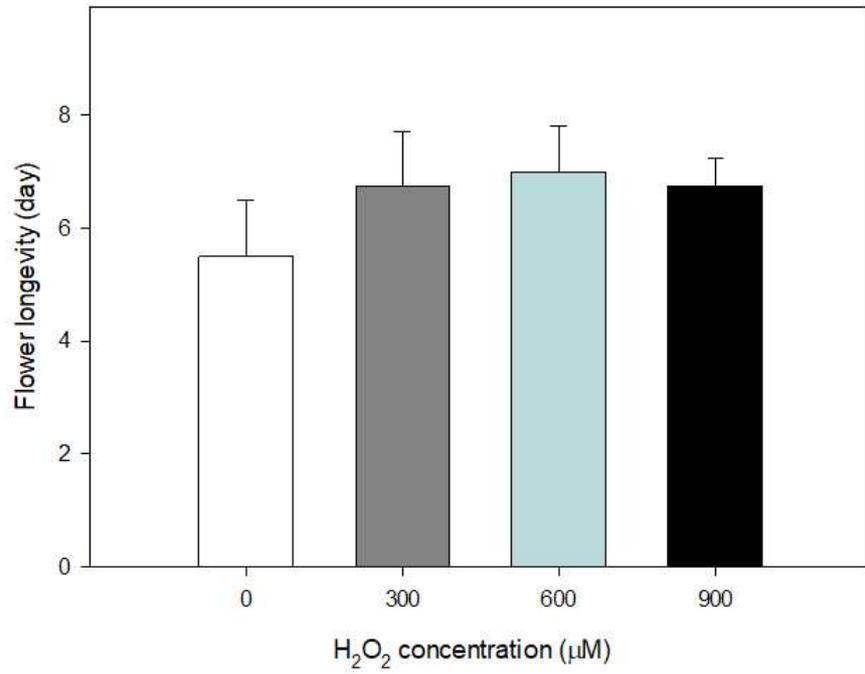


그림 40. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘헤라’ 장미의 절화수명

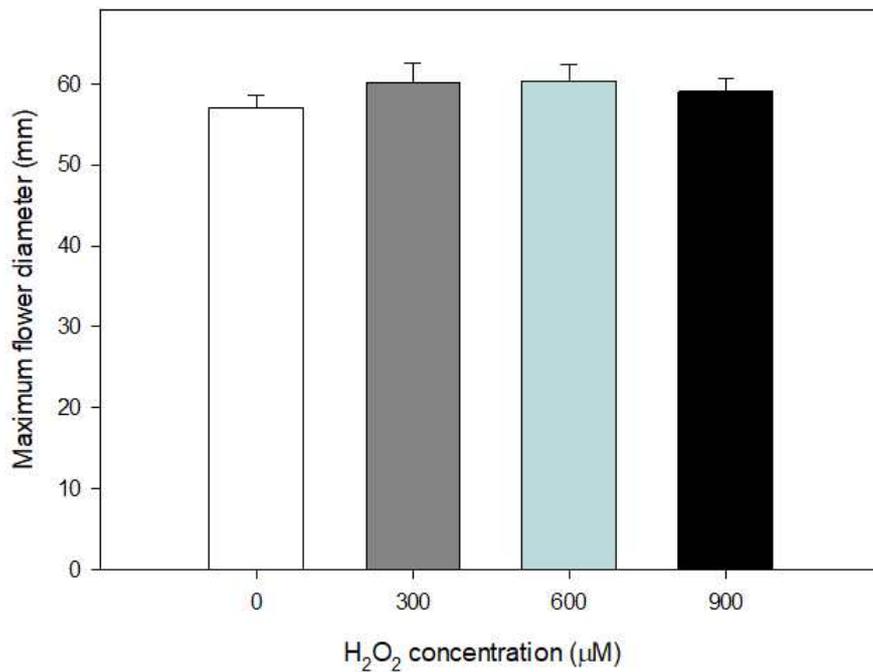


그림 41. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘헤라’ 장미의 최대화경

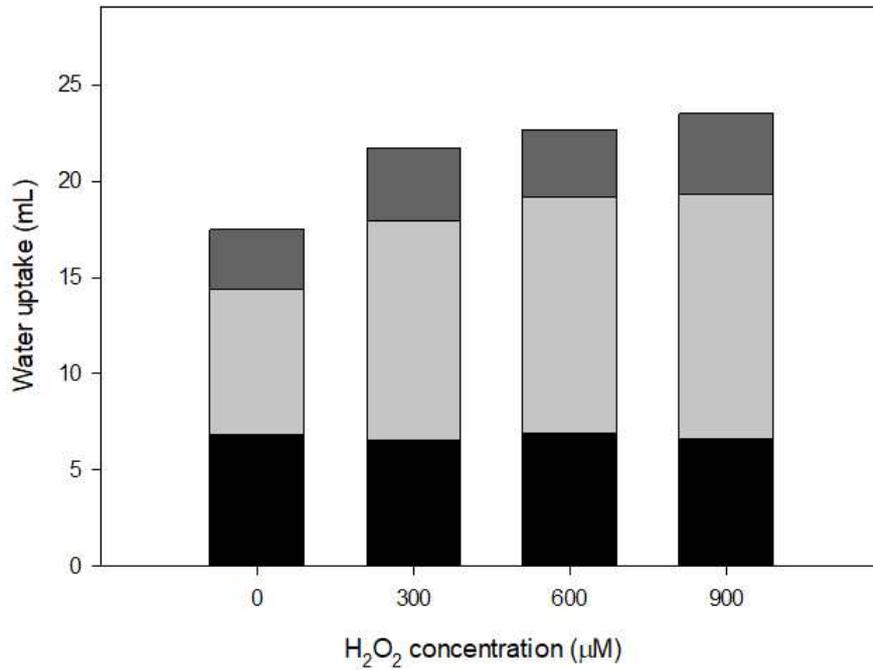


그림 42. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 '헤라' 장미의 수분흡수량, ■2DAT, ▨4DAT, ▩6DAT

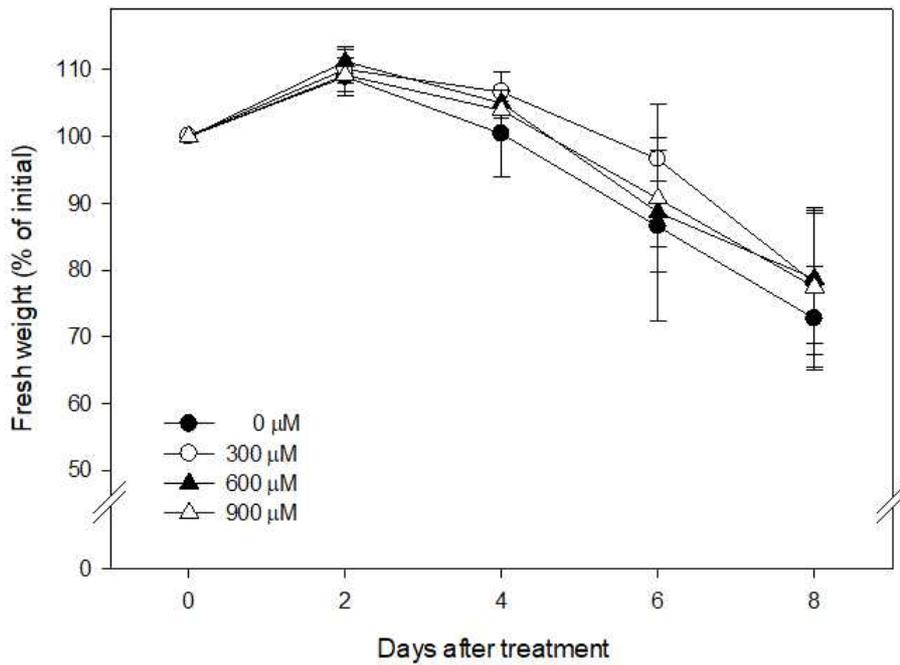


그림 43. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 '헤라' 장미의 생체중 변화

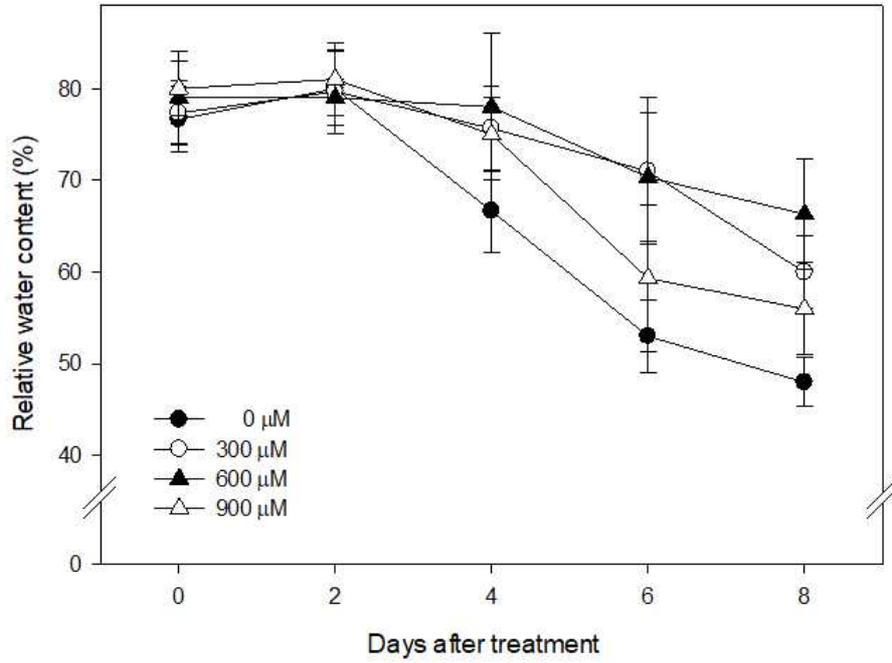


그림 44. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘헤라’ 장미의 상대수분함량 변화

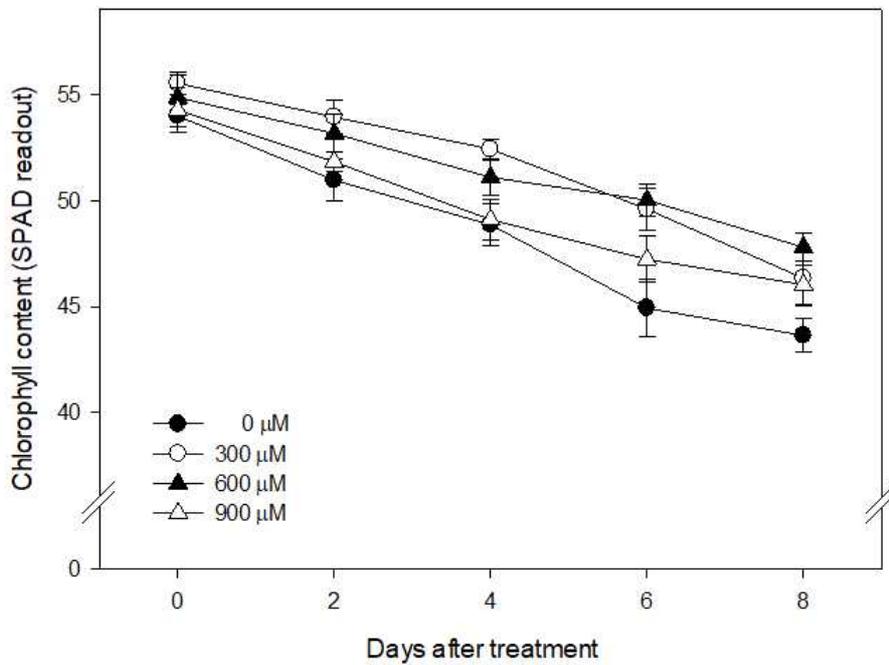


그림 45. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘헤라’ 장미의 엽록소함량 변화

표 11. 플라즈마 방전시간에 따른 ‘헤라’ 장미의 화색

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Concentration ( $\mu$ M)	Color characteristics				
	L*	a*	b*	h°	$\Delta$ E
0	80.65 $\pm$ 2.18	14.48 $\pm$ 3.25	-0.15 $\pm$ 0.40	-0.41 $\pm$ 1.51	8.96 $\pm$ 3.72
300	81.00 $\pm$ 2.18	15.23 $\pm$ 3.50	-0.99 $\pm$ 1.57	-2.94 $\pm$ 5.26	8.21 $\pm$ 4.34
600	80.40 $\pm$ 2.05	15.77 $\pm$ 2.37	-0.47 $\pm$ 0.77	-1.47 $\pm$ 2.88	7.70 $\pm$ 3.01
900	77.11 $\pm$ 1.29	19.82 $\pm$ 2.58	-2.01 $\pm$ 0.55	-5.72 $\pm$ 0.87	2.93 $\pm$ 2.19

② ‘핑크파티’ 장미

플라즈마 방전시간에 따라 증가한 과산화수소의 농도를 기준으로 ‘핑크파티’ 장미의 수확 후 품질특성을 평가하였다(그림 46). 정도의 차이는 약간 있지만 ‘헤라’ 품종과 비슷한 경향을 나타내었다. 절화수명은 플라즈마 활성수 처리구에서 대조구에 비해 연장되는 효과를 보였으며, 과산화수소의 농도가 600  $\mu$ M인 플라즈마 활성수 처리구에서 절화수명이 대조구에 비해 약 12% 증가하였다(그림 47). 과산화수소의 농도가 900  $\mu$ M 처리구는 대조구와 비슷한 절화수명을 나타내어 장미의 경우에는 600  $\mu$ M 처리가 유효한 것으로 판단하였다. 최대 화경은 처리구간에 차이가 나타나지 않았으며(그림 48), 생체중의 감소는 6일차까지는 플라즈마 활성수 300, 600  $\mu$ M 처리구가 다른 처리구에 비해 약간 높게 유지되었다(그림 49).



그림 46. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘핑크파티’ 장미의 절화수명 실험

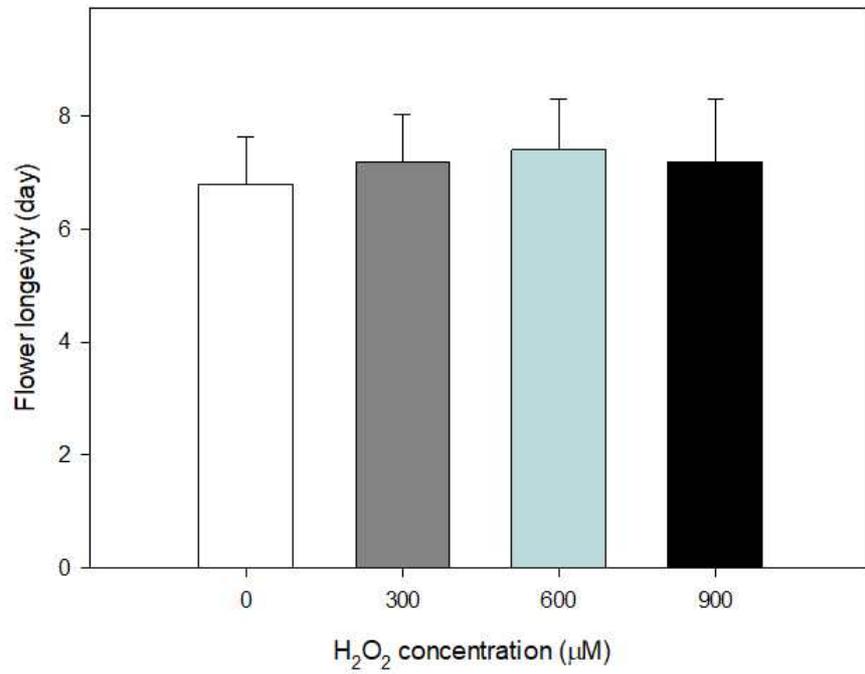


그림 47. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘핑크파티’ 장미의 절화수명

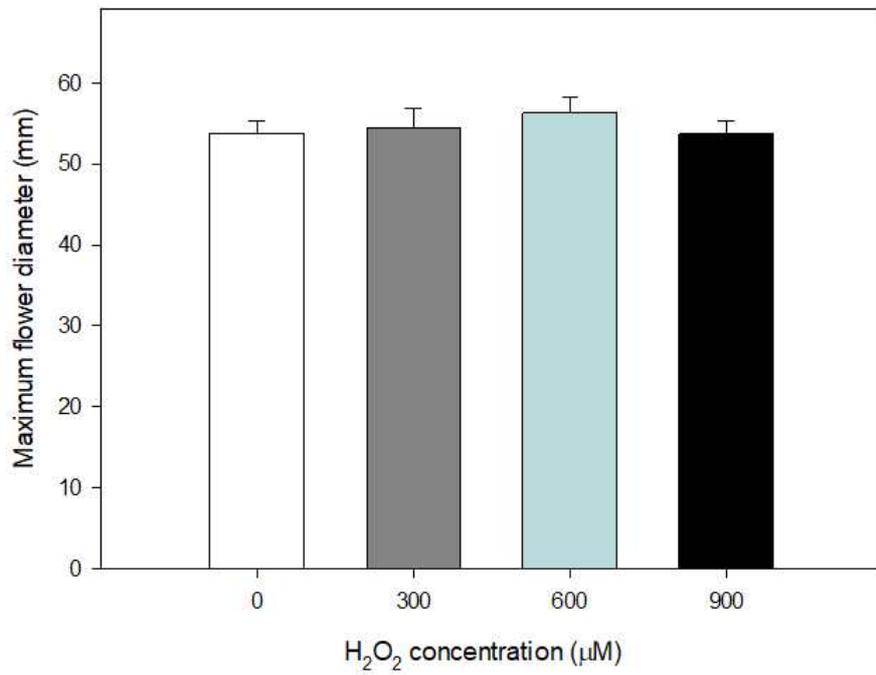


그림 48. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘핑크파티’ 장미의 최대화경

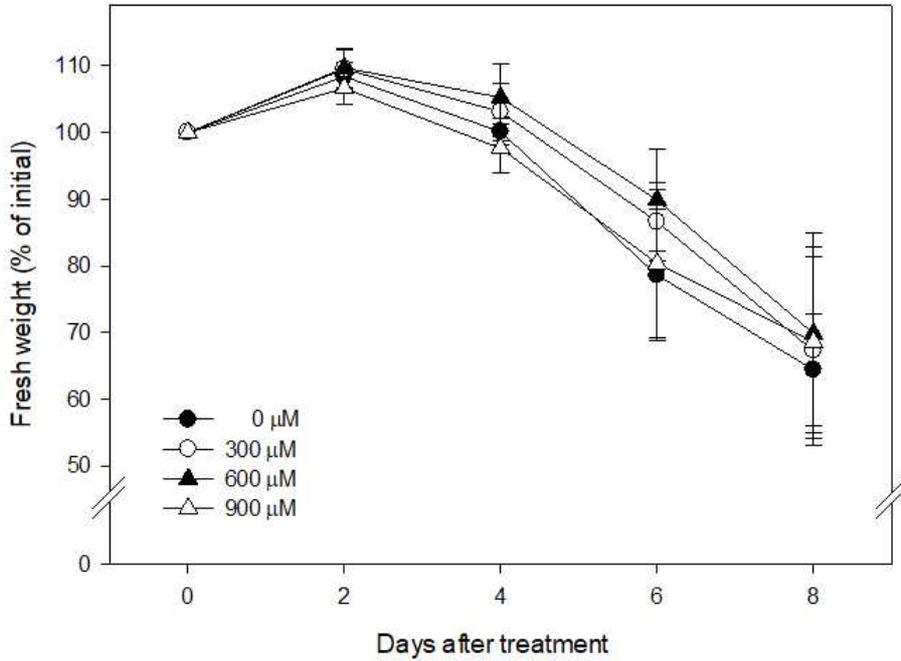


그림 49. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘핑크파티’ 장미의 생체중 변화

### ③ ‘시베리아’ 백합

플라즈마 방전시간에 따라 증가한 과산화수소의 농도를 기준으로 오리엔탈 백색계인 ‘시베리아’ 백합의 수확 후 품질특성을 평가하였다(그림 50). 절화수명은 플라즈마 활성수 처리구에서 대조구에 비해 연장되는 효과를 보였으며, 절화장미와 비슷하게 과산화수소의 농도가 600 μM인 플라즈마 활성수 처리구에서 절화수명이 대조구에 비해 15.7% 증가하는 경향을 나타내었다(그림 51). 최대화경은 플라즈마 활성수 처리구와 대조구의 큰 차이는 보이지 않았으나, 플라즈마 활성수 처리구에서 약간 증가하는 경향을 보였다(그림 52). 수분흡수량 역시 플라즈마 활성수 처리구에서 대조구에 비해 증가하였으며, 절화수명과 비슷한 경향을 나타내었다(그림 53). 생체중의 변화를 보면 개화와 더불어 최고점을 보이다가 시간이 지남에 따라 감소하는 양상을 보였는데, 대조구의 감소폭이 가장 컸고 플라즈마 활성수 600 μM 처리구의 감소폭이 가장 작았다(그림 54). 상대수분함량의 변화는 대조구의 상대수분함량이 플라즈마 활성수 처리구에 비해 급격히 낮아진 것을 알 수 있었다(그림 55). 엽록소 함량은 시간이 지나면서 전체적으로 감소하였으며, 플라즈마 활성수 처리구가 대조구에 비해 높게 유지되었고, 처리구 중에서는 600 μM 처리구가 엽록소 함량이 높게 유지되는 것으로 나타났다(그림 56).



그림 50. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘시베리아’ 백합의 절화수명 실험

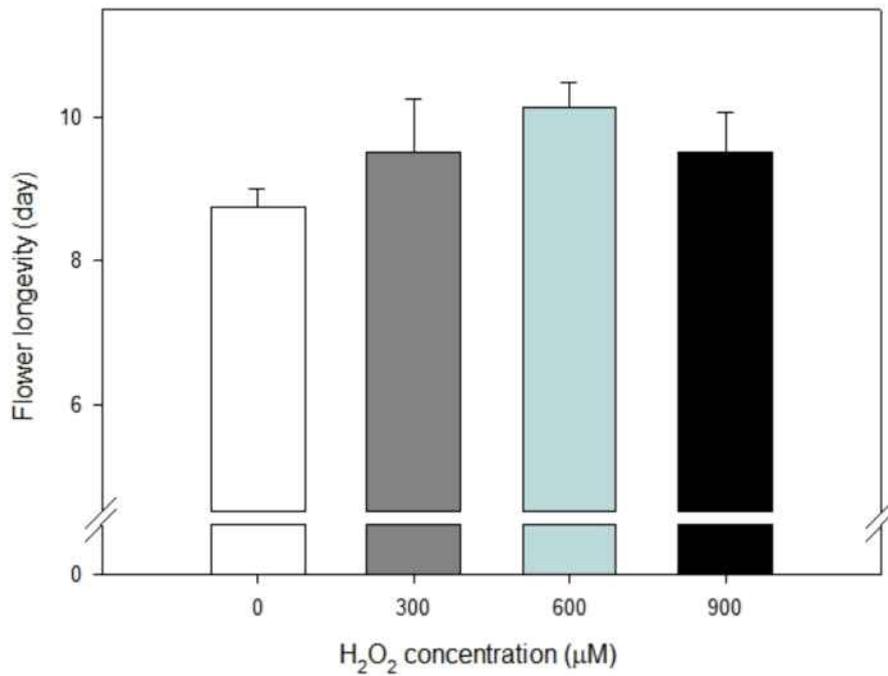


그림 51. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘시베리아’ 백합의 절화수명

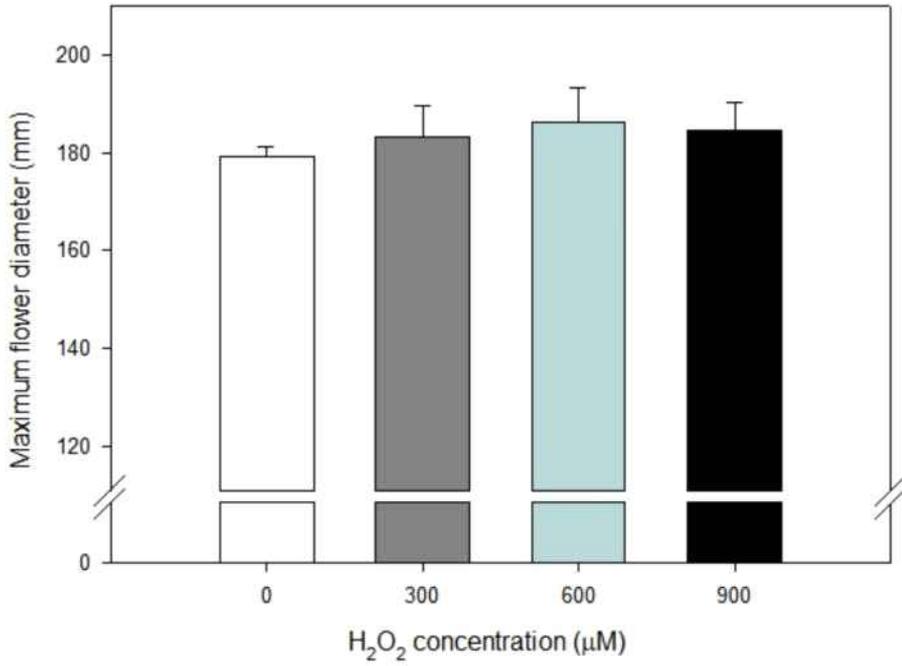


그림 52. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘시베리아’ 백합의 최대화경

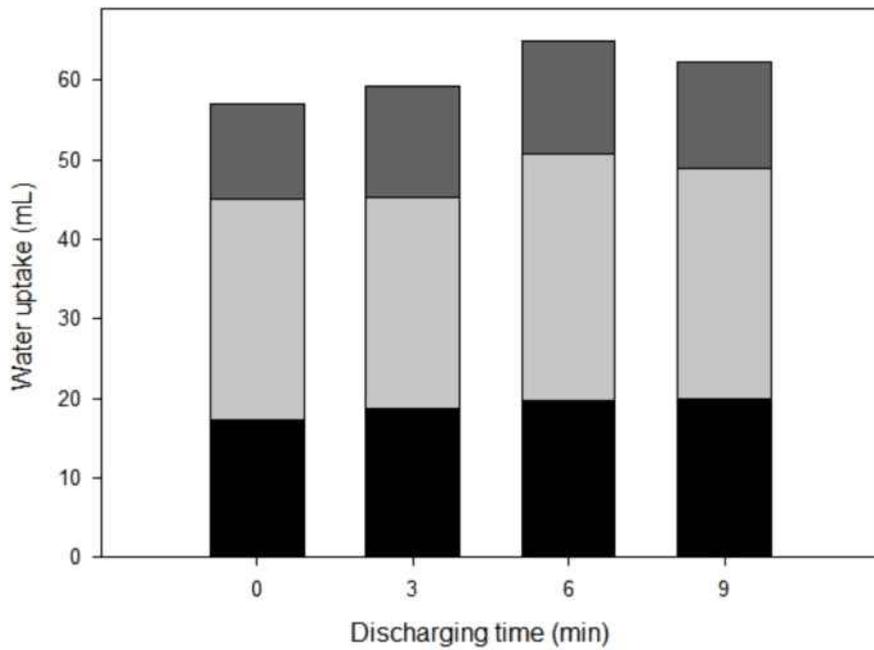


그림 53. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘시베리아’ 백합의 수분흡수량, ■:2DAT, ▒:4DAT, ▓:6DAT

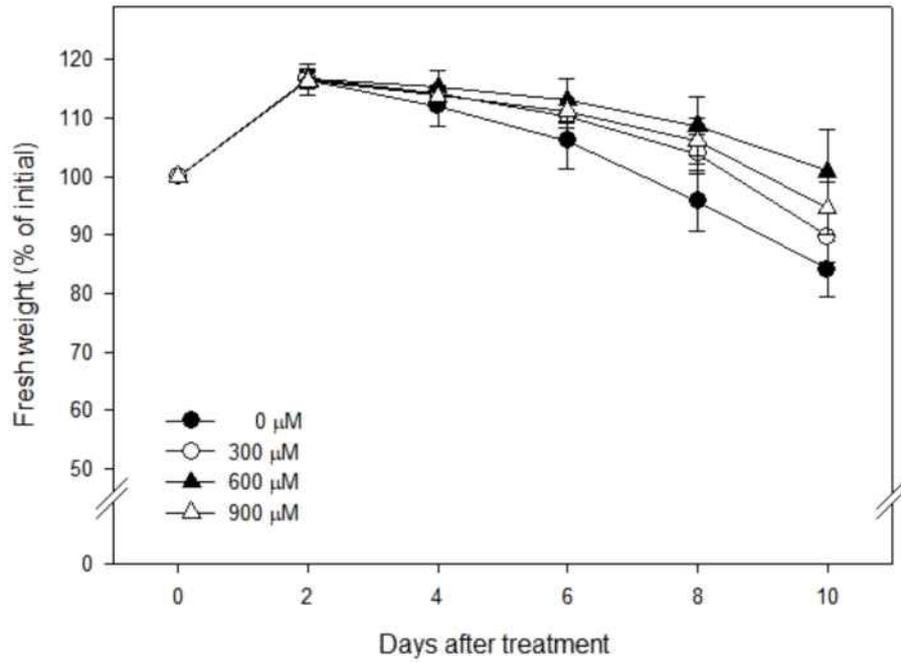


그림 54. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘시베리아’ 백합의 생체중 변화

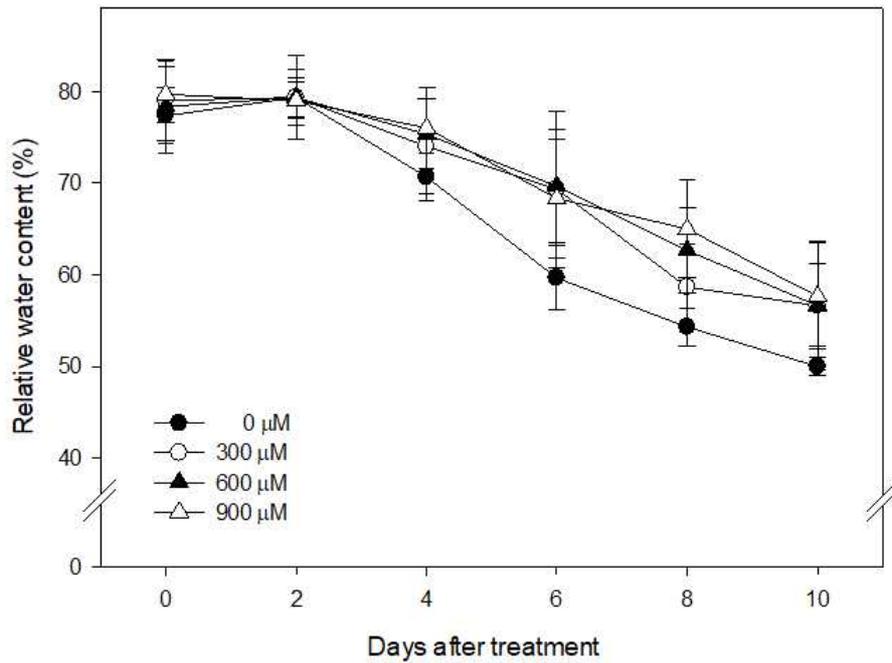


그림 55. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘시베리아’ 백합의 상대수분 함량 변화

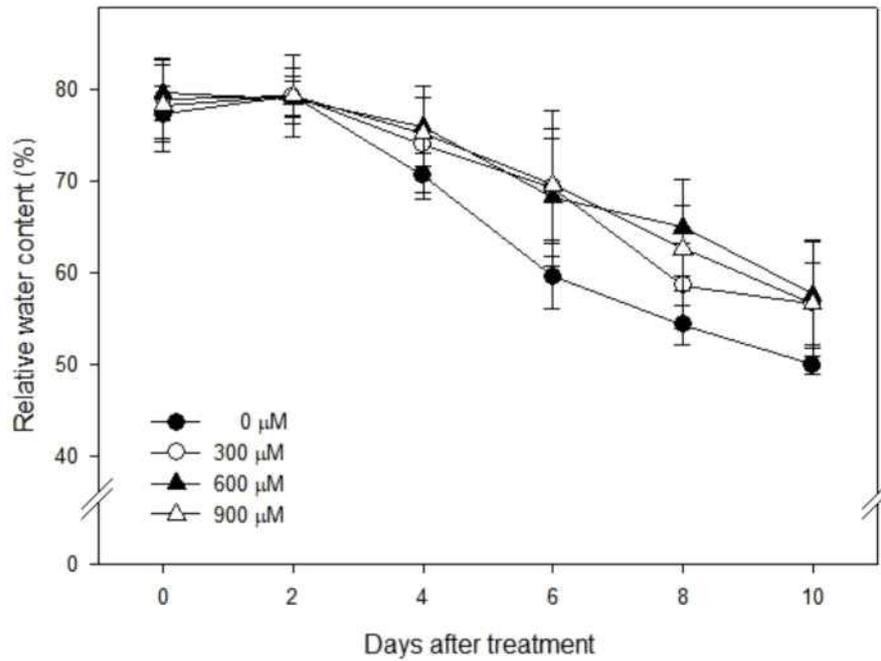


그림 56. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘시베리아’ 백합의 엽록소함량 변화

#### ④ ‘메두사’ 백합

플라즈마 방전시간에 따라 증가한 과산화수소의 농도를 기준으로 오리엔탈 유색계인 ‘메두사’ 백합의 수확 후 품질특성을 평가하였다(그림 57). ‘시베리아’ 품종과는 약간 다른 경향을 나타내었다. 절화수명은 플라즈마 활성수 처리구에서 대조구에 비해 연장되는 효과를 보였으며, 시베리아와는 달리 과산화수소의 농도가 600 μM인 플라즈마 활성수 처리구에서 절화수명이 대조구에 비해 약 15% 증가하였다(그림 58). 최대 화경은 처리구간에 차이가 나타나지 않았다(그림 59). 백합의 경우에는 과산화수소의 농도가 품종마다 약간 다르게 나타나 품종과 농도에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단하였다. 생체중의 감소는 플라즈마 활성수 600 μM 처리구가 다른 처리구에 비해 4일 이후부터 높게 유지되었다(그림 60).



그림 57. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘메두사’ 백합의 절화수명 실험

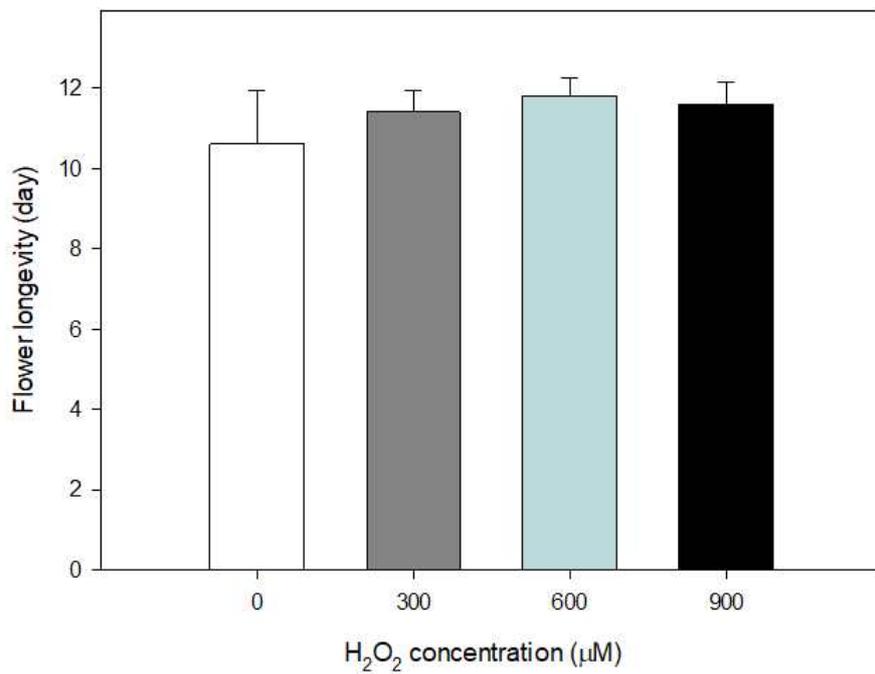


그림 58. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘메두사’ 백합의 절화수명

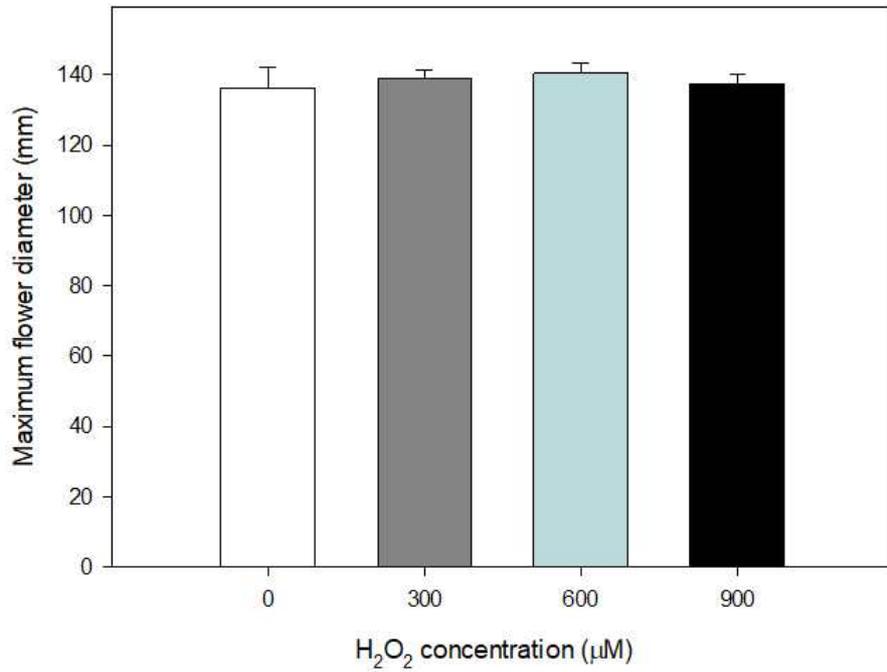


그림 59. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘메두사’ 백합의 최대화경

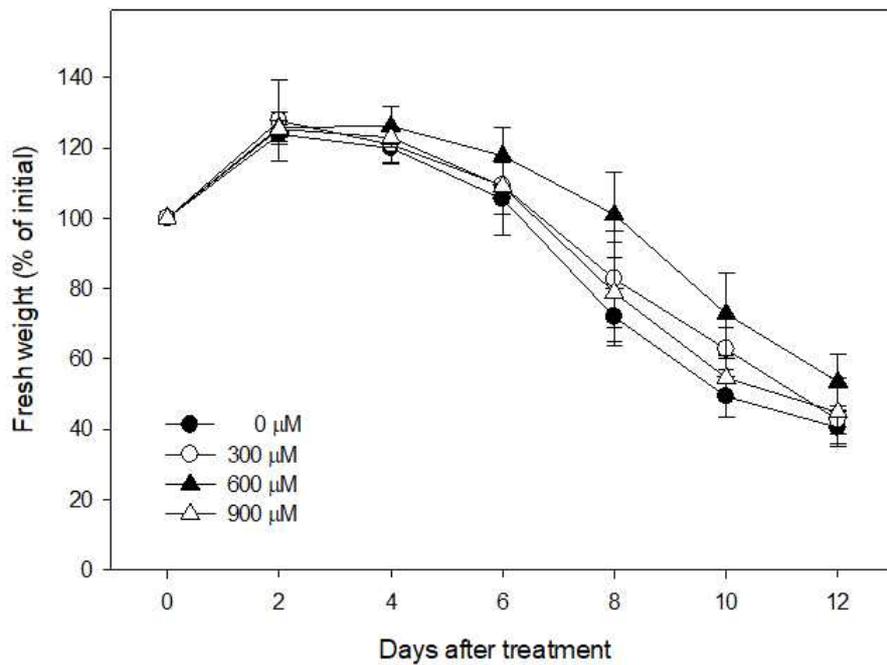


그림 60. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘메두사’ 백합의 생체중 변화

③ ‘암바민트’ 꽃도라지

플라즈마 방전시간에 따라 증가한 과산화수소의 농도를 기준으로 ‘암바민트’ 꽃도라지의 수확 후 품질특성을 평가하였다(그림 61). 절화수명은 플라즈마 활성화수 처리구에서 대조구에 비해 연장되는 효과를 보였으며, 과산화수소의 농도가 300  $\mu$ M과 600  $\mu$ M 플라즈마 활성화수 처리구에서 절화수명이 대조구에 비해 약간 증가하는 경향이 관찰되었다.(그림 62). 최대화경은 플라즈마 활성화수 처리구와 대조구의 큰 차이는 보이지 않았다(그림 63). 생체중은 300  $\mu$ M과 600  $\mu$ M 플라즈마 활성화수 처리구에서 대조구에 비해 증가하였다(그림 64). 엽록소 함량 또한 300  $\mu$ M과 600  $\mu$ M 플라즈마 활성화수 처리구에서 대조구에 비해 높게 유지되었고, 처리구 중에서는 600  $\mu$ M 처리구가 엽록소 함량이 높게 유지되는 것으로 나타났다(그림 65). 화색은 플라즈마 활성화수 처리에 따라 큰 차이는 보이지 않았지만, 처리별 초기값 대비 변화도( $\Delta E$ )는 플라즈마 활성화수의 과산화수소 농도가 증가할수록 변화가 적게 관찰되었다(표 12).



그림 61. 플라즈마 활성화수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘암바민트’ 꽃도라지의 절화수명 실험

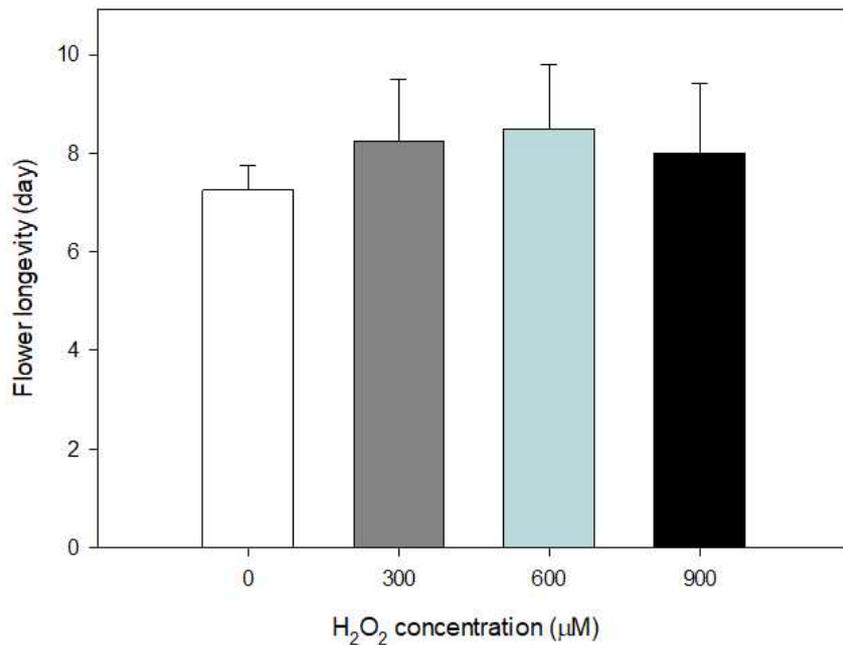


그림 62. 플라즈마 활성화수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘암바민트’ 꽃도라지의 절화수명

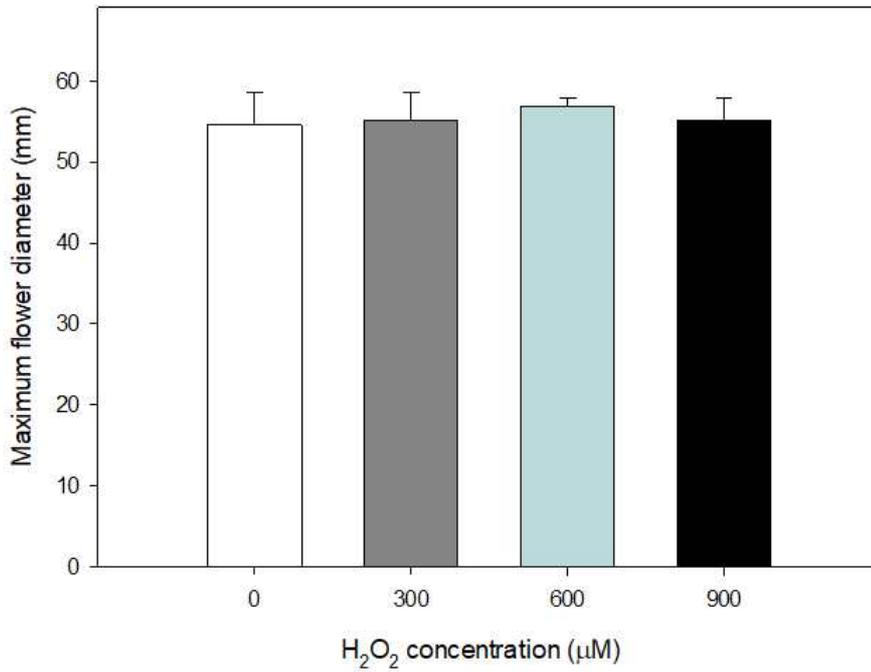


그림 63. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘암바민트’ 꽃도라지의 최대화경

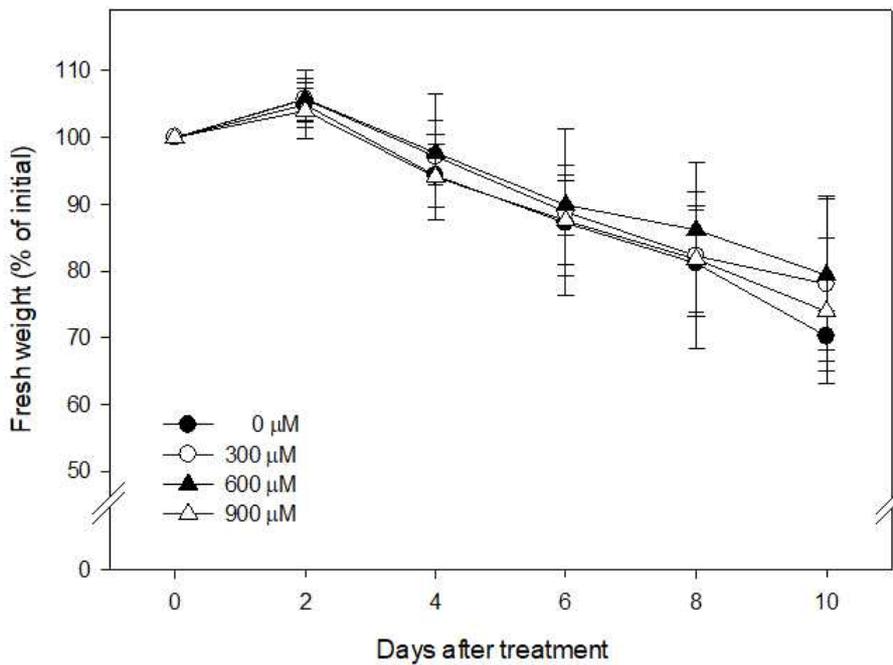


그림 64. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘암바민트’ 꽃도라지의 생체중 변화

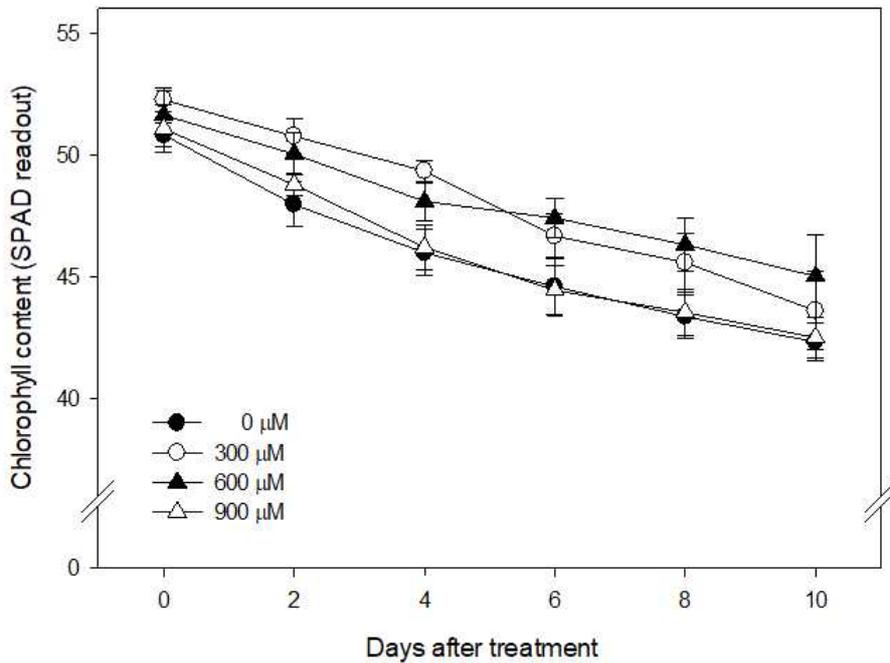


그림 65. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘암바민트’ 꽃도라지의 엽록소 함량 변화

표 12. 플라즈마 방전시간에 따른 ‘암바민트’ 꽃도라지의 화색

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Concentration ( $\mu$ M)	Color characteristics				
	L*	a*	b*	h°	$\Delta E$
0	82.24 $\pm$ 3.71	-11.58 $\pm$ 1.30	23.90 $\pm$ 4.16	-63.86 $\pm$ 3.75	8.96 $\pm$ 3.72
300	78.68 $\pm$ 4.12	-12.29 $\pm$ 3.14	25.89 $\pm$ 2.19	-64.61 $\pm$ 6.76	8.21 $\pm$ 4.34
600	81.65 $\pm$ 2.48	-11.38 $\pm$ 3.52	24.60 $\pm$ 1.89	-65.27 $\pm$ 7.48	7.70 $\pm$ 3.01
900	81.18 $\pm$ 2.42	-10.88 $\pm$ 5.95	24.74 $\pm$ 3.33	-67.38 $\pm$ 8.72	2.93 $\pm$ 2.19

⑥ ‘로지나화이트’ 꽃도라지

플라즈마 방전시간에 따라 증가한 과산화수소의 농도를 기준으로 ‘로지나화이트’ 꽃도라지의 수확 후 품질특성을 평가하였다(그림 66). ‘암바민트’ 품종과 비슷한 경향을 나타내었다. 절화수명과 최대 화경은 플라즈마 활성수 처리구에서 대조구에 비해 연장되는 결과는 보였으나, 관능평가 상으로는 처리구들 간에 차이가 없었다(그림 67, 68). 생체중의 감소나 엽록소 함량 또한 대조구와 처리구들간에 큰 차이가 보이지 않았다(그림 69, 70)



그림 66. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘로지나화이트’ 꽃도라지의 절화수명 실험

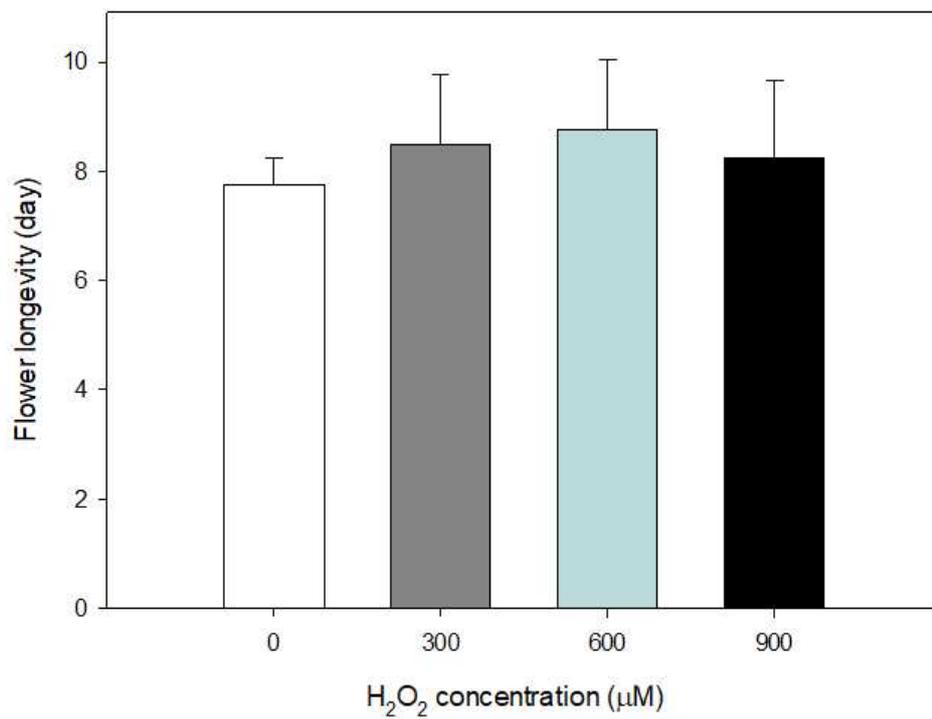


그림 67. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘로지나화이트’ 꽃도라지의 절화수명

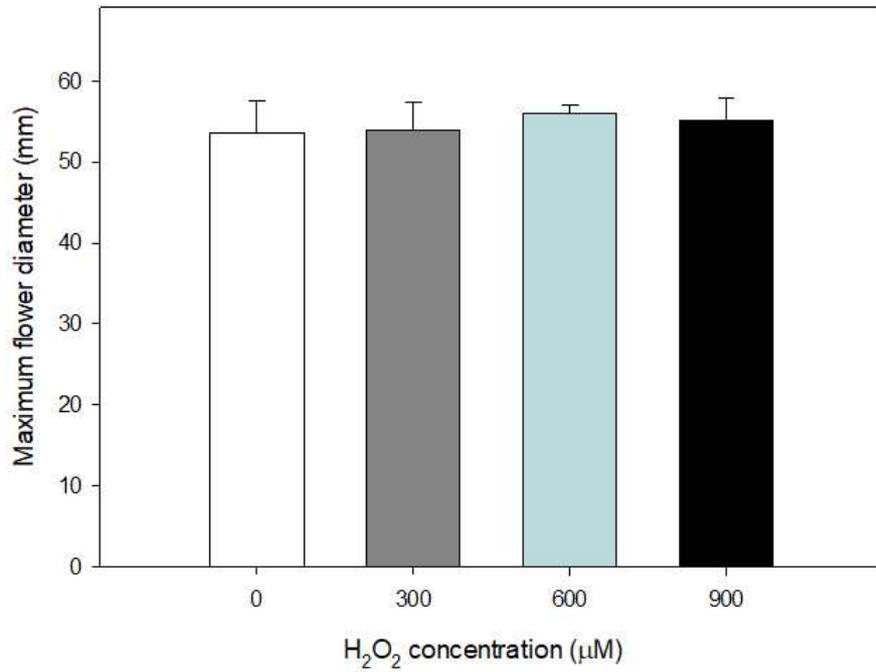


그림 68. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘로지나화이트’ 꽃도라지의 최대화경

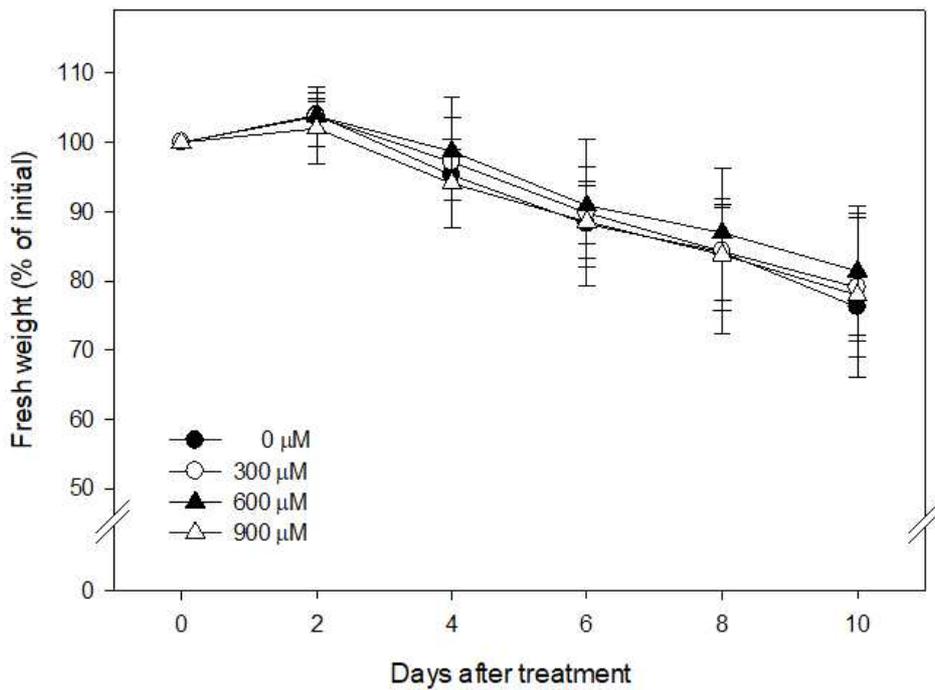


그림 69. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘로지나화이트’ 꽃도라지의 생체중 변화

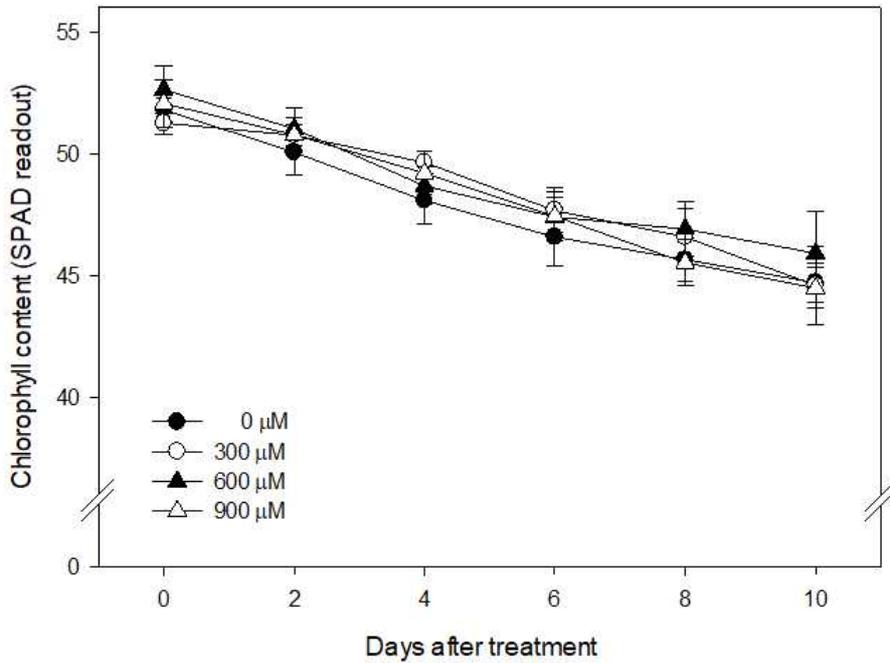


그림 70. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘로지나화이트’ 꽃도라지의 엽록소함량 변화

(3). 수확 후 관리 단계(전처리, 후처리) 및 복합처리에 따른 효과 평가

①. 연구수행방법

수확 후 관리 단계에 따른 플라즈마 활성수의 처리 효과 평가를 위해 먼저 ‘헤라’ 장미, ‘시베리아’ 백합, ‘암바민트’ 꽃도라지를 대상으로 플라즈마 활성수 전처리 효과를 살펴보았다. 전처리로 과산화수소 농도별(1,000, 2,000 μM) 펄싱(Pulsing)처리에 따른 절화수명의 차이를 보았다. 절화는 3그룹으로 나누어 첫 번째는 수돗물에 꽃았으며, 두 번째는 1,000 μM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 농도의 플라즈마 활성수를 이용하여 1시간 전처리한 후 수돗물에 꽃았으며, 세 번째는 2,000 μM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 농도의 플라즈마 활성수를 이용하여 1시간 전처리한 후 수돗물에 꽃아 이후의 품질 변화를 살펴보았다.

다음으로 플라즈마 활성수 전처리 및 후처리에 따른 절화 품질 특성 평가를 위해 ‘헤라’ 장미, ‘시베리아’ 백합, ‘암바민트’ 꽃도라지를 대상으로 실험하였다. 세 초종 모두 선행실험에서 밝혀진 최적 전처리 조건(1,000 μM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 플라즈마 활성수) 및 후처리 조건(600 μM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 플라즈마 활성수)에 맞춰 무처리구(수돗물), 전처리구(펄싱), 후처리구(보존용액), 전후처리구(펄싱+보존용액)로 구분하여 절화 품질 변화를 살펴보았다.

마지막으로 플라즈마 활성화수와 당의 복합처리 효과를 알아보기 위해 ‘헤라’ 장미, ‘사베리아’ 백합을 대상으로 실험하였다. ‘헤라’ 장미의 경우 600  $\mu\text{M}$   $\text{H}_2\text{O}_2$  플라즈마 활성화수에 30g  $\cdot$  L<sup>-1</sup> sucrose를 혼합하여 플라즈마 활성화수 단용처리구와 절화수명을 비교하였다. ‘시베리아’ 백합의 경우 600  $\mu\text{M}$   $\text{H}_2\text{O}_2$  플라즈마 활성화수에 20g  $\cdot$  L<sup>-1</sup> sucrose를 혼합하여 플라즈마 활성화수 단용처리구와 절화수명을 비교하였다.

## ②. 연구결과

### ① ‘헤라’ 장미

필싱처리에 따른 ‘헤라’ 장미의 절화수명은 대조구에 비해 플라즈마 활성화수를 이용한 필싱처리구에서 증가하는 경향이 보였으며, 유의성은 없지만 2,000  $\mu\text{M}$  처리구에 비해 1,000  $\mu\text{M}$  처리구가 약간 더 절화수명이 증가하는 양상을 나타내었다(그림 71).

수분흡수량은 필싱처리만 한 전처리구에서 가장 높게 나타났다(그림 72). 또한 수분흡수량이 가장 많았던 전처리구에서 색상차가 다른 처리구에 비해 적어 화색이 유지된 것을 알 수 있었다(표 13). 전처리와 후처리, 전후처리구들의 절화수명을 비교해보면 전처리와 후처리 모두 하였을 때 대조구에 비하여 절화수명이 증가하는 것을 확인할 수 있었다(그림 73). 장미의 절화수명 연장에 효과적이라고 알려져 있는 30g  $\cdot$  L<sup>-1</sup> sucrose를 과산화수소 농도가 600  $\mu\text{M}$ 인 플라즈마 활성화수에 추가해본 결과 절화수명이 뚜렷하게 증가한 결과를 얻을 수 있었다(그림 74).

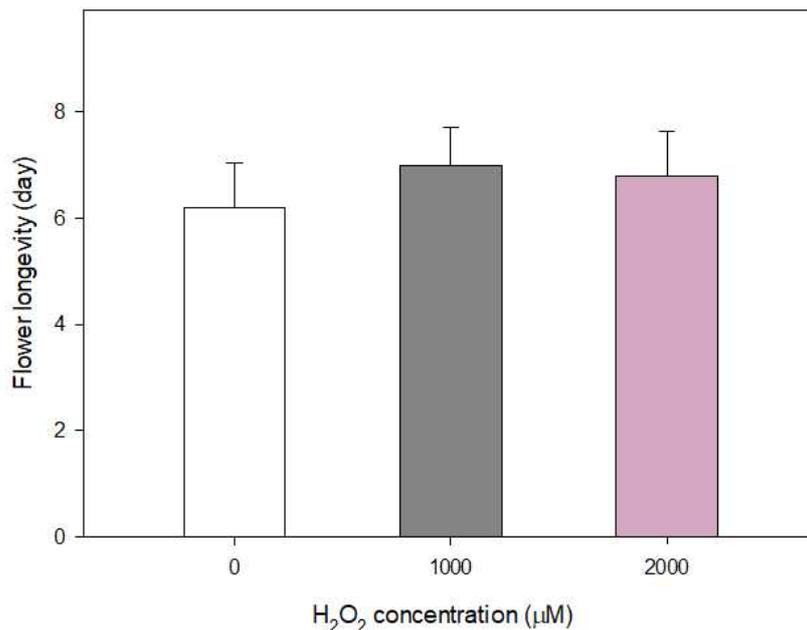


그림 71. 플라즈마 활성화수 전처리에 따른 ‘헤라’ 장미의 절화수명

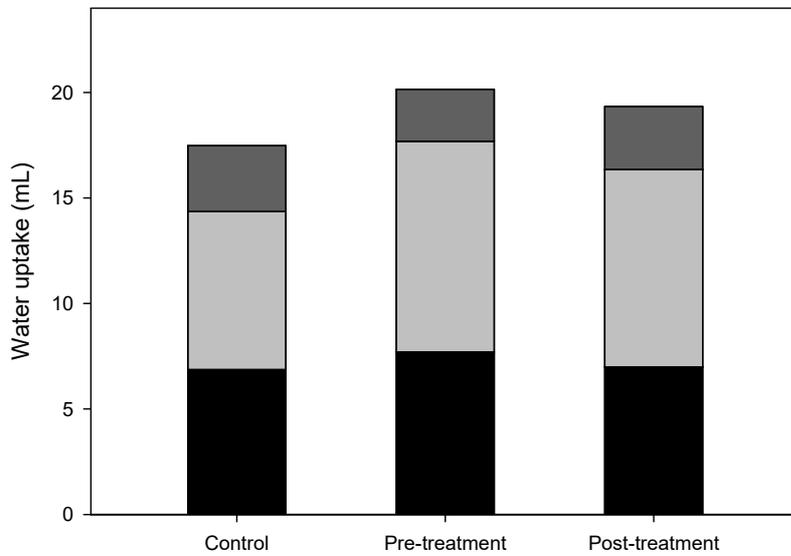


그림 72. 플라즈마 활성화수 전처리 및 후처리에 따른 ‘헤라’ 장미의 수분흡수량, ■: 2DAT, □: 4DAT, ▒: 6DAT

표 13. 플라즈마 활성화수 전처리 및 후처리에 따른 ‘헤라’ 장미의 화색

Treatment	Color characteristics				
	L*	a*	b*	h°	ΔE
Control	80.87 ± 1.17	13.69 ± 2.73	0.36 ± 0.68	1.43 ± 2.74	9.89 ± 2.70
Pre-treatment	78.28 ± 2.93	18.15 ± 2.42	-1.97 ± 1.39	-5.9 ± 3.75	4.74 ± 2.99
Post-treatment	79.84 ± 1.20	16.43 ± 1.16	-0.31 ± 1.73	-1.02 ± 6.16	7.13 ± 1.41

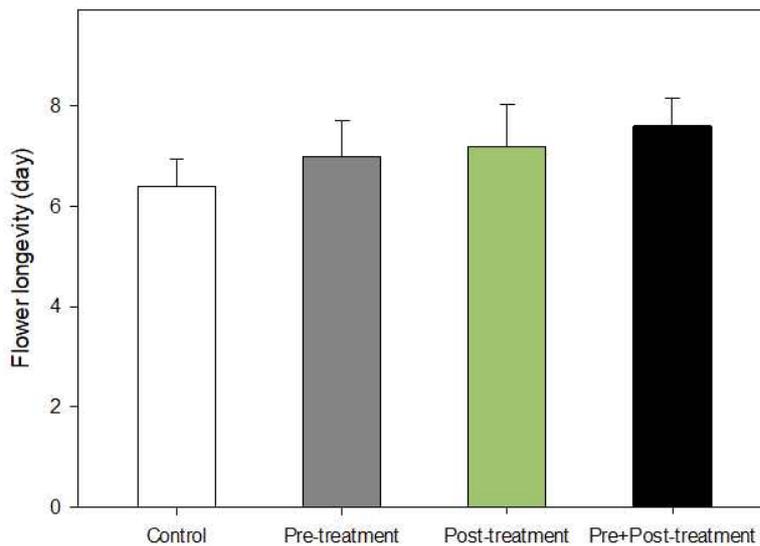


그림 73. 플라즈마 활성화수 전처리 및 후처리에 따른 ‘헤라’ 장미의 절화수명

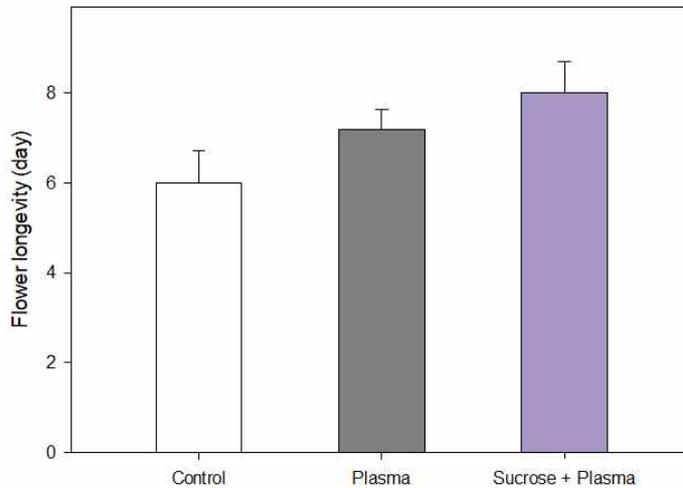


그림 74. 플라즈마 활성수 및 당 처리에 따른 ‘헤라’ 장미의 절화수명

② ‘시베리아’ 백합

펄싱처리에 따른 ‘시베리아’ 백합의 절화수명은 ‘헤라’ 장미와 비슷한 경향으로 나타났으며, 유의성은 없지만 2,000  $\mu\text{M}$  처리구에 비해 1,000  $\mu\text{M}$  처리구가 약간 더 절화수명이 증가하는 양상을 나타내었다(그림 75). 수분흡수량과 엽록소 함유량은 처리구별 차이가 유의성있게 나타나지는 않았다(그림 76, 77). 전처리와 후처리, 전후처리구 들의 절화수명을 비교해보면 전처리와 후처리 모두 하였을 때 대조구에 비하여 절화수명이 증가하는 것을 확인할 수 있었다(그림 78). 백합의 절화수명 연장에 효과적이라고 알려져 있는 20g  $\cdot$  L<sup>-1</sup> sucrose를 과산화수소 농도가 600  $\mu\text{M}$ 인 플라즈마 활성수에 추가해본 결과 절화수명이 뚜렷하게 증가한 결과를 얻을 수 있었다(그림 79).

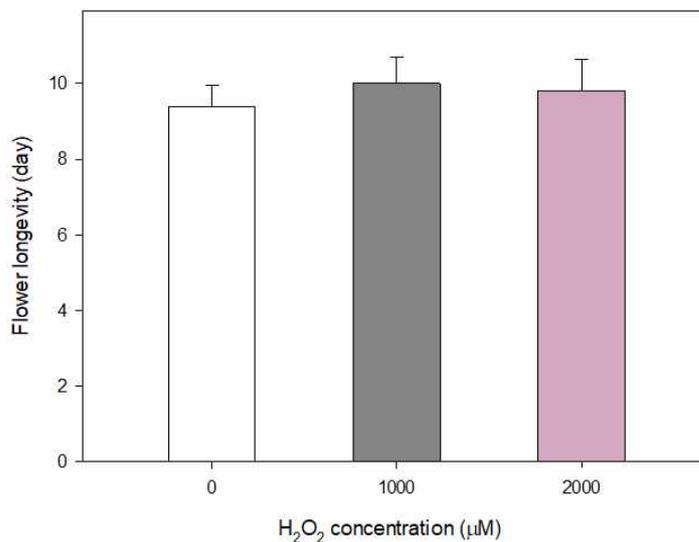


그림 75. 플라즈마 활성수 전처리에 따른 ‘시베리아’ 백합의 절화수명

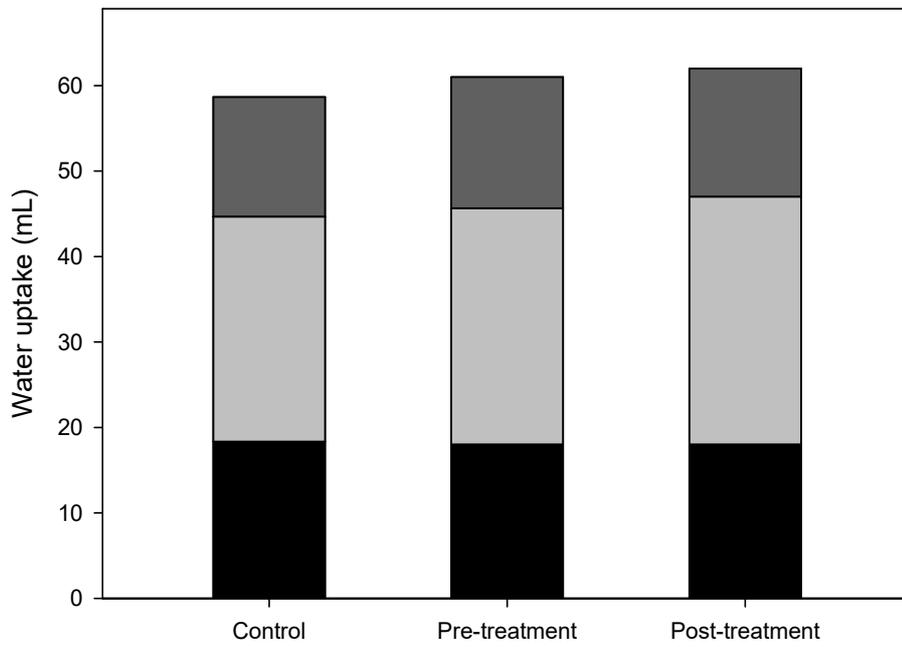


그림 76. 플라즈마 활성화수 전처리 및 후처리에 따른 ‘시베리아’ 백합의 수분흡수량, ■: 2DAT, ■: 4DAT, ■: 6DAT

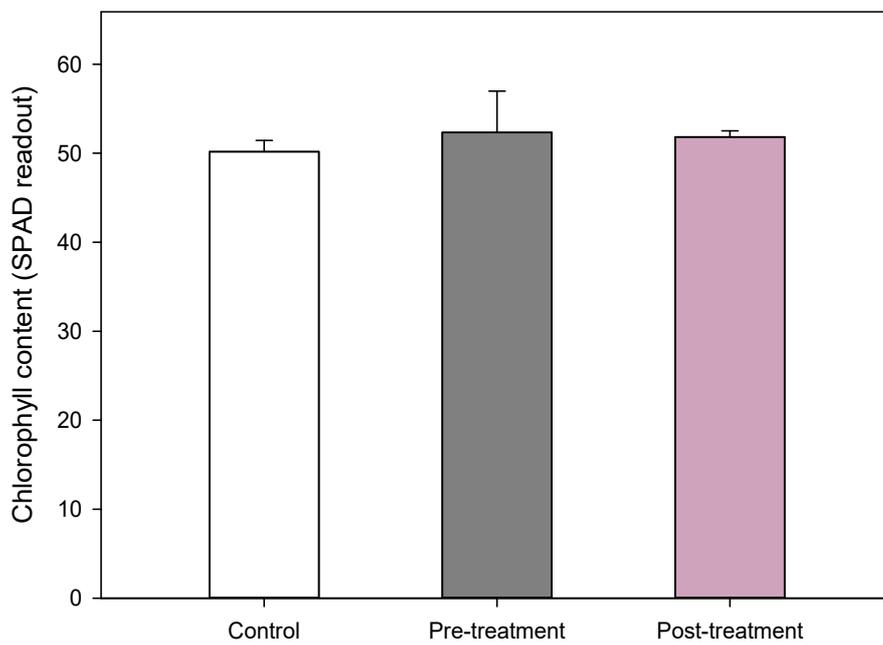


그림 77. 플라즈마 활성화수 전처리 및 후처리에 따른 ‘시베리아’ 백합의 엽록소 함량

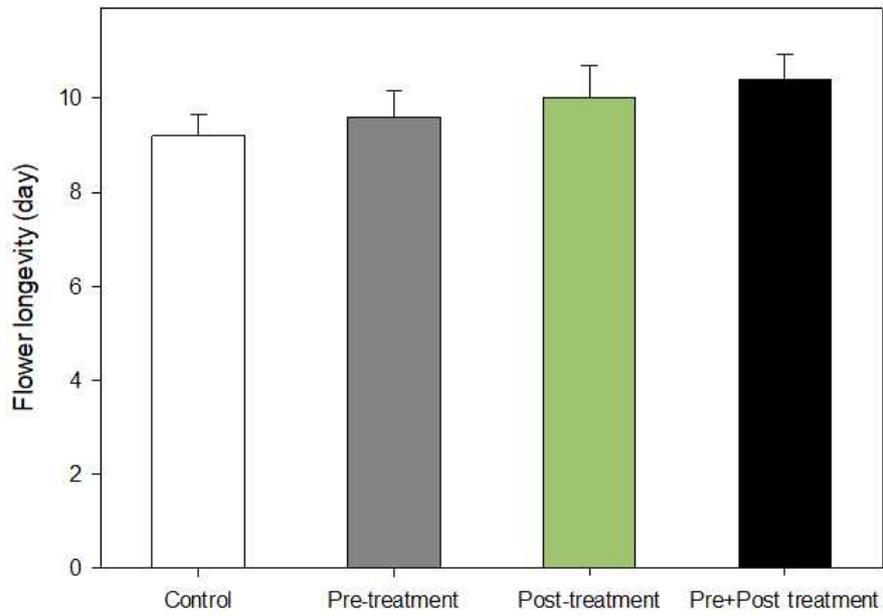


그림 78. 플라즈마 활성수 전처리 및 후처리에 따른 ‘시베리아’ 백합의 절화수명

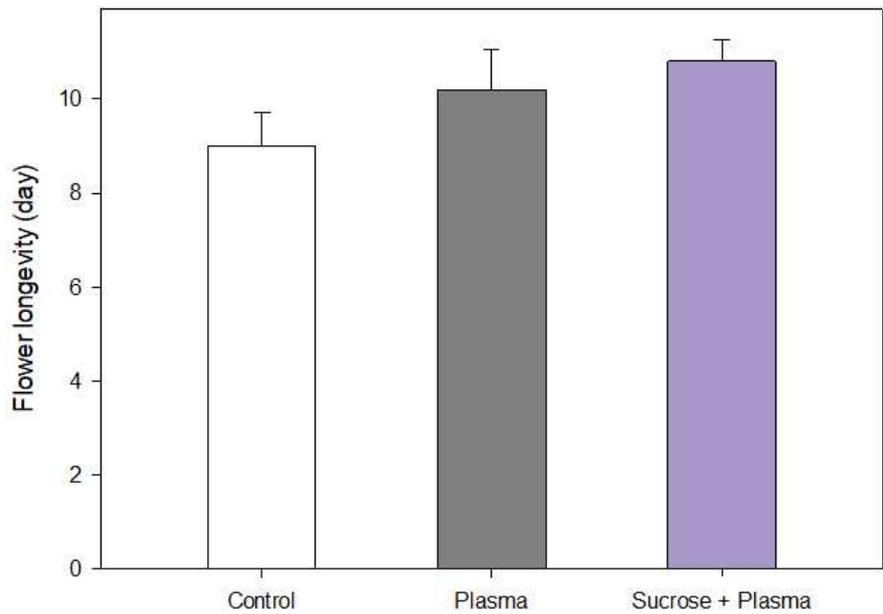


그림 79. 플라즈마 활성수 및 당 처리에 따른 ‘시베리아’ 백합의 절화수명

③ ‘암바민트’ 꽃도라지

펠싱처리에 따른 ‘암바민트’ 꽃도라지의 절화수명은 2,000  $\mu$ M 처리구에 비해 1,000  $\mu$ M 처리구가 약간 더 절화수명이 증가하는 양상을 나타내었다(그림 80). 전처리와 후처리, 전후처리구 들의 절화수명을 비교해보면 전처리와 후처리 모두 하였을 때 절화수명이 1일 정도 증가하는 것을 확인할 수 있었다(그림 81). ‘암바민트’ 꽃도라지의 화색은 처리별 초기값 대비 변화도( $\Delta E$ )를 보면 플라즈마 활성화수를 이용한 전처리구와 후처리구에서 큰 차이를 나타내지 않았다(표 14).

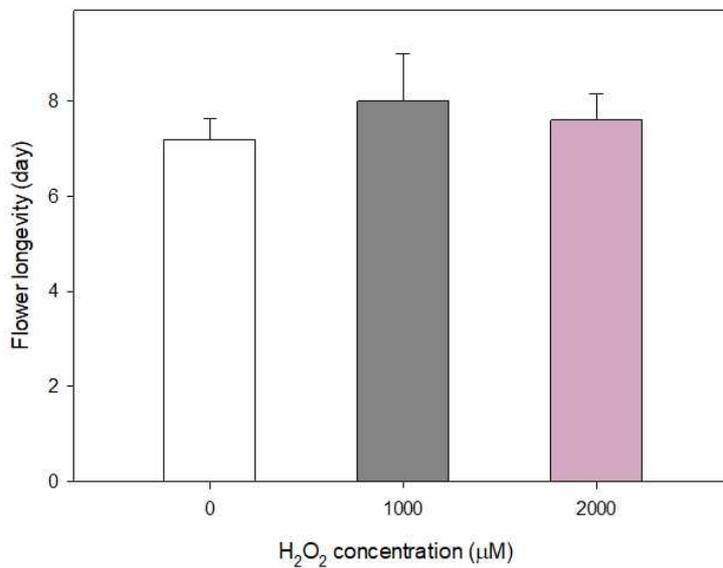


그림 80. 플라즈마 활성화수 전처리에 따른 ‘암바민트’ 꽃도라지의 절화수명

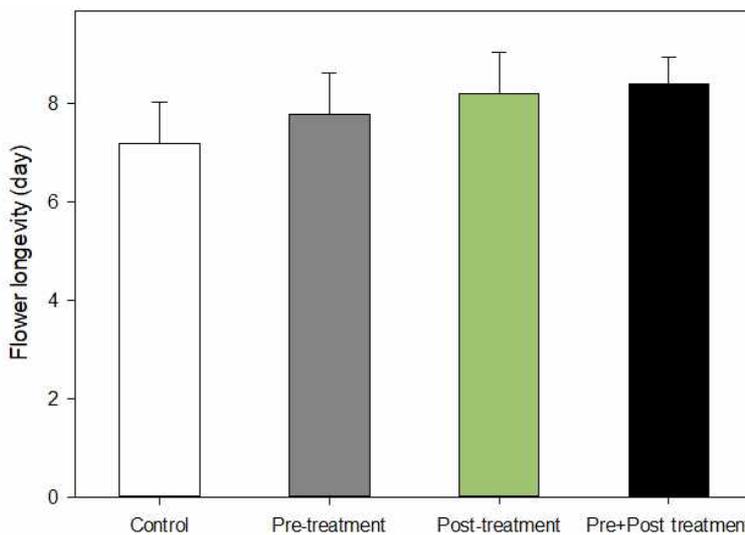


그림 81. 플라즈마 활성화수 전처리 및 후처리에 따른 ‘암바민트’ 꽃도라지의 절화수명

표 14. 플라즈마 전처리 및 후처리에 따른 ‘암바민트’ 꽃도라지의 화색

Treatment	Color characteristics				
	L*	a*	b*	h°	ΔE
Control	82.24 ± 3.711	-12.36 ± 1.224	22.50 ± 3.134	-60.91 ± 5.501	11.78 ± 4.914
Pre-treatment	81.65 ± 2.882	-11.92 ± 4.418	23.97 ± 2.693	-63.73 ± 8.856	11.14 ± 3.364
Post-treatment	80.96 ± 2.669	-7.56 ± 2.009	24.05 ± 2.546	-72.72 ± 3.057	10.31 ± 3.856

(4). 절화류 보존용액 미생물 발생 모니터링

①. 연구수행방법

식물재료는 실험실 조건에서 절화수명 측정을 마친 후 절화보존용액을 9mL의 멸균생리식염수를 이용하여 10배씩 연속 희석하여 각각의 희석된 시료 1mL를 petrifilm aerobic count plate(3M, Seoul, Korea)위에 분주하여 30℃에서 24-48시간 배양한 후 petrifilm위에 형성된 균체(colony)를 계수(log CFU/ml)하였다(그림 82).

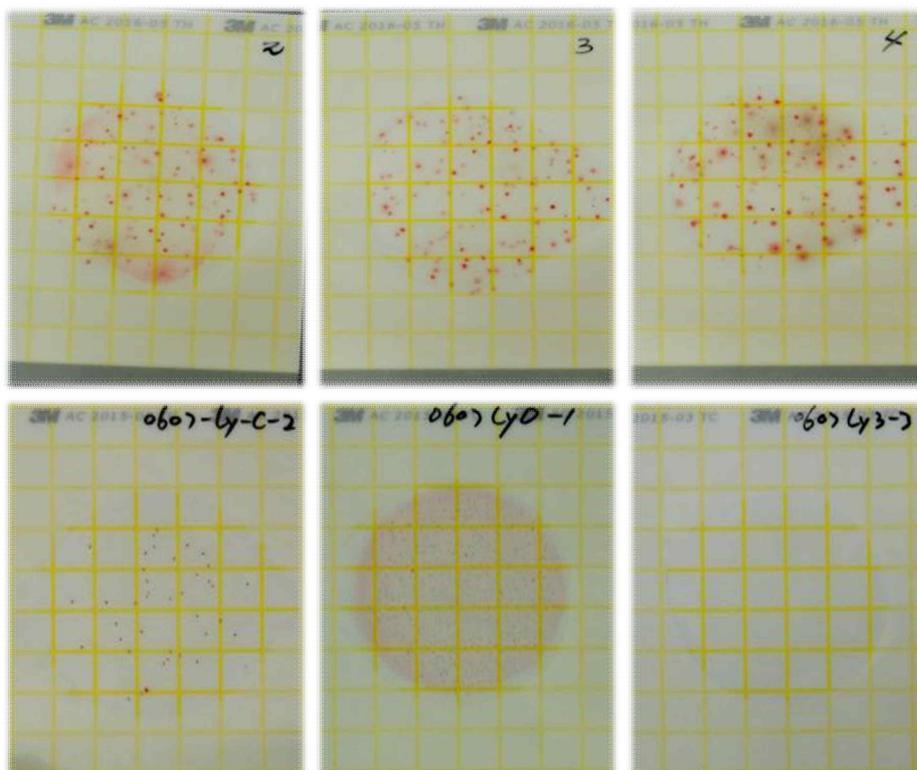


그림 82. 플라즈마 활성화수 내 과산화수소 농도에 따른 절화 보존용액 미생물 발생

②. 연구결과

처리한 초종 모두 플라즈마 방전량을 증가시켜 과산화수소의 양을 증가시키수록 살균효과는 증가하였다(그림 83-85). 과산화수소 농도가 900  $\mu$ M인 플라즈마 활성수는 약 1 log의 일반세균 밀도를 줄일 수 있었다. 또한 절화 보존 초기에는 미생물의 밀도가 과산화수소의 농도에 반비례하여 900  $\mu$ M인 플라즈마 활성수 처리구에서 가장 낮았지만 보존기간이 경과함에 따라 보존용액내의 미생물이 급격히 증가하여 장미의 경우에는 6일차부터, 백합과 꽃도라지의 경우에는 9일차 조사시점에 미생물의 밀도가 비슷해졌다.

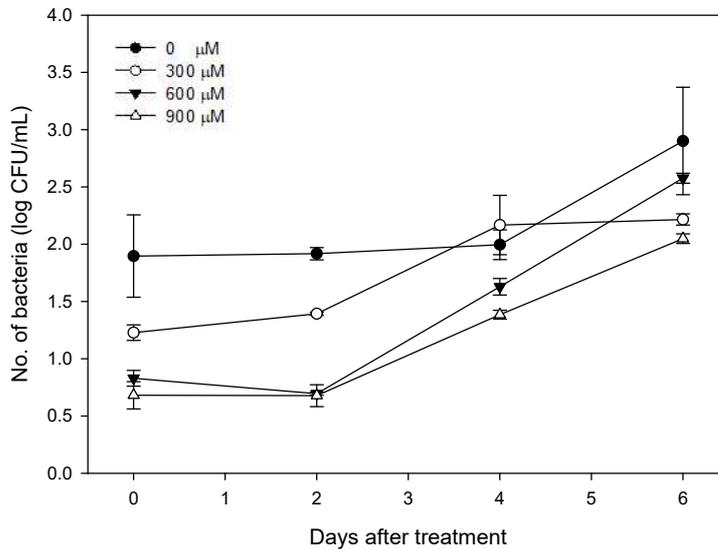


그림 83. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘헤라’ 장미 보존용액의 미생물 농도 변화

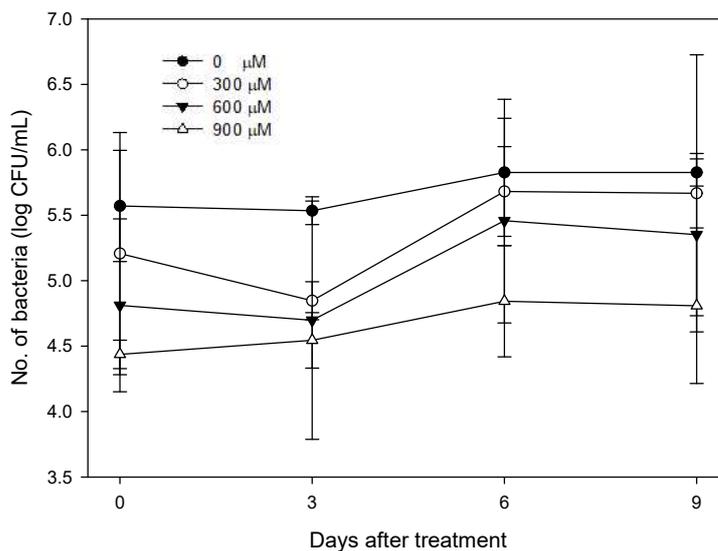


그림 84. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘시베리아’ 백합 보존용액의 미생물 농도 변화

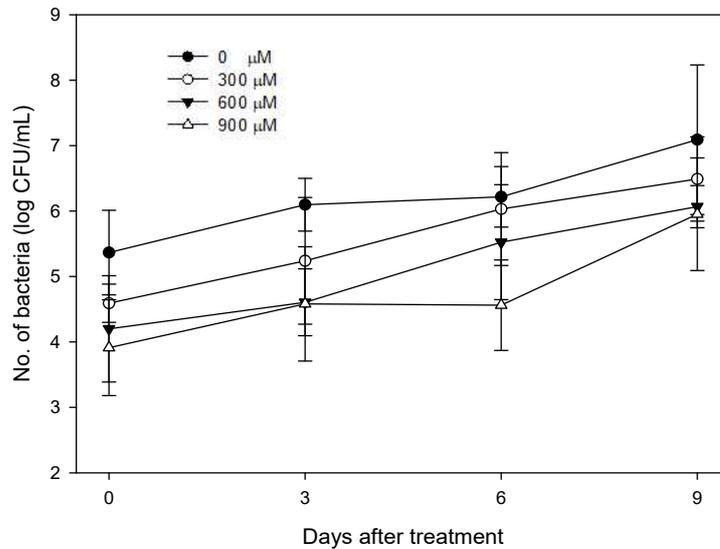


그림 85. 플라즈마 활성수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘암바민트’ 꽃도라지 보존용액의 미생물 농도 변화

(5). 생리조직학적 변화 및 대사산물 변화

①. 연구수행방법

수중플라즈마 활성수는 용해되어 있는 과산화수소의 영향으로 살균력을 나타내는 특성을 가지고 있으며, 이를 이용하여 절화에 살포하는 방법으로 이용할 경우를 가정하여 ‘시베리아’ 백합의 표피세포에 미치는 영향을 조사하였고, 보존기간동안 절화품질 변화와 당의 영향을 확인하기 위해 분석하였다.

②. 구체적인 내용

실험재료는 플라즈마 활성수(과산화수소 농도 0, 400, 600, 800, 1,000  $\mu\text{M}$ )와 과산화수소(10mM) 용액에 10분간 침지시킨 ‘시베리아’ 백합 화피(내화피, 외화피)의 표피세포를 이용하였다. 현미경은 Carl Zeiss사의 SteREO Discovery.V12모형을 이용하였다. 당함량의 변화를 알아보기 위해 꽃잎의 수용성 탄수화물(Water-soluble carbohydrate)함량을 anthrone방법을 사용하여 측정하였다(Van Handel, 1968). 60°C에서 72시간 동안 오븐건조된 꽃잎 샘플(0.1g)을 70°C에서 12시간 동안 추출하였다. 탄수화물 추출물은 상등액 0.5ml와 새로 제조한 anthrone시약 (1g anthrone in 50ml ethyl acetate) 0.5ml와 증류수 1.5ml를 섞은 후 끓는 물에 1분간 담가 두었다. 실온으로 냉각시킨 후, 630 nm에서의 흡광도를 측정 하였다. 수용성 탄수화물 함량을 2일 간격으로 측정하였다.

③. 연구결과

모든 처리구에서 과산화수소 농도에 의한 백합 내화피와 외화피 표피세포의 변화는 관찰되지 않았다(그림 86, 87).

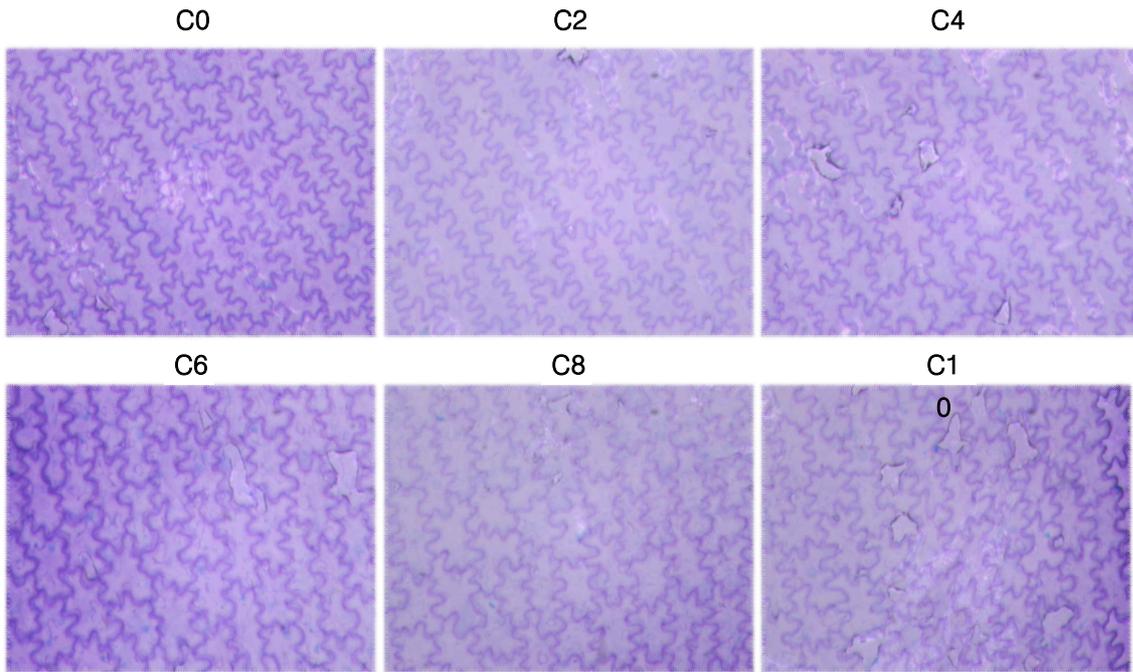


그림 86. ‘시베리아’ 백합 내화피의 표피세포

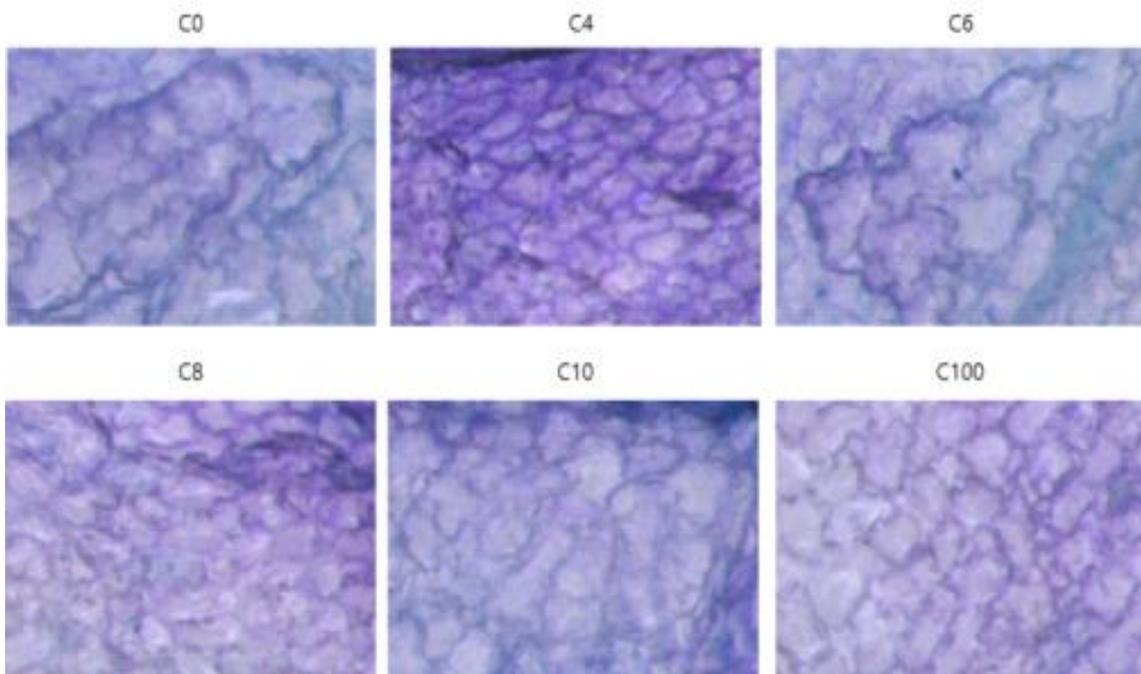


그림 87. ‘시베리아’ 백합 외화피의 표피세포

꽃잎 내 수용성 당함량은 보존기간이 길어지면서 감소하였다(그림 88). 특히 300, 600  $\mu$ M처리구는 대조구에 비해 당함량이 높게 유지되고 있는 반면에 900  $\mu$ M은 당함량이 대조구와 비슷하게 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

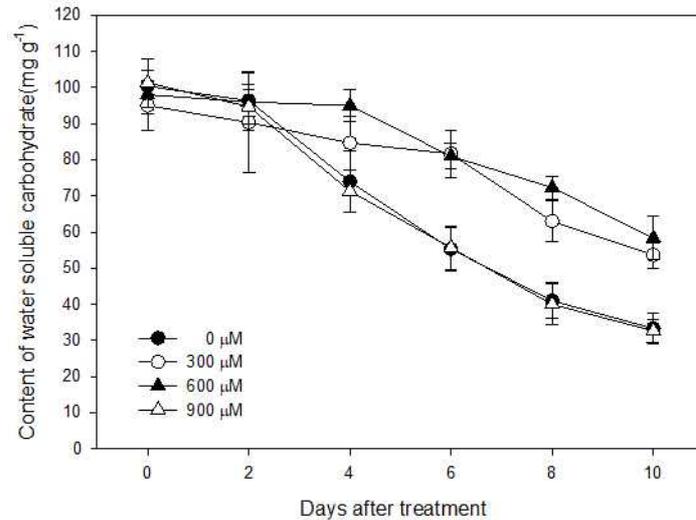


그림 88. 플라즈마 활성화수 내 과산화수소 농도에 따른 ‘시베리아’ 백합의 당함량 변화

#### (6). 절화 보존용액용 플라즈마 활성화수 제조 기술 개발

본 과제를 통해 개발된 모세관 전극(Capillary electrode)을 사용하여 일반적으로 사용하는 220V의 전압에 연결하여 인가전압을 전압조정기를 사용해 조정하면서 방전을 하면 OH radical이 생성되어 과산화수소가 발생된 플라즈마 활성화수(산화수)의 생산이 가능하다. 본 실험장치에서는 과산화수소의 농도가 600  $\mu$ M인 산화수 3L를 제조하는데 전압조정기를 120V로 맞추어 인가전압을 1.2kV로 조정하고 4.1분간 방전을 하면 제조되었다. 이렇게 생성된 방전수는 냄새가 나지 않으며, 플라즈마 활성화수의 pH와 EC의 변화가 나타나지 않기 때문에 일반적인 절화용 보존용수로 사용함에 적합하였다. 또한 생성된 과산화수소의 농도가 한 달이 지난 후에 측정하여도 크게 차이가 나지 않아 저장이 가능한 활성화수가 제조되었다. 또한 활성화수 제조 시 방전시간이 길어지면 적정농도 이상의 과산화수소가 발생하기 때문에 요구 농도에 맞는 적정한 방전시간을 유지하는 기술개발이 필요하다.

본 기술을 시중에 유통되고 있는 2종류의 절화수명연장제와 비교해보았다. 먼저, 농가에서 절화를 수확한 이후부터 도,소매 유통단계에서 사용가능한 크리잘 프로페셔널3의 가격은 44,000원/2kg이고 1L의 물에 분말 10g을 사용하게 되므로, 절화보존용액 1L를 제조하는데 드는 비용은 225원/L로 추정된다. 소매 및 소비자

단계에서 사용가능한 절화수명연장제인 크리잘 클리어 유니버설(모든 절화용)은 물 1L에 파우치 1개를 사용하는데 파우치 1개 가격이 300원이므로, 절화보존용액 1L를 제조하는데 드는 비용은 300원/L로 추정된다. 반면, 절화수명연장에 효과적인 과산화수소 농도가 600  $\mu$ M인 수중플라즈마 활성화수를 제조하기 위해서는 120V 전압 조건에서 4분 방전이 필요한데, 수중플라즈마 활성화수 1L 제조에 약 4Wh의 에너지가 사용되며, 이를 200원/kWh 전기요금으로 환산하면 수중플라즈마 발생기로 절화보존용액 1L를 제조하는데 0.8원/L의 비용이 필요한 것으로 추정되어 비용을 절감할 수 있으며, 기존 수도설비에 설치가 가능하여 쉽게 이용할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서, 수중플라즈마 기술은 제품화된 기존 절화수명연장제 대비 저렴한 비용으로 절화수명을 효과적으로 유지하여 충분한 시장경쟁력이 있을 것으로 예상된다.

(7). 절화류 습식유통간 절화 보존용 플라즈마 활성화수 활용 가이드라인 제시

수확 후 관리 단계에서는 절화류의 선도 유지를 위해 효과적인 전처리제의 사용, 저온저장, 저온저장고 및 포장상자 내의 에틸렌가스 제거, 박테리아의 번식 방지, 습식유통(물통 및 플라워튜브의 사용 등), 저온수송차량의 이용 등이 필요하다. 물론 수확 후 관리의 수준 정도는 판매처의 요구 수준 및 유통기간 등을 고려하여 결정하여야 한다. 따라서 절화 수명연장 및 고급화를 통한 신규 수요 창출 도모와 함께, 절화 생산농가의 소득증대를 위해 절화 습식유통이 필수적으로 인식되고 있으며, 이에 대한 지원사업도 농림식품부에서 2010년도부터 시행되고 있다. 현재 일반적인 절화류의 유통과정은 다음과 같다(그림 89).



그림 89. 국내 절화류 유통 과정

절화의 습식유통에서는 수확 후 전처리, 저장, 콜드체인시스템에 의한 운송, 공관장과 도소매 과정에서 취급될 때 과정별로 보존용액을 이용할 수 있는 별도의 용기가 개발되고 있으며(그림 90), 이렇게 사용되는 보존용액은 절화수명연장제를 구입하여 사용하고 있다. 따라서 본 과제에서 개발된 플라즈마 산화수 제조장치를 이용하여 과산화수소 농도가  $600\mu\text{M}$ 인 산화수를 보존용액으로 사용하면 절화수명을 연장시킬 수 있을 것으로 기대하고 있다.



그림 90. 절화 습식유통 용기

특히, 기존 수도시설에 전극을 연결하여 유량을 조절하는 것만으로 펄싱처리용 고농도의 과산화수소 산화수, 저장을 위한 저장용수 등을 초종과 사용 목적에 맞게 조절하여 제조할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 본 과제로 활용된 산화수는 살균력이 장기간 유지됨에 따라 대형 저장조에 산화수를 저장하여 재배과정에도 적용하여 병해 감소효과와 스트레스 내성증진 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각한다.

## 2. 제2협동과제명 : 수중 플라즈마를 이용한 친환경 원예작물 재배 시스템 개발

### 가. 수중 플라즈마를 이용한 엽채류 수경재배 시스템 개발

#### (1). 연구목적

제2협동과제 연구기관인 (주)엔팩의 연구진들은 마이크로웨이브 플라즈마는 진공 설비 없이 대기압에서 고농도의 NOx 가스를 생성시킬 수 있는 장치를 개발할 수 있는 원천기술을 가지고 있다. 따라서 이를 이용한 장치로 생성된 NOx 가스를 물에 용해시킬 경우 공기 중의 질소를 물속에 고정하여 질소의 이용률을 높여 경제적 부담 경감 및 환경 개선효과를 얻을 수 있기 때문에 적용할 수 있는 산업분야를 모색하고 있다. 고압의 방전처리는 대기 중의 번개현상과 유사하게 공기 중의 질소가스를 산화시켜 질소산화물을 생성시키며 이 때 생성되는 물질에는 NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, OH<sup>-</sup> 등이 포함되며, 따라서 플라즈마 활성수는 산화력과 살균력을 지니므로 육묘재배시 질소공급 및 살균력이 있는 관수용수로 활용이 가능하지 판단해보고자 하였다.

#### (2). 플라즈마 활성수 처리가 엽채류 생산에 미치는 영향 분석

##### (가). 플라즈마 발생조건별 플라즈마 활성수 처리 효과 조사

###### ①. 연구수행방법

마이크로웨이브플라즈마 발생시간에 따른 질산화 활성수의 물리화학적 특성을 조사하였다.

###### ②. 구체적인 내용

플라즈마 처리 장비는 220 V AC (single 60 Hz)의 입력 전원을 사용하는 마이크로파 발생기로, 2.45 GHz의 주파수를 가지는 2kW 마이크로웨이브를 테이더드 도파관을 통하여 직경 26mm인 석영관으로 전달하고, 이때 10L/min의 유량으로 공급되는 소용돌이 공기를 플라즈마로 전환시킨다. 전환된 공기 플라즈마는 일반 공기 중에 있는 질소분자를 이온화하여 여러 질산화 가스를 발생시키고, 이 가스들을 냉각시스템을 통해 수도물에 주입하여 질산염을 함유한 활성수를 제조하였다.

산도변화(pH)와 전기전도도(EC)는 각각 pH meter (HP 9010, Trans Instruments, 싱가포르)와 Conductivity meter (HC 9021, Trans Instruments, 싱가포르)를 이용하여 측정하였다. 활성질소(RNS)가 용해되어 생성된 질산태질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)의 변화는 서울대학교 농생명공동과학기기에 설치되어 있는 이온 크로마토그래피 (ICS-5000, Thermo Inc., 미국)를 이용하여 측정하였다(그림 91).



그림 91. 이온크로마토그래피 장비 사진

### ③. 연구결과

산도(pH)는 플라즈마 방전이 시작됨과 동시에 낮아져서 1초 이내 산도가 pH3이하로 내려갔다(그림 92). 조성된 산도는 오랜 기간동안 유지되어 저장 가능한 특성을 나타내었다.

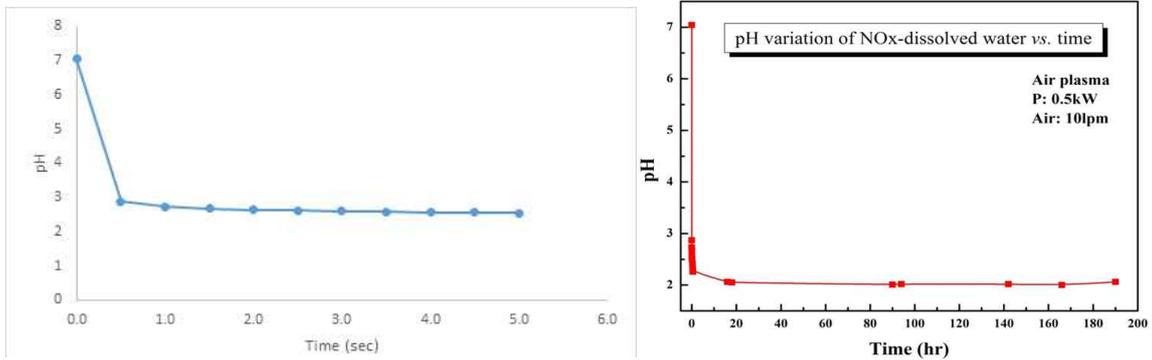


그림 92. 방전시간에 따른 마이크로웨이브플라즈마 활성수의 pH변화

활성질소(RNS)의 생성과 결합으로 발생하는 것으로 알려진 질산성질소는 마이크로웨이브 플라즈마 활성수의 산도가 낮아질수록 증가하여 음의 상관관계를 나타내었다(그림 93).

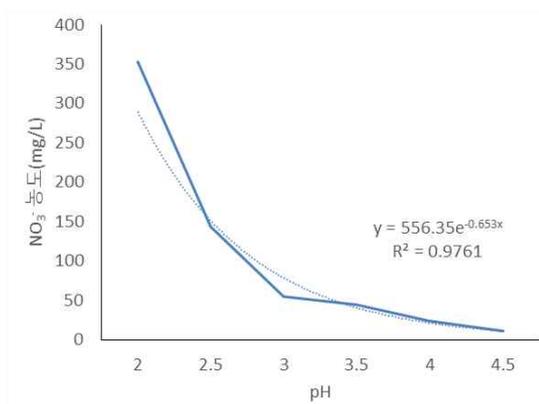


그림 93. 마이크로웨이브플라즈마 활성수의 산도(pH)와 질산성질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 발생량 변화

(나). 상추류의 생육양상, 양분 및 수분의 흡수, 스트레스 특성 검증

①. 연구수행방법

마이크로웨이브플라즈마 활성화수의 엽채류 재배 효용성에 대한 실험을 위해 산도를 pH 2, 3, 4(각각  $\text{NO}_3^-$  150, 80, 40ppm)로 맞추어 대조구와의 생육을 비교하였다. 또한 산도가 낮은 관수용수로 인한 스트레스를 알아보기 위해 엽록소 형광 측정을 하였다.

②. 구체적인 내용

식물재료는 파종 후 2주가 지난 상추 3종을 식재하여 품종 간 생육을 비교하였다. 성장상실험에서는 적상추, 청상추, 오크린상추를, 비닐온실 실험에서는 적상추, 청상추, 적로메인상추를 재배하였다. 처리는 성장상 실험은 마이크로웨이브플라즈마를 방전시켜 pH를 2, 3, 4로 조절한 플라즈마 활성화수와 수돗물, Technigro 500배액(20N-9P-20K Plus fertilizer)을 각각 50ml씩 2일 간격으로 두 상관수하였으며, 비닐온실 재배시에는 플라즈마 활성화수와 액비처리만 하였다. 실내 성장상에서는 2016년 5월 6일부터, 비닐온실에서는 2017년 5월 22일부터 3주간 재배하였다(그림 94). 1주일 간격으로 초장과 초폭, 엽수를 측정하였으며, 3주 후 수확하여 생체중과 건물중을 측정하였다. 엽록소 형광은 PAM-2000을 이용하여 처리 후 2주 후에 측정하였다.



그림 94. 실내 성장상과 엽록소 형광측정

③. 연구결과

㉑-1 상추생육(성장상)

상추의 품종간 마이크로웨이브 플라즈마 활성화수와 양액처리에 따른 생육의 차이가 크게 나타났다(그림 95). 하지만 전체적으로 광부족으로 인해 도장현상이 관찰되었다. 초장의 증가량을 보면 오크린상추는 pH 2 처리구와 양액처리구에서 2배 이상 증가하는 양상을 나타내었고, 적측면 상추는 마이크로웨이브 플라즈마 처리구에서 대조구에 비해 60%이상 증가한 것으로 조사되었다. 청측면 상추는 무비처리구와 pH4처리구에서는 생육이 제대로 이루어지지 않았다.

초폭의 증가량을 보면 오크린 상추의 경우 pH 2 처리구에서 3배 가까이 증가하였고, 적축면 상추 또한 마이크로웨이브플라즈마 처리구에서 30% 이상 증가하였다. 수확량과 직접적인 연관이 있는 엽수의 증가량을 보면, pH2 처리구에서 오크린 상추의 경우에는 25% 정도 증가하였고, 적축면 상추의 경우에는 대조구에 비해 65%의 증가량을 나타내었다. 상추의 생육에 있어서 마이크로웨이브 플라즈마 활성화수는 유묘단계에서 초장과, 초폭, 엽수를 증가시켜 전체적인 생육을 촉진시킬 수 있을 것으로 판단되며(그림 96), 이를 이용하면 양액의 사용을 일부 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 초종별로 약간씩 다른 반응을 나타내어 각 초종별 생육에 적합한 조건을 찾는 세부적인 실험이 요구되며, 다른 엽채류에도 확대 적용이 가능할 것으로 판단된다.

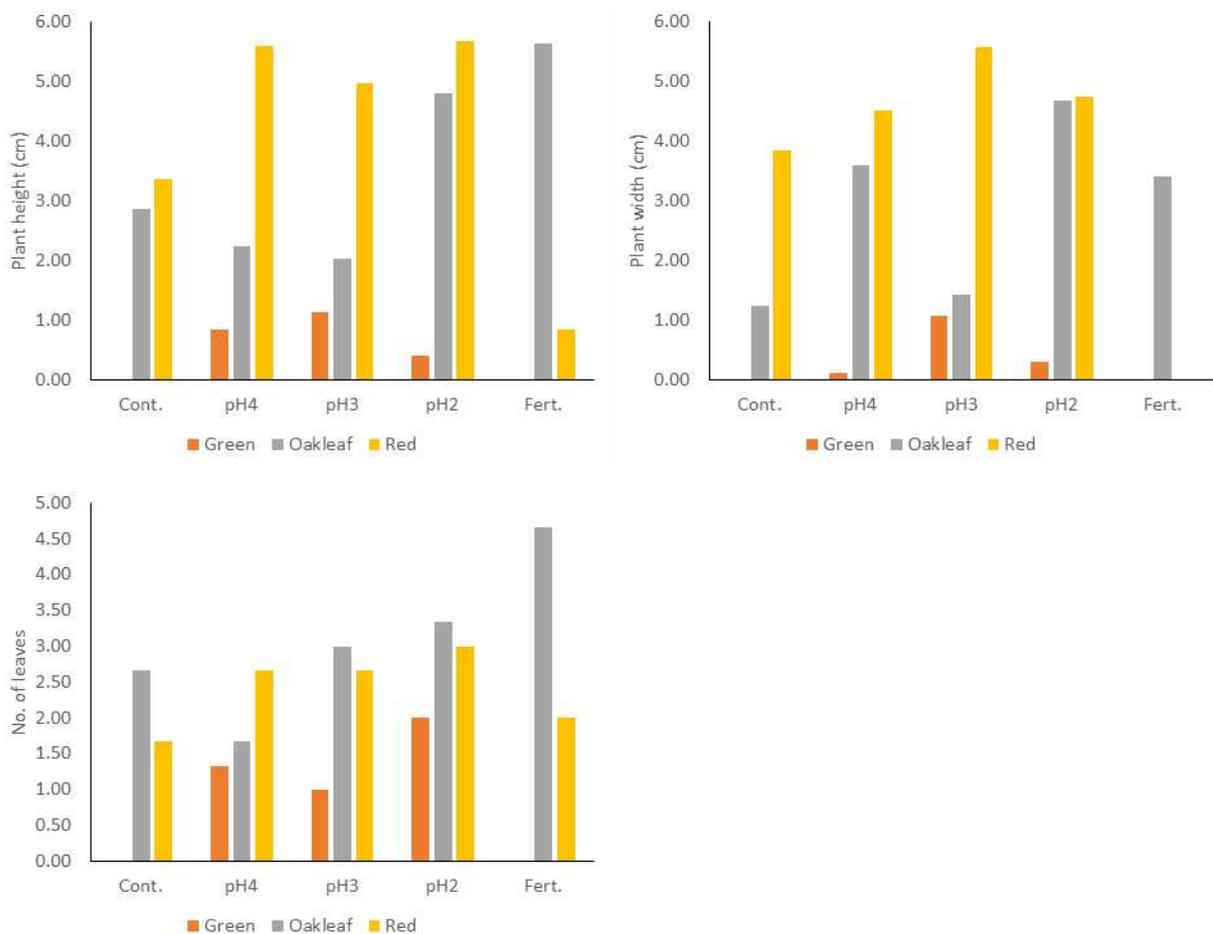


그림 95. 관비처리에 따른 상추 초종별 성장량 비교

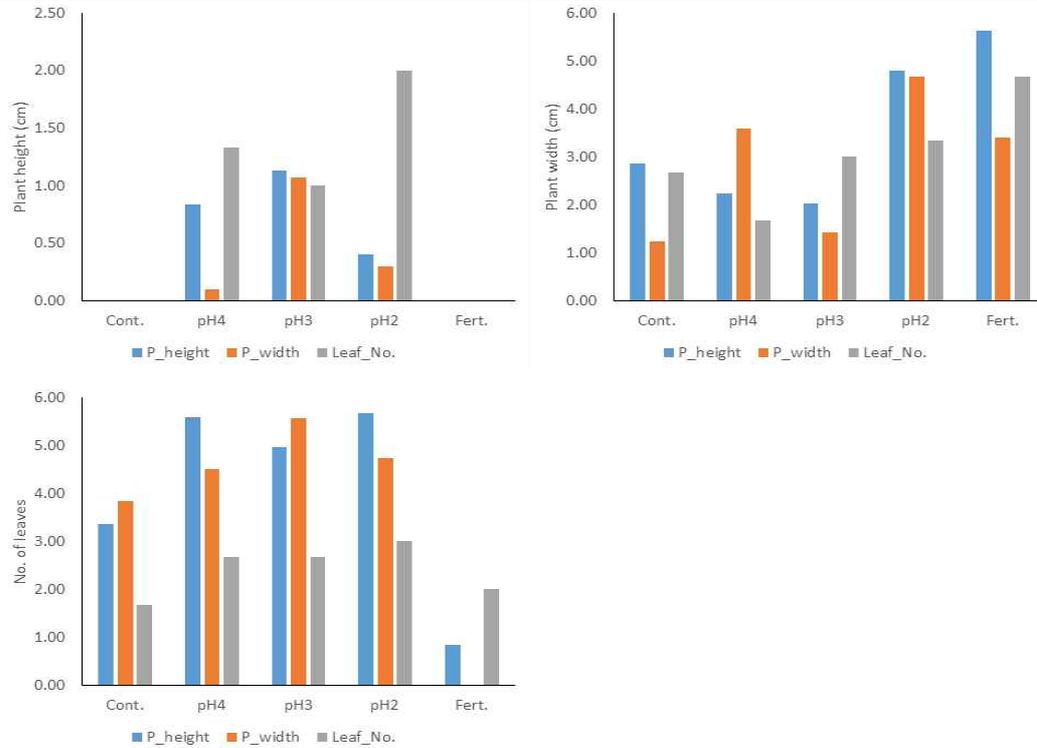


그림 96. 관비처리에 따른 상추 초종별 성장량(상좌, 청상추; 상우, 적상추; 하, 오크린상추)

㉔-2 상추생육(온실)

엽채류의 초종에 따라 마이크로웨이브 플라즈마 활성화수 처리구의 효과가 약간 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.(그림 97). 적상추는 엽수가 pH2, 3 처리구가 대조구인 양액처리구와 비슷하게 나타났고, 엽면적은 pH3처리구가 약간 더 높게 나타났다(그림 98). 생체중과 건물중 또한 pH3처리구에서 높게 나왔다. pH4처리구는 다른 처리구에 비해 생육이 좋지 않은 모습을 보였다.

무기양분 함량을 보면 생육이 좋지 않았던 pH4처리구가 인산의 함량이 높은 것으로 나타났고, pH2 처리구가 칼륨과 칼슘양이 높아진 것을 볼 수 있었다(그림 99).

청상추도 적상추와 비슷한 성장량을 나타내었고, pH4처리구가 생육이 좋지 않은 모습을 보였다(그림 100). 엽수가 pH3처리구에서 비료처리구보다 약간 증가한 양상을 볼 수 있고, pH2처리구의 건물중이 증가한 것을 볼 수 있다(그림 101). 무기양분함량을 보면 pH2처리구에서 인산과, 칼륨, 칼슘 등의 함량이 높게 조사되었다(그림 102).

적로메인은 플라즈마 활성화수처리구들이 초기에는 pH와 관계없이 전체적으로 양호한 상태를 나타내었다(그림103). 하지만 재배기간이 길어질수록 pH2처리구에서는 잎의 가장자리가 타는 증상이 일부에서 관찰되었다. 엽수는 모든 처리구에서 비슷한 양상을 보였으나, 엽면적이 pH3처리구가 다른 플라즈마 활

성수 처리구에 비해 증가하였다(그림 104). 건물중은 다른 초종과 마찬가지로 pH4처리구가 다른 활성수 처리구에 비해 감소하였다. 양분함량을 보면 전체적으로 유의성을 없었지만 pH2처리구에서 칼륨의 양이 조금 높은 경향을 보였고, pH4처리구에서 인산의 양이 많은 것으로 조사되었다.

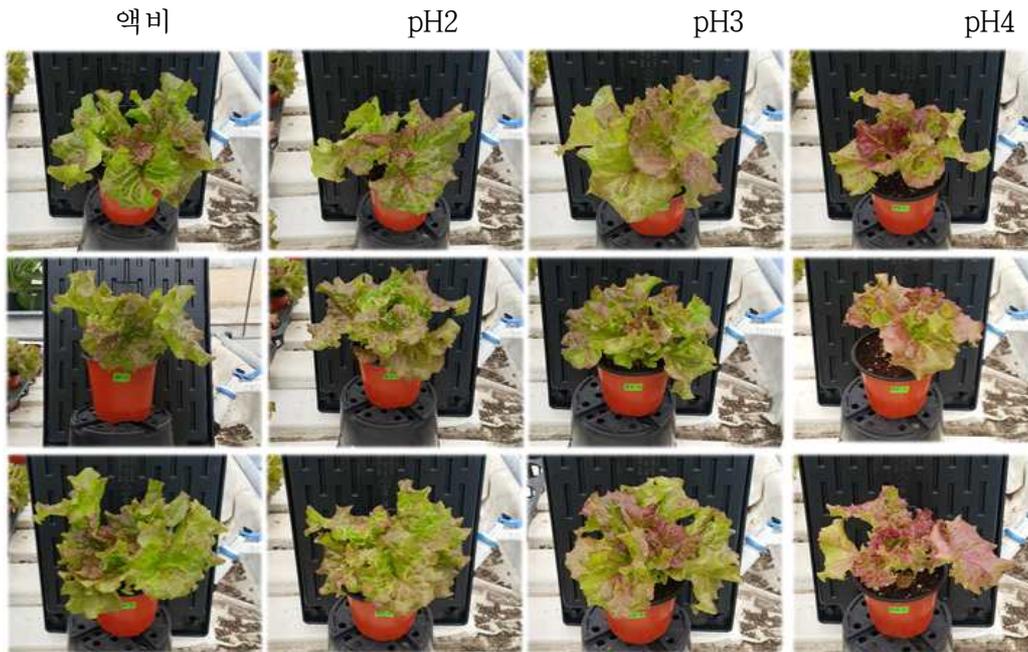


그림 97. 플라즈마 활성화수 처리에 따른 적상추 생육 비교

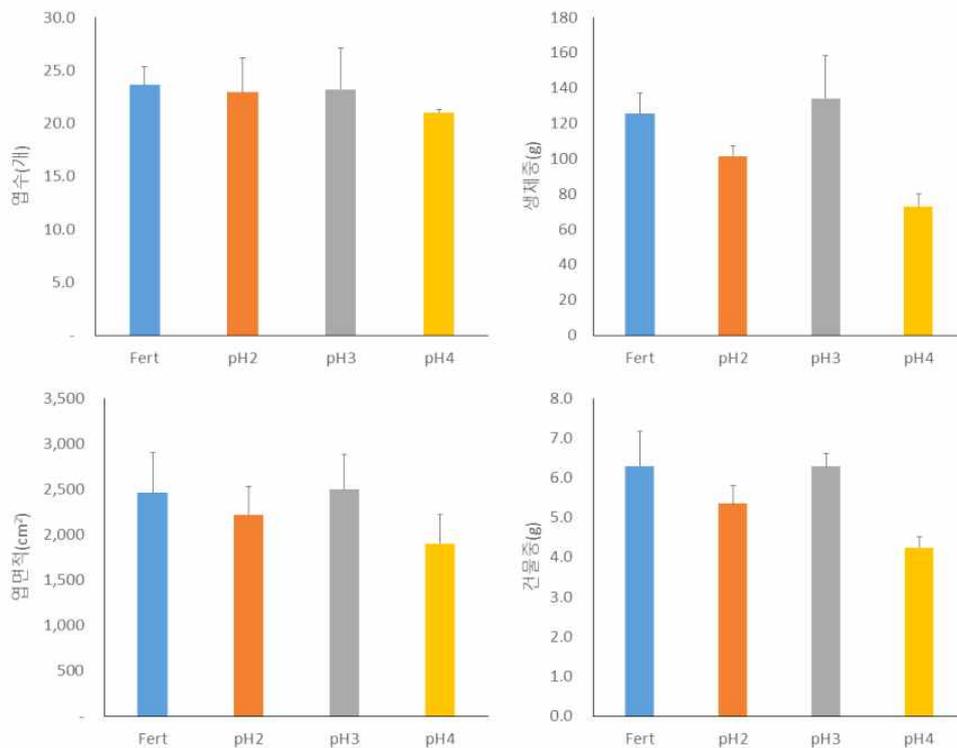


그림 98. 플라즈마 활성화수 처리에 따른 적상추의 성장량

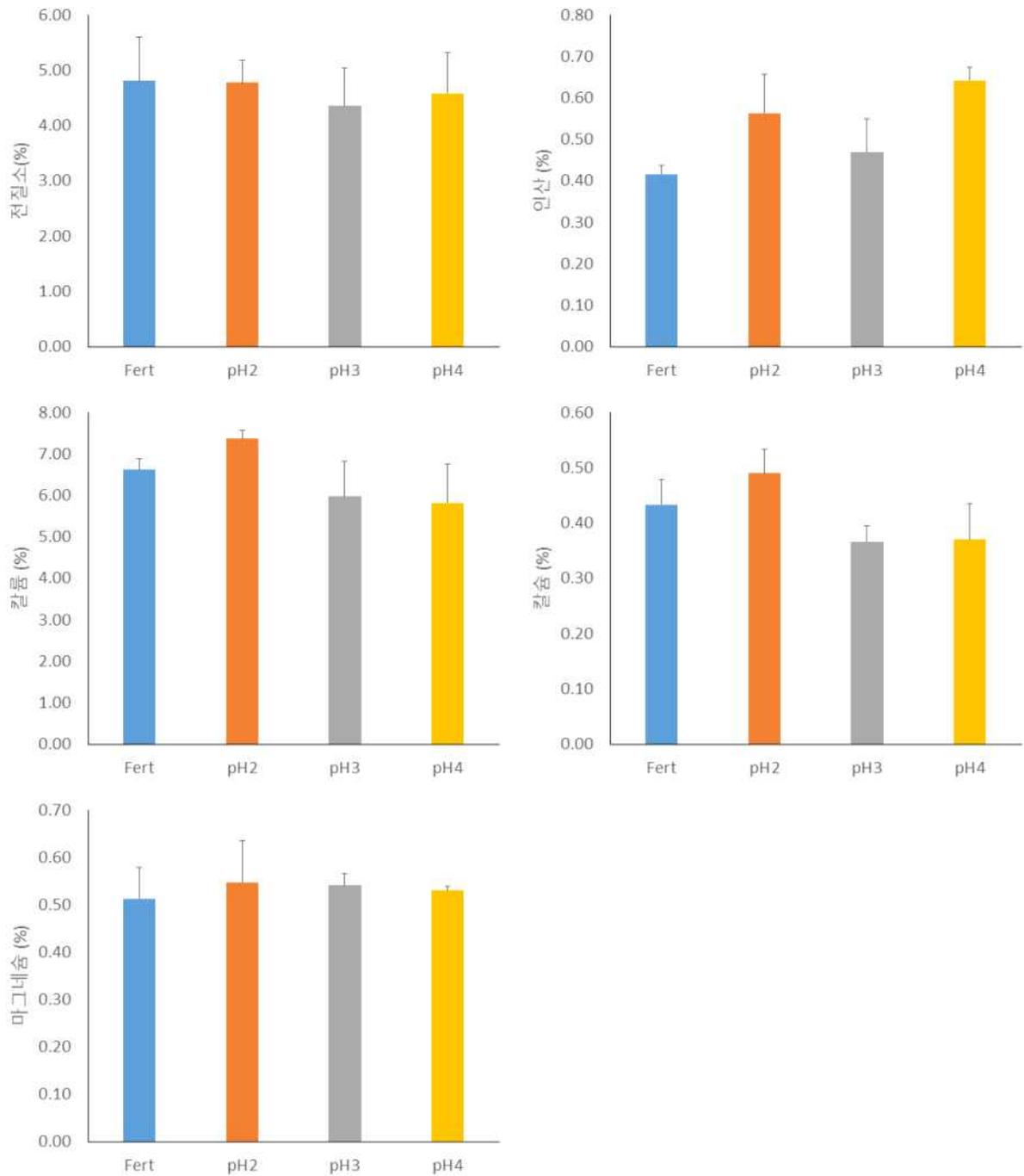


그림 99. 플라즈마 활성화수 처리에 따른 적상추의 주요 양분 함유량

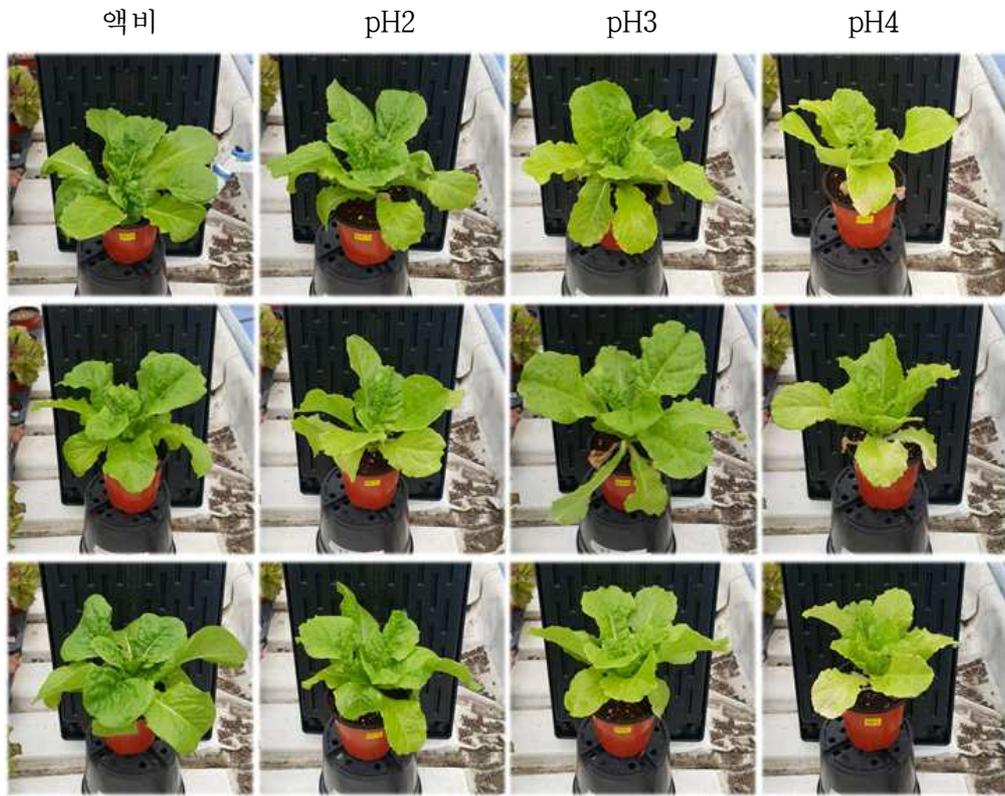


그림 100. 플라즈마 활성화수 처리에 따른 청상추 생육 비교

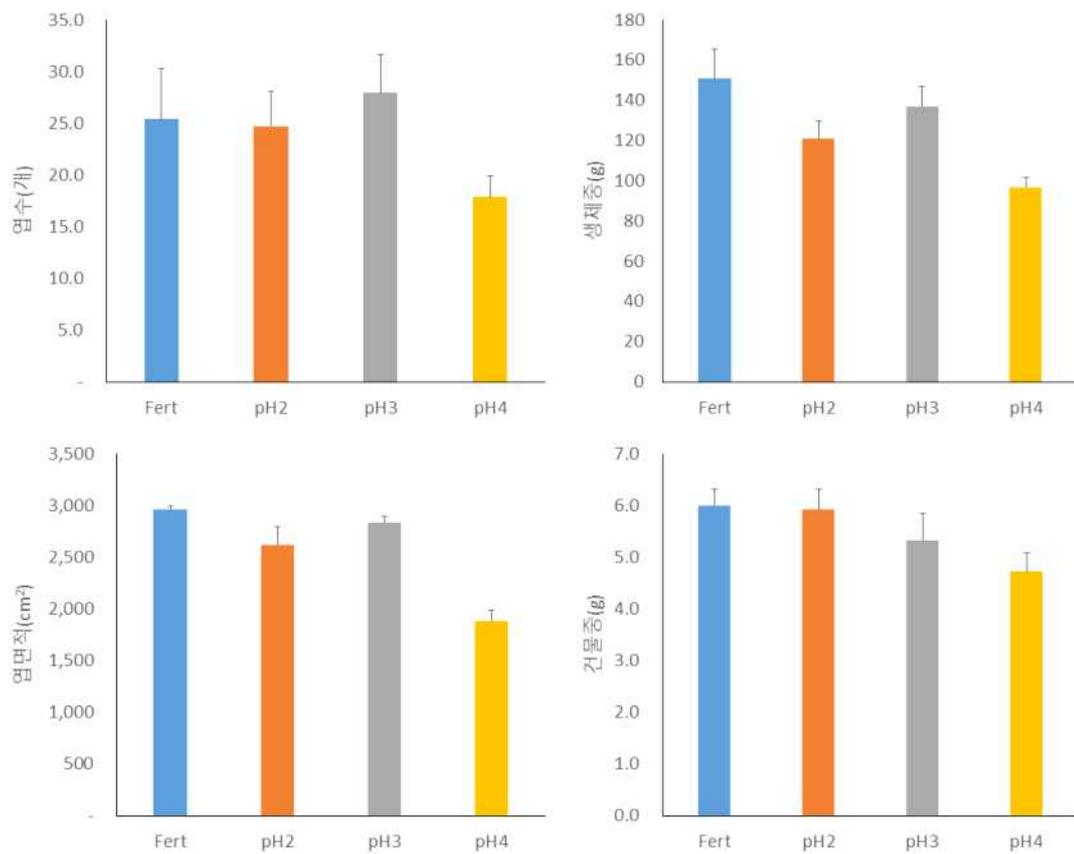


그림 101. 플라즈마 활성화수 처리에 따른 청상추의 성장량

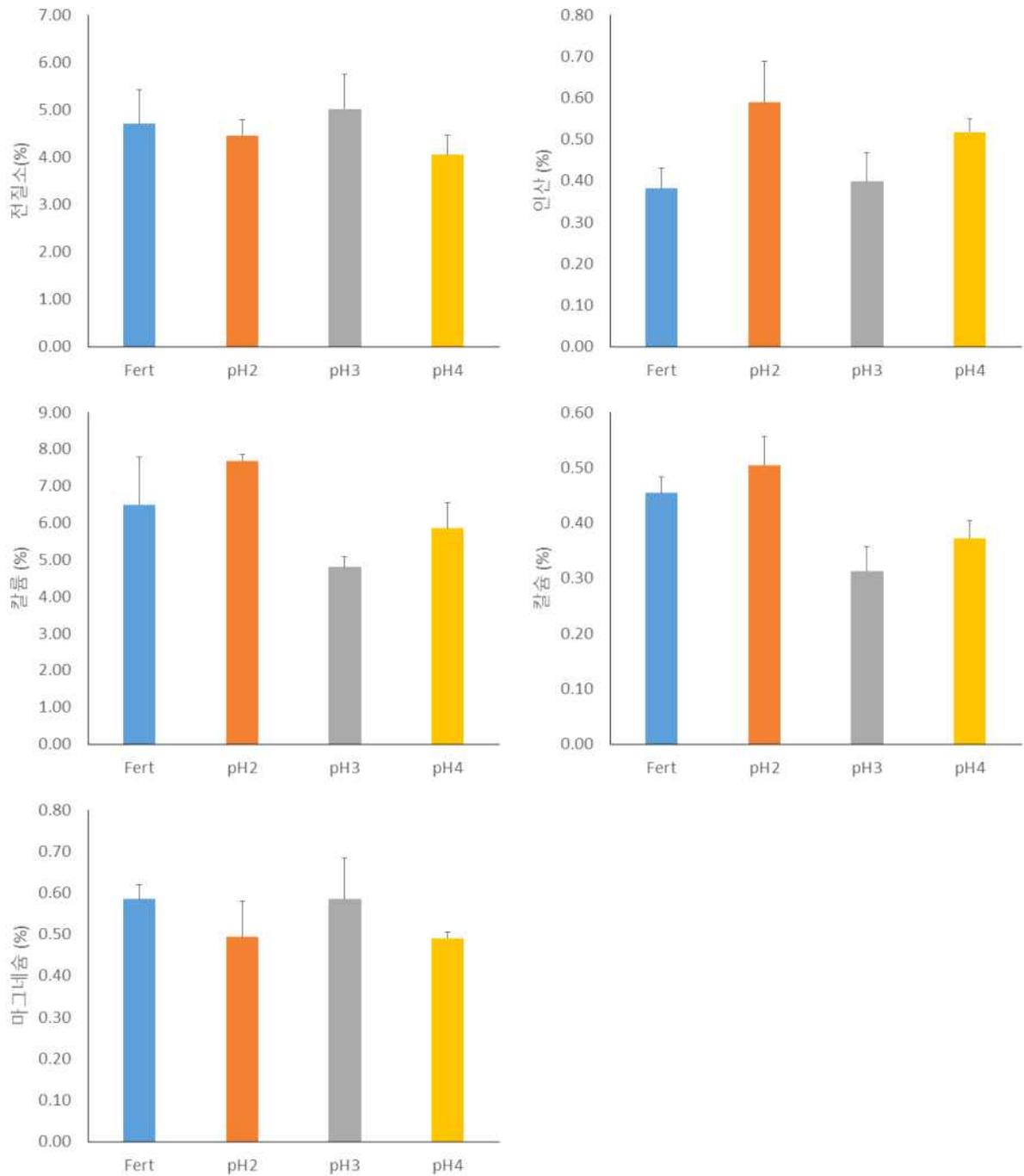


그림 102. 플라즈마 활성화수 처리에 따른 청상추의 무기양분 함량

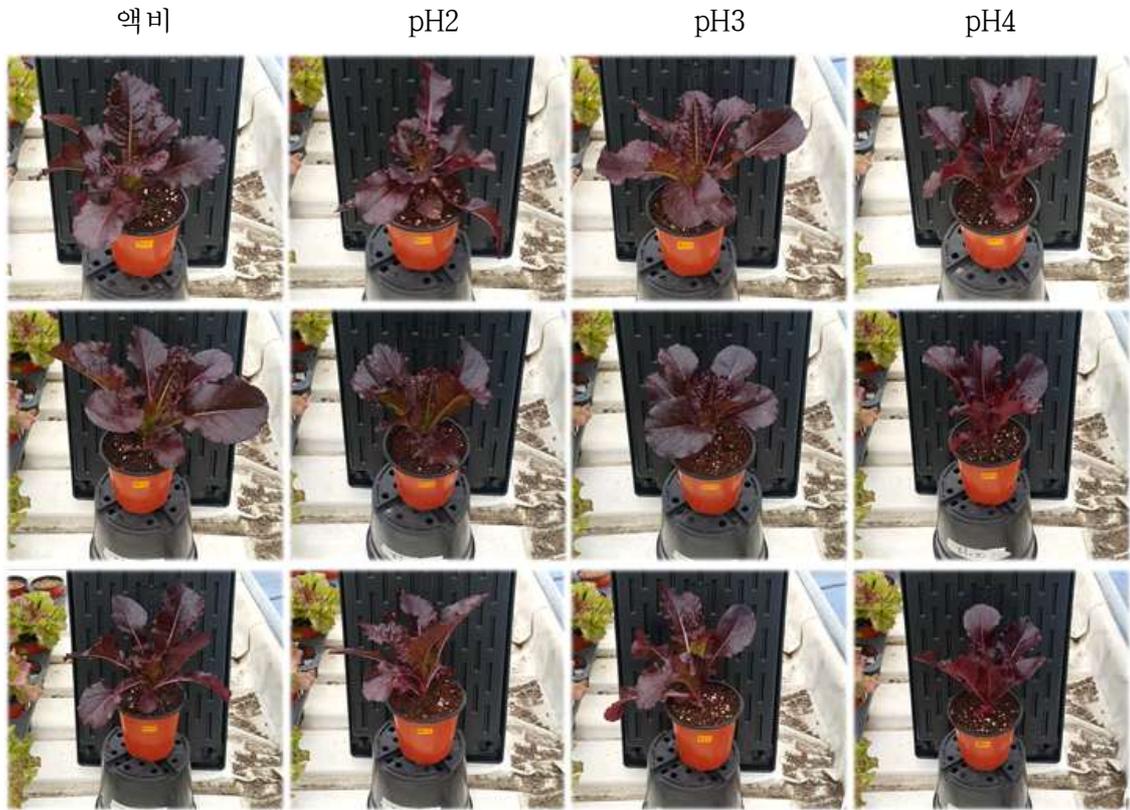


그림 103. 플라즈마 활성화수 처리에 따른 적로메인 생육 비교

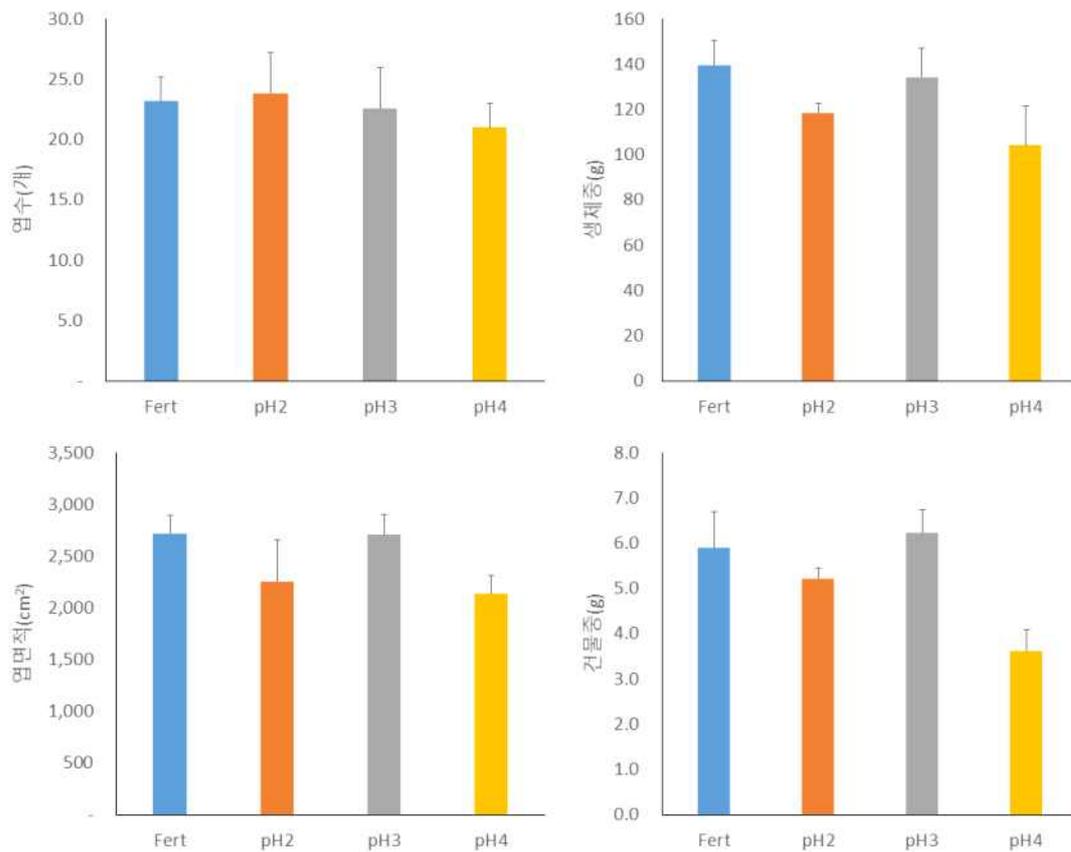


그림 104. 플라즈마 활성화수 처리에 따른 적로메인의 성장량

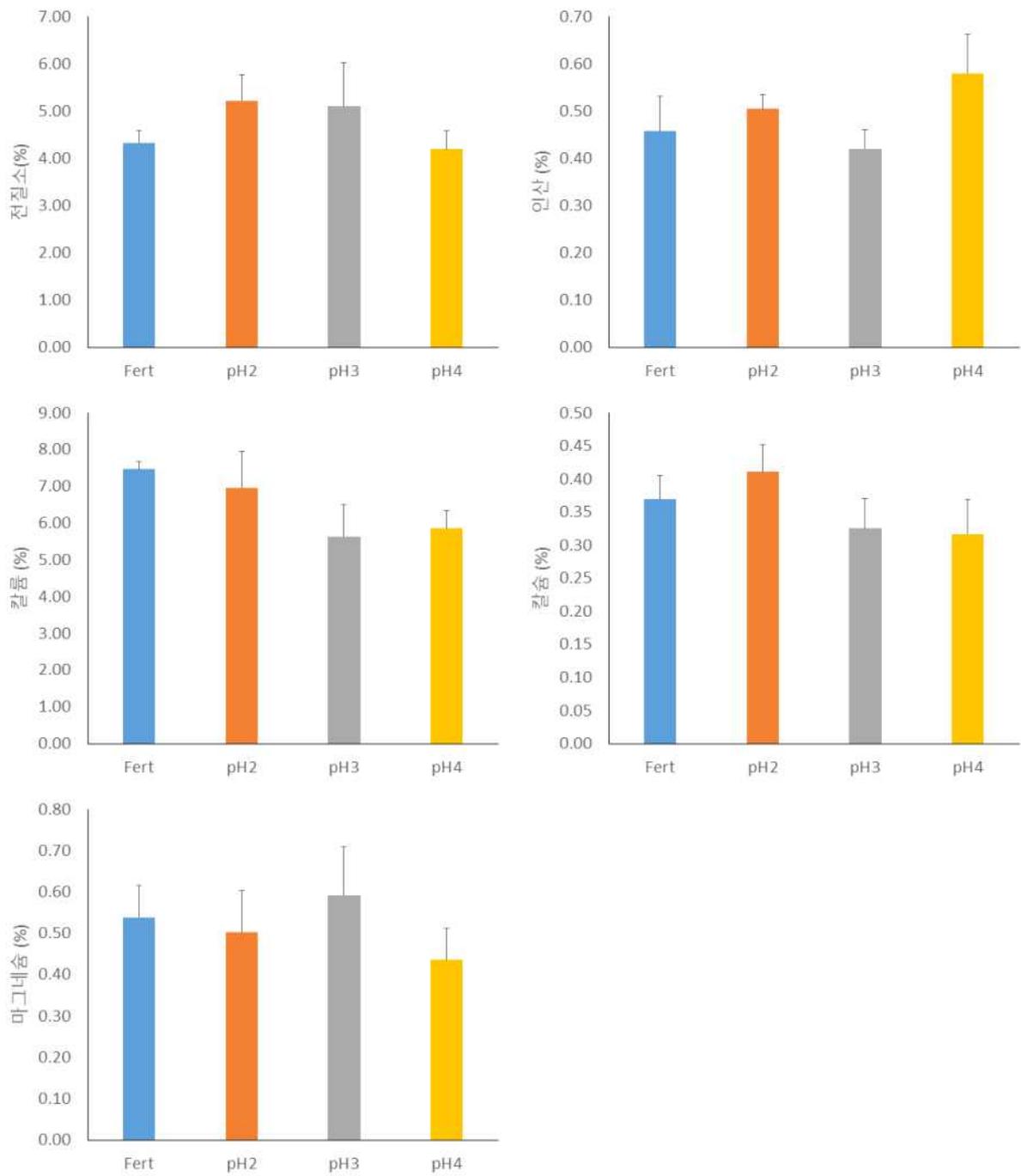


그림 105. 플라즈마 활성화수 처리에 따른 적로메인의 무기양분 함량

㉔ 스트레스 특성 분석

최대양자수율(Optimal Quantum Yield or Maximum Quantum Yield ; Fv/Fm)을 측정된 결과 통계적 유의성은 나타나지 않았지만 산도가 낮은 처리구에서 측정값이 높은 경향이 나타났다(표 15. 이는 pH 2 활성수를 처리하였을 때 광합성효율이 증가하여 생육을 증진시킬 수 있는 것으로 판단된다.

표 15. 플라즈마 활성수 처리에 따른 상추의 최대양자수율(Fv/Fm)값

Treatment	Fertilizer	pH2	pH3	pH4
Fv/Fm	0.714 ±0.029	0.729 ±0.030	0.710 ±0.039	0.720 ±0.026

(다). 배양액의 수중 플라즈마 처리를 통한 양액 변화 분석

㉕ 플라즈마 처리에 따른 배양액 내 물리화학적 변화 효과

수중방전 플라즈마 기술을 순환식 양액재배 시스템에 적용할 수 있는지를 판단하기 위해 기존 양액에 수중방전을 통한 살균 및 성분변화를 조사하였다.

㉕-1 연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)

수중 플라즈마 처리에 따른 배양액 내 이온, 전기전도도(EC)와 산도(pH) 변화 분석하기 위해 기본 배양액, 플라즈마 처리 배양액과 혼합(1:1) 양액을 사용하여 비교하였다.

㉕-2 구체적인 내용

양액 재사용을 위해서는 고농도 배액의 회석과 살균처리가 필수적이다. 플라즈마를 이용한 살균은 고전압으로 용액 내 이온의 변화를 야기하고 이 변화는 식물생육에 영향을 미친다. 실험은 표준 양액으로 하여 EC 2.0 ds · m<sup>-1</sup>, pH 6.0 으로 제조하였고 플라즈마 처리장치는 수중 플라즈마 처리장치로 이는 슬라이닥스를 통해 교류전원을 직류로 변환하여 수중에 직접 방전시켜 플라즈마화 시킨다(그림 106).

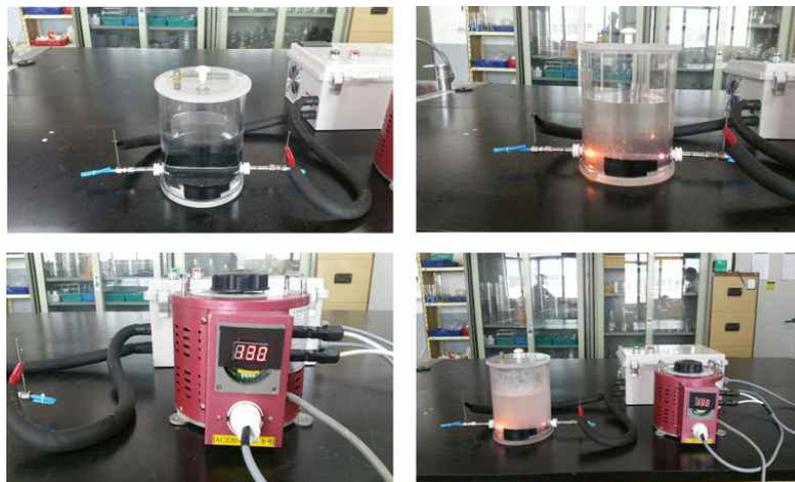


그림 106. 수중플라즈마 장치 슬라이닥스와 직류전환장치

제조한 배양액을 대조구로 하여 플라즈마는 AC 135V에서 6분 30초간 처리하였으며 이는 장치에서 처리 가능한 최대시간이었다. 처리 후 처리양액, 배양액과 처리양액을 1:1 비율로 섞은 혼합양액과 대조구를 비교하였다.

양액 내 양이온은 유도결합플라즈마 원자방출분광기(ICP-720 AES, Agilent Technologies, USA)를 통해, 음이온은 이온 크로마토그래프(IC DX-600, DIONEX, USA)로 분석하였고 전기전도도와 산도는 각각 EC meter(Inlab 738, METTLER TOLEDO, Switzerland), pH meter(SG-23, METTLER TOLEDO, Switzerland)로 측정하였다.

### ㉑-3 연구결과

플라즈마 처리에 따라 양이온과 음이온 모두 감소하는 경향을 보였다 (그림 107). Na 농도는 처리에 따라 변화를 보이지 않았다 (그림 108). 혼합양액의 경우 PO<sub>4</sub>-이온을 제외하고 모든 이온이 1:1비율로 혼합되었다 (그림 109). 플라즈마 처리에 따라 pH는 감소하고 EC는 증가하는 경향을 보였다 (그림 110). Na 농도 변화가 없었던 것은 초기 농도가 낮아 플라즈마 처리에 의한 농도변화가 적었던 것으로 판단된다. 식물생육에 필수원소로 작용하는 대부분의 이온이 플라즈마에 의해 유효농도 이하로 감소하는 결과로 보아 순환식 양액재배에서 수중 플라즈마 장치를 이용하기 위해서는 처리 후 따로 보정이 필요할 것으로 사료된다. 플라즈마 처리에 의해 pH 감소는 식물의 양분이용도를 감소시키고 증가한 EC에 비해 이온 농도가 줄어든 것으로 보아 플라즈마 효과가 이온을 새로운 형태로 결합시킨 것으로 추정된다.

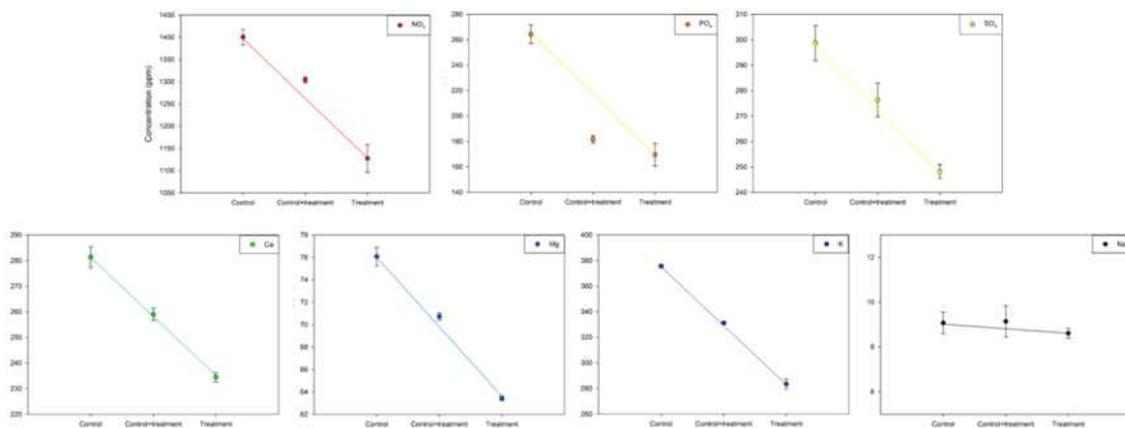


그림 107. 처리에 따른 배양액 내 이온 농도의 변화

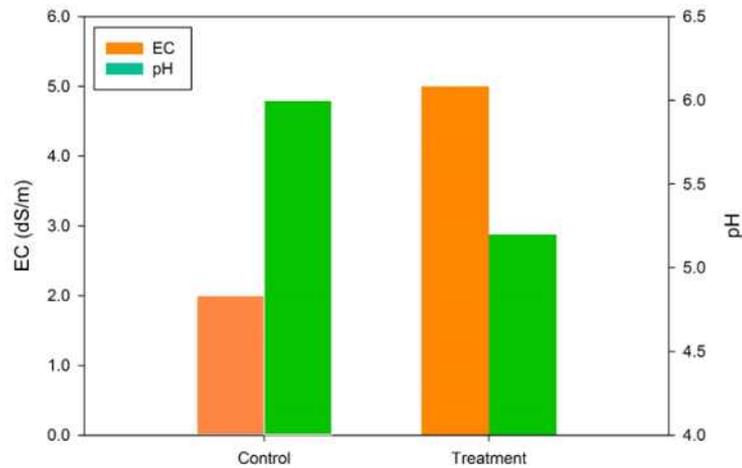


그림 108. 플라즈마 처리 후 전기전도도와 산도의 변화

㉠ 출력 전압에 따른 플라즈마 처리에 따른 양액 내 이온변화 효과

㉠-1 연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)

각기 다른 전압에 의한 수중 플라즈마 처리에서 배양액 내 이온변화를 분석하고, 수중 플라즈마 처리에서 각기 다른 전압과 전류에 따른 소비전력을 비교하였다.

㉠-2 구체적인 내용

배양액은 표준양액으로 하여 전기전도도(EC) 2.0 ds/m-1, 산도(pH) 6.0 으로 맞춘 것을 대조구로 하여 실험을 진행하였다. 처리는 10 - 130V 로 각 20V 간격으로 설정하였고 수중 플라즈마 처리 중 전압(V)과 전류(I)를 측정하여 이를 통해 소비전력(W)을 측정하였다. 대조구와 처리양액은 이온분석을 통해  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Ca}_2^+$ , Mg, K, Na 이온을 분석하였다. 소비전력 분석은 전압과 전류의 곱으로 계산하였다. 양액 내 이온은 유도결합플라즈마 원자방출분광기(ICP-720 AES, Agilent Technologies, USA)와 이온 크로마토그래프(IC DX-600, DIONEX, USA)로 분석하였다. 통계적 분석은 통계프로그램(SAS Institute, Cary, NC, USA)로 유의성을 검증하였다.

㉠-3 연구결과

각각 다른 전압에 의한 수중 플라즈마 처리 시 110V이하 전압에서는 수중 플라즈마 장치 가동 후 전류가 일정하게 유지되는 것을 확인 하였으며, 130V이상 전압에서는 전류량이 시간에 따라 증가하는 경향을 보였다 (그림 109). 누적 소비전

력은 110V이하 처리 시 선형적인 경향을 보였으나 130V 이상 전압에서는 지수적인 경향을 보였다 (그림 109). 수중 플라즈마 처리에 따라 대부분의 이온들은 처리 정도에 따라 통계적 유의성은 보이지 않았으나 대체로 감소하는 경향을 보였다 (그림 110). 130V 이상 전압을 인가할 때 지속적으로 전류가 증가하는 것으로 미루어 볼 때 배양액 내 물질의 변화가 전류의 흐름을 촉진한 것으로 판단된다. 각기 다른 전압에 따라 대조구 보다 이온이 감소하는 것으로 보아 플라즈마 처리 시 이온 변화는 전압에 관계없이 나타나는 것으로 판단된다. 이는 원자가 이온형태가 아닌 화합물형태로 바뀌어 식물이 이용할 수 없는 형태로 변화하는 것으로 수중 플라즈마를 순환식 재배에서 소독을 위한 처리로 부적합하다고 판단된다.

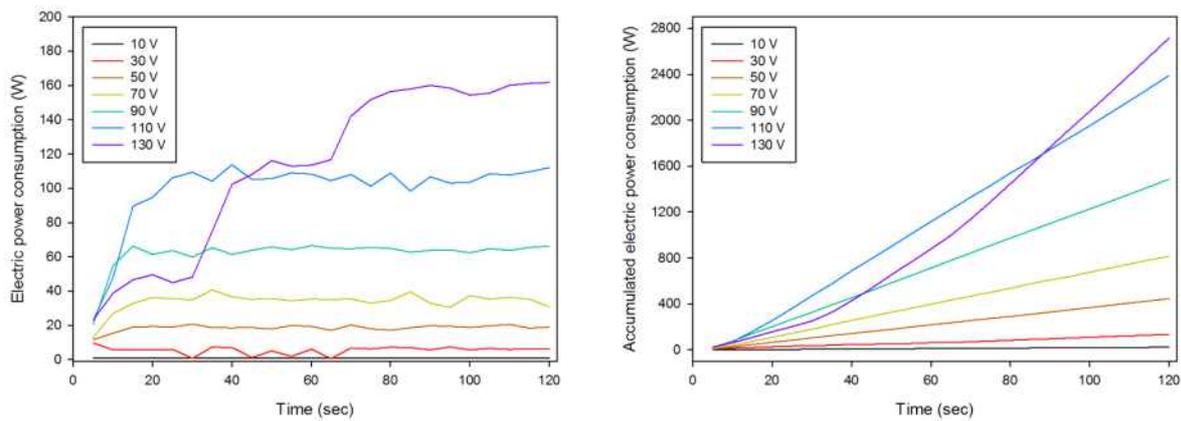


그림 109. 각기 다른 전압에 따른 전력소비량(왼쪽)과 누적전력소비량(오른쪽)

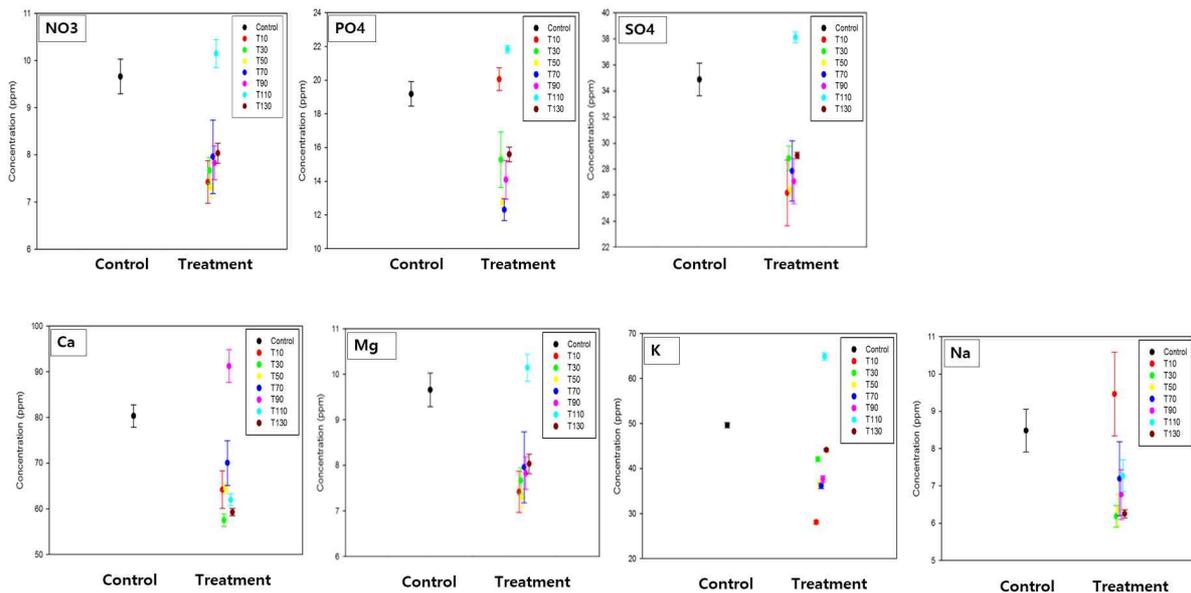


그림 110. 처리에 따른 배양액 내 이온변화 분석

(라). 생리조직학적 변화 관찰

①. 연구수행방법

마이크로웨이브플라즈마 방전으로 조성한 활성수가 산도가 낮은 특성이 있어 이를 두상관수하였을 때 상추 표피세포에 영향이 있는지 관찰하였다.

②. 구체적인 내용

실험재료는 적측면 상추의 표피세포를 처리구(대조구, pH2, pH3, pH4)별로 현미경(SteREO Discovery.V12, Carl Zeiss, Germany)을 이용하여 관찰하였다.

③. 연구결과

낮은 산도의 활성수를 처리하였음에도 불구하고 표피세포의 변화는 관찰되지 않았다(그림 111).

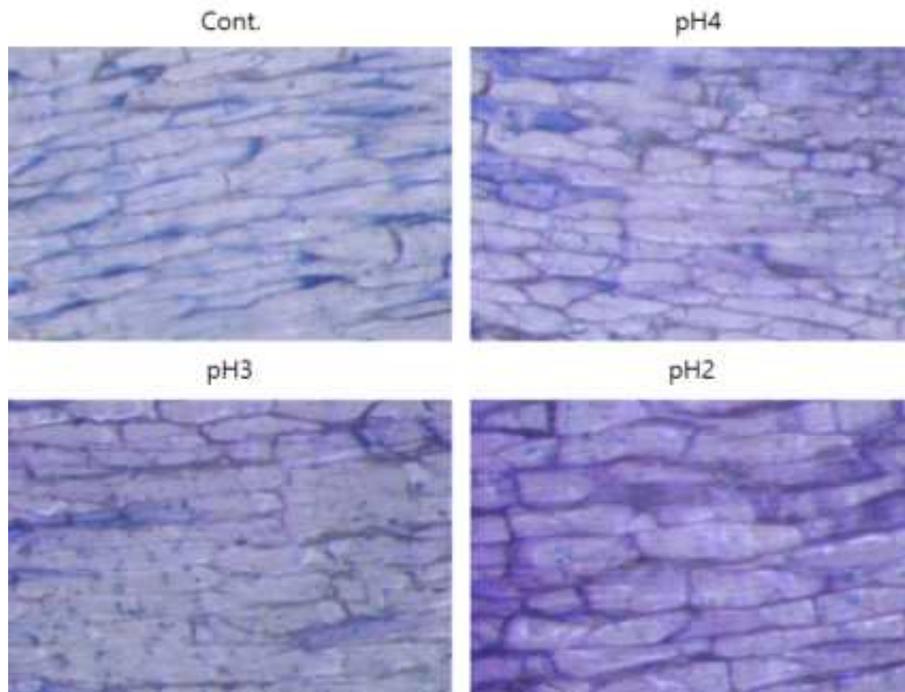


그림 111. 플라즈마 활성수 처리에 따른 상추 표피세포 관찰

(3). 엽채류 재배용 플라즈마 활성수 제조 기술 개발

(가). 엽채류 재배용 적정 플라즈마 활성수 처리 조건 확립

본 연구에서 개발한 활성 질소종 발생 플라즈마 방식은 Gliding arc 방식으로 노즐 뒤쪽에서 에어가 주입되면서 전압이 안가되면 가운데 콘 형태의 전극과 바깥을 둘러싸고 있는 다른 전극사이의 전압차에 의해서 플라즈마가 발생하는 원리를 이용하였다. Gliding arc의 경우 Microwave power와 같이 비싼 전원 공급 장치가 필요 없이 상용 전압 조절기와 상용 고전압 트랜스포머만으로 플라

즈마 발생이 가능하여 시설비가 저렴한 장점이 있다. 주파수에 따른 특성을 비교한 결과, 가정용 전원인 60 Hz를 사용하였을 때는 플라즈마가 안정적으로 발생되었다(그림 112).

15분 방전시 100ppm 정도의 질산화물 활성수가 제조되어 마이크로플라즈마 방전 장치의 대용이 가능함을 확인하였고 방전시간이 증가할수록 산도가 내려가는 것을 확인하였다(그림 113).

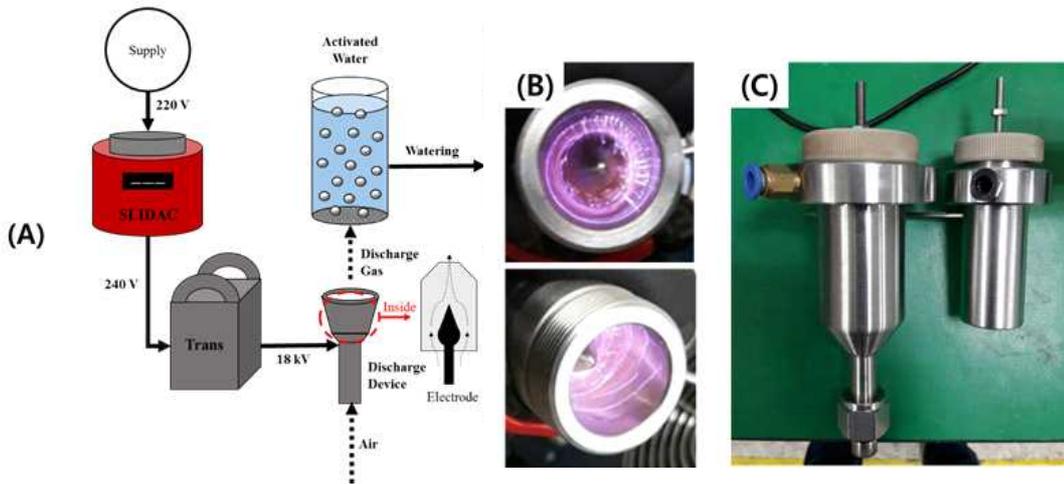


그림 112. Gliding arc 방전 장치 모식도

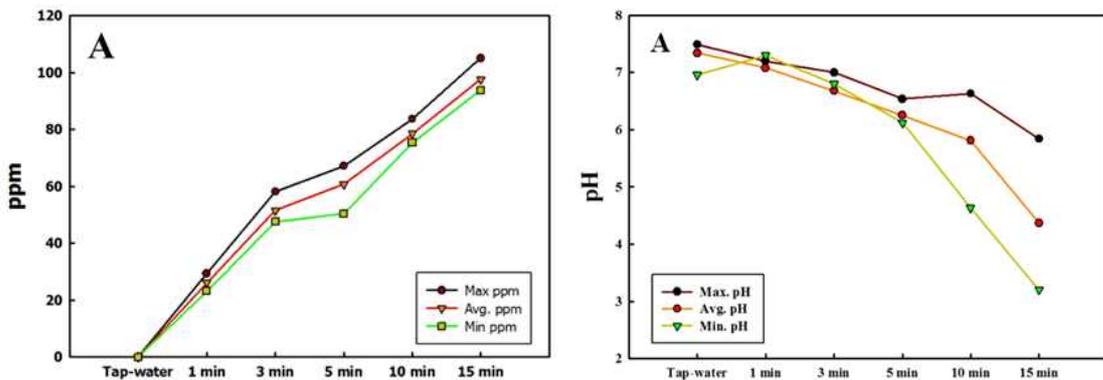


그림 113. Gliding arc 방전에 따른 활성수의 질산염농도와 산도 변화

#### (4). 엽채류 재배용 플라즈마 활성수 활용 가이드라인 제시

종자산업법 시행령의 의거하여 육묘장을 운영하기 위해서는 환경조절시결과 함께 자동관수시설이 의무적으로 설치가 되어야 한다. 육묘재배를 함에 있어서 일조가 좋지 않은 날은 관수를 삼가 하여 약간 건조한 상태로 관리하고 육묘 상에 수분 함량이 많으면 옷자라기도 하고 잘록병 역병 등 병발생의 원인이 되므로 수분관리에 철저히 해야 한다. 또한 심는 시기가 가까워질 무렵 비료가 부족해지는 현상이 나타나면 요소액비(0.3%)를 주고, 이보다 빨리 비료 성분이

떨어지면 4중 복비 등을 2~3일에 한번 관수를 하게 된다. 이러한 수분 및 시비 관리 과정에 Gliding arc 장치를 이용해 100ppm 질산태질소를 함유한 질산화물 활성수를 적용하면 미생물의 생육을 억제하고 유묘의 성장을 촉진하여 쉽고 경제적인 시스템을 구축할 수 있을 것으로 판단된다.



그림 114. 육묘장 자동관수 시스템

#### 나. 수중 플라즈마를 이용한 새싹채소 및 어린잎채소 재배 시스템 개발

##### (1). 연구목적

플라즈마 방전 기술은 살균력을 가지는 산화수(과산화수소)나 질산화물 활성수를 생성하는 기술로 새싹채소재배시 안전한 생산을 위한 살균력이 있는 재배용수로 적용할 수 있는지 확인해 보았다.

##### (2). 새싹채소 종자 발아력 향상을 위한 플라즈마 활성수 처리 조건 규명

###### (가). 종자 발아력 검정 및 미생물 발생도 조사

###### ①. 연구수행방법

마이크로웨이브플라즈마 활성수 처리구와 수중 플라즈마 방전 활성수 두 종류의 활성수의 특성을 조사하여 새싹채소 재배용으로 적합한지 판단을 해보았다. 그리고 살균력을 확인하기 위하여 무순 시료 1g을 정량한 후 멸균생리식염수 190mL에 담아 Homogenizer(HG-15A, Daihan Scientific Inc, Korea)를 이용하여 저속으로 2분간 균질화하였다. 균질화된 각각의 시험용액 1 mL를 10배 희석법에 따라 희석하였다. 일반세균수와 대장균군수는 시험용액 1 mL와 각 10배 단계 희석액 1 mL씩을 Aerobic Count Plate Petrifilm과 Coliform Count plate Petrifilm TM (3M, St. Paul, MN, USA)에 각각 접종한 후  $36\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 24-48시간 배양한 후 생성된 붉은 집락을 일반세균과 대장균군수로 계산하여 그 평균집락수에 희석배수를 곱하여 산출하였다. 유해성균인 살모넬라 (*Salmonella* spp.)균의 발생량을 조사하기 위해 Salmonella Shigella agar배지에 희석액을 접종한 후  $36\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 48시간 배양하였다.

## ②. 구체적인 내용

실험재료로는 무, 콜라비, 클로버, 브로콜리 종자를 이용하였다. 새싹채소 재배구에 멸균처리된 와이프올 (유한킴벌리, 한국)을 깔고 종자를 무는 50립, 콜라비와, 클로버, 브로콜리는 100립씩 치상한 후, 매일 수돗물과 pH 2, 3, 4로 조성된 마이크로웨이브플라즈마 활성화수와 과산화수소 농도 500, 1,000, 2,000  $\mu$ M로 조정된 산화수를 10ml씩 주면서 새싹채소 생육상태를 조사하였다(그림 115).

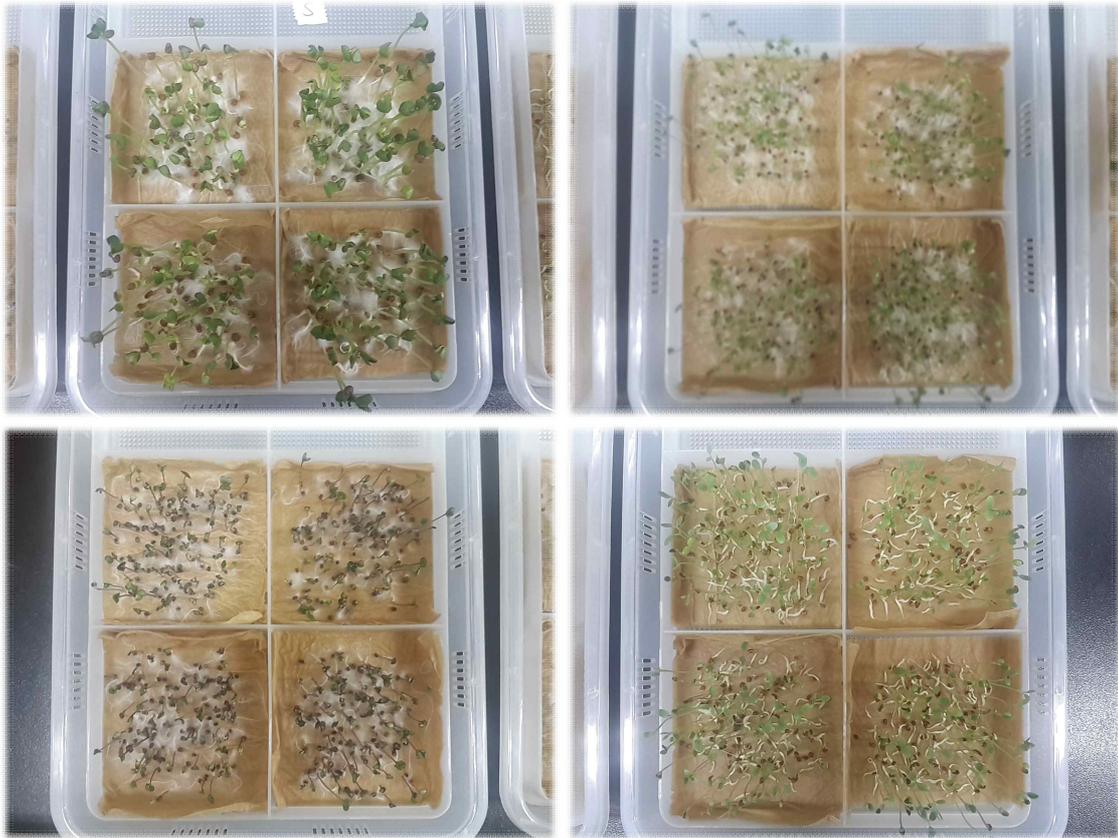


그림 115. 새싹채소 생육 사진 (상좌: 무, 상우: 브로콜리, 하좌: 콜라비, 하우: 클로버)

## ③. 연구결과

마이크로웨이브플라즈마 활성화수 및 수중 플라즈마 활성화수 처리에 따른 브로콜리와, 클로버, 콜라비와 같은 새싹채소의 생육량 변화는 대조구와 비교시 뚜렷하게 나타나지 않았으나, 무의 경우 질산화물 활성화수 pH 2, 3처리구에서 약간 증가하는 한 경향이 나타났다. 하지만 재배 후 1차 세척 후에도 질산태질소가 약간 검출되어 질산화물 활성화수보다는 수중 플라즈마 방전을 통한 산화수를 이용하는 것이 적합한 것으로 판단하였다(표 16).

표 16. 새싹채소류의 생체중과 건물중, 생체중과 건물중비

Treatment	Broccoli			Clover			Kohlrabi			Radish		
	FW <sup>z</sup> (g)	DW <sup>y</sup> (g)	DW/FW (%)	FW (g)	DW (g)	DW/FW (%)	FW (g)	DW (g)	DW/FW (%)	FW (g)	DW (g)	DW/FW (%)
pH2	2.48	0.14	5.65	2.50	0.13	5.20	1.91	0.13	6.81	3.68	0.45	12.23
pH3	2.98	0.16	5.37	2.10	0.12	5.71	1.87	0.13	6.95	3.38	0.42	12.43
pH4	3.53	0.20	5.67	2.14	0.12	5.61	1.87	0.12	6.42	3.03	0.32	10.56
0.5H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2.57	0.15	5.84	2.48	0.14	5.65	2.01	0.12	5.97	3.87	0.44	11.37
1.0H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2.81	0.15	5.34	2.61	0.14	5.36	1.97	0.12	6.09	3.83	0.46	12.01
2.0H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2.53	0.14	5.53	2.34	0.13	5.56	1.93	0.14	7.25	3.88	0.48	12.37
Control	3.02	0.18	5.96	2.40	0.14	5.83	1.80	0.12	6.67	3.53	0.37	10.48
<i>F</i> -test (p>0.05)	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	*	*

<sup>z</sup> 생체중 평균값 (fresh weight)

<sup>y</sup> 건물중 평균값 (dry weight)

미생물 오염에 의한 병발생은 무 새싹을 제외하고는 발생하지 않았다(그림 116). 병은 무 새싹처리구중 대조구에서 발생하였으며, 다른 처리구에서는 병이 발생하지 않았다.



그림 116. 무순 기부에 병이 발생한 모습

과산화수소 산화수로 재배한 무순을 수확하여 미생물 오염상태를 확인해 본 결과 일반세균은 과산화수소 2.0mM 처리구에서 약 2 log정도 감소된 것을 확인할 수 있었다. 대장균군도 약 1 log정도 감소한 것으로 조사되었고 살모넬라균은 검출되지 않았다(표 17).

표 17. 수확 후 무순의 일반세균과 대장균군, 살모넬라균 밀도

처리 (mM H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	일반세균 (log <sub>10</sub> CFU/g)	대장균군 (log <sub>10</sub> CFU/g)	살모넬라( <i>Salmonella</i> spp.) (log <sub>10</sub> CFU/g)
0	5.27 ± 0.37 a <sup>z</sup>	2.35 ± 0.15 a	비검출
0.5	3.78 ± 0.27 b	2.26 ± 0.32 b	비검출
1.0	3.88 ± 0.50 b	1.65 ± 0.11 c	비검출
2.0	2.94 ± 0.43 c	1.30 ± 0.18 d	비검출

<sup>z</sup>Means within each column followed by different small letters are significantly different (P<0.05).

(3). 새싹채소 재배용 플라즈마 활성화수 세척 기술 개발

본 과제를 통해 개발된 모세관 전극(Capillary electrode)을 사용하여 일반적으로 사용하는 220V의 전압에 연결하여 인가전압을 전압조정기를 사용해 조정하면서 방전을 하면 OH radical이 생성되어 과산화수소가 발생된 플라즈마 활성화수(산화수)의 생산이 가능하다. 본 실험장치에서는 과산화수소의 농도가 2.0mM인 산화수 3L를 제조하는데 전압조정기를 120V로 맞추어 인가전압을 1.2kV로 조정하고 23분간 방전시간을 하면 제조되었다. 이렇게 생성된 방전수의 특성을 보면, 냄새가 나지 않으며, 플라즈마 활성화수의 pH와 EC의 변화가 나타나지 않았다. 또한 생성된 과산화수소의 농도가 한 달 이상 유지되었다. ORP값은 방전 후 음의 값을 나타냈는데, 이는 수돗물에 함유되어 있는 칼슘과 나트륨이 플라즈마 발생시 음극쪽으로 이온들이 모이게 되면서 나타나는 것으로 판단하였다. 또한 방전하는 방전시간이 길어지면 일정시간 후에는 오히려 과산화수소의 농도가 감소하기 때문에 적절한 방전시간을 유지하는 것이 필요하다.

(4). 새싹채소 재배에 적용 가능한 플라즈마 활성화수 이용 가이드라인 제시

(가). 새싹채소 재배 적용방안

일반적인 새싹채소 생산공정은 다음과 같다(그림 117).



그림 117. 새싹채소 생산공정 예

오존수는 살균효과가 뛰어나고 광범위한 pH에서 적용이 가능해 사용이 증가하였지만 오존가스의 발생으로 새싹채소 생산에는 적합하지 않은 것으로 판단되어, 본 과제에서 개발된 플라즈마 산화수 제조장치를 적용하면 기존 관수설비에 전극을 연결하는 것만으로 새싹채소 생산용 산화수를 제조할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 특히 방전시간을 조절하여 각 과정별 과산화수소 요구도에 맞는 산화수 제조가 가능할 것으로 판단되며, 2,000  $\mu$ M의 과산화수소 산화수를 이용하면 재배과정에서 증가하는 미생물의 양도 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

### 3. 원예산업 적용을 위한 플라즈마 활성수 제조장치 개발 및 성능평가

#### 가. 플라즈마 활성수(산화수) 제조기술 및 발생장치 개발

##### (1). 연구목적

현재 원예식품이나 육가공식품의 세척 및 살균을 하기 위해서 기존의 오존수나 전해수에 의한 방식이 개발되어 이용되고 있다. 그러나, 오존수의 경우 처리하고 남은 잔류 오존을 제거하지 못하고 방치함으로써 식물과 인체에 피해를 줄 수 있고, 전해수 장치의 경우 전극 카트리지가 필터에 여러 가지 이물질이 삽입되어 장치의 오작동을 일으키고 물순환이 원활하지 않은 등의 구조적 결함을 지니고 있다. 이에 반해 플라즈마 방식 장치는 물과 직접 접촉되는 전극촉매를 사용하지 않기 때문에 이물질에 의한 오작동이 발생하지 않고 플라즈마에 의해 OH radical을 포함한 활성수를 생성한다.

물에 대한 고압방전 처리는 오존, 과산화수소, radicals(OH<sup>·</sup>, H<sup>·</sup>), 자외선 생성에 의한 살균 등의 효과를 얻을 수 있고 오존발생기보다 효과적이며 경제적인 것으로 알려져 있어, 방전처리로 만들어지는 활성 라디칼들은 탈색, 탈취, 살균 등에 이용될 수 있다고 제시되고 있다.

특히 수중에서 직접 방전시키는 기술은 활성 라디칼과 물의 접촉을 최대화하여 플라즈마 방전효과를 높이기 위한 방안으로 상용화 수준의 수중 플라즈마 방식의 활성수 제조장치를 개발하면, 원예산물의 세척뿐만 아니라 종자의 소독, 육묘장의 접목묘 소독 등 다양하게 활용할 수 있는 가능성이 높은 새로운 개념의 기술로 확장해 나갈 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 본 연구진은 수중 플라즈마 방전기술을 이용한 활성수의 농업적 적용을 위해 OH radical을 생성하여 산화력을 갖는 산화수를 제조하는 기술을 개발하고 원예산업 분야별 목적에 맞도록 장치를 개선하고자 한다.

##### (2). 수중 플라즈마 방전 전극 개발(산화수 제조기술)

###### (가). 수중 플라즈마를 이용한 활성수 특성 분석

수중 방전 과정에서 물을 이용하여 플라즈마를 생성하기 때문에 물의 구성 원소인 수소와 산소와 관련된 활성종들이 발생하게 된다(표 18).

표 18. 수중방전 후 물속에 발생하는 수소, 산소와 관련된 활성종

구 분	화 학 식
Dissociation (해리)	$H_2O + e \rightarrow OH^\bullet + H^\bullet + e$
Ionization (이온화)	$H_2O + e \rightarrow 2e + H_2O^+$
	$H_2O + H_2O \rightarrow OH^\bullet + H_3O^+$
Vibrational / Rotational (진동 / 회전)	$H_2O^* + H_2O \rightarrow H_2O + H^\bullet + OH^\bullet$
	$H_2O^* + H_2O \rightarrow H_2 + O^\bullet + H_2O$
	$H_2O^* + H_2O \rightarrow 2H^\bullet + O^\bullet + H_2O$

본 연구에서 사용한 수중방전 전극은 저전압 방전을 위하여 가스를 주입하는 구조로 개발하였으며, 이러한 구조적 특성으로 주입 가스에 의해서 액체 안에 생성되는 활성종들의 종류가 달라질 수 있게 하였다.

(나). 수중 플라즈마 전극의 구조

본 연구에서는 가스 채널을 포함한 모세관 전극(Capillary electrode)을 사용하였다. 전극의 재질은 텅스텐으로 되어 있으며 직경이 6.4 $\phi$  이고 가스 주입을 위하여 가운데 약 1 $\phi$ 의 가스 채널을 조성하였다. 절연을 위하여 석영 튜브로 겉을 감싸 절연하였으며 쿼트튜브와 텅스텐 봉 사이의 모세관에서 수중 플라즈마가 발생하는 원리로 개발하였다(그림 118, 119).



그림 118. 가스 채널을 포함한 모세관 전극의 사진

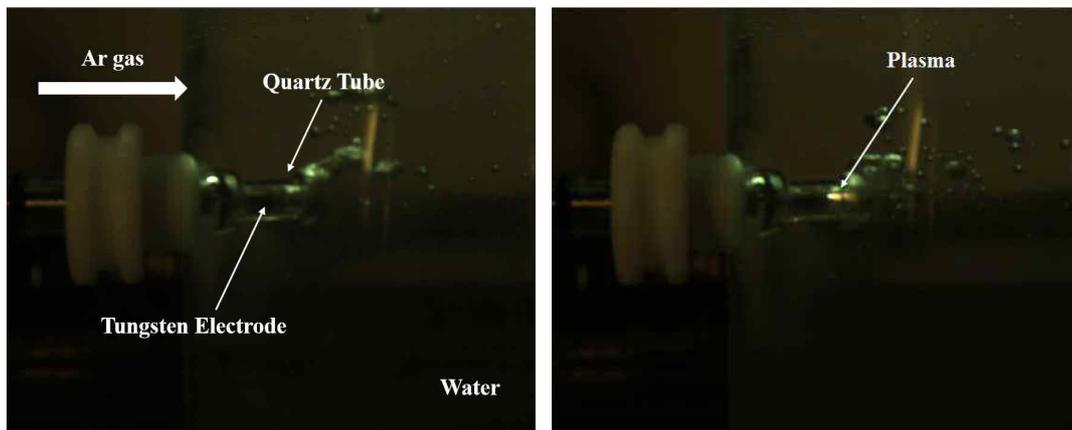


그림 119. 가스 주입에 따른 플라즈마 발생 사진, (좌) 아르곤 가스에 의한 버블 생성, (우) 버블 생성후 플라즈마 방전

가스에 따라서 어떠한 활성종들이 발생되는지 확인하기 위하여 수중 플라즈마의 광학적 특성을 분석하고 물 안에 생성된 활성종을 측정하였다.

(다). 수중 플라즈마의 광학적 특성 분석

수중 플라즈마의 광학적 특성을 분석하기 위하여 일반적으로 사용되는 분광기(Optical Emission Spectroscopy)를 이용하여 280~920 nm 영역의 분광을 측정하였다.

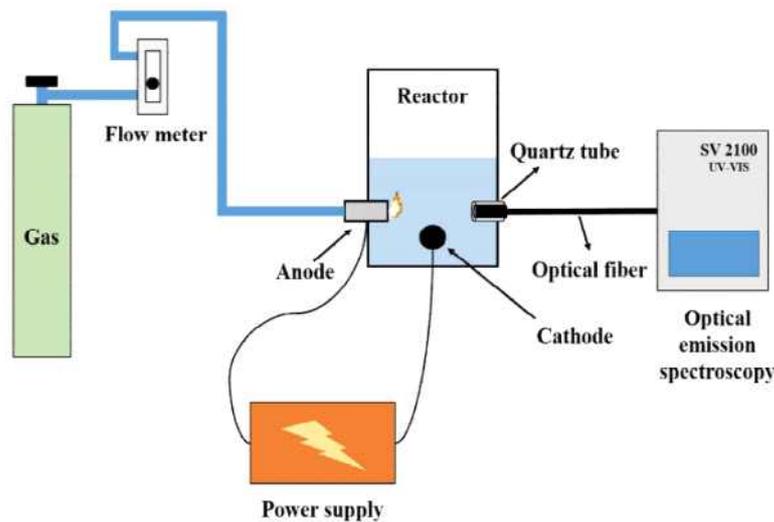


그림 120. 수중 플라즈마의 광학적 특성분석을 위한 실험 장치도

가스를 사용하지 않았을 때 아르곤, 헬륨, 질소, 에어를 사용하여 수중방전을 발생시키면서 생성되는 빛의 스펙트럼을 분석한 결과 모든 조건에서 OH radical(309nm),  $H\alpha$  (656.2nm),  $H\beta$  (486.1nm),  $H\gamma$  (434.0nm), 산소원자 (777nm)가 공통적으로 측정되었다.

질소와 에어를 주입하였을 경우에는 여기 된 질소 분자들( $N_2$  second positive system, 300~390nm)과 이온화된 질소분자들( $N_2$  first negative system, 390~480 nm)이 추가적으로 측정되는 것을 확인할 수 있었다. 아르곤과 헬륨을 주입하였을 경우에는 아르곤과 헬륨 원자들의 스펙트럼이 추가로 관찰되는 것을 확인하였다(그림 121).

모든 경우에서 OH radical의 스펙트럼이 가장 높은 intensity를 보였는데 이는 수중방전을 통하여 물이 분해되어 발생된 것으로 생각되어지며, OH radical들의 결합으로 인하여 살균에 효과가 있는 과산화수소( $H_2O_2$ )가 발생하는 것을 유추할 수 있었다(그림 122).

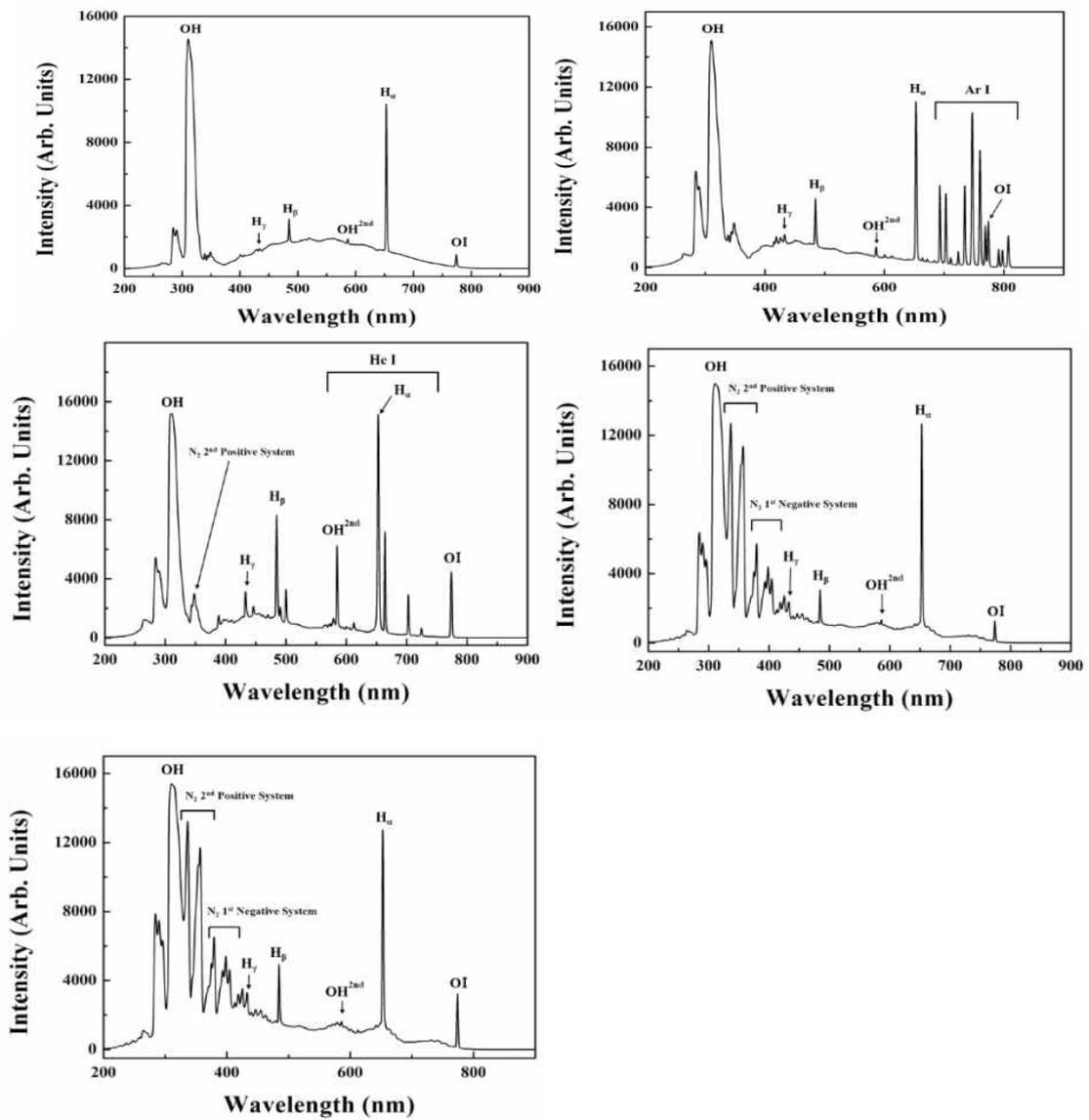


그림 121. 수중 플라즈마의 광학적 특성 분석 결과 (1열좌) No gas, (1열우) 아르곤, (2열좌) 헬륨, (2열우) 질소, (3열) 에어

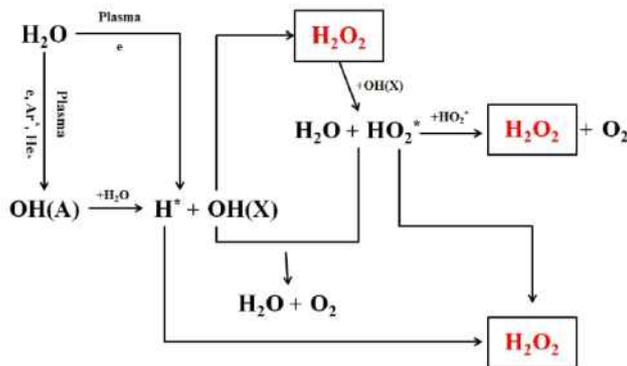


그림 122. 수중 플라즈마에 의한 과산화수소 생성 메커니즘

(라). 수중 플라즈마의 활성종 분석

광학적 특성 분석결과 수중방전에 의해서 과산화수소가 생성되는 것을 확인할 수 있었다. 가스별로 살균효과를 측정하기 위하여 수중 플라즈마에 의해서 생성된 과산화수소 농도를 측정하였다. 과산화수소 측정을 위하여 CHEMetrics, Inc.사의 Vacu-vials, K-5543 키트를 사용하였으며, 물의 양은 수돗물 350mL에 수중 플라즈마 처리시간에 따른 과산화수소 농도를 측정하였다(그림 123).



그림 123. 과산화수소 분석 키트

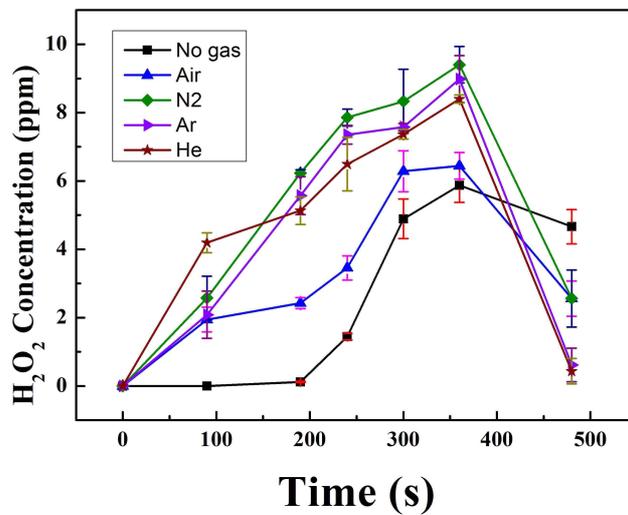


그림 124. 수중 플라즈마 처리시간에 따른 과산화수소 농도 측정 결과

생성된 과산화수소의 농도는 질소를 사용하였을 때 가장 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 광학적 특성에서 확인하였듯이 질소의 경우 400 nm 미만의 자외선 영역이 많이 발생되기 때문인 것으로 사료된다. 또한 자외선에서 발생하는 빛에너지에 의해서 더 많은 OH radical들이 발생되고 발생된 radical들이 재결합하면서 과산화수소가 생성되는 것으로 판단된다. 에어의 경우에도 자외선 영역에서 빛이 발생되지만 에어 플라즈마에서 발생하는 산소이온이 전자를 흡착하는 특성이 있어 radical이 상대적으로 적게 발생하는 것으로 사료된다.

### (3). 현장적용을 위한 Scale-up 플라즈마 모듈 개발

#### (가). 대용량 수중 플라즈마 모듈 개발

협동과제 연구진의 검토를 통해 기존에 개발한 수중 플라즈마 시스템의 경우 대용량 처리시 전극 개수와 대용량 전원장치가 필요하고, 살균력을 좀 더 높일 필요가 있다는 의견을 반영하여, 이러한 문제를 해결하기 위하여 단일 전원장치를 사용하여 하나의 전극에서 여러 개의 플라즈마 발생이 가능한 MHD(Multi Hole Dielectric-barrier discharge, 다공 유전체 장벽 방전)모듈을 개발하였다(그림 125).

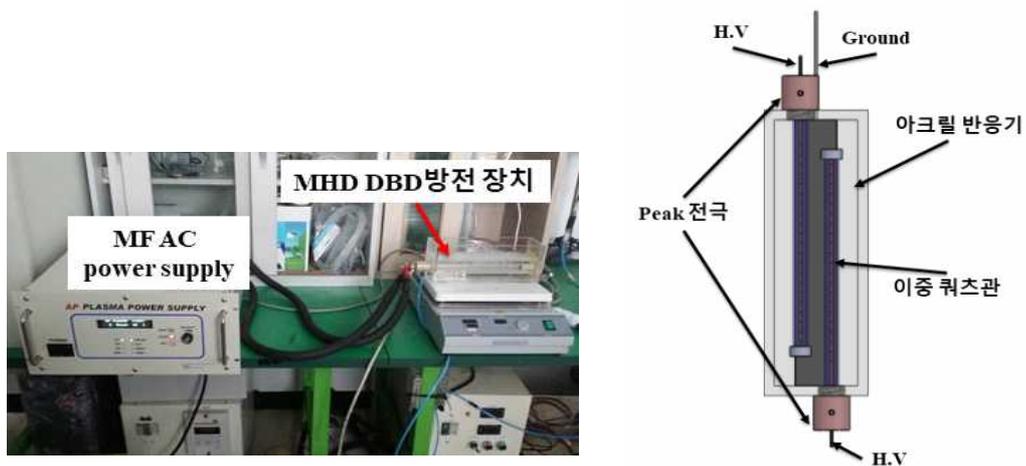


그림 125. MHD 시스템 사진(좌)과 전극 및 반응기의 개념도(우)

시스템에서 발생하는 플라즈마를 최적화하기 위하여 유량 및 Hole 사이즈에 따른 플라즈마를 비교하여 원예산물 세척에 필요한 인자를 최적화하였다. 유량을 증가시킬 경우 기체의 유동으로 인하여 플라즈마가 Micro Hole과 전극이 위치한 방향으로 집중되지만 유량을 낮추면 전극 내에 고르게 분포되는 것을 확인하였다(그림 126, 127).

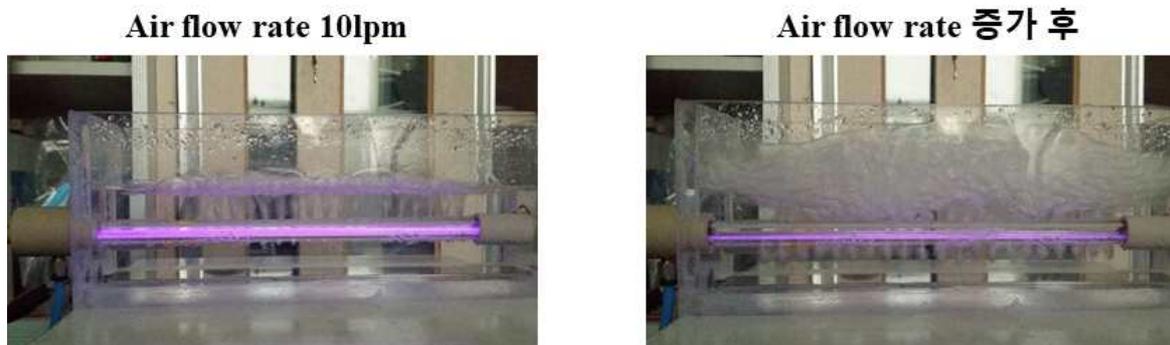


그림 126. 유량에 따른 MHD 플라즈마 발생사진

Micro Hole 사이즈에 따라서 테스트한 결과 사이즈에 따라서 최적 유량이 다름을 확인하였으며, 사이즈가 작을수록 유량이 적어져 오존이 상대적으로 많이 발생하며 사이즈가 커질수록 유량이 높아져 생성되는 Plasma Jet의 크기가 커지는 것을 확인하였다.

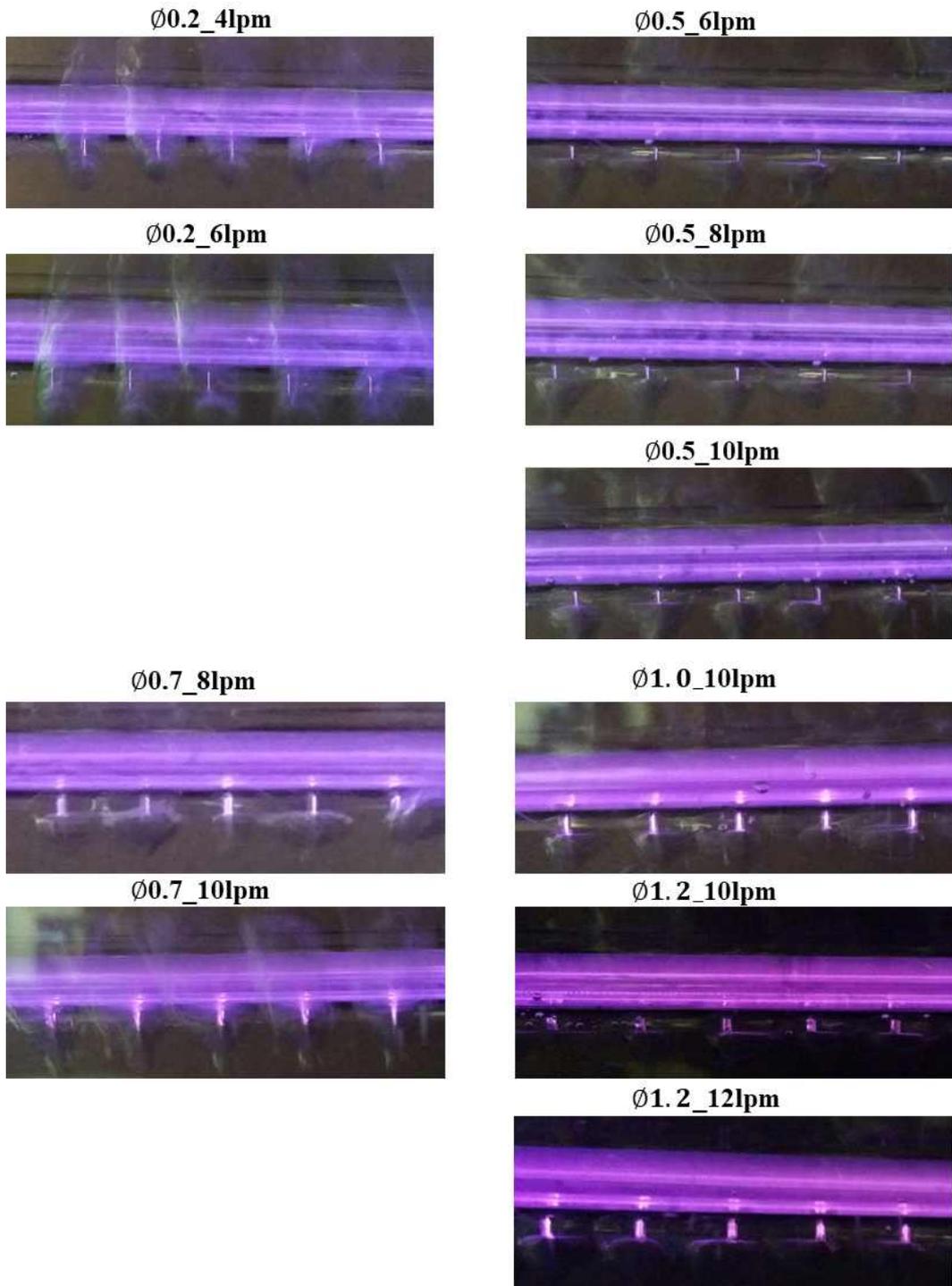


그림 127. Mini Hall사이즈와 유량에 따라서 발생하는 MHD 플라즈마의 사진

(나). MHD 플라즈마의 광학적, 물리화학적 특성 분석

MHD에서 발생하는 플라즈마에서 어떠한 활성종이 발생하는지 확인하기 위하여 플라즈마의 광학적 특성을 분석한 결과 에어를 사용할 경우 여기된 질소 분자, 질소이온, OH radical, 수소 원자가 발생하는 것을 확인하였고 질소의 경우 여기된 질소 분자, 질소이온, NO radical이 발생하는 것을 확인하였다. 이러한 결과를 토대로 MHD에서 발생하는 플라즈마에 의해서 살균이 이루어질 수 있는 것을 확인할 수 있었다(그림 128).

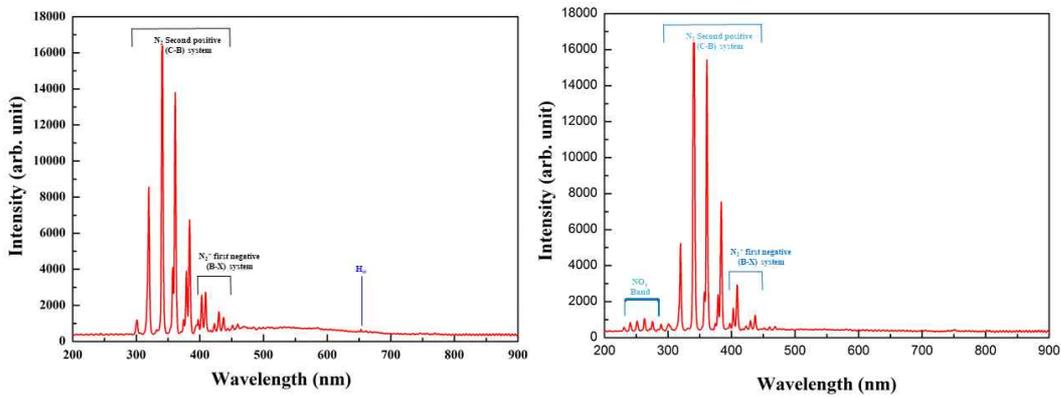
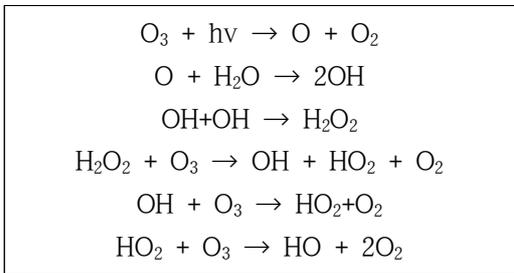


그림 128. MHD 플라즈마의 광학적 특성 측정결과 (좌) 에어, (우) 질소

MHD 시스템으로 처리된 물의 물리적 특성을 분석한 결과 처리시간에 따라서 pH는 증가하였으나 전도도는 일정하였다. 이는 플라즈마에 의해서 생성된 오존이 물 안에서 표 19과 같은 화학식에 의해서 OH radical이 생성되어 pH가 증가하며 살균작용이 일어나는 것으로 예상하였다.

표 19. MHD 플라즈마 방전시 예상 반응



일반적으로 오존을 이용한 살균에서는 반응속도를 빠르게 하기 위해서 과산화수소나 UV를 이용하는데 본 MHD 시스템은 플라즈마에 의해서 OH radical이 발생되어 다른 외부의 추가적인 요소의 투입없이 빠른 살균 효과를 얻을 수 있다(그림 129).

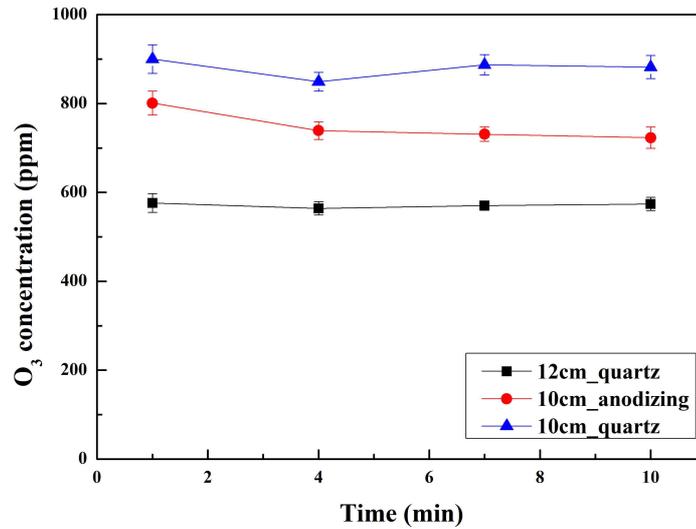


그림 129. MHD 시스템에서 발생하는 Ozone 농도 측정 결과

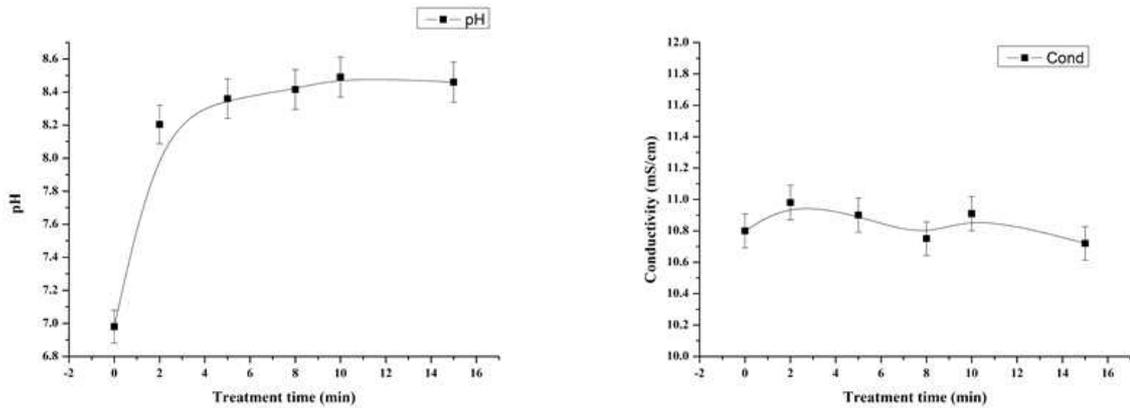


그림 130. MHD 시스템으로 처리한 물의 처리시간에 따른 pH와 전도도 측정 결과

(다). 200L/h 급 MHD 플라즈마 살균 장치 개발

MHD 시스템을 적용하여 한번에 100L를 처리할 수 있는 시스템을 제작하였다. 100L의 반응기에 저장된 물을 펌프를 이용하여 순환시키고 탱크 밑부분에서 플라즈마에서 발생된 활성종을 포함한 기체들이 유입되어 물과 물안에 있는 원예산물을 살균할 수 있도록 하였으며, 탱크 하단에는 살균수가 유입되어 원예산물과 반응을 유도하도록 multi hole을 가지는 buffer reactor를 설치하여 살균수를 고르게 퍼지도록 제작하였다(그림 131-133).

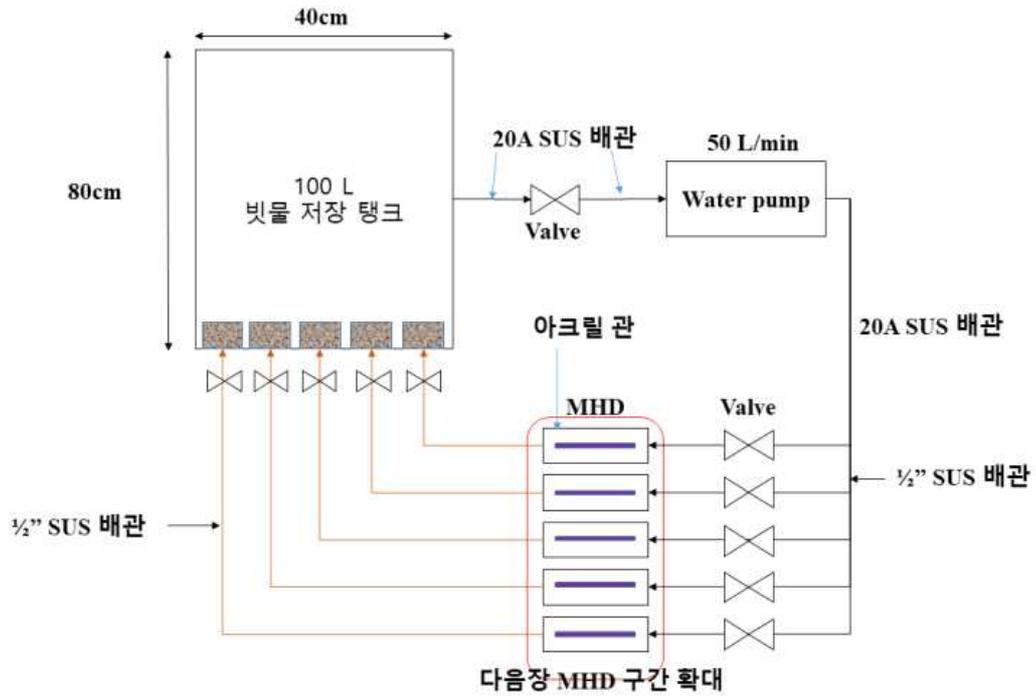


그림 131. 100L급 순환형 MHD 살균 시스템 구성도

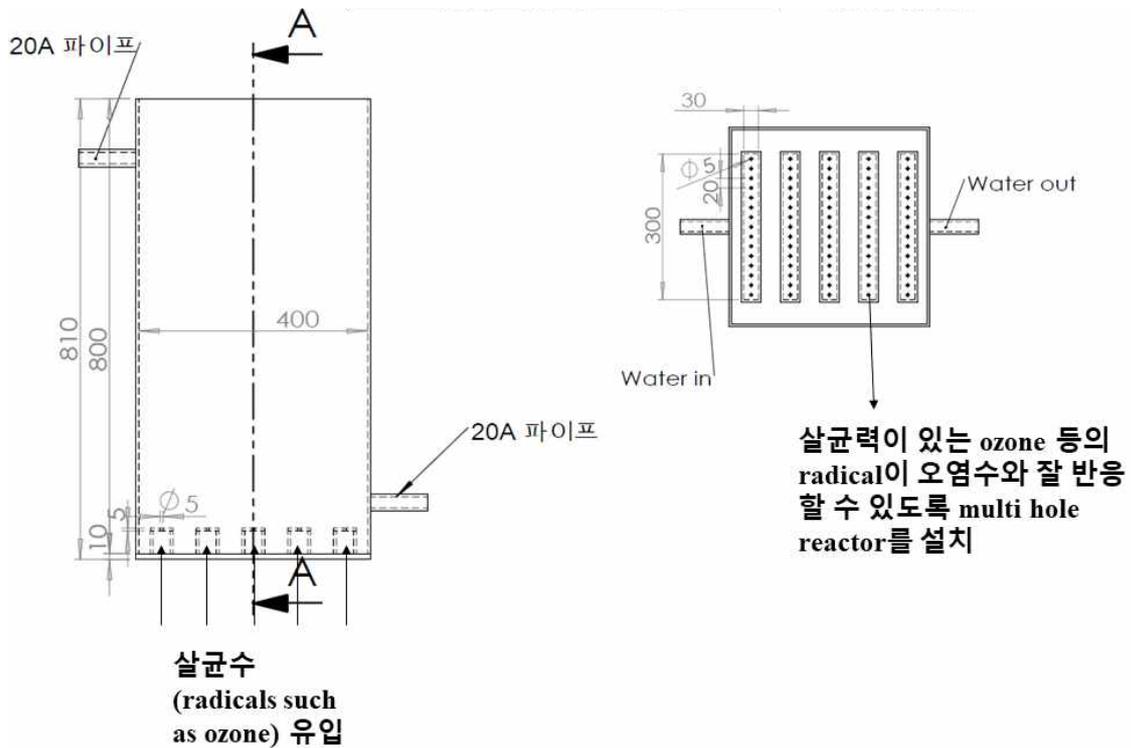


그림 132. MHD 시스템 개략도

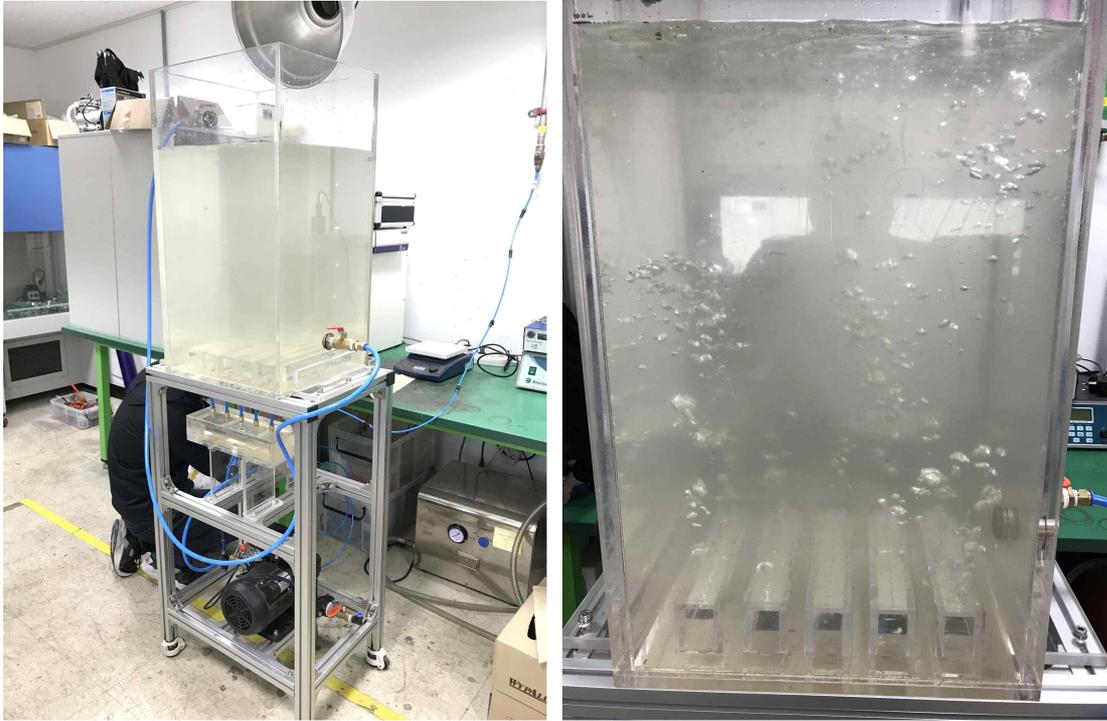


그림 133. 제작된 MHD 살균시스템치의 사진(좌) 및 저장탱크로 살균수 유입 사진(우)

제작된 시스템의 살균효율을 측정하기 위하여 플라즈마 처리시간에 따라서 샘플을 채취하여 일반세균수 검출분석을 국가공인 수질분석기관인 전북대학교 물환경연구센터에 의뢰하였다. 분석 결과, 30분 처리시 99.99% 이상 살균이 되는 것을 확인하였으며(그림 134), 이러한 결과를 토대로 시스템 현장 적용시 시간당 200L 처리가 가능할 것으로 예상되고 있다.

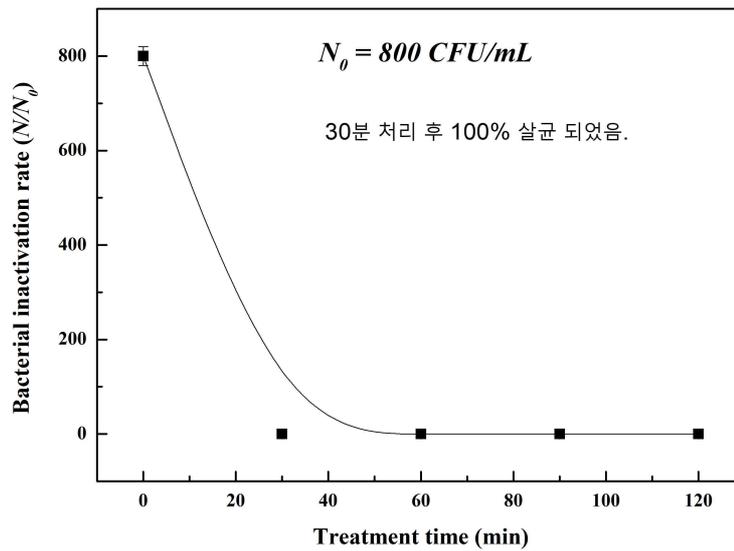


그림 134. 플라즈마 처리시간에 따른 살균을 측정 결과



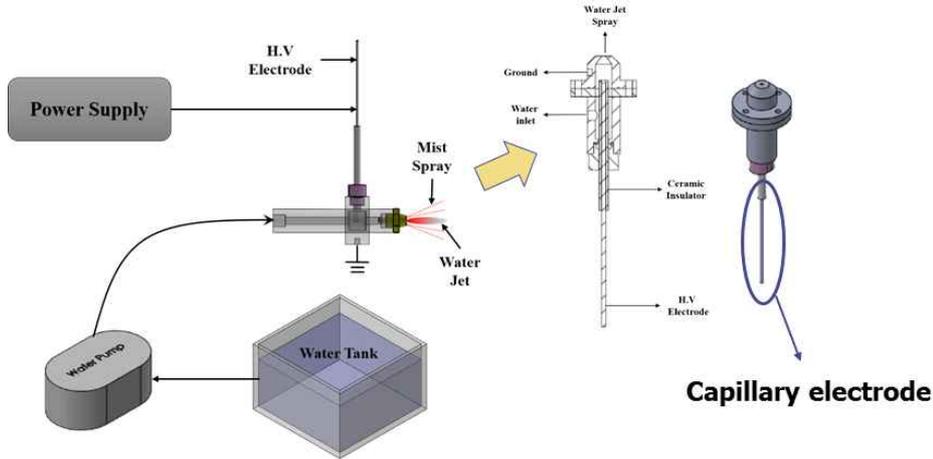


그림 136. 개발한 Radical Mist Generator 시스템의 개략도 및 분사 노즐의 도면

(나). Radical Mist의 발생 원리

수중 플라즈마 발생전극이 삽입되어 있는 노즐에 물을 주입하면서 전압을 인가하여 전압에 따른 발생 원리를 분석하였다(그림 137). 전압에 따른 Radical Mist 발생단계는 크게 5단계로 나눌 수 있으며 아래 표 20과 같다.

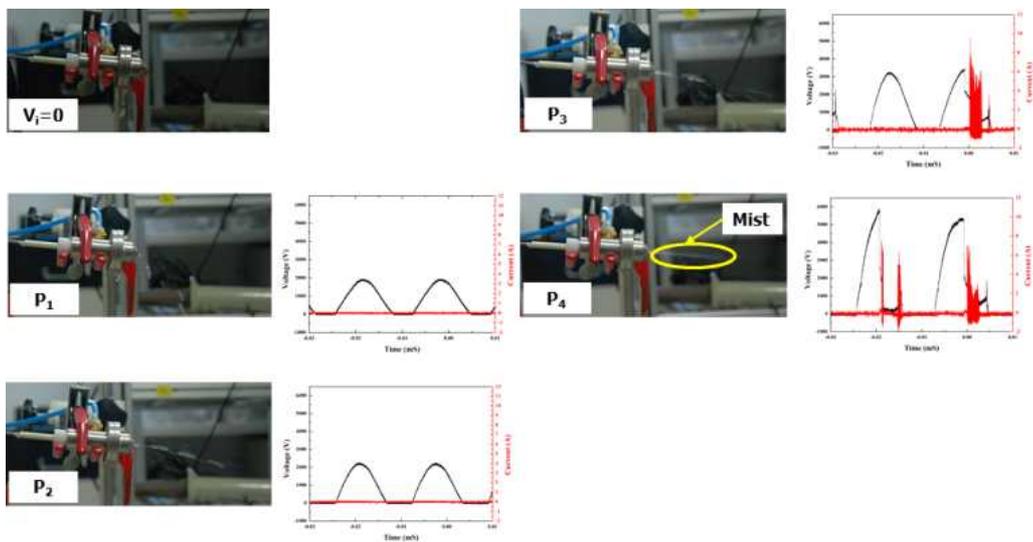


그림 137. 인가전압에 따른 Radical Mist 분사 단계

표 20. 전압에 따른 Radical Mist 발생단계

구 분	내 용
전압 $V_i=0$	물이 액체 유입구로 유입되어 플라즈마 노즐을 채우는 단계
P1	물이 전기장의 영향 (Taylor cone)을 받아 물줄기가 휘어지는 단계
P2	Water plasma가 발생하는 단계
P3	Water plasma jet이 생성되어 분사되는 단계
P4	Water plasma 생성시 발생하는 압력에 의해 Radical Mist가 분사되는 단계, $ V_p  = 5.5kV$

(다). 극성에 따른 특성 분석

수중 플라즈마는 전극에 인가되는 극성이 Positive(+)와 Negative(-)인지에 따라서 발생하는 활성종의 종류와 양이 달라지는 특성이 있는데, 이는 플라즈마에서 발생하는 이온과 전자들이 끌려가는 방향이 달라지기 때문이다. 본 연구에서는 극성에 따른 Radical Mist generator의 특성을 분석하였다(그림 138).

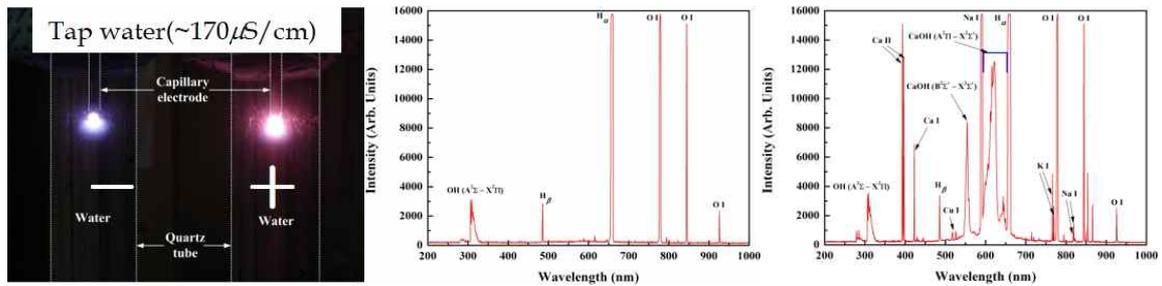


그림 138. 극성에 따른 수중 플라즈마의 방전 사진(좌)과 Negative(중), Positive(우)일 때의 광학적 특성 결과

극성에 따른 특성을 분석하기 위하여 반파 정류회로를 이용하여서 Negative 전압과 Positive 전압을 인가하였으며 전기적 특성을 측정하여 비교하여 보았다. 전기적 특성을 비교하였을 때 Positive의 경우가 Negative의 경우보다 같은 입력전압에서 더 높은 방전 전류가 생성되는 것을 확인하였으며, 이를 토대로 Positive일 때 플라즈마의 강도가 더 세다는 것을 알 수 있었다(그림 139).

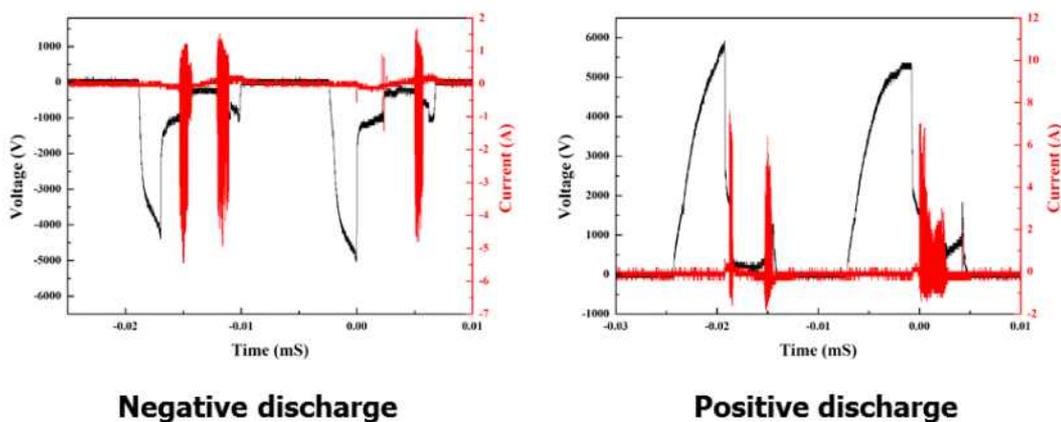


그림 139. 극성에 따른 전기적 특성 측정 결과

전기적 특성결과를 토대로 극성에 따른 활성종 생성을 비교하기 위하여 발생된 과산화수소의 농도를 Radical Mist 생성단계별로 측정해 보았다. 과산화

수소의 농도 측정결과 플라즈마가 발생되는 P3와 P4단계에서 과산화수소가 발생되는 것을 확인하였으며, Negative일 때보다 Positive일 때가 더 높은 농도의 과산화수소가 발생되는 것을 확인할 수 있었다. 전기적 특성과 과산화수소 농도 측정결과를 토대로 Positive 방전이 더 강한 플라즈마를 발생시키고 더 높은 활성종을 발생시키는 특성이 있음을 확인하였으며, Positive방전의 경우 과산화수소의 대장균 살균농도( $500 \mu\text{M}$ ) 이상의 과산화수소가 생성됨을 확인할 수 있었다(그림 140).

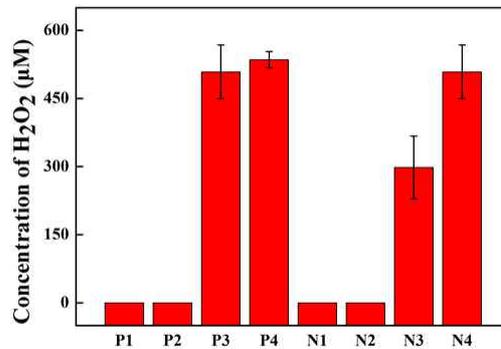


그림 140. 극성에 따른 Radical Mist 생성단계별 과산화수소 농도

(라). 대장균 살균효과 측정

극성에 따른 특성 분석 결과에서 Positive 방전의 경우 대장균을 살균하기에 충분한 양의 과산화수소를 발생시켰다. 실제 대장균을 살균하기에 충분한 효과가 있는지 확인하기 위하여 발생된 Radical Mist를 포집하여 대장균이 희석된 용액과 섞어준 다음 시간에 따른 대장균의 살균효율을 측정된 결과 Positive 방전의 경우 Radical Mist 처리 6시간 후 대장균이 99.99% 이상 살균되어, 수중 플라즈마로 발생된 Radical Mist가 충분한 살균효과가 있는 것을 확인하였다(그림 141).

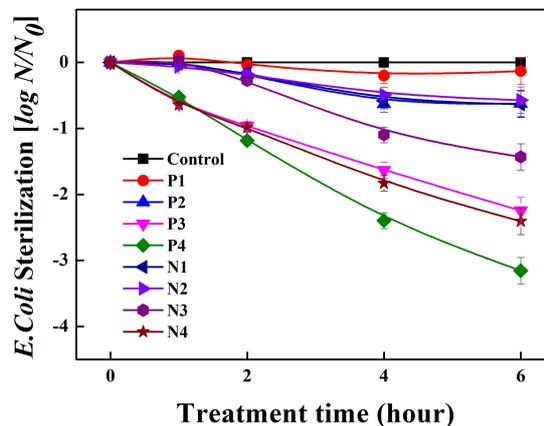


그림 141. Radical Mist 처리시간에 따른 대장균의 살균 효율 측정 결과

나. 플라즈마 활성수(질산화물 활성수) 제조기술 및 발생장치 개발

(1). 연구목적

플라즈마 방전처리로 발생하는 질소산화물은 식물체의 대사작용에 영향을 미칠 것으로 판단되나 이에 관련한 실험이 부족하여 본 과제를 통해 효능에 대한 검토를 한 후에 실제 재배현장에 기술 적용이 가능할 것으로 판단하고 있다. 고압의 방전처리는 대기 중의 번개현상과 유사하게 공기 중의 질소가스를 산화시켜 질소산화물을 생성시키며 이 때 생성되는 물질에는 NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, OH<sup>-</sup> 등이 포함되며, 따라서 플라즈마 활성수는 산화력과 살균력을 지니므로 산업용 폐수처리에서도 오존보다 강력한 효과로 주목을 받고 있다.

따라서 본 연구진은 플라즈마 방전기술을 이용한 활성수의 농업적 적용을 위해 질소산화물을 물속에 용해시켜 질산화물 활성수를 제조하는 기술을 개발하고 원예산업 분야별 목적에 맞도록 개선하고자 한다.

(2). 마이크로웨이브(Microwave) 플라즈마 시스템 이용

(가). 장비의 구성

본 연구에서는 플라즈마 활성수 생산을 위하여 마이크로웨이브 플라즈마 시스템을 사용하였으며 장비의 구성은 그림 35와 같다. 마이크로웨이브 발생 시스템에서 발생된 2.45 GHz 주파수를 가지는 2 kW 마이크로웨이브는 테이퍼드 도파관을 통하여 직경 26 mm인 석영관으로 전달되어지며, 이때 10 L/min의 유량으로 공급되는 소용돌이 공기를 플라즈마로 전환시킨다. 발생된 공기 플라즈마는 질산화물 가스를 발생시키는데 이 가스들은 냉각시스템을 거쳐 물 속으로 용존되어 질산화물 가스가 함유된 활성수를 생산하게 된다 (그림 142).



그림 142. 마이크로웨이브를 이용한 플라즈마 활성수 생산 시스템(좌) 과 발생된 공기 플라즈마의 사진(우)

(3). 튕니형 방전관 질산화물 활성수 제조장치 개발

질산화물 활성수를 제조할 수 있는 저비용 보급형 시스템 개발을 위해 튕니모양의 방전관을 이용한 장치를 제작하였다(그림 143, 144).



그림 143. 튕니형 방전관 질산화물 활성수 제조장치와 플라즈마 방전 모습

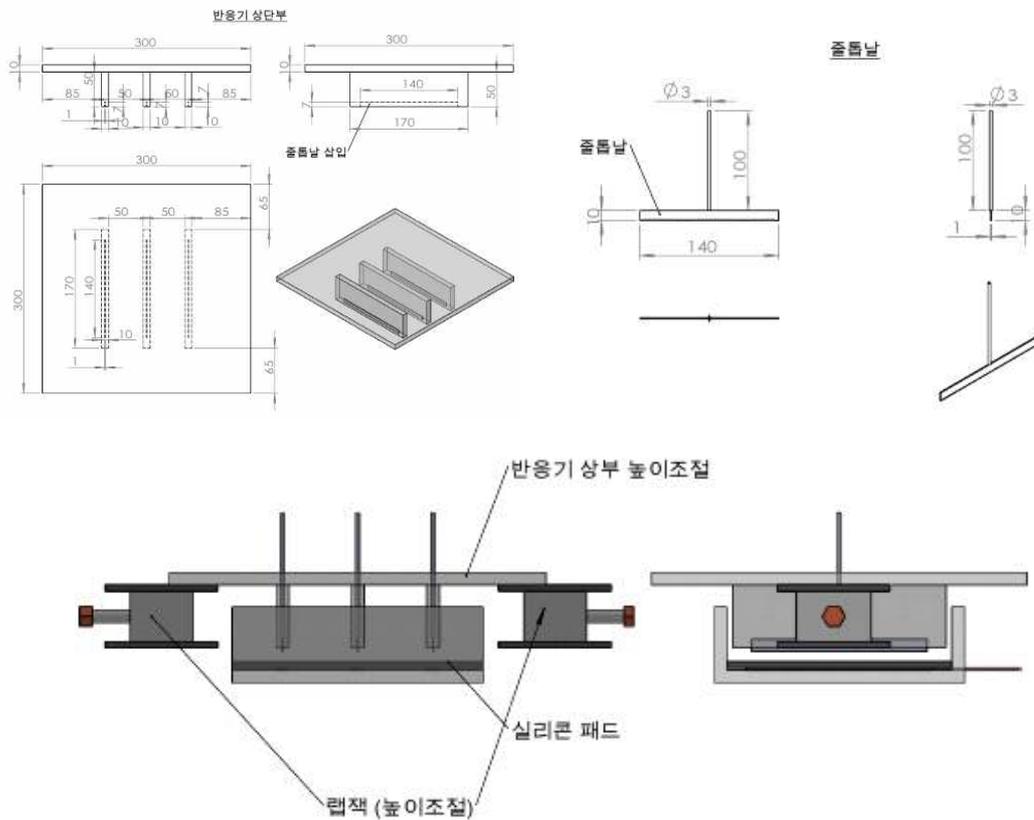


그림 144. 튕니형 방전관 질산화물 활성수 제조장치 도면

플라즈마 방전에 따른 물속에 용해된 질산염의 농도 변화를 조사하였다. 120V로 30분을 하였음에도 불구하고 질산염 발생량이 거의 없었으며, 이에 따라 pH변화 또한 거의 나타나지 않았다. 원인으로는 플라즈마가 균일하게 발생되지 않아 플라즈마에 의한 질소종 가스 생성량이 적어서인 것으로 판단되며

균일하고 밀도 높은 플라즈마를 발생시켜 질소종 가스의 양을 늘릴 수 있는 장비의 보완이 필요하였다.

(4). 질산화물 활성수 제조를 위한 Gliding arc 시스템 개발

질산화물 활성수는 질산염에 생성되면서 pH가 낮아져서 식물의 성장을 촉진하거나 농작물의 살균에 적용될 수 있을 것으로 판단되었다. 선행연구에서 Microwave 시스템을 이용하여 고농도의 질산화물 가스를 발생시키고 이를 물에 용해시켜서 활성 질소종이 함유되어 있는 활성수를 제조할 수 있는 시스템을 개발하였으나, 시스템의 가격이 고가이고 부피가 커서 실제 농업 현장에서 사용하기에는 무리가 있었다. 따라서 같은 작용을 하는 다른 방식의 장비 개발에 대한 요구에 따라, 본 연구에서는 Microwave Plasma 시스템의 단점을 보완하기 위하여 간단한 구조로 저가로 제작할 수 있으며, 공간도 많이 필요하지 않는 활성 질소종 발생 시스템을 개발하였다.

(가). Gliding arc 플라즈마 발생 노즐

본 연구에서 개발한 활성 질소종 발생 플라즈마 방식은 Gliding arc 방식으로 노즐 뒤쪽에서 에어가 주입되면서 전압이 안가되면 가운데 콘 형태의 전극과 바깥을 둘러싸고 있는 다른 전극사이의 전압차에 의해서 플라즈마가 발생하는 원리를 이용하였다(그림 145).

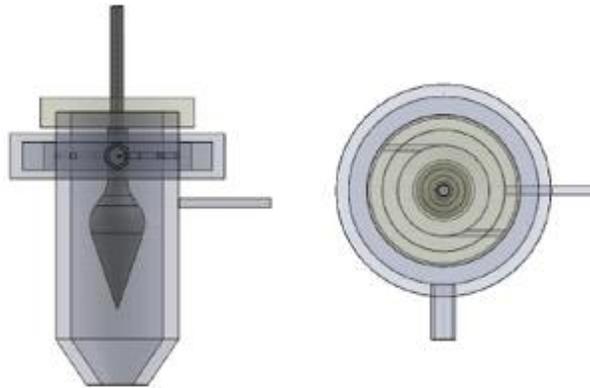


그림 145. 개발한 Gliding arc 발생 노즐의 개략도

Gliding arc의 경우 Microwave power와 같이 비싼 전원 공급 장치가 필요 없이 상용 전압 조절기와 상용 고전압 트랜스포머만으로 플라즈마 발생이 가능하여 시설비가 저렴한 장점이 있다(그림 146).



그림 146. Gliding arc 발생 시스템 사진

주파수에 따른 특성을 비교하기 위해서 20kHz와 60Hz의 전원을 인가하여 비교한 결과 주파수가 높을 경우 Arc에 가까운 고온 플라즈마가 발생하여 안정적으로 사용하기에는 무리가 있었으며, 가정용 전원인 60 Hz를 사용하였을 때는 플라즈마가 안정적으로 발생되었다(그림 147).

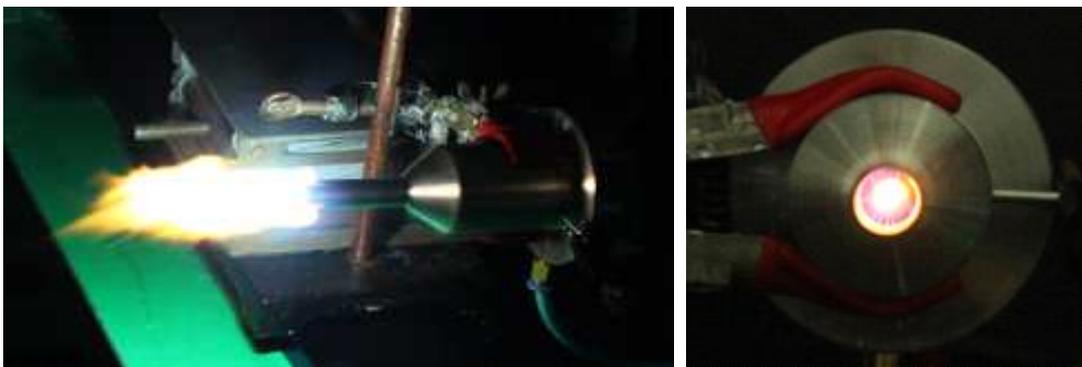


그림 147. 주파수에 따른 플라즈마의 발생 특성 비교, (좌) 20 kHz, (우) 60 Hz

Gliding arc 시스템으로 발생한 플라즈마에서 충분한 양의 활성 질소종이 발생되는지 확인하기 위하여 플라즈마가 발생하는 앞단에 휴대용 가스 분석기를 설치하여 활성 질소종의 농도를 측정된 결과 NO가스가 NO<sub>2</sub>가스보다 많이 발생되며 유량이 증가할수록 발생하는 NO<sub>x</sub>의 가스농도가 감소하지만 20L/min 이후로는 유량에 따른 농도의 변화가 없음을 알 수 있었다. 가스 농도 측정결과 기존의 Microwave 시스템을 대체할 수 있을 정도의 활성질소종을 발생시키는 것을 확인할 수 있었으며, 실제 농업 현장에서 사용할 수 있도록 개선해 나갈 예정이다(그림 148).

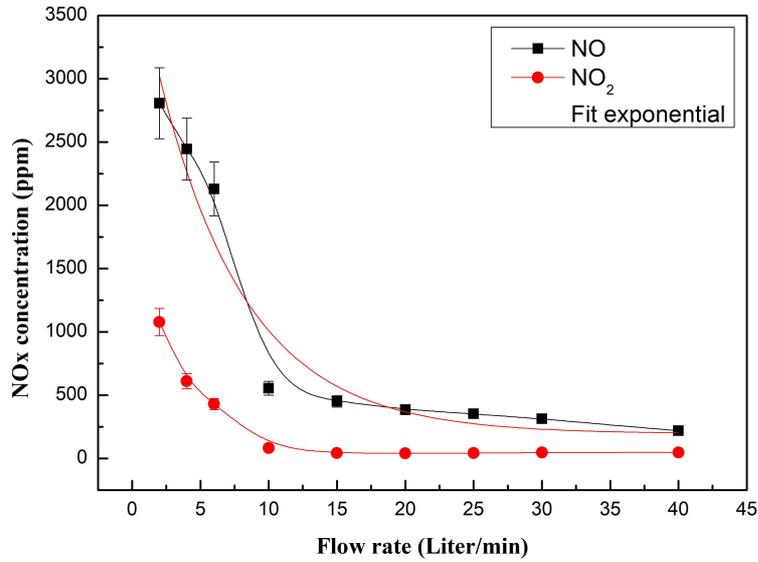


그림 148. 가스 유량에 따라서 Gliding arc 시스템에서 발생된 NOx 가스의 농도

(나). 질산화물 활성수 생산을 위한 플라즈마 조건 최적화

①. 전극 구조 최적화

동일 유량 및 동일 전압에서 활성 질소종 발생 극대화를 위하여 전극간 거리를 최적화하였다. 플라즈마가 발생하는 전극 간격에서 전극 간의 거리를 5mm와 2mm의 두 가지 경우에 대해서 발생하는 활성 질소종 가스를 분석하여 비교해본 결과, 유량 5L/min에서 5mm의 간격에서 2mm에 비해서 NO의 경우 약 10배, NO<sub>2</sub>의 경우 약 40배 이상의 활성 질소종이 생성되는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 전극간의 거리가 멀 경우에 발생하는 Gliding Arc의 강도가 높기 때문으로 판단되며 전극간의 거리가 좁은 경우보다 일정한 간격을 가질 경우 더 많은 활성 질소종을 생성하는 것을 확인할 수 있었다(그림 149).

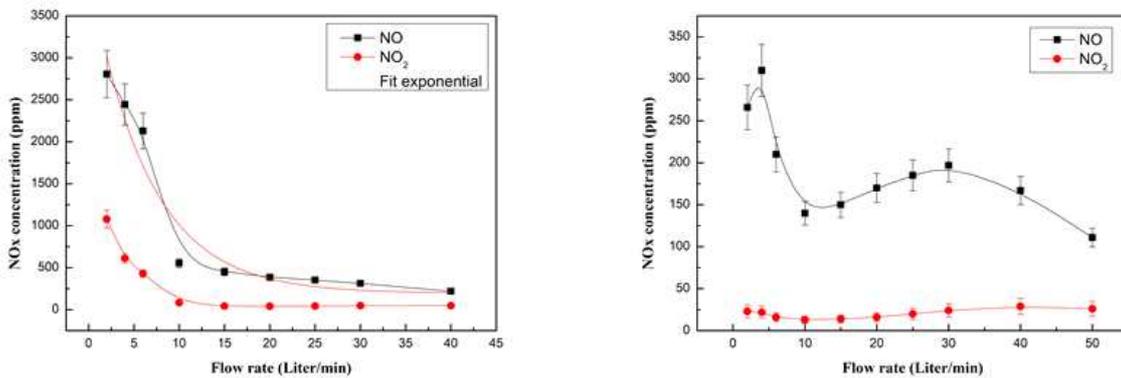


그림 149. 전극 간격이 5mm(좌)와 2mm(우)일 때의 활성질소종 측정 결과

②. 전원 극성 최적화

플라즈마 발생을 위하여 전원을 AC와 DC를 사용할 경우에 대해서 활성 질소종 가스 발생량을 측정된 결과, 최적화된 전극 간격인 5mm에서 AC와 DC를 사용한 경우를 비교하였을 때 같은 유량에서 발생하는 가스의 농도는 거의 변함이 없음을 확인하였다. DC의 경우 일반적으로 공급되는 AC 전압을 정류해서 사용해야 되는 단점이 있어 향후 상용화 및 현장 적용을 고려하였을 때 전원 극성은 AC를 사용하는 것이 최적일 것으로 판단되었다(그림 150).

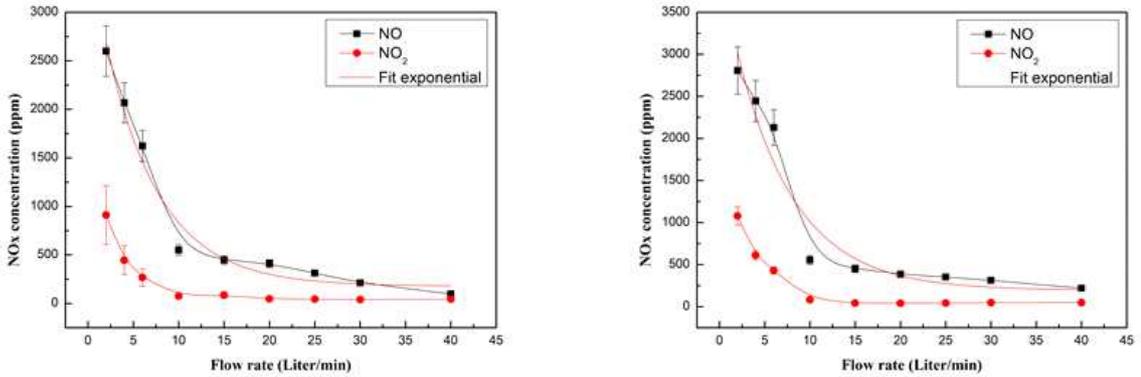


그림 150. 전극거리 5mm일 때의 AC(좌)와 DC(우) 극성의 활성 질소종 가스 농도 분석 결과

③. 소모전력 최적화

60Hz 주파수에서 160W와 320W의 전력을 공급하였을 때의 활성 질소종 가스농도를 측정해 본 결과, 320W의 전력을 공급한 경우 160W에 비해서 약 3.5배 높은 농도의 가스가 발생하는 것을 확인하였다. 현장 적용시 단시간 내에 많은 양의 활성수를 제조하는 것이 필요할 것으로 생각되며 이를 고려했을 때 전기소모량은 2배지만, 가스 농도가 3.5배인 것이 더욱 경제적인 것으로 판단되었다(그림 151).

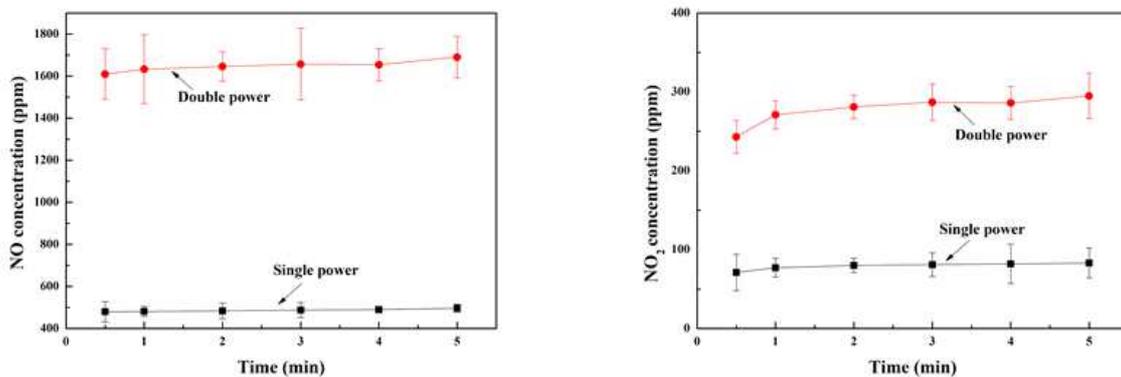


그림 151. 160W(single power)와 320W(double power)를 사용하였을 경우의 활성 질소종 가스 측정 결과

④. Gliding arc 플라즈마 시스템 전원 공급장치 모듈화

Microwave plasma를 대체하기 위해서 Gliding arc 시스템을 개발하였는데 기존 Lab-test 장비에서 현장 적용을 위하여 모듈화를 하였다. 모듈화한 전원 공급장치는 기존 AC전원만을 이용하던 구조에서 AC로 플라즈마를 점화시키고 DC 전원을 인가하여 고농도 활성질소중 가스를 생성하도록 제작하였다. 또한 방수함에 패키징하여 제작하여 실내 및 실외에도 설치가 가능하도록 제작하였다(그림 152-154).



그림 152. 모듈화된 Gliding arc 전원공급장치의 사진

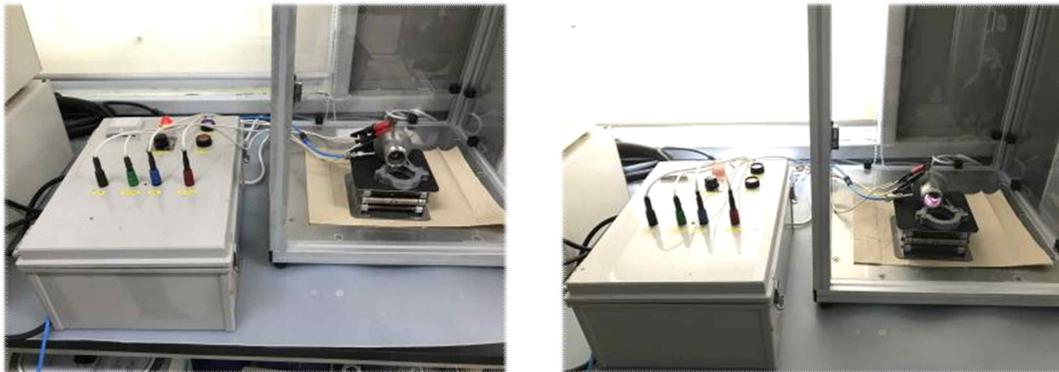


그림 153. Gliding arc 모듈의 전체 사진, 플라즈마 동작전(좌). 플라즈마 동작후(우)

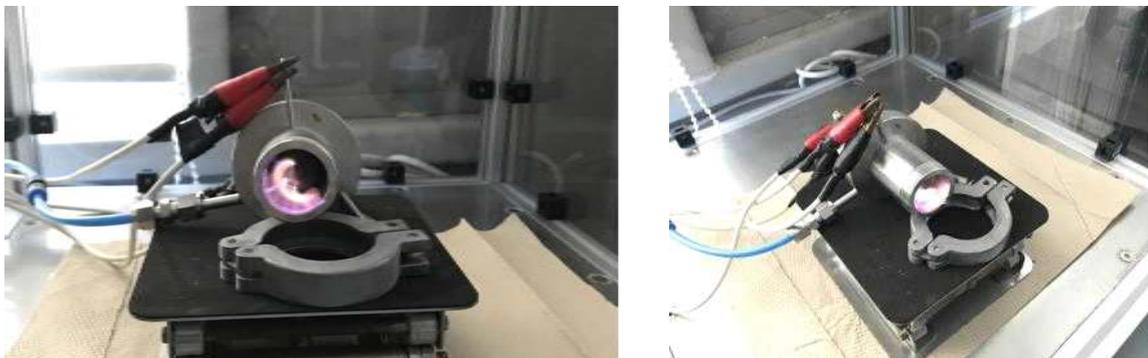


그림 154. 모듈화된 전원공급장치로 발생된 Gliding arc 플라즈마 사진

모듈화된 Gliding arc 시스템에서 발생하는 활성 질소종을 측정된 결과 기존 AC 전원만을 사용하였을 때 보다 더 높은 활성 질소종이 발생하는 것을 확인할 수 있었다(그림 155).

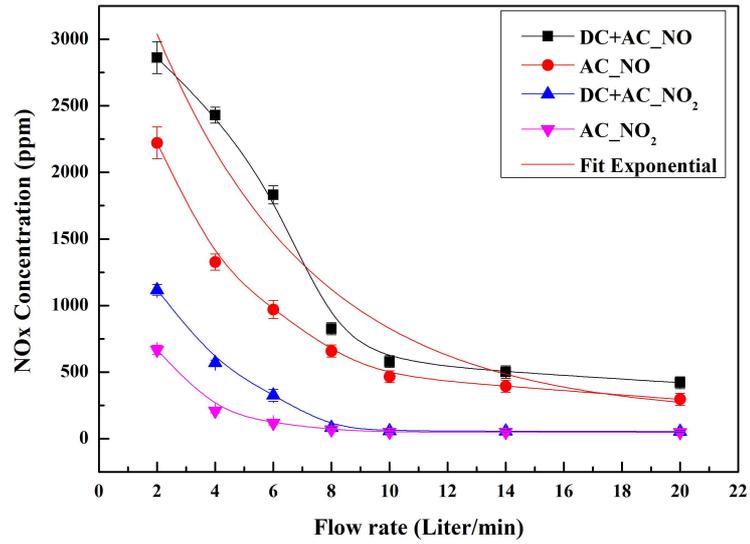


그림 155. 전원에 따른 활성 질소종 가스 농도 측정 결과

## 제3절. 연구 성과

### 1. 논문게재 성과

#### 가. SCI급 논문 게재

(1). Characteristics of microdischarge plasma jet in water and its application to water purification by bacterial inactivation

- 등재지 : Separation and Purification Technology 188:147-154, 2017. 7

- 저 자 : 마숙활, 김강일, 허진영, 홍용철

### 2. 학술발표 성과

#### 가. 국제발표

(1). Using ‘Activated water’ generated from Gliding Arc Discharge: Plasma Application to growth of Bean-Sprouts

- The 11<sup>th</sup> Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering, 2017. 9

- 저자 : 김다운, 김강일, 마숙활, 허진영, 홍용철

#### 나. 국내발표

(1). 물 플라즈마 젯을 이용한 라디칼 미스트 생성 및 살균효과

- 등재지 : 제50회 한국진공학회 동계학술대회, 한국진공학회 회보 제25권 1호, 2016. 2.

- 저자 : 마숙활, 허진영, 김강일, 문세연, 홍용철

(2). Radical Mist Generator Using a Water plasma Jet and Its Sterilization Effect

- 등재지 : 한국진공학회 동계학술대회, 한국진공학회 회보 제25권 1호, 2016. 2.

- 저자 : 허진영, 마숙활, 김강일, 최은하, 홍용철

(3). 물 플라즈마 젯을 이용한 라디칼 미스트 발생장치 개발 및 살균효과

- 등재지 : 한국물리학회 춘계학술대회, 한국물리학회 회보 제34권 1호, 2016. 4.

- 저자 : 허진영, 마숙활, 김강일, 최은하, 홍용철

(4). 살균 및 재배력 향상을 위한 수중 플라즈마 처리에 의한 배양액의 특성 변화 조사

- 등재지 : 한국원예학회 춘계학술대회, 원예과학기술지 제34권 별호I, 2016. 5.

- 저자 : 김용완, 최영배, 이승원, 신중화

(5). 마이크로웨이브 플라즈마 활성수를 이용한 유묘 생장 촉진

- 등재지 : 한국원예학회 춘계학술대회, 원예과학기술지 제34권 별호I, 2016. 5.

- 저자: 류주현, 권송, 신중화, 홍용철

(6). 순환식 수경재배에서 재사용 양액에 대한 플라즈마 처리의 적용 가능성 조사

- 등재지 : 한국원예학회 추계학술대회, 원예과학기술지 제34권 별호II, 2016. 10.

- 저자 : 김용완, 이승원, 최영배, 신중화

(7). Use of Underwater Plasma Activated Water for Seed Sterilization in Buckwheat Sprout Production

- 등재지 : 한국원예학회 추계학술대회, 원예과학기술지 제34권 별호II, 2016. 10.
- 저자 : 류주현, 권송

(8). Effect of Plasma Activated Water on the Postharvest Quality of ‘Siberia’ Lily

- 등재지 : 한국원예학회 춘계학술대회, 원예과학기술지 제35권 별호I, 2017. 5.
- 저자 : 류주현, 권송, 홍용철, 이은진, 신중화

### 3. 특허 성과

#### 가. 특허 출원

(1). 플라즈마 전극 및 이를 구비한 수중 플라즈마 장치

- 출원번호 : 10-2015-0188594 (대한민국)
- 출원일 : 2015. 12. 29
- 출원인 : 주식회사 엔팩
- 발명자 : 홍용철

#### 나. 특허 등록

(1). 플라즈마 전극 및 이를 구비한 수중 플라즈마 장치

- 등록번호 : 10-1808768-0000 (대한민국)
- 등록일 : 2017. 12. 7
- 출원인 : 주식회사 엔팩
- 발명자 : 홍용철
- 등록인 : 주식회사 엔팩

### 4. 연구인력 양성 성과

가. 이정구 (석사학위 취득, 2016)

나. 방지원 (석사학위 취득, 2017)

## 제4장. 목표달성도 및 관련분야 기여도

코드번호 D-06

### 제1절. 목표달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)		비중 (%)	수행 내용	달성도 (%)
수중방전 전극개발 및 최적화		50	산화수 및 질산화물 활성수 전극 개발	100
플라즈마 활성수 특성 분석	플라즈마 활성수의 물리화학적 특성 분석	15	물리적 특성 화학적 특성 분석	100
	플라즈마 활성수의 살균력 검정	15	장치별 살균력 검정 수행	100
	플라즈마 활성수의 라디칼 분석을 통한 플라즈마 발생조건 최적화 조건 도출	20	발생조건 조정에 따른 물리화학적 특성 변화 분석	100
당근 및 생강의 플라즈마 활성수 살균소독 효과 규명	수중방전 플라즈마 활성수 처리에 따른 세척 후 품질변화 조사	50	관능평가 실시	100
	처리 후 저장기간 동안 미생물 발생, 품질(색, 경도 등) 변화 모니터링	15	- 일반세균, 대장균, 살모넬라균 등 분석 - HPLC, IC, GC-MS 등 분석	100
플라즈마 활성수 처리가 수출용 화훼류의 선도 유지에 미치는 영향 분석	수중방전 플라즈마 활성수 처리에 따른 수확 후 절화품질변화 조사	50	관능평가 실시	100
	절화 수명, 품질 변화, 미생물 발생 모니터링	15	- 일반세균, 대장균, 살모넬라균 등 분석 - HPLC, IC, GC-MS 등 분석	100
플라즈마 활성수 처리가 엽채류 생산에 미치는 영향 분석 - 마이크로웨이브 플라즈마 활성수 처리에 따른 상추류 생육 평가		15	- 성장량 분석	100
새싹채소 및 어린잎채소 종자의 플라즈마 활성수 소독 효과 규명 - 플라즈마 활성수처리에 따른 미생물 발생 및 종자 발아력 검정		15	- 일반세균, 대장균, 살모넬라균 등 분석 - 새싹채소 종자발아력 검정	100
합계		100점		100%

## 제5장. 연구결과의 활용계획

코드번호

D-07

- 수중 플라즈마 방전을 통한 산화수 제조기술과 응용장치 개발
  - 원예산물 세척공정별 산화수 제조장치 개발
  - 절화류 습식 유통용 산화수 제조장치 개발
  - 새싹채소 재배용 산화수 제조장치 개발
  - 시설재배용 산화수 미스트 시스템 개발
- 대기 플라즈마 방전을 통한 질산화물 활성수 제조기술과 응용장치 개발
  - 육묘재배용 관수 시스템 개발
  - 시설재배용 살균수 제조시스템 개발
- 산화수를 이용한 원예산업 활용기술 개발
  - 원예산물 세척기술의 국제 경쟁력 확보
  - 절화류 품질향상을 위한 매뉴얼 개발 및 적용을 통해 절화 생산 농가 및 유통관계자 수익 증대
  - 산화수를 이용한 새싹채소 생산 공정기술 개발로 안전한 먹거리 생산 증대
- 질산화물 활성수를 이용한 원예산물 활용기술 개발
  - 다양한 작물별 질산화물 활성수 활용 재배 매뉴얼 개발 및 적용으로 농가 수익 증대
- 산화수 제조장치 및 질산화물 활성수 제조장치의 조합으로 시설재배 및 식물공장용 종합 물관리 시스템 개발

## 제6장. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

코드번호

D-08

없음

## 제7장. 연구개발결과의 보안등급

코드번호

D-09

○ 일반

## 제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

- 해당사항 없음

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	코드번호		비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호
					구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)		
-	-	-	-	-	-	-	-	-

## 제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

	코드번호	D-11
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기술적 위험요소 분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실험실 내 인화성 유기용매 등 위험한 시약을 다룸에 있어 보관 및 교육 실시.</li> </ul> </li> <li>○ 연구실 안전점검 정기적 실시               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구실의 기능 및 안전을 유지 관리하기 위하여 안전점검지침에 따라 연구실에 관한 안전 점검을 정기적으로 실시.</li> </ul> </li> <li>○ 참여 연구원의 안전관련 교육훈련 시행               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 산업안전보건법 제31조 (안전보건교육) 및 연구실 안전환경조성에 관한 법률 제 18조에 의거, 전 직 원에 대한 안전보건교육을 매달 실시함. 교육 방법은 모든 직원에 대한 자체교육(2시간)을 실시하고, 안전보건교육 일지를 작성하여 관리.</li> </ul> </li> <li>○ 연구 내용 및 결과물 안전 확보               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 정기적으로 인원 및 시설 보안 항목, 문서보안 항목 그리고 정보보안 항목의 보안점검을 실시하여 연구 내용 및 결과물의 안전을 확보하고 있음. 참여 연구원들을 대상으로 연구 결과의 안전한 관리를 위한 안전교육 실시.</li> </ul> </li> <li>○ 연구실 안전 확보 계획               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 참여 연구원들이 안전관련 각종 법규, 규정 및 지침을 준수하도록 하며, 요구되는 안전교육 및 훈련 실시. 실험에 관련된 위험 정보를 숙지하고 적절한 개인 보호 장비 착용 실험실에 노출된 위험을 안전관리 책임자에게 보고. 연구실의 잠재되어 있는 위험성 발견 및 위험물질과 각종 실험장비 등 사용에 따른 안전수칙이 잘 이행될 수 있도록 지도점검 및 교육.</li> </ul> </li> </ul>		

## 제10장. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	논문	Characteristics of microdischarge plasma jet in water and its application to water purification by bacterial inactivation	(주연백)	교신 저자	Separation and Purification Technology	3.359	2017.7.14	중복 (IPET, 한국연구재단)	SCIE
2	특허	플라즈마 전극 및 이를 구비한 수중 플라즈마 장치	(주연백)	개발자	10-2015-0188594 /대한민국		2015.12.29	중복 (IPET, 한국연구재단)	출원
3	특허	플라즈마 전극 및 이를 구비한 수중 플라즈마 장치	(주연백)	개발자	10-1808768-0000 /대한민국		2015.12.29	중복 (IPET, 한국연구재단)	등록

## 제11장. 기타사항

코드번호

D-13

○

## 제12장. 참고문헌

	코드번호	D-14
• Alexandre, S., P. Kuppusamy, and J.L. Zweier. 1998. Evaluation of the magnitude and rate of nitric oxide production from nitrite in biological systems. Archives of biochem. and biophys. 357:1-7.		
• Anpiov, A.M., E.M. Barkhudarov, M. Christofi, V.A. Kop' ev, I.A. Kossyi, V.P. Silakov, M.I. Takakishvili, and Y. Zadiraka. 2002. Pulsed high voltage electric discharge disinfection of microbially contaminated liquids. Letters in Applied Microbiology. 35:90-94.		
• Anpiov, A.M., E.M. Barkhudarov, Y.B. Nark, Y.V. Zadiraka, M. Christofi, Y.N. Kozlov, I.A. Kossyi, V.A. Kop' ev, V.P. Silakov, M.I. Takakishvili, and S.M. Temchin. 2001. Electric discharge in water as a source of UV radiation, ozone, and hydrogen peroxide. J. Physic. Appl. Phys. 34:993-999.		
• Balakrishnan, P.A., A. Arunagiri, and P.G. Rao. 2002. Ozone generation by silent electric discharge and its application in tertiary treatment of tannery effluent. J. Electrostatics. 56:77-86.		
• Bari, M.L., E. Nazuka, Y. Sabina, S. Todoriki, and K. Isshiki 2003. Chemical and irradiation treatments for killing <i>Escherichia coli</i> O157:H7 on alfalfa, radish, and mung bean seeds. J. Food Protection, 66:767-774.		
• Bari, M.L., H. Kusunoki, H. Furukawa, H. Ikeda, K. Isshiki, and T. Uemura. 1999. Inhibition of growth of <i>Escherichia coli</i> O157:H7 in fresh radish ( <i>Raphanus sativus</i> L.) sprout production by calcinated calcium J. Food Prot. 62:128-132.		
• Beuchat, L.R., T.E. Ward, and C.A. Pettigrew. 2001. Comparison of chlorine and a prototype produce wash product for effectiveness in killing <i>Salmonella</i> and <i>Escherichia coli</i> O157:H7 on alfalfa seeds. J. Food Prot. 64:152-158.		
• Fanourakis, D., R. Pieruschka, A. Savvides, A.J. Macnish, V. Sarlikioti, and E.J. Woltering. 2013. Sources of vase life variation in cut roses: a review. Postharvest Biol. Technol. 78:1-5.		
• Hong. Y.C., H.J. Park, B.J. Lee W.S. Kang, and H.S. Uhm. 2010. Plasma formation using a capillary discharge in water and its application to the sterilization of E. coli. Phys. Plasmas 17:503-502.		
• Jenke, D.R. 1986. Indirect determination of hydrogen peroxide by ion chromatography. J. Chromatogr. Sci. 24:352-355.		
• Kim. J.G., Y. Luo., and C.I. Lim. 2007. Effect of ozonated water and chlorine water wash on the quality and microbial de-contamination of fresh-cut carrot shreds. Korean J. Food Preserv. 14:54-60.		
• Kurahashi, M., S. Katsura, and A. Mizuno. 1997. Radical formation due to discharge inside bubble in liquid. Jour. of Electrostatics. 42:93-105.		
• Lang, M. M., B. H. Ingham, and S. C. Ingham. 2000. Efficacy of novel organic acid and hypochlorite treatments for eliminating <i>Escherichia coli</i> O157:H7 from alfalfa seeds prior to sprouting. Int. J. Food Microbiol. 58:73-82.		
• Liao, W.B., M.L. Zhang, G.B. Huang, and J.H. Yu. 2012. Hydrogen peroxide in the vase solution increases vase life and keeping quality of cut Oriental×Trumpet hybrid lily 'Manissa' . Sci. Hort. 139:32-38.		

- Moorcroft, M.J., J. Davis, and R.G. Compton. 2001. Detection and determination of nitrate and nitrite: a review. *Talanta*. 54:785-803.
- Mortensen, L. and H.E. Jorgensen. 1996. Responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to ozone produced by either electric discharge and dry air or by UV-lamps and ambient air. *Environ. Pollution*. 93:121-127.
- Palou, L., J.L. Smilanick, C.H. Crisosto, M. Mansour, and P. Plaza. 2004. Ozone gas penetration and control of sporulation of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* within commercial packages of oranges during cold storage. *Crop Protection*.
- Park. E.J., J.H. Kwon, and Y.K. Lee. 2009. Germination rate and microbial safety during cultivation of disinfected seeds. *Kor. J. Food Preserv.* 16: 292-298.
- Pinart, J., M. Smirdec, M.E. Pinart, J.J. Aaron, Z. Benmansour, M. Goldman, and A. Goldman. 1996. Quantitative study of the formation of inorganic chemical species following corona discharge. I. Production of HNO<sub>2</sub> and HNO<sub>3</sub> in a composition-controlled, humid atmosphere. *Atmospheric Environ.* 30:129-132.
- Saxena, I., S. Srikanth, and Z. Chen. 2016. Cross talk between H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and interacting signal molecules under plant stress response. *Front. Plant Sci.* 7:570.
- Sharma, R. R., A. Demirci, L. R. Beuchat, and W. F. Fett. 2002. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on inoculated alfalfa seeds with ozonated water and heat treatment. *J. Food Prot.* 65:447-451.
- Szendro, P., J. Koltay, Z. Szule, and G. Vincze. 2002. Treating sugar-beet seeds with an electric discharge field(abstract). *Novenytermeles.* 51:309-314.
- Taormina, P.J., L.R. Beuchat, and L. Slutskert, 1999. Infections associated with eating seed sprouts:an international concern, *J. Emerg. Infect. Disease* 5:626-634.
- Teixeira da Silva, J.A. 2003. The cut flower:Postharvest considerations. online *J. Biol. Sci.* 3:406-442.
- van Doorn, W.G. and S.S. Han. 2011. Postharvest quality of cut lily flowers. *Postharvest Biol. Technol.* 62:1-6.
- Yoo. M.H., Y.J. Kim, H.J. Byoun, and K.C. Son. 2003. Effects of certain pretreatment substances on the postharvest quality of cut rose. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21:375-380.
- 권중호 2009. 고품질 발아채소의 생산·유통기술 개발 및 산업화. 303p. 농림기술개발사업연구보고서
- 김명호, 정진운, 조영재. 2004. 격막 방식에 따라 제조한전해수의 세척 및 보관 효과. *한국식품저장유통학회지.* 11(2):160-169.
- 박봉경, 김윤환, 장봉철, 조정현, 김근호. 2001. 반응기 정전 용량 변화에 따른 대기압 DBD 반응기의 동작특성 연구. *한국진공학회지.* 10(4):440-448.
- 박선영, 황태영, 김준한, 문광덕. 2001 갈변저해제 처리에 따른 최소가공 연근(*Nelumbo nucifera*)의 품질 변화. *농산물저장유통학회지.* 8(2):164-168.
- 송지원, 구자형. 2003. 오존처리를 이용한 물 재순환 시스템 내에서의 콩나물 생산. *한국원예학회지* 44:302-306.
- 이재창, 황용수. 1998. 삼시와 밤과실의 부가가치 증진을 위한 수확 후처리 및 장기저장 기술 개발. 연구보고서 농림부.
- 이진현, 신순선, 박용주, 류경열, 지형진. 2007. 채소 종자별 온탕침지 종자소독 효과 검정. *식물병 연구* 13 : 157~163.

- 이현희, 홍석인, 김동만. 2009. 메밀 새싹채소의 주요 내재 미생물 분석 및 염소처리에 따른 품질 변화. 한국식품과학회지 41: 452~457.
- 정진웅, 정승원, 김명호. 2000. 세정수로서의 전해산화수 적용 특성. 농산물저장유통학회지. 7(4):395-402.
- 조재욱, 김임수, 최충돈, 김일두, 장상문. 2003. 복숭아 수확 후 오존수 침지처리가 품질신선도에 미치는 영향. 한국식품저장유통학회지. 10(4):454-458.

#### 주 의

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