

1. 표지

11-1543
000-001
701-01

분말제품의
고효율
저탄소
살균
기술
및
장치
개발
최종보고서

2017

농림축산식품부

고부가가치식품기술개발 R&D Report

발간등록번호

11-1543000-001701-01

분말제품의 고효율 저탄소 살균 기술 및 장치 개발 최종보고서

2017.04.06.

주관연구기관 / (주)바이오벤
협동연구기관 / 이화여자대학교
(주)리노셈
전주대학교
위탁연구기관 / 서울대학교
서울여자대학교

농림축산식품부

2. 제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “분말제품의 고효율 저탄소 살균 기술 및 장치 개발”(개발기간 : 2013. 11. 20 - 2016. 11. 19)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017. 04. 06.

주관연구기관명 : (주)바이오벤

(대표자) 변 유 량



협동연구기관명 : 이화여자대학교 산학협력단

(대표자) 박 석 순



협동연구기관명 : (주)리노셈

(대표자) 이 광 식



협동연구기관명 : 전주대학교 산학협력단

(대표자) 김 진 수



위탁연구기관명 : 서울대학교 산학협력단

(대표자) 김 성 철



위탁연구기관명 : 서울여자대학교 산학협력단

(대표자) 노 용 환



주관연구책임자 : 이 석 훈

협동연구책임자 : 정 명 수

협동연구책임자 : 최 광 식

협동연구책임자 : 신 정 규

위탁기관책임자 : 최 영 진

위탁기관책임자 : 민 세 철

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제고유번호	313031-3	해 당 단 계 연구 기 간	2015. 11. 20 - 2016. 11. 19	단 계 구 분	(최종단계)/ (총3단계)
연구 사업 명	중 사업 명	고부가가치식품기술개발사업			
	세부 사업명	저탄소·신가공/공정			
연구 과 제 명	대 과 제 명	분말제품의 고효율 저탄소 살균 기술 및 장치 개발			
	세부 과제명	과열수증기를 이용한 분체식품의 미생물 위해성 저감화 기술 개발			
		광펄스 살균기술을 이용한 분체식품(종자 농산물)의 미생물 위해성 저감화 기술 개발			
		Cold plasma를 이용한 분체식품의 미생물 위해성 저감화 기술 개발			
		광펄스 살균기술을 이용한 분체식품(향신료)의 미생물 위해성 저감화 기술개발			
연구 책임자	이석훈	해당단계 참 여 연구원 수	총: 32명 내부: 32명 외부: 0명	해당단계 연구 개발비	정부: 300,000 천원 민간: 100,000 천원 계: 400,000 천원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총: 96명 내부: 96명 외부: 0명	총 연구개발비	정부: 900,000 천원 민간: 300,000 천원 계: 1,200,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	(제1세부) (주)바이오벤			참여기업명: (주)바이오벤	
	(제1협동) 이화여자대학교			참여기업명: (주)태경	
	(제2협동) (주)리노셈			참여기업명: (주)리노셈	
	(제3협동) 전주대학교				
위탁 연구	서울대학교			연구책임자: 최영진	
	서울여자대학교			연구책임자: 민세철	
<ul style="list-style-type: none"> ○ 과열수증기를 이용한 분체식품의 살균을 위하여 다양한 형태의 처리장치(3종)을 설계/제작하고 미생물 검출한계에서 무균상태인 청결 고춧가루제조를 위한 pilot 규모의 과열수증기 처리장치 제작 ○ 과열수증기에 의한 일반세균, 병원성 미생물 및 Bacillus spore의 살균 kinetic 구명 ○ 과열수증기 처리장치를 이용한 무균 고춧가루의 품질변화 및 저장성 검증 					보고서 면수
<ul style="list-style-type: none"> ○ Pilot-scale 광펄스 장치 제작 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Power supply 업그레이드를 통한 광원 에너지밀도 설정 범위 증가 ▪ 광원 램프 업그레이드를 통한 고에너지 광원 발생 ▪ Cyclone 기술이 적용된 대용량 treatment chamber 제작 ▪ 대용량 처리 가능한(최대 처리용량: 30 kg/h) pilot-scale 장치 개발 ○ 분체식품(종자 농산물) 미생물 위해성 저감화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 대용량 분체식품 처리 가능 ▪ 참깨, 결명자, 차조 내 1-1.5 log의 미생물 저감 효과 확인 ▪ Belt type과의 병합 처리를 통한 2 log 이상의 결명자 내 미생물 저감 효과 확인 					

<ul style="list-style-type: none"> ▪ 광펄스 처리 후 분체식품의 특성(수분함량, 수분활성도, 색) 유지 확인 	
<ul style="list-style-type: none"> ○ 양파분말의 미생물 저감화를 위한 cold plasma 처리 parameter 결정 및 분말 식품 살균 용 lab-scale cold plasma 살균 시스템 제작 ○ Cold plasma 살균 처리 조건 최적화 ○ 양파 분말 살균을 위한 pilot-scale의 cold plasma 살균 시스템 설계 	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Pilot-scale의 광펄스 살균시스템 제작을 위한 자료 확립 및 품목 확장을 위한 조건 확립 <ul style="list-style-type: none"> • 분체시료 살균을 위한 시료 처리용기 제작 및 순환테스트 • 광펄스 처리 시스템 조절인자에 따른 미생물 사멸효과 확인 • pilot-scale의 확장을 위한 처리용기의 재질 적합성 확인 • 회전형 원통 석영 처리용기 제작 및 미생물 저감화 효과 확인 	
<ul style="list-style-type: none"> ○ 분체 식품(향신료)의 오염도 조사 및 살균조건 최적화 <ul style="list-style-type: none"> • 시판 후추 29종의 미생물 오염도 확인 • 전통시장 및 대형마트에서 판매하는 향신료 4종 (생강, 계피, 산초, 울금)의 미생물 오염도 확인 • 광펄스 처리한 후추, 생강의 영양적·물리적 성분 유지 확인 • 비가열 살균 품목의 확대를 위한 흑후추, 백후추, 생강, 계피, 산초, 울금의 6종 살균조건 제시 	

4. 국문 요약문

가. 1세부(과열수증기를 이용한 분체식품의 미생물 위해성 저감화 기술 개발)

		코드번호	D-01			
연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구의 목적 • 과열수증기를 이용한 고춧가루 등의 분체식품과 현미 등의 종자 농산물의 미생물 위해성 저감기술을 개발 • 파이롯 규모의 과열수증기 처리장치 제작 • 과열수증기 살균기술의 실용화 기반 마련 ○ 연구의 내용 및 범위 • 향신료(고춧가루)와 종자농산물의 오염도 조사 • lab-scal 처리 장치의 설계 및 제작 • SHS 처리조건 최적화 및 pilot 규모의 SHS 장치 제작 • Pilot-scale의 살균시스템을 이용한 고춧가루 살균 처리 및 품질 평가 					
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> • 시판 고춧가루 21종, 현미 5종, 메밀 10종의 미생물 오염도 조사 • 연구용 장치 3종의 보완 및 제작 완료(Fludized bed type, cabinet type, conveyer belt type) • 과열수증기 처리조건(온도, 시간 등)에 따른 미생물의 오염도 감소 검증 • 고춧가루 살균 저해요소 규명 • 위생고춧가루 생산공정을 위한 공정개발 • 과열수증기의 온도와 처리시간에 따른 spore와 위해균의 사멸곡선 측정 • Pilot-scale의 살균장비를 이용하여 미생물학적 검출한계 이하의 무균 고춧가루 생산 성공 • 생산된 무균 고춧가루의 품질 및 저장성 검사 					
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> • 미생물학적으로 안전한 무균 고춧가루의 생산 • 고품질 고춧가루의 브랜드화 • 고춧가루 이외의 분말식품으로 적용 범위 확대 					
중심어 (5개 이내)	과열수증기	종자농산물	고춧가루	살균	무균고춧가루	

나. 1핵심(광펄스 살균기술을 이용한 분체식품(종자 농산물)의 미생물 위해성 저감화 기술 개발)

		코드번호	D-01			
연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구의 목적 <ul style="list-style-type: none"> • 분체식품 살균을 위한 pilot-scale 광펄스 살균 장치 개발 ○ 연구의 내용 <ul style="list-style-type: none"> • 분체시료의 오염도 조사 및 pilot-scale의 광펄스 살균시스템 제작 • 광펄스 살균조건 최적화 및 안전성 연구 • 분체식품 살균을 위한 pilot-scale의 광펄스 살균시스템 업그레이드 					
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분체시료의 오염도 조사 및 pilot-scale의 광펄스 살균시스템 제작 <ul style="list-style-type: none"> • 분체 원료에 대한 잠재적 위해세균의 오염도 모니터링 및 오염미생물 저감화 수준 설정 • 분체 살균을 위한 pilot-scale 광펄스 살균시스템 제작 • Power supply 및 lamp 업그레이드 • Cyclone 기술이 적용된 sample treatment chamber 개발 • 장비 사용 매뉴얼 작성 ○ 광펄스 살균조건 최적화 및 안전성 연구 <ul style="list-style-type: none"> • DC voltage, pulse duty에 따른 광원 에너지밀도 변화 확인 • Pilot-scale 광펄스 살균을 위한 분체식품 선정 및 초기 균수 확인 • DC voltage, triggering voltage, frequency, pulse duty, treatment time 등의 조건에 따른 pilot-scale 광펄스 살균 조건 설정 및 참깨, 결명자, 차조의 살균 효과 확인 ○ 분체식품 살균을 위한 pilot-scale의 광펄스 살균시스템 업그레이드 및 시료별 살균특성 관찰 <ul style="list-style-type: none"> • 산업적 적용 가능한 광펄스 살균시스템 개발을 위한 chamber 재질 변화 및 디자인 개선 • 업그레이드 pilot-scale 광펄스 장치의 광원 에너지밀도 측정 • 해당 장치를 이용한 분체식품 살균 효과 확인 • SEM 측정을 통한 분체식품 표면적 특성 확인 • 광펄스 처리 전·후 수분함량, 수분활성도, 색상 측정을 통한 특성 변화 확인 • Belt-type 광펄스 장치 개발 및 분체식품 미생물 저감 효과 확인 					
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> • 광펄스 관련 기초 연구 및 상용화 연구를 통한 광펄스 살균기술에 대한 학계 및 산업계의 발전 • 광펄스 살균을 통한 미생물 살균 메커니즘 연구를 통해 저장성 증진 기술 개발에 활용 • 분체 식품의 위생 안전성 확보를 통한 가공식품의 국제적인 경쟁력 증대 • 광펄스 살균 기술의 이론적 배경 확립을 통한 학문적 발전 유도 • 광펄스 기술 기준의 식품공진 기재를 통한 관련 기술의 합법적 사용 허용 및 관련업체로의 기술이전을 통한 산업화 추진 					
중심어 (5개 이내)	광펄스	Pilot-scale	분체식품	종자 농산물	Cyclone	

다. 2핵심(Cold plasma를 이용한 분체식품의 미생물 위해성 저감화 기술 개발)

		코드번호	D-01		
연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구의 목적: 비가열 살균기술로서 cold plasma 살균기술을 양과분말 살균에 적용하여 위해 미생물 저감화 공정 시스템을 구축하고, 다양한 공정 요인들을 최적화함으로써 실제 식품공정 및 산업에 적용할 수 있는 cold plasma 살균기술 및 시스템의 실용화 기반을 마련한다. ○ 연구의 내용 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 양과분말의 미생물 저감화를 위한 cold plasma 처리 parameter 결정 및 분말 식품 살균 용 lab-scale cold plasma 살균 시스템 제작 ▪ Cold plasma 살균 처리 조건 최적화 ▪ 양과 분말 살균을 위한 pilot-scale의 cold plasma 살균 시스템 설계 				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양과분말의 잠재적 위해 세균과 부패 미생물 오염도 조사 및 오염 미생물 저감화 수준 설정 ○ 양과분말의 미생물 저감화를 위한 cold plasma 처리 parameter 확립 ○ Cold plasma 처리를 위한 가스 종류, 가스 흐름 속도, 처리 에너지 등의 기본 parameter 중 저감화 효과에 유의적 영향을 주는 parameter 확립 ○ 분말식품 살균 용 lab-scale cold plasma 살균 시스템 제작 ○ Lab-scale의 cold plasma 살균 시스템을 이용한 살균조건 확립 및 살균효과 검증 완료 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 식품 위해 균(<i>Salmonella</i> spp, <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Bacillus cereus</i> 등)의 효율적 저해 ▪ 분말의 품질에 영향을 미치는 수분함량, particle size, 원료의 성분 등이 미생물 사멸효과에 미치는 영향 파악 ▪ Cold plasma 살균 시스템의 최적 살균조건 분석 및 데이터베이스화 ○ Cold plasma 살균 시스템의 scale-up에 요구되는 주요 장비 구축 완료 ○ 식품산업체에 적용 가능한 pilot-scale의 cold plasma 살균 장치 개발 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 연속 공정이 가능한 컨베이어 시스템 제작 ○ 분체 식품의 cold plasma 처리를 위한 살균 가이드라인 확립 				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분체 식품용 cold plasma 처리 시스템을 이용한 고품질 양과 분말 생산 ○ Pilot scale의 살균장치 개발성공으로 양산용 장비 개발 및 기술 실용화에 기여 ○ Cold plasma 식품 살균이라는 새로운 산업 창출 				
중심어 (5개 이내)	cold plasma	비 가열 살균	분체 식품	양과 분말	

라. 3핵심(광펄스 살균기술을 이용한 분체식품(향신료)의 미생물 위해성 저감화 기술개발)

		코드번호	D-01		
연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구의 목적 <ul style="list-style-type: none"> • 광펄스 살균 기술을 이용한 다양한 향신료의 살균 연구 • Lab-scale 규모의 실험 장치를 이용한 향신료 살균 조건 확립 • Pilot-scale 규모로의 scale-up을 위한 공정 요인 및 사양 제시 ○ 연구의 내용 및 범위 <ul style="list-style-type: none"> • 분체식품(향신료)의 오염도 조사 및 lab-scale의 광펄스 살균시스템 • 광펄스 살균조건 최적화 및 안전성 연구 • Pilot-scale의 광펄스 살균시스템 제작을 위한 자료확립 및 품목 확장을 위한 조건 확립 				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분체식품(향신료)의 오염도 조사 및 lab-scale의 광펄스 시스템 <ul style="list-style-type: none"> • 분체시료에 대한 잠재적 위해 세균의 오염도 모니터링 및 오염미생물 저감화 수준 설정 • 광펄스 살균시스템 및 분체시료 살균을 위한 시료 처리용기 제작 ○ 광펄스 살균조건 최적화 및 안전성 연구 <ul style="list-style-type: none"> • 광펄스 살균시스템을 이용한 살균조건 확립 및 살균효과 검증 • 살균시스템의 산업적 적용에 요구되는 시료별 안전성 database 구축 ○ Pilot-scale의 광펄스 살균시스템 제작을 위한 자료 확립 및 품목 확장을 위한 조건 확립 <ul style="list-style-type: none"> • 재질별 살균 효과 연구 • 광펄스 살균시스템 제작을 위한 자료 확립 • 품목의 확대를 위한 품목별 살균조건 확립 				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> • 분말 제품의 살균을 위한 살균 시스템 개발 • 비가열 살균기술의 개발에 의한 탄소 저감 살균 공정 개발 • 비열가공기술에 의하여 천연지향, 건강지향적인 소비자의 기호를 충족시킬 수 있는 고품질 제품 생산 				
중심어 (5개 이내)	광펄스	비가열살균	분체식품	향신료	

5. 영문 요약문

< SUMMARY >

가. 1세부(과열수증기를 이용한 분체식품의 미생물 위해성 저감화 기술 개발)

		D-02			
Purpose & Contents	<ul style="list-style-type: none"> ○ Purpose <ul style="list-style-type: none"> • Development of sterilization process using super heated steam(SHS) for microbial hazards reduction of powdered food • Construction of pilot scale SHS sterilization system for commercial application • Establishment of SHS sterilization commercialization for powdered food ○ Contents of Research <ul style="list-style-type: none"> • Study of contamination level of commercialized spices and setup of lab-scale SHS sterilization system • Optimization of sterilization condition by SHS and study of safety • Production of microbiologically clean and safe red pepper powder 				
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ Study of contamination level of commercialized spices for 21 species of red pepper, 5 species of brown rice and 10 species of buckwheat ○ Construction of 3 lab scale SHS system having different treatment chamber each other ○ Optimization of sterilization condition by SHS and study of safety <ul style="list-style-type: none"> • Setup of sterilization condition by lab scale SHS system and verification of sterilization effect • Database establishment of spices for industrial application of SHS system ○ Construction of pilot-scale SHS system for production of safe red pepper powder <ul style="list-style-type: none"> • Production of microbiologically clean and safe red pepper powder • Storage test of clean and safe red pepper powder • Quality test of clean and safe red pepper powder 				
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> • Development of SHS sterilization system for powdered foods • Production of high quality red pepper powder • Expansion for other powdered food for consumer oriented high-quality products 				
Keywords	super heated steam	red pepper	powdered foods	spices	sterilization

나. 1핵심(광펄스 살균기술을 이용한 분체식품(종자 농산물)의 미생물 위해성 저감화 기술 개발)

		코드번호	D-02
Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> ○ Purpose of Research <ul style="list-style-type: none"> ▪ Development of pilot-scale intense pulsed light (IPL) for sterilization of powder foods ○ Contents of Research <ul style="list-style-type: none"> ▪ Investigation of contamination level of powder samples and manufacturing pilot-scale IPL sterilization system ▪ Optimization of IPL conditions and food safety study ▪ Upgrading pilot-scale IPL system for sterilization of powder foods 		
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ Investigation of contamination of powdered samples and manufacture of pilot-scale intense pulse light sterilization system <ul style="list-style-type: none"> ▪ Monitoring of potential contamination level in powder foods and setting of reduction level ▪ Manufacturing of IPL system for sterilization of powder foods ▪ Power supply, lamp upgrade ▪ Development of cyclone-type sample treatment chamber ▪ Documentation of equipment usage manual ○ Optimization of IPL condition and food safety study <ul style="list-style-type: none"> ▪ Determination of energy density change of IPL according to DC voltage and pulse duty ▪ Selection of powder foods for IPL sterilization and confirmation of initial bacterial count of powder foods ▪ Observation of IPL effects on sterilization of microorganisms in sesame seeds, cassia seeds, and glutinous millets according to IPL conditions (DC voltage, triggering voltage, frequency, pulse duty, and treatment time) ○ Upgrading pilot-scale IPL system for sterilization of powder foods and observation of characteristics of samples on IPL sterilization <ul style="list-style-type: none"> ▪ Changes in chamber material and design improvements of IPL system for industrial application ▪ Measurement of IPL energy density of upgraded pilot-scale IPL device ▪ Identification of sterilization of powder foods for upgraded system ▪ Observation of surface properties of powder foods using SEM ▪ Measurement of water content, water activity, and color change before and after IPL treatment ▪ Development of belt-type IPL device and identification of microbial reduction level on powder foods 		
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Development of IPL technology through basic research and industrial application research 		

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Improvement of long-term storage stability of perished foods using IPL technology ▪ International competitiveness of processed foods through securing the sanitary safety of powder foods ▪ Academic development by establishing the theoretical background of IPL technology ▪ Legitimate use of IPL technology through documentation in Korea Food Standards Codex 				
Keywords	Intense Pulsed Light(IPL)	Pilot-scale	Powder foods	Seed products	Cyclone

다. 2핵심(Cold plasma를 이용한 분체식품의 미생물 위해성 저감화 기술 개발)

		코드번호	D-02		
Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> ○ Objectives: To develop cold plasma treatment systems and technologies for microbial decontamination of onion powder and to establish pilot plant scale systems by optimization of cold plasma process parameters ○ Contents <ul style="list-style-type: none"> ▪ Determination of cold plasma treatment parameters for microbial inhibition in onion powder ▪ Optimization of cold plasma treatment conditions ▪ Design of pilot-scale cold plasma treatment systems for powdered foods 				
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ Investigation of microbial contamination level of onion powder and establishment of recommended level of inhibition for potentially harmful bacteria ○ Determination of cold plasma treatment parameters for microbial reduction of onion powder ○ Establishment of critical parameters that significantly influence the effectiveness of the cold plasma treatment for microbial decontamination of onion powder ○ Production of lab-scale cold plasma treatment reactor for powder treatment. ○ Determination of treatment conditions and validation of microbial inhibitory effects of the treatment using a lab-scale cold plasma treatment reactor for powder treatment <ul style="list-style-type: none"> ▪ Effective microbial decontamination using the cold plasma treatment reactor for powder treatment ▪ Dependence of the effectiveness on the parameters of moisture content, particle size, and food composition ▪ Analysis and acquisition of the optimum treatment conditions ○ Determination of the requirement for scale-up of cold plasma treatment system construction ○ Development of pilot-scale reactor applicable to a large scale production <ul style="list-style-type: none"> ▪ Manufacturing a pilot-scale conveyor system ○ Establishment of guidelines for cold plasma treatment for microbial inhibition of powder 				
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> ○ Production of high quality onion powder by cold plasma treatment systems ○ Contribution of developed cold plasma technologies from this research to a large scale microbial inhibition of powdered foods ○ Creation of new food industry making use of the cold plasma treatment for powdered food manufacture 				
Keywords	cold plasma	non-thermal treatment	onion powder	powder food	foodborne pathogens

라. 3핵심(광펄스 살균기술을 이용한 분체식품(향신료)의 미생물 위해성 저감화 기술개발)

		D-02			
Purpose & Contents	<ul style="list-style-type: none"> ○ Purpose <ul style="list-style-type: none"> • A study of sterilization of various spices using intense pulsed light technology • Establishment of sterilization condition on spices by lab-scale IPL equipment • Suggest operation factor and condition for scale-up to pilot-scale ○ Contents of Research <ul style="list-style-type: none"> • Study of contamination level of commercialized spices and setup of lab-scale IPL sterilization system • Optimization of sterilization condition by IPL and study of safety • Establishment of database for scale-up to pilot-scale 				
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ Study of contamination level of commercialized spices and setup of lab-scale IPL sterilization system <ul style="list-style-type: none"> • Monitoring of hazard bacteria contamination level for powdered foods and reduction level setup of contamination • Development of IPL equipment and treatment chamber for sterilization of powdered foods ○ Optimization of sterilization condition by IPL and study of safety <ul style="list-style-type: none"> • Setup of sterilization condition by lab scale IPL system and verification of sterilization effect • Database establishment of spices for industrial application of IPL system ○ Establishment of database for scale-up to pilot-scale <ul style="list-style-type: none"> • Research of sterilization effect as transmittance of treatment chamber materials with IPL treatment system • Establishment of database for scale-up to scale up • Establishment of sterilization condition for enlargement of items 				
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> • Development of sterilization system for powdered foods • Development of CO₂ reduction process by non-thermal sterilization • Production of consumer oriented high-quality products by non-thermal processing technology 				
Keywords	intense pulsed light	non-thermal sterilization	powdered foods	spices	pepper

6. 영문목차

CONTENTS

Chapter 1. Introduction of the project	15~35
Chapter 2. Domestic and foreign present condition of the research	36~41
Chapter 3. Research progresses & results	42~369
Chapter 4. Goal achievement & level of contribution	370~374
Chapter 5. Plans for future application	375~376
Chapter 6. Foreign scientific and technological intelligence ·	377~382
Chapter 7. Security grade of R&D outputs	383
Chapter 8. Research facility & equipment status	383
Chapter 9. Implementation of safety measures	383
Chapter 10. Typical research achievement of the project	384
Chapter 11. Etc.	384
Chapter 12. References	385~394

<Attachment>

Reports of contract research project

Investigation report for microbiological pollution level of powdered food

Guideline for manufacturing clean red pepper powder, IPL and CP sterilization

Suggestion notes

7. 본문목차

목 차 >

1장. 연구개발과제의개요	15~35
2장. 국내외 기술개발 현황	36~41
3장. 연구수행 내용 및 결과	42~369
4장. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	370~374
5장. 연구결과의 활용계획 등	375~376
6장. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	377~382
7장. 연구개발성과의 보안등급	383
8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황	383
9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	383
10장. 연구개발과제의 대표적 연구실적	384
11장. 기타사항	384
12장. 참고문헌	385~394

<별첨>

위탁보고서(서울대, 서울여대)

분체식품의 미생물 오염도 조사

가이드라인(무균고춧가루제조, 광펄스 살균, 콜드플라즈마 살균)

정책제안서

8. 뒷면지

주 의

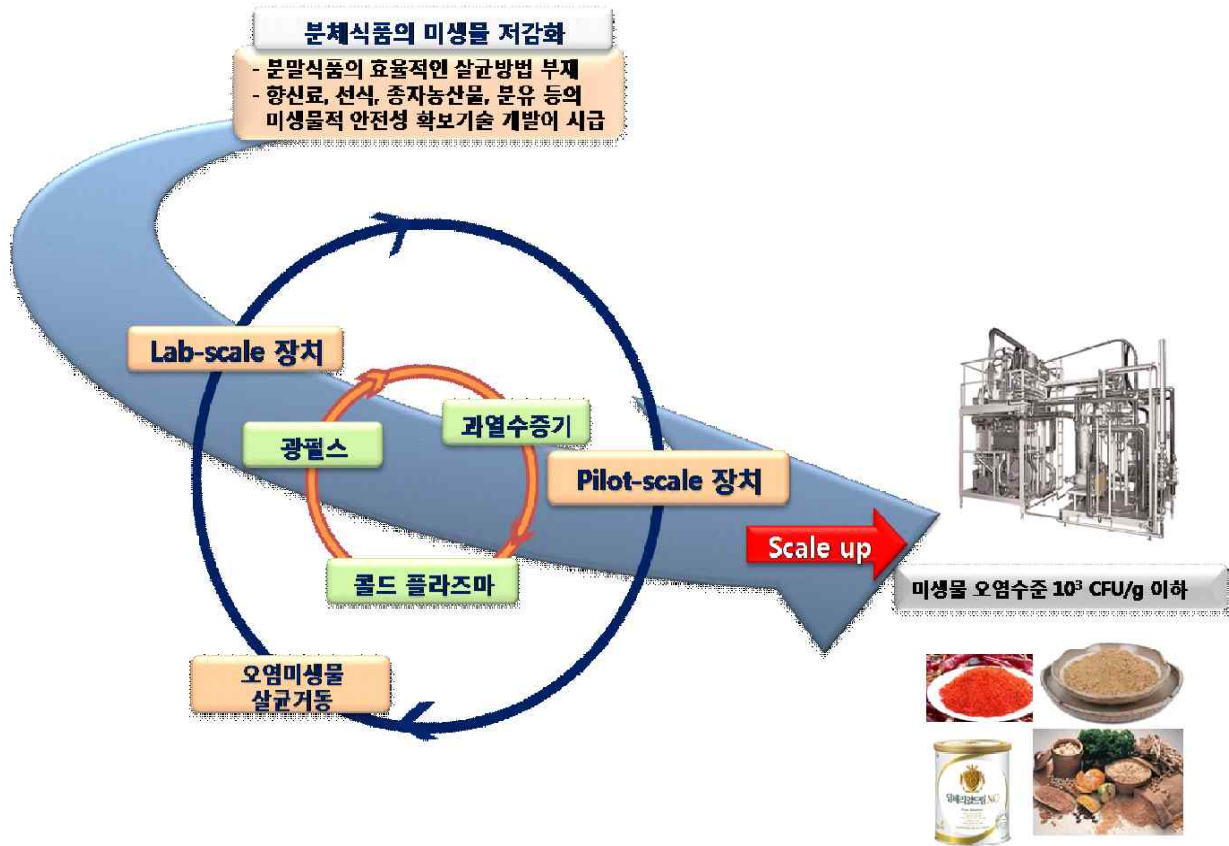
1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치식품기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치식품기술개발사업사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

1장. 연구개발과제의 개요

코드번호	D-03
------	------

1절. 연구개발 목적

효과적인 살균기술 개발이 절실히 요구되는 분말(분립체)식품(현미, 고춧가루, 분말 이유식, 참깨, 후추, 마늘가루, 양파가루 등)의 새로운 미생물 저감기술로 과열수증기(superheated steam), 광펄스(intense pulsed light), cold plasma 기술을 이용하여 최종제품의 미생물수를 10^3 CFU/g 이하(또는 법적허용 기준 이하)로 감소시킬 수 있는 integrated process를 개발하며, 이를 위하여 lab/pilot-scale장치를 개발, 제작하여 고효율, 저탄소 실용화 살균기술을 확립한다.



2절. 연구개발의 필요성

- 분체(분립체)식품은 대부분 농수산물을 알갱이, 절편, 과립 또는 분말 형태로 가공한 것으로 미생물 오염수준은 10 에서 10⁶CFU/g 정도이다.
- 이와 같이 **분체식품**의 오염도가 비교적 높은 이유는 대부분의 분체식품은 열에 민감하여 가열살균에 의하여 품질, 기능성 및 성상이 손상되기 쉬울 뿐 아니라 건조한 상태이므로 오염균은 장기간 생존할 수 있고 열저항성이 증가하기 때문에 고수분 식품과 같이 온화한 가열처리로는 안전한 수준까지 오염균을 사멸시킬 수 없으며, 약품살균과 방사선 살균은 소비자의 강한 거부감으로 분체식품 살균에 적용하기 어려운 점 등으로 인하여 **적당한 살균·감균기술이 없다.**
- 더욱이 소비자들뿐만 아니라 심지어 생산업자나 유통업자도 분체식품은 수분함량이 작기 때문에 세균학적으로 안전한 것으로 잘못인식하고 있어 실온에서 장기간 보관하거나 제조, 유통과정을 소홀히 하여 **오염균의 증식으로 부패하거나 유충란 등의 발생으로 인하여 손실**을 초래하는 경우가 많다.
- 또한 소비자들은 대부분의 분체식품을 RTE(ready-to-eat)로 생각하여 가열조리 과정 없이 섭취함으로써 오염균에 의한 **위해 가능성**이 높고, 오염된 분체식품을 생균수가 적은 식품 재료에 첨가하여 가공하는 경우 **식중독**을 일으킬 가능성이 있다. 실제로 세계적으로 분체식품에서 유래된 식중독 사고가 적지 않게 보고되고 있다(*J Food Protection*, 76(1), 2013, 150-172).
- 안전, 안심할 수 있는 식품에 대한 소비자의 욕구 증대, 단체급식의 증가로 식중독의 대형화, 건강기능성 소재의 살균·감균 요구 증가, 지역 특산물을 이용한 분체식품 가공 needs 증가 등으로 미생물학적으로 안전한 고품질 분체식품을 생산할 수 있는 클린한 물리적인 **고효율 저탄소 살균기술의 개발과 기술의 실용화가 시급한 과제**이다.
- 이상의 배경과 필요성에 입각하여 3P분석을 통하여 현재 개발되고 있는 신 살균기술의 살균효과, 위생성, 에너지 효율, 분체식품의 살균에 요구되는 특성, 상용가능성 등을 종합적으로 분석한 결과 ① **과열수증기에 의한 순간 가열살균기술**과 ② **광펄스와 cold plasma의 비열살균기술**이 분체식품의 살균에 가장 유망할 것으로 판단되었다. 이러한 신 살균기술을 적용하기 위해서는 lab scale장치를 제작하여 기초데이터를 확보하여야 하며, 이를 바탕으로 회분식 또는 연속식 pilot장치를 개발, 제작하여 실용적인 살균기술을 완성하고 scale-up자료를 획득하여야 한다.
- **분체식품의 미생물 오염 조사**는 살균기술 개발의 핵심 기초자료임에도 불구하고 신뢰성 있는 자료가 거의 없다. 따라서 현미, 참깨, 고춧가루 등 대표적인 분체식품 5종류 이상, 종류별 3개 이상 총 **분체식품 15품목**에 대하여 년차별로 오염정도를 조사할 필요가 있

다.

- 일부 분체식품의 경우 제조과정에서의 교차오염이 심각한 수준이므로 최종제품의 **오염균 수 10^3 이하를 달성할 수 있는 intergrated process**의 개발을 위해서는 신 살균기술 개발과 아울러 타 공정장치에 의한 교차오염 대책을 수립하여야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 **과열수증기 살균세정기**를 개발하여 전 제조공정의 세척, 살균에 이용할 것을 제안하고자 한다.

1. 분체식품의 미생물 저감화의 중요성

가. 분체식품의 미생물 오염

- 건강지향성 및 편의성을 중시한 식생활 패턴의 변화로 다양한 종류의 곡류, 두류, 과채류, 해조류 등을 grits, 절편, 분말 형태로 가공하여 대용식, 유동식, 다이어트식, 건강보조식 등의 용도로 그 수요가 증가하고 있으며, 고추, 마늘, 파, 양파, 후추 등의 농산물 건조식품과 새우, 멸치 분말 등의 수산물 건조식품 등이 천연 조미료로서 소비자의 관심을 모으고 있다.
- **농산물의 오염도** 곡류, 야채, 과일 등의 농산물은 재배 중에 토양과 야생동물 등 외적 환경인자에서 유래된 미생물이 표면에 부착하여 있으며, 일반적으로 수확 직후의 농산물에는 1g당 10⁶ 이상의 미생물이 존재하는 것으로 추정되고 있다. 따라서 이들 농산물을 가정 또는 가공공장에서 세척, 박피, 절단, 분쇄, 착즙 등의 과정을 거칠 때 표면과의 접촉에 의하여 미생물 오염이 확산될 가능성이 높다.
- **분체식품의 미생물 오염** 연구과제 제안서에서 **분체식품**이라 기술하였으나 제안된 대상 소재를 총괄하여 보면 엄격한 의미에서 분체(분말)식품이라기보다는 가루, 알갱이, 곡물 등을 포함하고 있으므로 분립체식품으로 보는 것이 타당할 것으로 생각된다. **분립체식품 (powdered and granular foods)**은 곡물 및 알갱이, 작게 절단 했거나 또는 가루 형태로 가공한 식품을 통칭한다. 예를 들면 현미 등의 곡류, 참깨 등의 씨앗, 코춧가루, 후주가루 등의 향신료, 양파가루 등 건조야채가루, 분말 이유식 등의 가루, 분말복합 조미료 등의 과립 등이 포함될 것이다. 이들 분체(분립체)식품은 대부분 10⁴에서 10⁶CFU/g 정도의 미생물로 오염되어 있다(*J Food Protection*, 76(1), 2013, 150-172).
- **분체식품에 대한 소비자의 잘못된 인식** 소비자들은 분체식품은 수분함량이 작기 때문에 세균학적으로 안전한 것으로 잘못 인식하고 있어 실온에서 장기간 보관하여 병원성 미생물이 생육할 수 있게끔 하는 등 잘못 취급하는 경우가 많다. 또한 이러한 대부분의 분체식품은 RTE로 생각하여 소비자들은 구입 후 가열조리 과정 없이 섭취함으로써 미생물에 의한 위해 가능성이 높다. 심지어 생산업자나 유통업자도 이와 같은 인식을 가져 제조공정과 유통과정을 소홀히 하는 경우가 많다.

○ RTE로 취급되는 분립체식품의 위험성 European Commission Regulation 2073/2005(59)에 의하면 RTE(ready-to-eat)는 “미생물을 살균 또는 감균 하기 위한 조리나 다른 조작을 할 필요 없이 소비자가 직접 소비하도록 할 의도로 생산자 또는 제조업자가 만든 식품”이라 정의하였다. 즉, 그대로 먹어도 안전하다는 뜻이다. 그러나 현재 생산되고 있는 많은 분체식품은 잡균으로 오염되어 있는 경우가 많기 때문에 이들 분체식품을 생균수가 적은 식품 재료에 첨가하여 가공하는 경우 교차오염에 의하여 식중독을 일으킬 가능성이 있다. 세계적으로 분체식품에서 유래된 식중독 사고가 심심치 않게 보고되고 있다. 일부 병원성 미생물 예컨대 *E. coli* O157:H7 또는 *Salmonella*의 경우 단지 몇 개의 세포만 살아 있어도 질병을 일으키기에 충분하다(*J Food Protection*, 76(1), 2013, 150-172).

○ 식품의약품안전청 보고(2007))에 따르면 시판 전식의 유해세균 오염실태 조사에서 50% 가까운 제품에서 식중독 균인 *Enterobacter sakazakii*와 *Bacillus cereus* 균이 검출된 것으로 보고된 바 있으며, 분유의 경우 식중독균의 검출로 인한 사회문제가 야기되기도 하였다.

나. 분립체식품에 기인된 식중독 사고의 대표적 사례

○ 식품으로부터 우리들이 받는 피해(식중독)의 원인은 그 90%이상이 미생물에 의한 것이다. 전 세계적으로 연간 10억명 이상이 식중독에 걸리고 5세 이하의 어린이 2백만 명이 사망하는 것으로 WHO에서 추정하였다. 우리나라의 경우 2008년도 식중독 발생 전체 354건, 7,487명 중 병원성 대장균에 기인한 건은 36건, 1,278명으로 건수로는 10.2%, 환자수로는 17.1%를 차지한다. 일본 후생성의 통계에 의하면 원인이 밝혀진 식중독 사건 중에서 약 4%가 야채에서 기인된 것이며, 미국에서는 약 20%가 야채에서 기인된 것이다.

○ 향신료에 오염된 *Listeria monocytogenes*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* 등으로 인하여 발생한 식중독사고 또는 제품회수에 대해서는 아직 보고된 바 없다. 그러나 향신료로 인한 식중독과 제품회수 사고를 일으킨 대부분의 병원성 세균은 아래 표에 나타낸 것과 같이 *Salmonella*로 인한 것이며 때때로 *E. coli*와 연류된 것이다.

Table 1. Selected Spice Recalls due to Bacterial Contamination*

YEAR	PRODUCT	PATHOGEN	NUMBER OF ILLNESSES
2001	Paprika	<i>Salmonella</i> Ohio	0
2002	Oregano	<i>Salmonella</i> Bispebjerg	0
2002	Sesame Seeds	<i>Salmonella</i> Senftenberg	0
2002	Basil Leaves	<i>Salmonella</i> Haifa	0
2003	Cumin, Ground	<i>Salmonella</i> Onderstepoort	0
2003	Paprika	<i>Salmonella</i> Karlshamn	0
2003	Sage, Ground	<i>Salmonella</i> Gaminara	0
2003	Cumin, Ground	<i>Salmonella</i> Salford	0
2004	Red Pepper, Powdered	<i>Salmonella</i> Derby	0
2004	Paprika	<i>Salmonella</i> spp.	0
2004	Sesame Seeds, White	<i>Salmonella</i> spp.	0
2005	Basil, Ground	<i>Salmonella</i> spp.	0
2005	Basil, Extra Fancy	<i>Salmonella</i> Blockley	0
2006	Veggie Booty (Seasoning)	<i>Salmonella</i> Wadsworth <i>Salmonella</i> Typhimurium	60 (mostly toddlers)
2007	Peppercorns ^b	<i>Salmonella</i> spp.	0
2007	Sesame Seeds ^b	<i>Salmonella</i> spp.	0
2007	Mojito Cocktail Garnish (Parsley Powder)	<i>Salmonella</i> spp.	0

* Note: The names provided for *Salmonella* are the genus followed by the serovar, which is the current practice by the CDC for serovars within subspecies I of *S. enterica*. The unabbreviated name of *Salmonella* Ohio would be *Salmonella enterica* subsp. *enterica* ser. Ohio. Further information on *Salmonella* nomenclature is available in the Journal of Clinical Microbiology, July 2000, p. 2465-2467, Vol. 38, No. 7 (online at <http://jcm.asm.org/cgi/content/full/38/7/2465>).

^b Recalls that occurred in Canada, all other recalls listed in table occurred in the U.S.

(자료: ASTA White Paper: Microbial Safety in Spices)

- 독일에서 발생한 파프리카 분말에 의한 살모넬라증(salmonellosis)의 교훈 1993년 4월~9월 사이에 독일에서는 약 1000건의 살모넬라증이 발생, 그 원인을 추적한 결과 파프리카와 파프리카분말을 입힌 potato chip이었다. 대부분의 경우는 14세 이하의 어린이로 살모넬라증을 일으키는 유효균수는 (4-45)cells인 것으로 추산된다. 이 식중독 사건의 예에서 다음과 같은 사실을 배울 수 있다.
 - 1) 섭취하기 전 살균하지 않으면 적은 수의 *Salmonella*가 존재하여도 사람의 건강에 위해를 끼친다.
 - 2) *Salmonella*는 건조한 환경에서 매우 안정하여 생산, 유통, 결국 소비할 때까지 생존할 수 있다.
 - 3) 식품 성분(예컨대 고지방)은 *Salmonella*를 위산으로부터 보호하여 식중독을 유발한다.
- Baumgartner 등(*Int J Food Microbiol.* 136, 2009, 189-192)에 의하면 소매상에서 판매되고 있는 268개의 RTE식품에 대하여 균별로 *Cronobacter*(과거 *Enterobacter sakazakii*)의 존재여부를 분석한 결과 1) 스프라우트(sprout) 신선한 샐러드/허브(스위스산, 일부 태국 수입)에서는 23개 중 14개(60.9%), 2) 향신료와 건조한 허브 25개(아시아국 수입) 시료 중에서 7개(26.9%), 3)과자류 시료(스위스산) 42개 중에서 3개(7.1%)의 시료에서 *Cronobacter*가 양성이며, 총 Enterobacterial count는 $2.9 \times 10^2 \sim < 10$ cells/g 범위인 것으로 보고하였다.

Table 1

Occurrence of *Cronobacter* in various ready-to-eat food stuffs after enrichment in selective broth and relative performance of three chromogenic agar media.

Category of food	Number of samples	Number of samples yielding confirmed <i>Cronobacter</i> isolates			Overall % positive samples
		ESPM	DFI	ESIA	
Confectionery	42	3 (1 ^a /2 ^b)	3	3	7.1
Soft cheese from raw milk	39	0	0	0	0
Meat products	42	0	0	0	0
Delicatessen salads	37	0	0	0	0
Ice cream	27	0	0	0	0
Sprouts and fresh herbs/salads	23	12 (2 ^a /10 ^b)	13	14	60.9
Milk- and dessert powders	32	0	0	0	0
Spices and dried herbs	26	6 (4 ^a /2 ^b)	7	7	26.9
Total	268	21 (7 ^a /14 ^b)	23	24	8.9

ESPM, *Enterobacter sakazakii* plating medium (R & F Laboratories, Illinois, U.S.A.); DFI, Brilliance *Enterobacter sakazakii* agar (DFI formulation, Oxoid, Basingstoke, UK); ESIA, *Enterobacter sakazakii* isolation agar (AES Laboratoire, Bruz, France). ^aBlack colonies (typical); ^bgreen colonies (atypical).

다. 중요성이 증가하는 분체식품의 살균·감균 기술

- 안전하고 안심할 수 있는 식품에 대한 욕구 증대 오늘날 식생활은 신선하고 건강에 유익한 식품을 지향하고 있어 소비자들의 식품안전과 위생에 대한 욕구가 강해져 가공식품 뿐 만아니라 사용하는 식품원료, 식품소재 및 첨가물의 안전성에 대해서도 관심이 높아지고 있다.
- 단체급식의 증가로 식중독의 대형화와 경제적 손실 증대 최근에는 학교와 직장 등에서 단체급식이 발달됨에 따라 식품 재료의 유통도 대량화되어 분체식재의 오염균에 의해 다수의 사람이 식중독 피해를 입을 가능성이 높아지고 있다. 또한 오염된 식품의 회수와 폐기도 어려워 그 여파는 매우 크며, 경제적인 문제뿐 만아니라 사회불안과 윤리적인 문제까지 비화될 소지가 있다.
- 건강기능성 소재의 살균요구 증가 일반 가공 분체식품 이외에 살균 및 감균기술의 중요성이 급속히 증가하고 있는 또 다른 분야는 건강기능성 소재이다. 그 배경은 건강기능식품에서 요구되는 기능성과 품질, 안전수준에 대한 소비자의 인식수준이 높아져 제조현장에서는 살균을 포함하여 고도의 분체가공기술이 요구되게 되었다. 따라서 소비자들의 안전에 대한 욕구를 충족시키기 위하여 종래 살균처리가 필요 없었던 소재도 메이커에서 독자적으로 기준을 설정하여 살균을 하는 사례가 증가하고 있다.
- 지역 특산물을 이용한 분체식품 가공 needs 증가 지역자원의 유효활용을 지향하는 지자체가 증가하고 지역 특산 농작물을 이용한 건강식품소재 개발을 목표로 한 움직임이 활발하다. 앞으로 안전관리와 품질, 지역밀착형의 국산소재를 활용한 건강 원료 개발의 움직임이 더욱 확대될 것으로 예상되어 국내 분체식품의 위생적 가공 needs는 더욱 높아질 것이다

- **고도의 분립체 살균기술을 가진 위탁가공업체의 육성 필요성 증대** 중소기업에서 생산한 소재 또는 위탁 가공한 소재를 사용하여 자체 브랜드 제품을 생산하는 기업이 증가하고 있다. 그러나 열악한 중소기업의 기술력 및 시설부족으로 인하여 오염된 소재가 납품되고 이로 인하여 병원성 균으로 오염된 제품이 유통되어 사회적 파장을 일으키는 사례가 종종 보고 되고 있다. 따라서 국민건강을 위하여 고도의 분립체 살균·감균기술을 갖춘 수탁메이커를 육성, 발전시켜야 할 것이다.
- **국내가공에 대한 소비자의 욕구 증가** 농산물, 분체식품 및 건강식품 원료의 많은 부분이 해외 산으로 현지에서 가공되는 경우도 적지 않다. 특히 수입 식품재료의 안전성에 대한 불안감이 커 반사적으로 소비자들은 안전관리와 품질 면에서 해외산일지라도 국내 식품가공전문공장에서 위생적으로 가공하기를 원하는 경향이다. 소비자들의 이러한 해외산의 안전성에 대한 우려와 국내가공에 대한 needs에 부응하기 위하여 분립체 살균기술의 개발과 육성이 시급하다.

2. 분체식품의 살균목표와 교차오염의 위험성

- 일반적으로 식품의 미생물학적 안전성 확보 전략은 식품 중에 미생물이 절대적으로 없도록 살균 하는 것이 아니라 위해를 합리적으로 일으키지 않는 적절한 수준으로 미생물 수를 감소시키는 것이다. 예컨대 우유의 살균공정은 *Mycobacterium bovis*와 *Coxiella burnetti*의 수준을 5내지 6log 감소시키기에 충분하게 열처리하는 것이 기본이다. 이와 같이 살균공정에서 달성하고자 하는 목표가 **log reduction target**이다.

감균 목표(R)는 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$H - \Sigma R + \Sigma I \leq FSO \quad (1)$$

또는

$$H_0 - \Sigma R + \Sigma I \leq PO \quad (2)$$

여기서 H_0 는 초기 균수

ΣR 은 총 감균수(total reduction)

ΣI 은 총 증균수(total increase)

FSO(Food Safety Objective)는 소비할 때의 균수

PO(Performance Objective)는 식품유통 전의 특정 단계에서의 균수

- 1log reduction 즉, 1log(10^1) 감균 시킨다는 것은 병원성 미생물의 수를 1/10 감소시킨다는 것이며 따라서 식중독을 일으킬 위험도를 1/10 줄인다는 것을 의미한다. 따라서 5log reduction은 제품 중의 목표 병원성 미생물의 균수를 5log(10^5) 즉, 100,000분의 1로 감소시킬 수 있도록 살균공정의 조작 목표를 설정하는 것을 뜻이다.

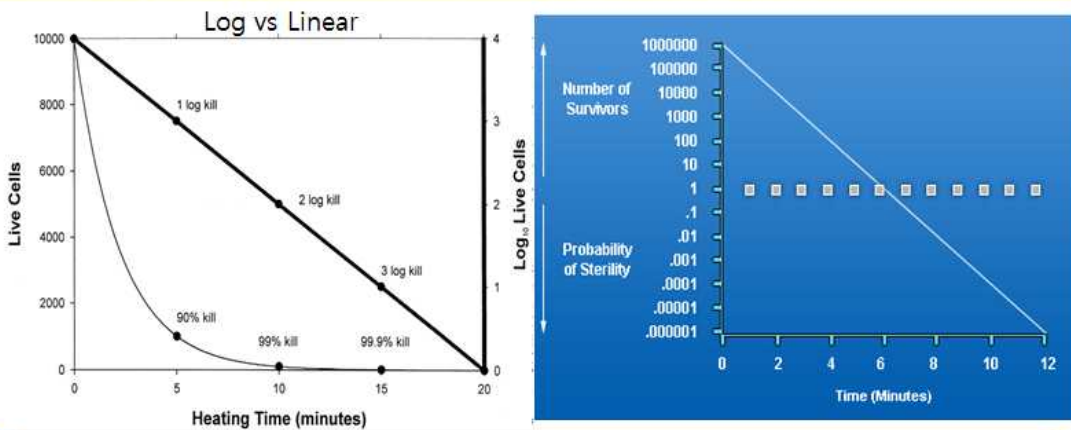
- **Log reduction target의 결정**은 위험관리를 위한 결정이므로 과학적으로 방어할 수 있는 과학적/통계적 근거가 요구된다. 그러나 위험관리자들에게는 data가 부족한 경우가 많아 위험관리의 불확실성이 증가한다. 이와 같은 경우 산업체에서는 **5 log reduction을 목표로** 하는 경우가 많다.
- 일본에서는 향신료에 대한 식품위생법상 규격기준이 있어 「식육제품, 경육제품, 어육연제품을 제조하는 경우 향신료, 설탕 및 전분은 그 1g당 아포수가 1000 이하가 되지 않으면 안 된다.」 따라서 이와 같은 용도로 사용하는 향신료는 살균하지 않으면 안 된다.

시나리오 1: FDA 권고 5 log reduction target은 과연 안전한가?

- 미국 FDA 2009년 땅콩 유래 제품을 소재로 사용한 식품에 대한 *Salmonella* 위험관리 지침을 발표. “식품제조업에서는 “*Salmonella* 균수를 적절히 감소시킨 땅콩 유래 제품”을 supplier로부터 공급받거나 가공공정에서 직접 “적절히 감소시킬 것”을 권장.
- 여기서 “적절히(adequate)”는 5log reduction을 암시.

- 1log reduction : 1log(10¹) 즉, 균수를 1/10 감소시킨다는 의미. 90%의 미생물은 사멸, 10%만 생존
- 5log reduction target의 의미: 제품 중의 목표 병원성 미생물의 균수를 5log(10⁵) 즉, 100,000분의 1로 감소시킬 수 있도록 살균공정의 조작 목표를 설정

- **감균목표의 확률적 의미:** 1kg 당 1개의 병원성 미생물이 존재하는 어떤 원료(1CFU/kg)로 인하여 발생할 식중독 발생의 위험도가 100,000serving당 1건 이라고 가정할 경우
 - 이 제품을 식중독을 감소시키기 위하여 살균하여 5log 감균 시켰다면 살균 후 제품 1kg 당 0.000001개 즉, 100,000kg 당 1개의 병원성균이 살아 있을 확률
 - 자연히 식중독 위험도는 100억serving(10,000,000,000) 당 1건으로 감소.



- 원료의 초기오염도(H) 조사의 필요성 분체식품은 열에 민감하여 살균공정에서 R을 높일 수 없으므로 살균공정에서 품질손실을 최소화 하기 위해서는 당연히 초기 오염도를 낮추는 것이 중요하며 기준 설정값 H₀를 넘지 않도록 GAP 등 적절한 관리체계를 도입하여야 한다. 현재 국내에서 유통되고 있는 대부분의 분체식품은 미생물 오염도에 대한 연구가 거의 이루어지지 않았다. 따라서 살균공정을 설계하기 위해서는 최소한 본 연구에서 연구대상으로 하는 분체식품에 대해서 미생물의 초기오염도에 대한 조사가 이루어져야 할 것이다.

- **Postprocess contamination(I) 방지 대책 필요** 살균공정에서 특정한 감균목표를 달성하였다 하여도 살균공정 후의 공정(postprocess)에서 교차오염(cross-contamination) 또는 재오염(recontamination)이 발생되어 살균목표가 무효화되는 경우가 많다. 고춧가루 제조공장에서 오염도 실태를 조사한 보고서(한국보건산업 진흥원 2005)에 의하면 원초고추의 오염도는 10 CFU/g 정도인데 고춧가루 제품의 오염도는 오히려 10^5 cfu/g으로 현저히 증가하는 기현상이 일어나고 있다. 이는 고춧가루 제조 공정 중의 오염이 주원인으로 GMP, HACCP를 실시하고 있다는 주장을 무색하게 한다. 따라서 본 연구에서 **고효율 분립체 살균기술의 개발에 성공**하였다 하여도 공장 내에서 오염된 장치로 인한 재오염을 방지하지 않으면 현장 적용 단계에서 개발성고가 **무효화**될 가능성이 높다. 이에 대한 대책으로 본 연구에서는 **제조장치 살균을 위한 과열수증기 세정세균기(superheated steam sterilizing cleaner)**를 부수적으로 개발하여 이의 보급을 제안하고자 한다.
- **분체식품에 의한 교차오염의 심각성** 상술한 식중독 사례에서 기술한 것과 같이 분립체 자체의 오염으로 인하여 제품이 회수, 폐기되기도 하지만 향신료, 분말허브, 분말야채, 곡물가루 등의 오염된 분체식품을 생균수가 적은 식품 재료에 첨가하여 가공한 제품으로 인하여 식중독이 발생되고 있다. 더욱이 세계보건기구의 조사결과는 인용한 보고(Reij et al. *Int J Food Microbiol* 91(2004):1-11)에 의하면 원인이 밝혀지지 않은 모든 식중독의 57%는 교차오염에 기인한 것으로 추정되고 있다. 특히 분체식품은 일반적으로 RTE로 오인하여 추가적으로 병원균을 불활성화 시키는 단계 없이 사용되는 경우가 많으므로 분체식품의 병원성균이 교차오염 되면 식품안전에 심각한 위험이 될 수 있다.

시나리오 2: 분립체식품의 교차오염에 의하여 살균공정의 감균목표 효능이 얼마나 감소할 가?

• 5log감균

1kg 당 1개의 병원성 미생물이 존재하는 원료(1CFU/kg)를 5log 감균
(100,000kg 당 1개의 병원성 미생물 생존)

• 재오염

살균된 상기 원료에 1kg 당 10개의 병원성 미생물이 존재하는 분말소재(10CFU/kg)를 0.1%
혼합하였다고 가정하면

• 오염율:

살균한 제품 100,000kg에 1개의 병원성 미생물
분말소재 100kg에 1,000개의 병원성 미생물

최종제품 100,100kg에 1,001개의 병원성 미생물 오염
최종제품의 오염율은 0.01CFU/kg

이는 초기 살균공정에서 5log reduction을 달성했으나
“최종 제품의 유효 감균율은 2.0log reduction”밖에 되지 않는다는 것을 의미
시나리오 1의 식중독 위험도 100억/serving 당 1건에서 1천만/serving당 1건으로 급증

○ Verification에 의한 병원성균의 사멸효과 입증 연구 필요 현재 가열, UV, 적외선 등에 의한 분체식품의 살균효과는 어느 경우이던 처리 전후 일반세균과 대장균군의 생균수에 초점을 맞추어 평가하고 있다. 이와 같이 일반세균수로 살균효과를 평가하는 것은 이들이 사멸되는 살균조건에서는 병원성 균도 당연히 동일한 정도로 살균될 것이란 전제가 있다. 그러나 살균공정에서 병원성 균이 목적하는 수준으로 확실히 살균되었다는 과학적/통계적 근거를 확실히 하기 위해서는 반드시 **verification**연구가 이루어져야 한다. 검증 연구에서는 대표적인 식중독균에 대응하는 indicator 균주의 사멸거동을 밝히는 것이 중요하다.

3. 분립체 살균의 특성과 살균기술의 한계

가. 분체식품 살균의 기술적 난제

- 분체식품은 열에 민감하여 향미 손실, 갈변, 퇴색, 비타민 등 영양소의 파괴, 항산화 활성의 저하 등 품질 손상을 받기 쉽다.
- 분체식품은 수분함량이 증가하면 풍미 감소, 조직 변화, 응고, 고착 등 성상이 변하며 보존기간이 단축된다.
- 특히 대부분의 분체식품은 건조한 상태이므로 세균의 열저항성이 증가하고, 증식하지는 않으나 장기간 생존하며, 제조공정에서 다른 제품 및 장치 등에 교차오염 유발가능성이 높다.
- 분체식품에는 지방, 단백질 등의 함량이 높은 제품이 많아 미생물의 생존성이 높아진다.

- 분체식품은 이러한 특성을 가지고 있어 일반적으로 고수분 함량의 식품에 적용되는 온화한 열처리 공정으로는 병원성균을 효과적으로 살균할 수 없다.
- 분립체를 살균할 때는 분립체의 성질과 살균목표인 미생물의 열특성을 이해하고 갈변변화, 퇴색, 단백질의 변성, 전분의 -화, 비타민 등의 파괴를 최소한으로 억제하며 조작하지 않으면 안 된다. 이와 같이 분립체 살균의 특성을 만족시키면서 살균한다는 것은 기술적으로 매우 어려워 아직 만족할 만한 실용적 기술이 개발되지 못하였다.

나. 현재 사용되고 있는 분립체 살균기술의 한계

- 현재 분립체 살균에는 가열살균, 자외선 살균, 마이크로파 살균 등의 방법과 비가열 살균법으로는 방사선 살균, 에틸렌가스 등에 의한 약제살균 방법이 사용되고 있다.
- 미국에서는 1980년 WHO의 권고를 기초로 하여 향신료에 대한 방사선 살균을 허가하였으나 허용조사선량을 1 Mrad로 하였으며, 이에 대하여 향신료메이커로부터 내열성 포자의 살균에 필요한 3-4 Mrad의 조사를 요청하고 있다. 일본에서는 안전성 등의 입장에서 방사선 살균은 허가되어 있지 않다.
- 한편 FDA는 현재 분체식품의 살균에 대하여 잔류치를 50ppm으로 규제하면서 ethylene oxide의 사용을 허가하고 있으나 약품살균 방법의 안전성 등에 소비자들이 강하게 의견을 제기하고 있어 약제에 의한 살균은 적용에 한계가 있다.
- 가열에 의한 살균은 전통적인 방법이지만 품질열화가 문제이다. 종래부터 행하던 건열에 의한 살균은 고온의 건조공기로 식품을 가열하여 살균하는 방법이다. 건조공기는 열 전달율이 낮으므로 분체식품의 온도를 상승시키는데 시간이 걸리기 때문에 처리시간이 길고 산화 등에 의한 품질열화가 발생한다.
- 증기 등을 이용한 습열 살균은 건열살균에 비하여 살균효과가 현저히 높다는 것은 잘 알려져 있는 사실이다. 그러나 분립체 원료를 포화수증기를 사용하여 습열 살균하는 것은 운전조작 상 어렵고 특수한 경우를 제외하고는 실용화되지 않았다. 분립체를 습열 살균하면 수분의 증가와 고착이 발생하여 살균 후에는 재건조와 재분쇄 처리가 필요하게 된다.
- 이상에서 기술한 것과 같이 종래의 가열살균법으로는 분립체의 품질열화는 피할 수 없으며 방사선 살균법 및 화학적 살균법이 이를 대체할 수 없다. 따라서 분체식품의 품질을 가능한 자연적인 상태로 선도를 유지하면서 미생물학적으로 안심하고 섭취할 수 있는 고품질의 분체식품을 소비자에게 제공하기 위하여, 클린한 물리적인 고효율 저탄소 살균기술의 개발과 적용이 중요한 과제이다.

3절. 연구개발 범위

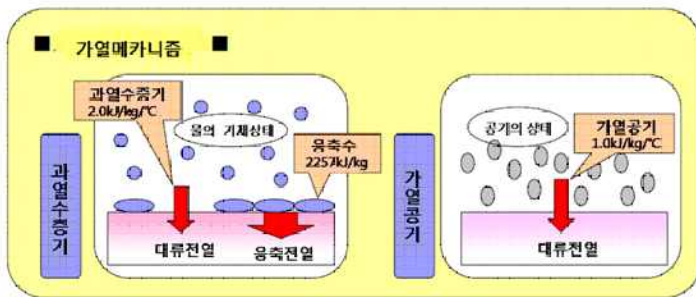
- 종래 살균기술 및 현재 개발되고 있는 신 살균기술의 살균효과, 식품위생성, 에너지 절약 면 등에 대한 분석과 분체식품의 살균에 요구되는 특성을 고려할 때 분체식품의 살균에는
 - ① 과열수증기에 의한 순간 살균기술
 - ② 열에 매우 민감한 제품의 살균을 위한 비열살균기술(광펄스와 cold plasma)이 가장 유망할 것으로 판단된다.
- 고효율 저탄소 기술로서 과열수증기, 광펄스 및 cold plasma 살균기술 과열수증기는 식품과 직접 접촉하여 응축잠열과 현열을 식품에 직접 전달함으로써 열전달속도가 열풍보다 약 10배 빠르기 때문에 에너지 효율이 가장 우수한 가열살균기술이라 할 수 있다. 또한 광펄스와 cold plasma는 전기방전에 의하여 발생하므로 형광램프와 같이 에너지 소비가 매우 효율적이다. 전기를 광 또는 plasma로 전환하는 효율이 약 80%에 달하는 에너지 절약기술이다.

1. 과열수증기 살균기술

- 과열수증기(superheated steam) 살균은 과열수증기와 분립체 원료를 순간적으로 접촉 시킴으로서 원료의 수분을 거의 변화시키지 않으면서 더욱이 품질의 열화를 최소한으로 하면서 병원성 미생물을 살균할 수 있는 초단위의 살균기술이다. 과열수증기는 습열살균과 건열살균의 효과를 모두 가지고 있어 살균속도가 열풍살균보다 약 10배 빠르므로 매우 짧은 시간(5-30초)에 내부의 가열변성을 억제하면서 표면의 균수를 $(5\sim6)\log\text{CFU/g}$ 에서 $(2\sim3)\log\text{CFU/g}$ 정도로 감소시킬 수 있다.
- 과열수증기란 물을 끓여 기화시킨 포화수증기(1기압의 경우 100℃의 수증기)를 더욱 가열한(120-250) H O가스를 의미한다. 일반적으로 우리가 수증기(steam)라 부르는 증기는 보통 아주 작은 물방울을 함유하고 있는 습한 증기로 우리 눈에 희게 보인다. 이 습한 증기를 1기압을 그대로 유지하면서 100 이상으로 더욱 가열하면 우리 눈에 보이지 않는 무색투명한 기체상태의 과열수증기가 된다.
- 과열수증기에 의한 가열메커니즘 과열수증기 가열과 보통 수증기(포화수증기) 가열의 차이점은 과열수증기는 100 이상의 현열(sensible heat)을 가지고 있다는 점이다.
- ▷ 포화수증기로 분체식품을 가열하는 경우 초기에는 식품의 온도가 낮기 때문에 식품표면에 수증기가 응축한다. 이때 2256.9kJ/kg(539.1kcal/g)의 큰 응축잠열을 식품 표면에 주게 되며 이를 응축전열이라 한다. 응축전열속도는 매우 빨라 식품표면은 급속히 가열되며 식품표면이 응축수로 젖어 있기 때문에 습열가열 상태이다. 계속 가열하여도 포화수증기의 온도는 100 이므로 응축수는 증발하지 않으며 식품은 젖은 상태이다.

▷ 그러나 과열수증기로 분립체를 살균할 경우 상술한 바와 같이 초기에는 분립체의 표면에 응축수가 형성되면서 높은 응축잠열이 표면에 부착하여 있는 미생물에 순간적으로 전달되어 미생물을 사멸시키는 습열살균 일어난다(응축과정). 과열수증기의 온도는 100 이상이므로 식품표면 온도가 100에 도달한 이후에도 현열에 의하여 표면 응축수가 다시 증발하고(증발복원과정), 응축수가 모두 증발한 이후에는 표면은 건조되고 온도는 100 이상으로 상승한다(증발건조과정). 이 기간에는 과열수증기의 현열에 의하여 오염미생물이 사멸되므로 건열살균이라 할 수 있다.

○ 다시 말하면 과열수증기 살균은 습열살균과 건열살균의 효과를 모두 가지고 있어 살균속도가 매우 빨라 표면의 순간살균이 가능하다. 상술한 분체식품의 과열수증기 처리 과정을 정리하면 ① 응축과정, ② 증발복원과정, ③ 증발건조과정으로 정리할 수 있다. 특히 식품표면에 수분이 응축되어 있는 기간에 미생물이 주로 사멸되며 이 시간은 매우 짧기 때문에 적절히 제어하는 것이 중요하다.



과열수증기에 의한 가열메커니즘

○ 과열수증기 살균의 우수성: 지금까지의 연구에 의하면 과열수증기 살균은 ①수분감소를 최소화 할 수 있으며, ②과열수증기 분위기는 산소가 거의 없는 상태이므로 유지, 비타민 등의 산화가 억제되고, ③과열수증기 처리는 기체 상태에서 처리이므로 영양성분이 용출되지 않으며, ④농산물 표면에 부착하여 있던 농약과 기름성분의 제거, 불쾌취의 제거 등으로 품질이 개선되고, ⑤과열수증기로 가열한 제품은 색이 선명하고 식감이 좋은 것으로 평가되고 있다.

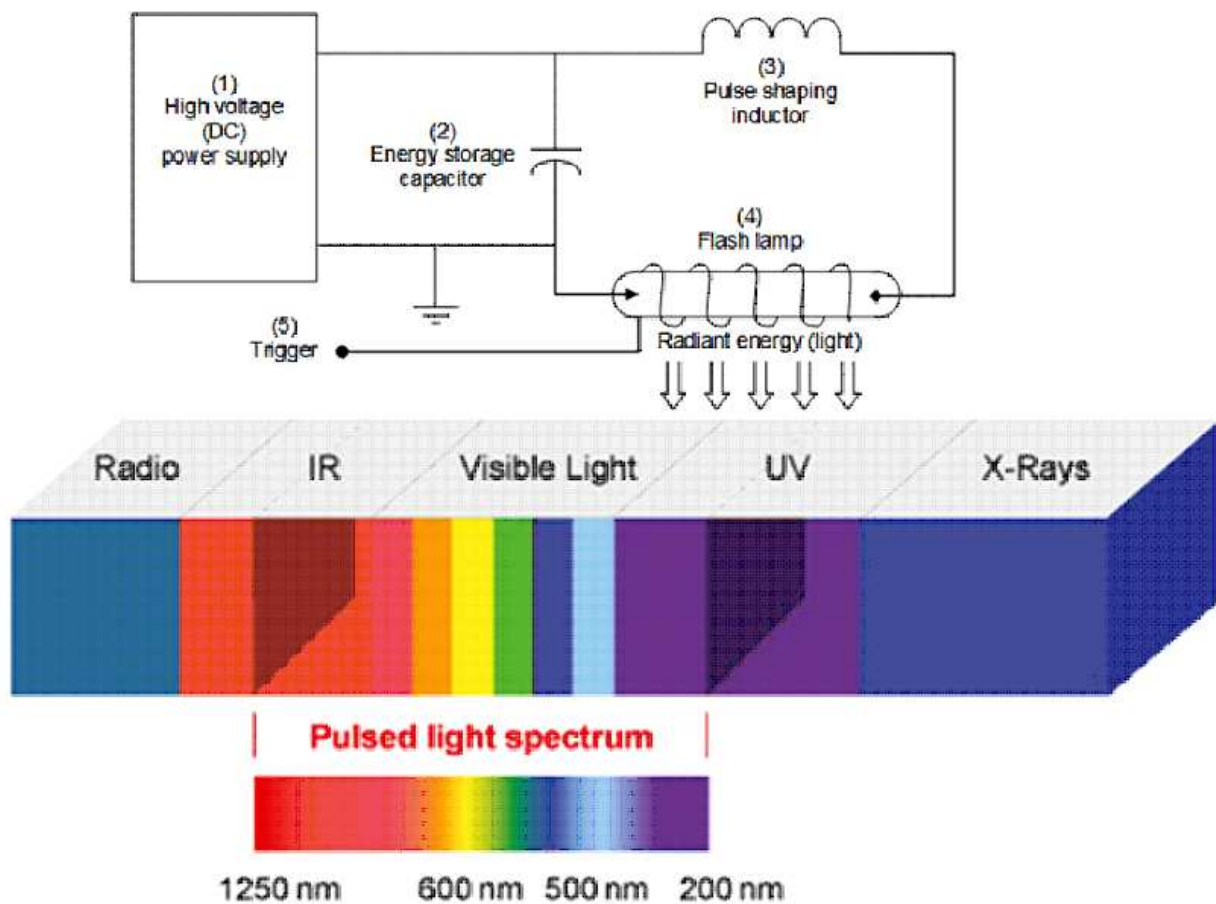
○ 일본의 산업화 사례 : 과열수증기를 이용한 신선농산물, 분체식품의 미생물 저감화 연구를 가장 활발히 추진하고 있는 국가는 일본이며, 상당한 부분 실용화 되었다. Fukushima Hightech Plaza Report(2008)에 의하면 오이의 경우 처리온도에 관계없이 5-10초간 처리한 결과 오염되어 있던 무포자 세균이 완전히 사멸되었으며, 120에서 10초간 처리할 때까지는 관능적인 품질열화는 없었다고 보고하였다. 또한 상추, 무, 배추를 180의 과열수증기로 10초 동안 처리한 결과 일반세균수는 1000-10,000분의 1, 대장균은 모두 음성이 되었으며, 기타 전분, 대두, 메밀가루, 감초, 계피가루의 경우는 140-190, 5초 처리에 의하여 일반세균은 1000-10,000분의 1, 대장균은 음성, 내열성균은 10%이하로 감소된 것으로 보고되었다(식품과 개발, 43(12), 4-7, 2008), 일본).

2. 광펄스 살균기술

- 광펄스(intense pulsed light, IPL) 살균기술이란 강한 빛을 단시간에 식품 표면에 조사하여 오염미생물을 사멸시키는 비가열 살균법이다. 고전압 전류를 capacitor에 저장하였다가 램프의 전극을 통해 순간적으로 방전시키면 고전류의 전기펄스가 램프 내의 불활성 가스(xenon)에 작용하여 전자와 가스 분자가 강력하게 충돌하게 되고 그 결과 가스분자는 여기(excitation)되어 햇빛보다 2만~4만 배 강한 매우 짧은 광펄스를 방출한다.
- ▷ 이때 방출되는 빛의 영역은 170-2600 nm의 범위로 자외선(UV) 영역뿐만 아니라 근적외선(NIR) 영역까지 포함한다는 점에서 기존의 UV 살균과는 구별되며, UV 살균에 비해 월등히 높은 살균력을 가지고 있다. 광펄스 처리 시 0.01-50 J/cm² 범위의 에너지밀도(energy density)를 가지는 pulse가 1 μs - 0.1 s의 간격으로 1 - 20회의 flash 형태로 물질에 가해지며, 광원으로는 일반적으로 xenon lamp가 사용된다.

Pulsed light decontamination consists of high density light flashes generated with a discharged lamp. Due to the high voltage applied between the lamp electrodes, the gas ionizes and creates an electric arc. The broad emitted spectrum has a high UV content.

1. A high voltage generator stores energy in capacitors (many kJoules). This energy is repetitively released in the lamp thank to an electronic switch.
2. The discharged lamp is enclosed in a proper optic cavity, which focuses the light beam on the areas to be treated. The fluency of 1 light pulse corresponds to around 40'000 times the sun on earth.



3. The light spectrum resulting is wide and intense, with high UV content. The light emission is homogenously distributed on an area of some dm².

광펄스 살균시스템의 개요도

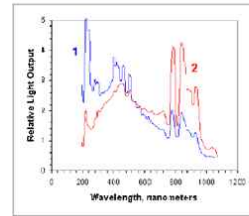
- 광펄스에 의한 미생물 사멸 메커니즘 UV에서 NIR영역을 포함하는 전 파장의 강한 빛을 아주 짧은 시간 식품에 조사하여 식품 표면을 살균시키며 포장재나 투명한 약품의 살균에도 사용될 수 있다. 이때 열은 거의 생성되지 않는다.

- ▷ 광펄스가 변패미생물과 병원성 미생물을 사멸시키는 살균력은 빛의 파장, 빛의 강도, pulse의 수와 주기(조사시간), 시료와 광원 사이의 거리와 포장재와 식품의 종류 등에 의해서 결정된다. 살균메커니즘은 아직 구체적인 이론이 정립되지 않았으나 기존의 UV 살균의 경우와 마찬가지로 빛에 의한 세포의 DNA 구조와 세포의 물리적 파괴에 의한 것으로 보고 있다. 다만 광펄스 살균은 UV 살균보다 월등히 큰 손상을 주기 때문에 미생물이 회복될 수 있는 확률이 훨씬 낮아져 UV 살균법에 비해 살균효과가 매우 우수한 것으로 알려져 있다.
- ▷ FDA는 일정한 조사량 범위 내에서 식품의 표면살균에 광펄스의 사용을 허용하고 있으며 허용한 범위 내에서는 식품의 품질과 관능적 특성에 거의 영향을 주지 않는 것으로 보고되고 있다.

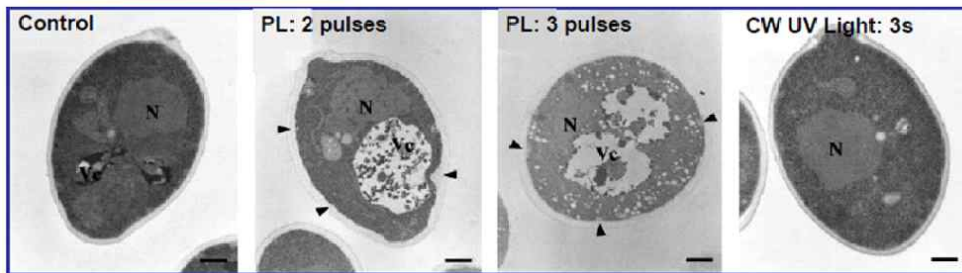


Intensive light flashes

- Power density: 100-2500 J/m²
- Frequency: 200-1100 nm
- Pulse duration: 0.1-0.3 msec
- Pulse numbers: 1-10



1. High current
2. Low current



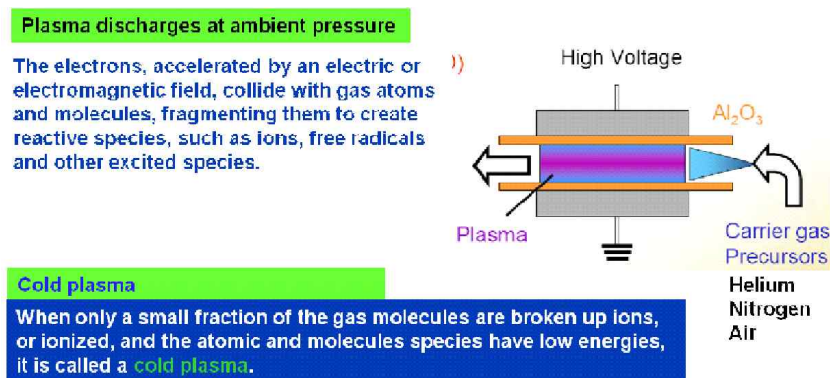
○ UV살균 대체기술로서 기대되고 있는 광펄스: 현재 UV살균은 분체식품의 살균에 가장 널리 사용되고 있으나 살균효율에 한계가 있다. 광펄스는 UV보다 강력한 살균력을 가지고 있어 액체식품 및 고체식품을 단시간에 효과적으로 살균할 수 있기 때문에 UV를 대체할 수 있는 기술로 발전될 것으로 기대된다. 참깨, 후추, 마늘분말 등과 같은 향신료는 가장 중요한 품질요소인 향미가 가열에 의하여 쉽게 손상되므로 열을 가하지 않으면서 품질 손상을 최소화하여 신선도를 유지할 수 있는 비열살균기술의 개발이 절실하다. 이와 같은 점에서 본 연구에서 광펄스 살균기술의 개발은 기대되는바 크다. 뿐만 아니라

식품가공업계에서는 원료 그대로의 품질을 신선한 상태로 유지하면서 식중독 및 부패를 방지할 수 있는 이상적인 살균기술 개발에 대한 관심이 고조되고 있고 있다.

- **연구동향** 광펄스 기술은 짧은 연구기간에도 불구하고 가열 살균을 적용하기 어려운 많은 열에 민감한 식품의 이화학적, 관능적 변화를 최소화하면서 표면에 존재하는 위해 미생물을 효과적으로 살균할 수 있는 획기적인 비가열 살균기술로 인식되어 미국, 독일 선진국에서는 광펄스 기술을 몇몇 식품이나 의약품 및 포장재 살균에 상업적 적용되기 시작하였으며 그 적용범위를 식품으로 확대하기 위해서 폭넓은 연구가 활발히 추진되고 있다. 특히 미국에서는 Cornell 대학을 중심으로 활발한 연구가 이루어지고 있으며, 국내에서는 본 연구에 참여하고 있는 정명수(이화여대) 교수, 신정규(전주대) 교수가 선두그룹을 이루고 있다.

3. Cold plasma 살균기술

- **Cold plasma 발생원리** 질소와 같은 기체를 전극 사이를 흘러 보내면서 방전시키면 일부가 전리된 가스 형태의 물질이 생성되는데 이를 plasma라 하며, 상온, 대기압에서 형성할 수 있는 기술이 개발되어 'cold'라는 단어가 이름에 사용된다. Plasma는 “제4의 물질”이라 부르며, 양자, 전자, 이온화된 유리기, 여기(excitation)된 분자 등 수명이 매우 짧으면서 반응성이 매우 큰 다양한 입자들로 구성되어 있다. 현재 주로 병원에서 의료용 기구의 회분살균에 이용되고 있다.



- **살균메커니즘** Cold plasma는 식품표면의 오염균을 효과적으로 사멸시킬 수 있는 이상적인 기술이다. 그림에서와 같이 절단한 야채, 아몬드 또는 분체식품 주위로 cold plasma를 흘려보내면 plasma에 존재하는 반응성이 매우 큰 reactive species와 UV radiation 등에 의하여 미생물 세포막과 세포성분의 화학결합이 파괴되고 DNA가 손상을 입어 미생물이 사멸되는 것으로 추정되고 있다.

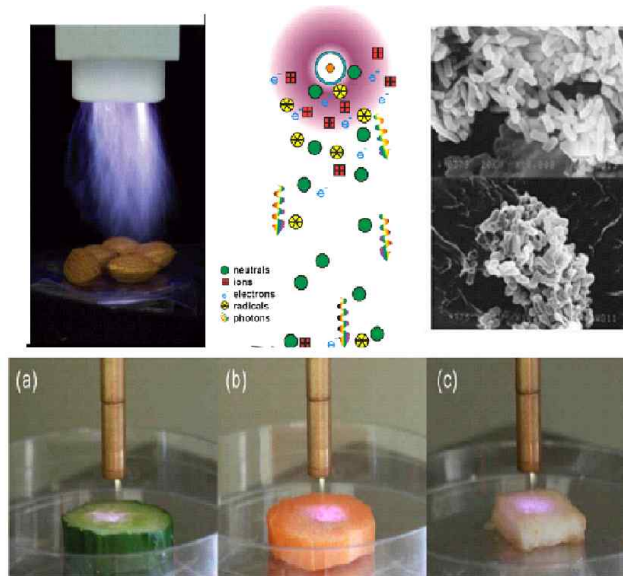


fig. 1. (Color online) Plasma inactivation of (a) cucumber slice, (b) carrot slice, (c) pear slice.

- **연구동향** 2000년 이후 cold plasma를 이용한 식품 살균에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* 등 병원성균들과 부패 미생물을 사멸시키기 위한 다양한 cold plasma 장비 개발과 처리 조건들이 보고되고 있으며, 이들 연구를 통해 cold plasma의 식품의 새로운 비열살균기술로서 가능성을 보여주고 있다. 국내에서도 최근(2010년도 이후) cold plasma 비열 식품 살균에 관한 과제가 상당수 진행되고 있으므로, 조만간 식품 살균에 관련된 많은 연구 결과가 발표될 것으로 기대된다.
- **산업화 동향** 현재 USDA에서는 cold plasma의 식품 살균 실용화 가능성을 보고 cold plasma 살균 파라메타연구와 살균 시스템 개발을 활발히 진행하고 있다. 아직 상업적인 full-scale의 살균장치는 개발되지 않았으나 절단 야채 등의 온화한 살균기술로 이용되고 있다.
- **식품 살균에서의 응용 범위** Cold Plasma 기술은 분체 식품 뿐만 아니라 다양한 식품에서의 포장 후 살균 처리, 신선 농산물의 표면 살균 처리(사과, 딸기, 양상추, 토마토, 무순, 굴 등), 각종 Ready-to-eat 식품의 살균 처리 등의 연구가 활발히 진행 중이며 향후 식품 살균에서의 응용 분야는 방대할 것으로 예측된다.
- **식품 위해성** 식품에 직접 적용한 연구 결과로서 독성과 안전성에 대하여 발표된 사례는 거의 없으나, 현재 미국 농무부(USDA)에서는 cold plasma 식품 처리 법규화를 위해 많은 미생물 저해 결과와 처리된 식품의 안전성 결과를 확보하고 있다.
- Han 등(2017)의 보고에 의하면, Cold Plasma 처리된 필름의 위해성은 거의 없었으며, 그 부산물이 미치는 영향도 발생하지 않았다는 연구가 발표되었다.

Han, S. H., Suh, H. J., Hong, K. B., Kim, S. Y., & Min, S. C. (2016). Oral Toxicity of Cold Plasma Treated Edible Films for Food Coating. *Journal of Food Science*, 81(12).

- 현대 사회의 소비자들은 식·의약품 소재의 안전성을 매우 중요시하고 있으며, 이는 제품의 선택기준과도 직결되므로 새로운 식품 살균 처리의 상업적 적용을 위해서는 처리된 식품에 대한 안전성 평가가 반드시 이루어져야 한다.
- **고효율 저탄소 기술로서 cold plasma** cold plasma는 전기방전에 의하여 발생하므로 형광램프와 같이 에너지 소비가 매우 효율적이다. 전기를 plasma로 전환하는 효율이 80%이다. 에너지 소비는 현재의 UV-C시스템과 비슷하며, 식품의 cold plasma살균처리는 매우 경제적인 것으로 예측되며, 또한 가스를 흘러 보내야 하는 것을 제외하고는 플라즈마의 전자장비와 수명은 UV-C에 비견할 만하다.

4. 3P 분석을 통한 살균 대상 분체식품의 선정

- 3P분석을 통하여 국내 식품산업 및 가정에서 수요량이 많고, 참여기업이 관심을 가지며 비교적 오염수준이 높아 식중독 사례가 보고되고 있거나 현재의 기술로 살균하는데 여러 가지 문제점이 있는 소재를 다음과 같이 선정하였다. 현미 등 곡류, 건조야채, 고춧가루, 분말이유식 등의 분말제품, 참깨, 후추, 마늘가루, 양파가루 등의 향신료와 복합 조미료 등을 선정하였다.
- **고추(Capsicum annum L.)**는 고추는 한국인의 식생활에서 필수적인 향신료로서 김치, 고추장 등 여러 식품의 기본 재료로서 또한 조미료로서 광범위하게 소비. 1인당 소비량은 2009년 약 4.0kg. 우리나라 식생활은 고춧가루를 이용한 음식의 종류가 많고 특히 무침 등의 종류는 가열하지 않은 상태로 직접 식용하거나 혼합 향신료로 사용하기 때문에 오염미생물에 기인한 식중독발생이 의심되는 등 많은 문제점이 있다(한국식품영양과학회지. 2012; 41. 875-880). 최근 일부 대형유통업체의 제품에서 식중독균인 클로스트리디움 퍼프린젠스가 검출되어 사회문제화(2011.10.11 조선일보 보도자료)된 바 있다.
 - ▷ 고춧가루에 대한 미생물 규격을 살펴보면 농산물 품질관리 규정(국립농산물품질관리원 고시 제2011-23호)에서는 대장균 음성, 대장균군 1.0×10^3 CFU/g, 한편 식품공전(2013년 2월 18일)에서는 일반세균에 대한 규정은 아예 없고 곰팡이에 대해서만 [곰팡이수(%) : 20 이하(하워드곰팡이계수장치에 의한 곰팡이 양성비율)]으로 규정 되어 있는 실정. 또한 한국산업 규격(KS H 2157)에서는 고춧가루의 규격을 맛과 크기로만 구분. 고춧가루 가공업체의 자체 품질규격은 일반세균(총균수)을 $10^4 \sim 10^5$ 으로 설정하여 제품을 생산하고 있다.
 - ▷ 고춧가루의 미생물 안전성에 대한 연구 결과에 의하면 시중에 유통되고 있는 고춧가루는 일반세균이 $10^3 \sim 10^6$ cfu/g, 곰팡이는 $10^1 \sim 10^6$ cfu/g, 대장균군은 $0 \sim 10^4$ cfu/g으로 보고(한국식품저장유통학회 학술발표논문집, 132p, 2009). 최근 Song(건국대학 석사학위논문.2012)은 2009~2010년에 국내 시중 유통 고춧가루의 병원성 대장균 오염도 조사 결과 시료 50점 중 1점에서 병원성 대장균이 검출.병원성 대장균의 종류는 EAEC(장관 부착성 대장균, enteroadherent *E. coli*)형으로 확인된 바 있다.

- ▷ 현재 고춧가루 제조과정에서는 대부분 자외선 살균방식을 채택하고 있으나 자외선 살균 효과가 불충분하여 안전성을 강조하고 있는 살균 고춧가루 제품일지라도 일반세균수가 10 cfu/g 정도(J Fd Hyg Safety, 27, 2012, 427-431). 특히 한국보건산업진흥원의 고춧가루 제조·가공업체 HACCP적용 일반모델 개발 보고서(2005)에 의하면 고추원초의 일반세균 오염도는 $(1.5\sim 3.2)\times 10^4$ 이지만 최종 고춧가루 완제품의 오염도는 $3.0\times 10^5\sim 3.3\times 10^6$ 으로 현저히 증가. 가공공장에서 오히려 교차오염이 심각한 수준이다.

Table 1. Microbiological evaluation in the raw material and process of red pepper powder

Type of Samples	log CFU / g		
	Aerobic bacteria	Coliform group	Pathogenic bacteria ¹⁾
Raw material	3.37 ± 0.33 ²⁾	0.70 ± 1.14	E.coli, Sta
After input	4.35 ± 0.57	1.60 ± 1.06	Sta
After sorting	2.88 ± 0.74	1.42 ± 0.92	Sta
After grinding	4.88 ± 0.59	1.60 ± 1.32	Sta
After UV sterilization	4.77 ± 0.64	1.63 ± 1.08	Sta
Complete product	5.14 ± 0.39	1.46 ± 1.23	Sta

¹⁾E.coli: *Escherichia coli* ; Sta: *Staphylococcus aureus*

²⁾mean ± S.D (n = 6)

J. Fd Hyg. Safety Vol. 27, No. 4, pp. 427-431 (2012)

- 참깨(sesame, *Sesamum indicum* L.)는 검정깨, 흰깨, 누른깨로 나누고 식용방법은 참기름과 생통깨, 볶음통깨, 깨소금으로 음식의 조미와 조리용, 또한 떡, 엿, 과자 등의 재료로 많이 사용됨. 우리나라의 참깨 총 소비량은 약 10만톤, 1인당 참깨 소비량이 약 2kg으로 세계 최고 수준. 80%는 수입에 의존. 국립농산물품질관리원의 품질 기준에 일반세균에 대한 규정은 아예 없는 실정. 수분함량, 용적중, 이물 정도 등에 따라서만 등급을 매기고 있다.
- ▷ 참깨는 재배하는 과정에서 토양, 비료, 관개수, 야생 조류, 동물 등의 여러 가지 오염원으로 부터 세균에 노출되어 있으며, 참깨 씨는 건조과정에서 오염. 현재 우리나라에서 유통되는 참깨는 대부분 HACCP 인증 및 유기농 재배 인증, 지리적 표시로 품질에 대한 안전성을 강조. 그러나 참깨 제조과정에서는 살균처리를 제대로 하지 않아 생 참깨의 일반세균수는 $10^5\sim 10^6$ cfu/g 이상. 보관하는 동안 미생물에 의한 부패, 유충란의 발생 등으로 관련 농가 및 업체에서는 큰 손실을 초래. 수퍼마켓 등에서는 소포장 볶음 참깨를 판매하고 있고 일반가정에서도 볶아 사용. 그러나 참깨에는 지방이 52% 정도 함유되어 있어 지방의 보호 작용으로 살균하기가 쉽지 않다.
- ▷ 참깨는 우리나라뿐만 아니라 중동지역을 비롯하여 미국, 유럽 등에서 여러 가지 요리의 소재로 많이 사용됨. 우리나라에서는 참깨로 인한 식중독이 공식적으로 보고된바 없으나

미국, 유럽에서는 *Salmonella* 로 오염된 참깨 및 참깨 함유제품으로 인한 식중독과 제품 회수 사건이 자주 발생한다.

▷ 대표적으로 2013년 2-5월 사이에 발생한 tahini참깨 페이스트로 인한 식중독 사건, 병원균은 *Salmonella* Montevideo 또는 *Salmonella* Mbandaka. 9개 주에서 총 16명의 환자 발생, 1명 사망한 사례가 있다. 터키에서 수입한 참깨 페이스트가 오염원 (www.cdc.gov/salmonella/montevideo-tahini-05-13/).

○ 후추(pepper, *Piper nigrum*)는 구풍제, 매운맛, 건위제 등으로 사용되고 있으며, 식품의 중요한 향신료. 대부분 인도, 인도네시아, 말레이반도, 서인도제도 등지에서 재배. 국내 후추는 전량 수입에 의존. 연간 약 4백만 톤. 주요성분으로 피페린 5-9%, 차비신 6%, 정유 1-2.5%를 함유한다.

▷ 주로 사용되는 후추는 블랙페퍼와 화이트페퍼의 두 종류. 블랙페퍼는 그린 페퍼가 익기 전에 따서 햇볕에서 7-10일정도 말린 것. 다양한 요리에 가장 널리 사용되고 있으며, 화이트페퍼는 수확 후 껍질을 모두 벗겨 말린 것. 고급스럽고 부드러운 맛을 지녀 생선요리나 스프 등에 사용된다.

▷ 후추는 재배·수확 중 다량의 세균, 곰팡이, 내열성 포자 등에 노출되어 미생물 오염이 심함. 유럽, 미국 등에서는 후추로 인한 식중독 발생 사례 다수 보고됨. 국내 판매 흑후추와 백후추에는 각각 2.5×10^6 cfu/g, 5.0×10^2 cfu/g 수준의 일반 세균이 존재. 일부 제품에서 대장균군이 검출되고 있다.

○ 양파(onion, *Allium cepa* L.)는 생 것, 다진 것, 썬 것, 말린 것, 분말 형태 등으로 유통되며 전 세계적으로 많은 요리에 식재료로 사용하고 중국이 약 2천만톤, 우리나라도 130만여 톤을 생산하고 있다.

▷ 양파분말은 양파 껍질 제거 후 수세시킨 것을 잘라 열풍 건조시켜 플레이크 형태로 만들고 이것을 전분과 혼합, 분쇄하여 제작하며 양파분말의 입도는 40-120 mesh. 양파분말의 품질규격에는 미생물 및 일반세균에 대한 규정이 없으며 색, 수분함량, 이물 정도 등에 따라 등급을 매긴다.

▷ 양파분말 국내 생산량은 연간 약 50톤, 매출액은 약 1천억원 정도이며 훨씬 더 많은 양의 양파분말이 중국으로부터 수입하여 온라인상에서 판매되고 있는 제품들이 많으며, 주로 첨가물, 건강식으로 섭취되는데, 이 때, 별도의 가열 조리를 하지 않은 상태로 직접 섭취되므로 제품 제조 공정 중에 발생하는 미생물 오염에 대한 관리가 중요하다.

2장. 국내외 기술개발 현황

코드번호

D-04

1절. 과열수증기 처리 기술

- 과열 수증기 처리 기술은 건조 또는 폐기물 처리 공정 등, 산업현장에서 이용되고 있으므로 그 자체는 새로운 기술은 아니다. 그러나 가정용 조리 기구에 과열 증기에 의한 조리 기능이 탑재되고 고온의 열풍과 비교하여 3~4 배의 열용량을 가지고 있기 때문에 환경보전을 위한 관심이 높아지는 가운데 에너지 절약과 더불어 환경 부하 저감에 공헌하는 열처리 공정으로서 그 응용 기술이 주목받고 있다.
- 현재 국내의 과열수증기 기술연구는 열풍 건조의 단점을 보완한 식품 건조를 위한 장치 개발 정도이다. 과열수증기를 이용한 식품 가공 기술은 식품 산업에서도 이용되고 있고 연구가 활발하게 이루어져 있으나 식품 가공 공정에서 과열수증기를 이용한 기술은 개념 정립 단계이다.
- 과열수증기가 가장 활발히 연구되고 있는 일본에서는 과열수증기 발생기구와 이를 이용한 조리장비 등의 설비 기술연구가 선도적으로 진행되어, 이를 이용한 장비의 산업화 및 과열수증기를 이용하여 조리한 간편식(편이점 도시락 등)의 제품이 생산, 판매되고 있으며 미국, 유럽 등에서는 조리용 증기 오븐에 유사한 기술을 적용하고 있으나 뚜렷한 연구개발 성과는 없는 상태이다.
- 과열수증기를 이용한 신선농산물, 분체식품의 미생물 저감화 연구를 가장 활발히 추진하고 있는 국가는 일본이며, 상당한 부분 실용화 되었다. Fukushima Hightech Plaza Report(2008)에 의하면 오이의 경우 처리온도에 관계없이 5-10초간 처리한 결과 오염되어 있던 무포자 세균이 완전히 사멸되었으며, 120 에서 10초간 처리할 때까지는 관능적인 품질열화는 없었다고 보고하였다. 또한 상추, 무, 배추를 180 의 과열수증기로 10초 동안 처리한 결과 일반세균수는 1000-10,000분의 1, 대장균은 모두 음성이 되었으며, 기타 전분, 대두, 메밀가루, 감초, 계피가루의 경우는 140-190 , 5초 처리에 의하여 일반세균은 1000-10,000분의 1, 대장균은 음성, 내열성균은 10%이하로 감소된 것으로 보고되었다(식품과 개발, 43(12), 4-7, 2008), 일본).
- 국내의 경우 최근에 일본의 장비를 도입하여 생선구이에 적용한 제품이 대형마트(홈플러스)에서 출시된 바 있다.

2절. 광펄스 처리 기술

- 광펄스를 이용한 살균 기술은 오랫동안 사용되어온 자외선 살균 원리와 비열 살균 기술로서 관심을 끌고 있는 고전압 펄스 전기장 살균 기술 원리를 병합한 기술로 알려져 있으며, 짧은 연구기간에도 불구하고 가열 살균을 적용하기 어려운 식품의 이화학적, 관능적 변화를 최소화하면서 표면에 존재하는 위해 미생물을 효과적으로 살균 할 수 있는 획기적인 비가열 살균 기술로 인식되어 있다.

- 상업적 적용의 국외사례를 보면 1970년대 말 일본에서 flash lamp를 이용한 연구가 수행된 이후 1984년 광펄스 기술에 대한 특허가 출원되었으며, 미국 Pure Technologies사에서는 Purebright라는 상용화 장치를 개발하여 의약품, 의료기기, 포장재, 생수 등의 살균에 적용하였고, 최근에는 의약품, 제약산업, 환경산업 등으로 적용 범위를 넓혀가고 있다 (그림 2-1).
- 미국 Maxwell사 역시 PureBright system을 개발하여 pharmaceutical products의 살균에 이용하고 있고 미국 Xenon 사, 프랑스 Claranor사 등에서 상업적으로 사용 가능한 광펄스 시스템을 개발하여 식품 용기, 뚜껑 등에 실제 사용을 하고 있으며, 미국 FDA에서는 일정 조사량 범위(12 J/cm² 이하) 내에서 식품의 표면살균에 광펄스 사용을 허용하는 사용 권고 기준을 마련해 놓았다(Food and Drug Administration Issues Approval for Pulsed Light in the Production, Processing and Handling of Food).
- 하지만 해당 기술은 아직 몇몇 식품에 한정되어 있다는 점에서 적용 범위를 더욱 확대하기 위해서는 빛의 성질, 식품의 성질에 따른 살균 효과에 대한 연구가 보다 심도 있게 선행되어야 하며 미생물 불활성화 기작에 대해서도 명확히 하여야 할 필요가 있다.
- 국외 연구 사례 및 상업적 적용 사례를 비교했을 때 국내의 경우 광펄스 살균 기술이 비가열 살균 기술로서 관심이 높고 해당 기술의 살균력을 높이 평가하고 있으나, 해당 기술에 관한 연구가 매우 적은 실정이며 현재까지 상업적 적용이 이루어지지 않고 있다.
- 국내에서 광펄스 살균 시스템 개발 및 연속처리 시스템에 대한 연구개발이 최근에서야 진행되었기 때문에 국외의 연구 속도와의 격차를 줄이기 위한 노력이 필수적이며 다양한 식품군에 광펄스 기술을 적용하여 살균 효과를 확인한 후 광펄스 처리장치의 set-up 및 연속처리 라인의 개발을 통하여 실제 산업화 공정에 적용하기 위한 토대를 마련해야 한다.
- 국외의 경우 배지에 배양된 미생물부터 액상, 분말, 야채, 빵, 어류, 육류 등 다양한 식품군 및 식품포장재 등에 광펄스를 처리하여 그 살균 효과를 연구하였으며 해당 기술에 관한 review 논문들도 많이 존재한다 (표 2-1).
- 전반적인 국외 연구 결과를 보면 광펄스는 특히 식품 표면 처리에 탁월한 효과를 보이며 두껍고 불투명한 식품보다 빛이 잘 투과하기 쉬운 얇거나 투명한 식품에 적용했을 때 살균 효과가 높으며 가열살균이나 UV 살균에 비해 색 및 텍스처 등의 물성 변화가 적은 것으로 알려져 있다(Gomez-Lopez et al. (2007), Oms-Oliu et al. (2010), Elmnasser et al. (2007) 등).
- 국외 연구와 비교했을 때 국내 연구의 경우, 배지에 배양된 미생물에 광펄스를 처리하는 기초 연구가 주로 진행되고 있으며 국외에서보다는 식품군에 처리하는 연구가 부족한 실정이다.

- Choi et al. (2010)는 *Listeria monocytogenes*(KCCM 40307)에 15 Hz, 10-25 kV의 조건으로 광펄스 처리했을 때 처리 전압, 시간이 높아질수록 높은 사멸률을 보이고 높은 처리 조건인 15-25 kV 전압에서는 1200 μ s 이내에 8 log 이상의 사멸 효과를 얻었으며, 처리 전압과 사멸속도 간에 exponential 관계가 보임을 확인하였다.
- Shin & Kim (2015)은 병원성 대장균을 살균하기 위해 회분식 광펄스 살균 기술을 적용하였고 빛의 세기, 펄스 수, 광원과 시료 사이의 거리와 살균 효과가 비례관계를 보이는 것을 확인하였으며 광펄스 처리에 의한 미생물 사멸은 세포막 파괴로 발생하는 세포내 물질의 유출 때문이라는 점을 언급하였다.
- 또한 Cho et al. (2002) 은 발효식품에 널리 산재되어 있는 젖산균을 대상으로 하여 광펄스 처리 기술의 주요 공정 요인인 광의 세기, 처리 시간, 시료 표면과의 거리 등에 의한 살균 효과에 관한 연구결과를 발표하였는데, 수행된 연구에 따르면 광펄스의 빛의 세기가 증가할수록 처리시간이 길수록, 시료 표면과의 거리가 짧을수록 높은 살균효과를 나타내었다.
- 앞서 언급한 바와 같이 국내에서는 미생물 자체에 광펄스를 처리하여 사멸률을 파악한 연구가 대부분인데, 실제 식품에 광펄스를 처리한 연구는 현재 본 연구의 책임자인 정명수 교수에 의해 활발히 진행되고 있으며 다양한 예비실험을 통한 식품 살균을 위한 장치가 마련되어있어 광펄스 살균 연구에 적합한 환경이 잘 갖추어져 있다고 볼 수 있다.
- 또한 다양한 액상, 분말 식품에 광펄스를 적용한 연구 경험이 다양하며 처리 용량 증가와 높은 살균 효과를 위한 장치 업그레이드를 지속적으로 진행하고 있기 때문에 다양한 식품군에 대한 심도 있는 연구를 진행할 수 있다.
- 앞서 살펴본 바와 같이 광펄스 기술은 식품의 이화학적, 관능적 변화를 최소화하면서 식품 표면이나 포장재에 존재하는 각종 위해 미생물을 효과적으로 살균함으로써 상업적 식품의 유통기한을 연장할 수 있는 획기적인 비가열 살균법인 것으로 판단된다.
- 하지만 미국, 독일 등의 선진국에서도 광펄스 기술의 상업적 적용이 아직까지 몇몇 식품이나 의약품에 한정되어 있어, 적용의 범위를 더욱 확대하기 위해서는 보다 깊은 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.
- 해당 연구는 특히 국내에 실행된 바 없는 대용량 분체식품 처리를 위한 광펄스 살균장치를 제작한 것으로, 이를 통해 분말 살균을 위한 광펄스 살균 기술의 잠재력을 파악하였고 분말의 비가열 살균의 상업화를 위한 초석을 다질 수 있을 것이라 사료된다.

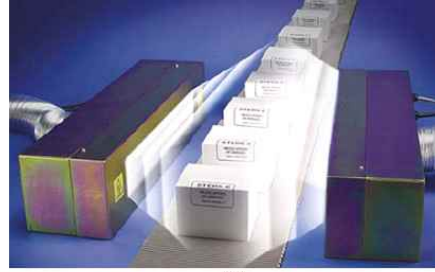


그림 2-1. 광펄스 살균 장치의 해외 적용 사례

표 2-1. 광펄스 처리를 통한 다양한 식품군의 미생물 저감 효과

	Food product	Pulse energy(J/cm ²)	Log reductions	Reference
Agar media	<i>Bacillus cereus</i>	3	4.9	Rowan et al. (1999)
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	3	4.9	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	3	6.25	MacGregor et al. (1997)
	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	3	6.82	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	5.6	8.5	Krishnamurthy et al. (2004)
	<i>Bacillus cereus</i>	7	5.9	Gomez-Lopez et al. (2005)
Packaging materials and food contact materials	Paper-polyethylene packaging	0.977	2.7	Turtoi and Nicolau (2007)
	Stainless steel surfaces	1.27	2.51	Woodling and Moraru (2005)
Solid food	Corn meal	5.6	4.93	Jun et al. (2003)
	Black pepper	31.12	2.93	Fine and Gervais (2004)
	Iceberg lettuce	7	1.24	Gomez-Lopez et al. (2005)
	Raspberries	72	3.9	
	Strawberries	34.7	2.8	Bialka and Demirci (2008)
Liquid food	Milk	12.6	2.0	Smith et al. (2002)
	Milk of 25 and 45% solids content	8.4	<1	Miller et al. (2012)
	Apple juice	1.21	5.3	Pataro et al. (2011)
	Orange juice	1.21	3.2	

3절. 콜드플라즈마 처리 기술

- 국내외적으로 식품에 적용된 cold plasma 연구는 플라즈마를 발생시키는 에너지원에 따른 장치별, 처리 식품별, 목표 미생물의 종류에 따라 다양한 연구가 진행되어 왔다.
- 식품에 적용 연구되는 플라즈마 장치는 주로 <Table 1>와 같이 다양한 시스템을 lab scale로 제작하여 사용 연구 중에 있으며, 적용 가능한 품목과 효율성을 극대화 할 수 있는 변수 조건이 설계 연구되고 있다.
- 마이크로웨이브 시스템의 콜드플라즈마 기술과 유전체 장벽 콜드플라즈마 기술(Dielectric barrier discharge, DBD)은 국내외적으로 가장 많이 적용되는 기술이라고 할 수 있다.
- DBD CP 기술은 물질 표면을 처리하는데 널리 이용되고 있으며 이러한 표면 처리를 통해서 인쇄나 접착 특성이 더 좋은 표면을 만들 수 있다. 유전체 장벽은 대기압과 상온에서 방전 가능하기 때문에 물질 표면 처리의 경우 유전체 장벽 방전 기술이 적합하다. 이러한 DBD CP system을 식품에 적용하는 경우, 현재 연구 진행 중인, 식품의 포장 단계에서 포장재를 통한 식품 살균에 응용 가능할 것으로 보여진다.
- Hertwig (2015) 등은 통후추의 살균에 일정 거리를 둔 마이크로웨이브 콜드플라즈마 시스템과 조사되는 거리가 비교적 가까운 radio frequency (RF) plasma jet의 살균 효과를 비교한 결과, 마이크로웨이브 콜드플라즈마 시스템에서 위해균의 살균 효과가 더 탁월하다는 결과를 얻은 바 있다. Fernandez 등(2013)의 보고에 의하면, 질소 가스를 이용하여 15 분 동안 1 W의 전력으로 DBD cold plasma 처리 시, 양상추, 딸기, 감자에서 *Salmonella typhimurium*의 감소율이 각각 2.7 ± 0.3 , 1.8 ± 0.7 , and 0.9 ± 0.3 log CFU/sample 였다. Bermúdez-Aguirre 등(2013)은 대기압 하에서 아르곤을 이용하여 12.83 kv로 토마토와 양상추에 접종된 대장균을 약 1.6 log CFU/g 저해하였다. Wang 등(2012)은 고전압의 500 V와 직류 전류를 이용하여 대기압에서 2 분 동안 CP처리하여 슬라이스 당근에 접종된 살모넬라균(10^6 CFU/mL)을 90% 저해하였다.
- 최근, 포장 단계에서도 cold plasma 살균에 대한 연구가 진행되고 있다. Ziuzina 등(2013)에 따르면 포장재 안에 액체 상태로 부유된 균주에 DBD 방식의 cold plasma를 조사하였을 때, *E. coli* 가 약 7 log CFU/mL까지 감소함을 보였다.
- Cold plasma의 식품 기술적용과 관련된 기술상 위치는 도입기로 예상되어진다. 식품용 플라즈마 멸균기는 아직까지 도입된 사례가 없으나, 현재 미국 농무성(USDA)에서 활발히 연구 진행되어 식품별 플라즈마 장치의 구현이 현실화 되었으며, 국내에서도 축적된 연구와 기반 시설을 통틀어, 현 연구 상황으로 미루어보아 상용화를 위한 기술 구현은 멀지 않았다고 예상되는 바이다. 기술의 상용화와 관련하여 식품의약품안전처의 cold plasma 식품 사용과 관련된 규제 정립이 시급하다.

Table 2-2. Different types of cold plasma treatments applied in food product

콜드플라즈마 장치	장치별 조건 변수 및 사용가스	처리농산물 및 식품	감균율	출처
Low pressure cold plasma	Air gases, sulfur hexafluoride (SF ₆), 5-20 min	nut	<i>Aspergillus parasiticus</i> (air: 5 min ⁻¹ log CFU/g, SF ₆ plasma: ~5 log CFU/g)	Basaran et al, 2008 (Turkey)
		grains, legume	<i>Aspergillus</i> spp. and <i>Penicillium</i> spp (15 min, ~3 log CFU/g)	Selcuk et al, 2008 (Turkey)
Microwave-powered cold plasma	400-900 W, 5-20 min/N ₂ , N ₂ -O ₂ mixture, and He)	양상추, 양배추, 상추	<i>E. coli</i> O157:H7 and <i>Salmonella</i> (~2.8 log CFU/g)	Song et al, 2015; Kim et al, 2013 (Korea)
	400-900 W, 20 min/He-O ₂ mixture	분유	<i>Cronobacter sakazakii</i> (약 0.9 log CFU/g)	Oh et al, 2015 (Korea)
	900 W, 20 min/He	고춧가루	<i>Aspergillus</i> (약 2.5 log spores/g) <i>B. cereus</i> (약 3.5 log spores/g, 열과의 병합처리)	Kim et al, 2014 (Korea)
	900 W, 20 min/He	양파분말	<i>B. cereus</i> (약 1log spores/g, 열과의 병합처리)	Oh et al, 2015 (Korea)
Dielectric barrier discharge	Atmospheric cold plasma (ACP), generated with a 60 kV dielectric barrier discharge (DBD) pulsed at 50 Hz /5 min	딸기	aerobic mesophilic bacteria (2.4 log CFU/g), yeast and mould (3.3 log CFU/g)	Misra et al, 2014 (Ireland)
	N ₂ gas (CP121 Plasma Demonstrator, OMVE BV, Netherlands)	lettuce, strawberry, potato	<i>Salmonella enterica</i> serovar Typhimurium (2.72 log reduction)	Fernandez et al, 2013 (UK)
	Atmospheric pressure, 15.5, 31, and 62 W for 2-60 s, sealed LLDPE bags containing 30% oxygen and 70% argon	sliced ready-to-eat (RTE) meat product (bresaola)	<i>Listeria innocua</i> (약 1.7 log CFU/g)	Rød et al, 2012 (Denmark)
Plasma jet	Pulse frequency (47 kHz), 549 W, 0-20 s	almonds, nut	<i>E. coli</i> O157:H7 and <i>Salmonella</i> (~1.34 log CFU/mL)	Niemira, 2012 (USA)
	Atmospheric pressure plasma jets, 1-2 min, He, He O ₂ , N ₂ , or N ₂ O ₂ ,	processed meat surfaces (slices of cooked chicken breast and ham)	<i>Listeria monocytogenes</i> (1.37-6.52 log)	Lee et al, 2011 (Korea)

3장. 연구수행 내용 및 결과

D-05

제1절 과열수증기를 이용한 분체식품의 미생물 위해성 저감화 기술 개발

1. 분체(분말)식품과 종자 농산물의 오염도 조사

가. 현미의 오염도 조사

- 현미형태로 저장하는 일본을 제외하고는 우리나라를 비롯한 세계 각국의 쌀 생산국에서는 주로 벼의 형태로 저장을 하고 있다. 그러나 최근에는 현미에 대한 소비자의 관심이 고조되면서 우리나라에서도 현미형태로 저장 하는 경우가 증가하고 있다.
- 일반적으로 현미는 백미에 비하여 미생물에 의한 오염이 심하여 미생물의 증식과 미강 중의 지방의 산패로 인하여 저장하는 동안 변질, 변패되기 쉽기 때문에 일반적으로 수분 15%, 온도 15℃이하에서 저온저장 한다. 그러나 실제 유통은 20℃이상의 상온에서 이루어지고 있는 것이 현실이므로 이에 따른 미생물에 증식과 저장 중에 기생하는 해충에 의한 피해가 발생하고 있다.
- 해충에 의한 곡물의 피해가 양적 손실이라고 한다면, 미생물에 의한 피해는 맛과 향 등의 변화와 착색 등의 질적 손실이라고 할 수 있다. 특히 일부 미생물은 유독 물질을 생산하는 것으로 알려져 있다. 현재까지 알려진 곡류 저장 중의 유독 곰팡이로는 수분함량이 비교적 높은 쌀에는 *Penicillium islandicum* 등의 곰팡이가 생육할 수 있으며, 이 곰팡이는 islanditoxin 이라는 간 질환 독소를 생산하는 것으로 알려져 있으며, 특징적으로는 쌀에 생육할 때 적황색의 색소를 생산한다. 또한 간암 유발 독소로 널리 알려진 aflatoxin을 생산하는 황국 곰팡이인 *Aspergillus flavus*도 번식 가능한 것으로 알려져 있다.
- 한편, 해충에 의한 손실은 전체 저장 곡물의 약 5% 수준인 것으로 알려져 있으나, 저장 및 유통 중에 발생하는 쌀벌레 등의 해충은 양적인 손실 문제 외에 소비자의 기호성에 심각한 문제를 야기하므로 보다 적극적으로 대처해야할 필요성이 있다.
- 현미는 식이섬유, 미량원소, 비타민, 항산화제 등과 같은 질병예방에 중요한 영양기능성분을 풍부하게 함유하고 있어 변비개선, 콜레스테롤 값의 저하, 비만 해소, 혈당치 개선, 빈혈방지, 자율신경실조증에 대한 회복기능 등을 나타내는 것으로 알려져 있고, 최근 이와 같은 현미의 가치가 재인식되면서 국민들의 현미와 현미가공품에 대한 관심이 고조되고 있으며 건강식품으로서 가치가 높이 평가되고 있다.
- 따라서 최근 현미를 선호하는 소비자의 기호를 고려하였을 때 현미의 저장성 향상과 현

미 및 현미가공품의 안전성을 확보하기 위하여 현미의 오염미생물의 저감화와 안정화의 필요성이 증대되고 있다.

- 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 우선적으로 현미의 오염도 실태를 조사할 필요가 있으며 이를 위하여 품종 및 재배지역이 각기 다른 5종의 현미를 수집하였다.

표 1-1. 현미 시료

시료번호	품종	원산지	재배년도
1	혼합	충북 청원	2013
2	동진	전북 부안	2013
3	추청	충북 청원	2013
4	오대	양구 오대	2013
5	백진주	경북 안동	2012

- 현미의 표면 오염미생물을 측정하기 위하여 현미 시료를 무균백에 넣고 10 배수의 멸균한 증류수를 가하여 균질기(Stomacher)를 이용하여 1분간 균질화 하였으며, 멸균생리식염수를 이용하여 10⁴배까지 희석하여 집중 시료로 사용하였다. 모든 시험의 조작은 clean bench에서 무균적으로 처리되었다.
- 미생물오염도는 일반세균, 대장균군, 대장균, 효모 및 곰팡이에 대하여 조사하였다. 일반세균수 측정은 식품공전 중 건조필름법에 의한 정량법에 따라 실험하였다. 준비된 시험용액 1 ml과 각 10배 단계 희석액 1 ml을 일반세균 건조필름배지(AC Petrifilm 3M)에 접종한 후 37±1℃에서 48시간 배양한 후 생성된 집락수를 계수하고, 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 산출하여 colony forming unit(CFU/g)으로 나타내었다.
- 대장균군수 및 대장균수의 측정은 식품공전 중 건조필름법에 의한 정량법에 따라 실험하였다. 준비된 시험용액 1 ml과 각 10배 단계 희석액 1 ml을 대장균군 및 대장균용 건조필름배지(EC Petrifilm, 3M)에 접종한 후 35~37℃에서 24±2 시간 배양하여 생성된 집락 중 붉은색을 띠며 주위에 기포를 형성한 집락수와 푸른색을 띠며 주위에 기포를 형성한 집락수를 계수하고, 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 각각 대장균군수와 대장균수를 산출하였다.
- 효모 및 곰팡이의 측정은 건조필름법에 의한 정량법에 따라 실험하였다. 준비된 시험용액 1 ml과 각 10배 단계 희석액 1 ml을 효모 및 곰팡이용 건조필름배지(YM Petrifilm, 3M)에 접종한 후 25℃에서 3~5일간 배양하여 생성된 집락 중 곰팡이와 효모의 전형적인 특성을 이용하여 구분하여 계수하고, 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 곰팡이와 효모수를 각각 산출하였다. 이 때 곰팡이와 효모의 구분은 균체의 크기, 균체 중앙점의 유무, 균

체 외각의 형상 및 균체의 색상으로 구분하였다.

표 1-2. 현미의 미생물 오염도

단위: CFU/g

시료순번	Aerobic bacteria	Coliform group	<i>E. coli.</i>	Yeast	Mold
1	1.78×10^6	2.43×10^3	ND	ND	16.17×10^3
2	8.97×10^5	2.0×10^3	ND	ND	4.17×10^2
3	1.25×10^6	2.0×10^3	ND	ND	1.42×10^3
4	1.10×10^6	4.0×10^2	ND	ND	1.03×10^4
5	1.34×10^5	2.2×10^2	ND	ND	4.27×10^3

- 품종 및 재배지역별 현미 5종의 오염도 조사 결과 약 10^5 CFU/g 의 일반세균에 오염되어 있으며, 대장균군은 약 10^3 CFU/g, 곰팡이는 약 $10^3 \sim 10^4$ CFU/g 정도 오염도를 확인할 수 있었다. 또한 대장균과 효모는 모든 시료에서 검출되지 않았다. 위의 결과로부터 현미의 품종 및 재배지역에 따라 오염도의 차이는 없는 것으로 확인되었다.

나. 메밀의 오염도 조사

- 메밀은 쌀과 밀 등의 주요 곡물류에 비하여 양질의 단백질과 식이섬유, 미네랄이 많이 함유되어 있으며 더욱이 모세혈관강화 작용을 가진 루틴과 혈압상승억제작용을 가진 안지오텐신 I 효소의 저해활성을 가지고 있어 영양적, 생리기능적으로 우수한 식품이다. 최근 이와 같은 메밀의 인지도가 인식되면서 건강지향 식품으로서 관심을 받고 있다.
- 메밀은 우리나라에서는 주로 가루로 하여 메밀묵, 메밀국수, 냉면 등의 원료로 사용되고 있으며 유럽의 경우 크레페 등의 팬케이크의 원료나 죽 또는 맥주의 원료로 사용되기도 한다.
- 메밀은 일반적으로 밀 등에 비하여 미생물오염도가 높기 때문에 생메밀로 유통하는데 제약이 있을 뿐 아니라 메밀가루, 메밀국수 등으로 가공한 후에도 보존성이 낮다. 메밀의 소비가 많은 일본에서는 메밀의 균수 저감화를 위한 연구를 활발히 추진하여 알콜세척처리, 탄산가스 및 오존처리, 원적외선 및 방사선 조사 등이 보고되었다. 그러나 이들 방법은 살균효과가 우수하지 못하고 처리에 의한 품질열화, 조작성 등에 적지 않은 문제가 있어 실용화 되지 못하고 있다.
- 본 연구에서는 과열수증기를 이용한 메밀의 표면살균기술을 개발하기 위하여 국내에서 유통되고 있는 통메밀 및 거피메밀의 미생물 오염도를 조사하였다. 메밀의 오염도 실태를 조사하기 위해 재배지역 및 판매처에 따라 각기 다른 통메밀과 탈피메밀을 각각 5종씩

수집하여 시료로 사용하였다.

표 1-3. 메밀 시료

분류	시료번호	원산지	생산연도
통메밀	1	국내(봉평)	2013
	2	국내(예천)	2013
	3	수입	2013
	4	국내	2103
	5	국내(봉평)	2103
거피 메밀	6	국내(예천)	2013
	7	중국	2013
	8	국내(봉평)	2013
	9	국내(변산)	2103
	10	국내(봉평)	2103

- 위의 통메밀과 거피메밀 시료를 각각 무균백에 넣고 10 배수의 멸균한 생리식염수를 가하여 균질기(Stomacher)를 이용하여 1분간 균질화 하였으며, 멸균증류수를 이용하여 10^4 배 까지 희석하여 접종 시료로 사용하였다. 모든 시험의 조작은 clean bench에서 무균적으로 처리되었다.
- 일반세균, 대장균군, 대장균, 효모 및 곰팡이의 오염도를 조사하였으며, 실험은 건조필름 (AC, EC, YM Petrifilm, 3M)을 이용하여 현미 실험과 동일한 방법으로 진행하였다.

표 1-4. 통메밀 및 거피메밀의 미생물 오염도

단위: CFU/g

시료번호	일반세균	대장균군	<i>E. coli</i>	효모	곰팡이
1(통, 봉평)	7.96×10^6	ND	ND	ND	4.07×10^3
2(통, 예천)	3.58×10^5	5.00×10	ND	ND	4.73×10^3
3(통, 수입)	5.47×10^5	ND	ND	ND	3.43×10^5
4(통, 국산)	6.62×10^6	7.17×10^4	ND	ND	3.30×10^2
5(통, 봉평)	4.73×10^6	3.53×10^4	ND	ND	1.23×10^5
6(거피, 예천)	2.14×10^5	6.00×10	ND	ND	ND
7(거피, 중국)	2.70×10^4	8.77×10^2	ND	ND	1.10×10^2
8(거피, 봉평)	2.26×10^5	ND	ND	ND	5.66×10^2
9(거피, 변산)	5.07×10^4	ND	ND	ND	ND
10(거피, 봉평)	1.02×10^3	1.20×10^2	ND	ND	ND

- 재배 지역 및 판매처별로 각기 다른 통메밀 및 거피메밀의 오염도 조사 결과, 도정 전 상태인 통메밀의 경우 일반세균수는 평균(n=5) 4×10^4 CFU/g, 대장균군수는 2개의 시료에서 5.4×10^4 CFU/g로 비교적 높게 나타났다. *E. coli*와 효모는 전 시료에서 검출 되지 않았다. 한편 곰팡이는 모든 시료에서 검출되었으나 시료 간 상당한 차이가 있어 오염도는 $3.30 \times 10^2 \sim 3.43 \times 10^5$ CFU/g범위였다.
- 메밀 껍질을 탈피한 거피메밀의 경우 일반세균수는 시료에 따라 다소 차이가 있어 $1.02 \times 10^3 \sim 2.26 \times 10^5$ CFU/g 범위였다. 대장균군수는 시료 5종 중 2종에서 약 10^2 CFU/g 정도로 검출되었으며, 통메밀에서와 동일하게 *E. coli*와 효모는 전 시료에서 검출 되지 않았다. 곰팡이의 경우 통메밀과는 달리 시료 5종 중 2종에서만 약 10^2 CFU/g 정도 검출되었다.
- 거피메밀의 일반세균수는 통메밀에 비하여 (1-2)log 정도 감소하였으나 여전히 오염도가 높음을 알 수 있다. 이와 같은 결과로 미루어 볼 때 메밀에 존재하는 오염미생물은 주로 과피 내부와 외부 및 거피메밀의 표면에 부착하여 있음을 알 수 있다.
- 국산 메밀의 미생물오염도에 대해서는 구체적인 보고가 없다. 그러나 일본에서는 많은 연구가 이루어져 Ono 등(일본식품과학공학회지, 2007. 54(7), 320-325)의 보고에 의하면 일본에서 시판되고 있는 통메밀의 일반세균, 대장균군, 호기성 포자수는 각각 8.0, 7.3, 3.0

logCFU/g 이었으며, 거피메밀은 각각 6.3, 5.5, 1.8 logCFU/g로 통메밀보다 (1-2)log 정도 적었고, 세척에 의한 균수 저감효과는 인정되지 않았다고 보고하였다. 또한 메밀가루의 일반세균, 대장균군, 호기성 포자수는 각각 5.4, 4.5, 3.1 logCFU/g이었으며, 밀가루는 각각 2.6, 1.3, 1.0 logCFU/g로 메밀가루의 오염도가 밀가루에 비하여 상당히 높음을 알 수 있다.

다. 고춧가루의 오염도 조사

- 고춧가루는 우리의 식생활에서 필수적인 양념의 하나로서 우리나라 전통 발효 식품인 김치와 고추장의 색깔, 맛, 질 등의 가치를 좌우하는 주요 재료이며, 일반 조미료, 인스턴트 식품, 햄, 소시지 등의 첨가물로도 이용되고 있다(한국보건산업진흥원, 2005). 이와 함께 위생 고춧가루의 생산·유통의 필요성에 대한 요구도 높아지고 있다. 따라서 시료를 살균하기 전, 고춧가루의 일반 미생물 수, 효모 및 곰팡이, 위해 미생물의 오염도를 조사하였다.
- 시판 고춧가루의 미생물 오염도 실태를 조사하기 위해 제조사 및 원산지가 다른 총 21가지의 고춧가루를 수집하여 본 실험에 사용하였다(표 1-5). 각 고춧가루는 HACCP 적용 유무, 생산공정 및 위생(청결)관리 부분의 표기, 포장상태 및 국내외산 구별에 따라 상급, 중급, 하급으로 분류하여 오염도를 비교하고자 하였다. HACCP을 적용하였고, 홈페이지에 생산공정 및 위생관리 관련 내용이 표기되어 있으며 제품 포장에 위생관리 부분을 표기하였으면 상급으로, 기타 정보 없이 HACCP만 적용되어 있으면 중급, 재래시장에서 구입한 제품은 하급으로 분류하여 오염도를 확인해보았다.

표 1-5. 오염도 조사 대상 고춧가루 시료의 분류

분류	Aerobic bacteria	Coliform group	<i>E. coli.</i>
상	9.7×10^5	ND	ND
	6.9×10^5	ND	
	9.1×10^5	1.1×10^4	
	4.5×10^5	ND	
	1.2×10^5	ND	
	7.7×10^6	ND	
	4.5×10^7	ND	
	4.6×10^6	ND	
	5.4×10^6	1.75×10^2	
	4.1×10^6	ND	
	3.1×10^6	ND	
중	2.0×10^4	ND	ND
	1.5×10^5	ND	
	3.1×10^6	ND	
하	9.1×10^5	1.4×10^3	ND
	6.7×10^5	5.3×10^2	
	1.2×10^6	3.0×10^2	
	2.0×10^4	ND	
	1.0×10^5	8.7×10^2	
	2.3×10^6	ND	
	1.3×10^6	ND	

- 총 21가지 고춧가루 시료의 일반세균수, 대장균군, *E. coli* 오염도를 확인한 결과를 표 1-5에 나타내었다.
- 본 연구에서 자체적으로 분류한 시료의 상중하 등급에 상관없이 모든 시료에서 약 $10^5 \sim 10^7$ CFU/g의 일반 세균이 오염되어 있는 것으로 나타났으며, 재래시장에서 구입하 제품과 대형마트에서 구입한 제품의 오염도는 큰 차이가 없었다. 대장균군은 시료에 따라 오염 정도가 달랐지만 주로 하급으로 분류된 시료에서 약 10^2 CFU/g의 오염도를 나타냈다. 대장균은 모든 시료에서 검출되지 않았다.
- 현재 식품공전에서는 고춧가루의 일반 세균은 규제하고 있지 않지만 일반 세균의 상당 부분은 토양 유래의 *Bacillus* 속이며 이들은 spore 형성능이 있어 고춧가루를 재료로 하

는 식품에서 잠재적인 위해요인이 될 수 있기 때문에 적절한 살균 과정이 필수적이라고 할 수 있다.

2. 연구용 과열 수증기 살균 장치의 설계 및 제작

- 과열수증기는 (1) 대기압 포화수증기의 가열 및 (2) 고압 포화수증기의 단열팽창의 두 가지 방법으로 발생시킨다. 그러나 일반적으로는 대기압의 포화수증기를 재가열하던가 또는 고압 포화수증기를 단열팽창 시킨 후 재가열하는 방법으로 생성시키는 경우가 많다. 이때 포화수증기를 과열수증기 상태로 가열하는 장치를 수퍼히터(superheater)한다.

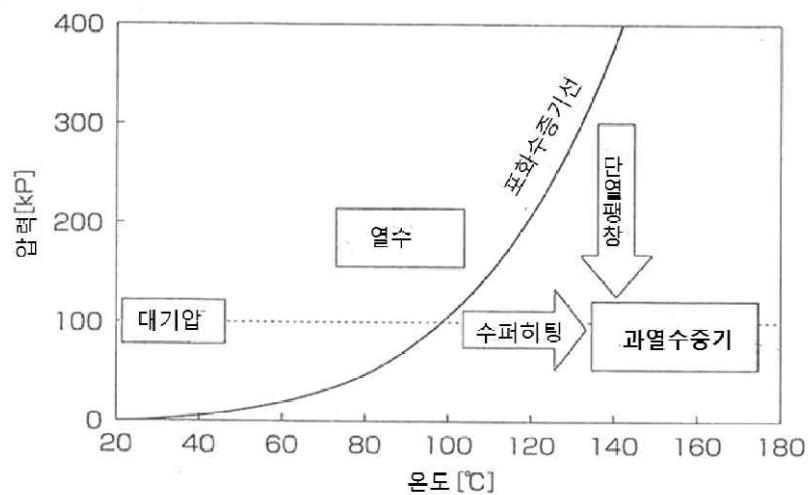


그림 1-1. 과열수증기 발생 원리

- 과열수증기 처리장치는 일반적으로 과열수증기 발생장치와 처리장치로 구성된다. 즉, 과열수증기 발생장치에서 생성된 증기를 처리목적과 시료의 형태에 따라 다양한 형식의 처리장치에 공급한다.
- 산업적으로 사용되고 있는 과열수증기 처리장치는 ①컨베이어식(conveyor type), ②기류식(pneumatic type), ③킬른식(kiln type) 및 ④유동층식(fluidized-bed type)으로 나눌 수 있다. ①컨베이어식은 수송컨베이어 위에 시료를 올려놓고 과열수증기로 채워진 터널을 통과시켜 처리하는 형식이다. 과열수증기는 상하부의 노즐에서 공급되며 배기증기는 fan에 의하여 외부로 배출된다. ②기류식은 수직 또는 수평인 원통형 파이프 내로 과열수증기와 함께 시료를 날려 보내 순간적으로 처리하는 형식이다. ③킬른식은 수평의 긴 원통 내부에 날개가 설치되어 있고 과열수증기는 접선방향으로 원통 내부로 흘러 보낸다. 재료를 원통 입구에서 공급되며 원통의 회전에 의하여 위에서 아래로 낙하하면서 전진한다. ④유동층식은 수직 원통형 용기 내에서 과열수증기에 의하여 재료를 유동화시켜 처리하는 형식이다.

- 오염도 조사를 실시한 고춧가루를 포함한 현미, 메밀 등의 종자식품과 그 외 형태와 크기가 다양한 몇 가지 시료를 선정하였고, 과열수증기 처리에 의한 오염미생물의 살균조건과 품질변화 등에 대한 과학적 데이터와 scale-up을 위한 기초자료를 확보하고, 최적의 살균 방법을 연구하기 위하여 형식이 각기 다른 4 종류의 연구용 장치를 구성하였다.

가. 수직 채널형 과열수증기 처리장치

- 분체(분말) 시료 실험을 위해 본 연구에 사용된 과열수증기 살균 장치는 수조, 보일러, 수퍼히터, 반응 chamber 등으로 구성되어 있다(그림 1-2). 전체 배관 시스템은 스테인레스 스틸로 제작되었고 열손실을 방지하기 위하여 유리섬유 계통의 단열재를 사용하였다. 보일러(DWE-15, 대우스팀 보일러)는 1차 히터로서 수조로부터 공급된 물을 증발시켜 포화 수증기를 생성하고 이 포화수증기는 수퍼히터를 통과하며 열량을 더 공급받아 과열수증기가 된다. 생성된 과열수증기는 반응 chamber에서 시료와 접촉하고 상단부로 배출되게 된다. 반응 chamber에서의 시료 응축을 방지하기 위하여 반응 chamber 외부에 band heater를 장착하여 응축 현상을 최소화 하였다. 분(립)체 시료의 특성 상호효율적인 열전달을 위하여 유동이 가능하고 착탈이 용이한 reacting cell을 별도로 설계하여 제작하였다. 보일러와 수퍼히터의 출력을 가변저항을 이용하여 과열수증기의 온도와 풍량을 조절할 수 있다. 과열수증기 온도는 반응 chamber에 설치된 thermocouple에서 측정되는 온도로 조절한다.

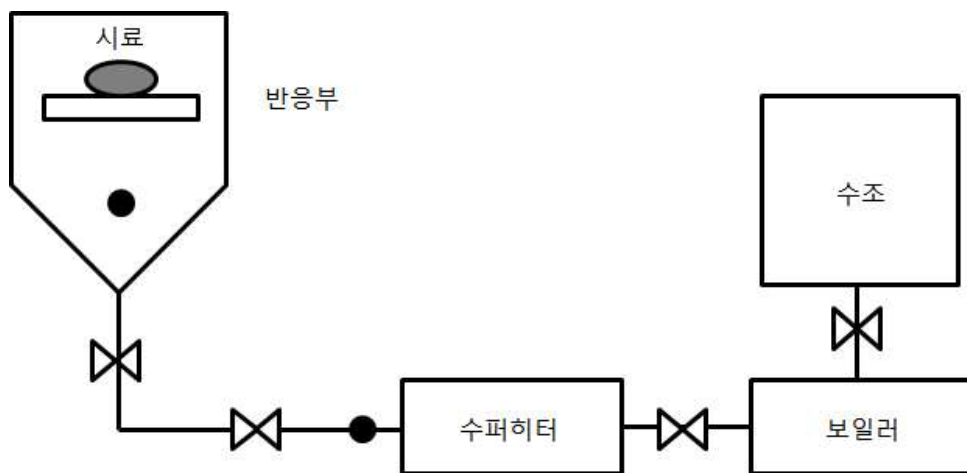


그림 1-2. 제작된 장치의 모식도 (● : thermocouple).

(1) 보일러 및 수퍼히터

- 본 과열수증기 살균 장치에 사용된 보일러의 최대 전력량은 15 kW/h이며, 증기의 최대 생성량은 20.19 kg/h이다. 보일러 내부의 물이 최저 수위(BDC (bottom dead center)) 이하로 떨어지면 수조로부터 최고 수위(TDC (top dead center))까지 물이 공급되도록

설계되어 있다. 최대 4기압까지의 포화수증기를 생성할 수 있으며, 최대 기압은 내부적으로 조절이 가능하다. BDC와 TDC의 간격을 조절하여 증기 발생의 단락이 없이 지속적으로 포화수증기가 발생하도록 수정하였다.

- 수퍼히터는 보일러에서 생성된 포화수증기를 가열하여 과열수증기로 생성해 주는 역할을 한다. 수퍼히터의 최대 전력량은 5 kW/h이며, 총 3.5 m 길이의 U자관을 이용하여 제작되었다. 직선관 내부 중심에 시즈히터(sheath heater)를 설치하였으며, 열손실을 최소화하기 위하여 보호컨테이너 내부에 단열재를 채웠다. 수퍼히터의 출력은 10 Ω의 가변저항을 이용하여 제어가 가능하다.

(2) 과열 수증기의 온도 측정

- 과열 수증기 온도 측정 시스템은 pt100Ω 온도센서, data logger 및 지시계로 구성되어 있으며 수퍼히터 출구부의 과열 수증기 온도와 반응 chamber에서의 과열 수증기 온도를 자동으로 측정할 수 있다. pt100Ω 온도센서는 배관의 중심부에 위치하도록 길이를 조정하였다.

(3) 반응 chamber

- 반응 chamber는 크게 실리콘 링, standard clamp 및 내부 reacting cell 등으로 구성되어 있다. 반응 chamber에는 단열을 위하여 band heater를 결합시켜 응축을 방지하고 과열 수증기의 열손실을 방지하였다. 또한 그 위에 40 mm 이상의 두꺼운 단열재를 감아 단열을 유지할 수 있도록 하였다. 반응 chamber의 상단부에 reacting cell의 탈착이 가능하다.

(4) Reacting cell

- 유동층형 기기는 식품의 건조, 냉동 등 분체의 열가공에 많이 쓰이는 형태이다(Syahrul *et al.* 2003). 분체 식품이 유동하면서 열매체와의 접촉면이 넓어지게 되어 열전달이 빠르게 일어나기 때문이다(Prachayawarakorn *et al.* 2006). 따라서 본 연구에서도 분말제품의 유동효과를 유도하여 균일한 열전달을 통한 효과적인 살균을 이루고자, 적합한 reacting cell을 제작하였다.
- 그림 1-3에서 보듯이 reacting cell는 60 mm의 내경, 118 mm의 높이로 제작되었고 아랫면과 옆면은 100 mesh의 다공성 스테인리스 망으로 구성하였으며, 윗면은 탈착이 가능하여 시료의 유동효과를 돕고 회수를 용이하게 하였다. 또한 반응 chamber와 닿는 부분을 실리콘 링으로 결합시켜 과열수증기의 누수가 없도록 하였으며, reacting cell의 탈착은 클램프를 이용하였다. 과열 수증기의 속도나 압력에 의해 옆면의 스테인리스 망의 모양이 변형되는 것을 막고자 스테인리스 기둥을 덧붙였다. 마지막으로, 윗부분은 클램프로 쉽게 잡을 수 있도록 reacting cell의 내경보다 크게 제작되었다.

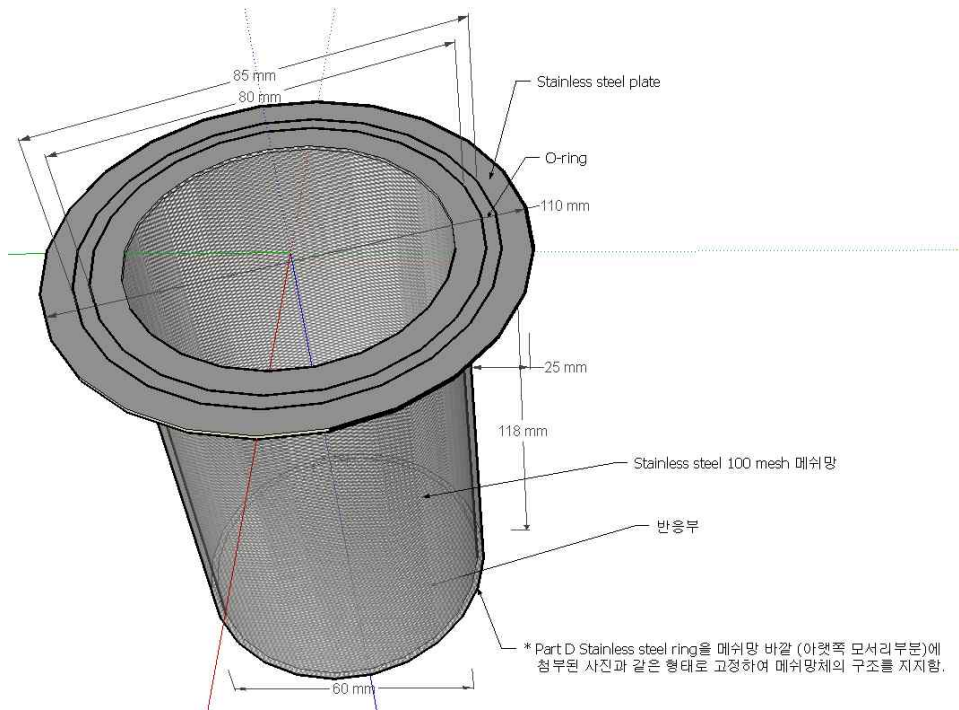


그림 1-3. 과열수증기 reacting cell.



그림 1-4. Reacting cell 실사.

- 그림 1-3의 reacting cell은 100 mesh보다 작은 입도의 식품은 처리하지 못하는 단점이 있어 다양한 시료의 처리를 위해 더 작은 크기의 mesh로 이루어진 reacting cell을 제작하여 처리하였다.

(5) 과열 수증기의 온도와 풍량 설정

(가) 온도

- 수퍼히터의 출력값과 과열 수증기 온도의 상관관계를 알아보기 위하여 출력값에 따른 온도 변화를 측정하였다(표 1-6). 이 때 측정된 온도는 reacting cell 의 바로 아래의 온도로, 실제 실험에 사용된 과열 수증기의 온도를 나타낸다.
- 수퍼히터의 출력과 과열 수증기 온도간의 표준곡선을 polynomial equation을 이용하여 작성하였다. 그 결과 $y = -22.55x + 79.07x^2 - 10.93x + 99.97$ 의 3차식을 갖는 회귀곡선이 계산되었다. R² 값은 0.9998으로, 높은 상관성을 보였으며, 회귀식을 이용한 검증실험을 통해 과열 수증기의 온도를 수퍼히터의 출력으로 안정적으로 조절할 수 있음을 확인하였다.

표 1-6. 수퍼히터의 출력에 따른 과열 수증기의 온도 변화

수퍼히터의 출력 (%)	반응부에서의 과열 수증기 온도(℃)
15	112.66
26	138.36
34	161.69
41	179.65
48	198.08

(나) 풍량

- 과열수증기의 풍량에 영향을 미치는 주 요인은 보일러의 출력과 보일러 내부 압력이다. 보일러와 수퍼히터 사이의 배관에 연결되어 있는 볼밸브가 최대로 열린 상태이기 때문에, 설정되어 있는 보일러의 최대 압력에 관계없이 1기압에서 포화수증기가 발생하므로, 보일러에서 생성되는 포화 수증기의 유속은 일정하다고 할 수 있다. 따라서 보일러의 출력을 변수로 하여 과열 수증기의 유속을 측정하였다(표 1-7). 반응 chamber 상단부에서 배출되는 과열 수증기의 유속을 16 mm 직경의 vane probe가 포함된 Testo 400 Anemometer으로 측정하고, 풍량으로 환산하였다. 향후 보일러 내부 압력을 조절하여 더 큰 유동 효과를 갖게끔 풍량을 조절하는 것이 가능하다.

표 1-7. 보일러의 출력에 따른 과열 수증기의 풍량

보일러 출력 (%)	과열 수증기의 출구 풍량 (m ³ /h)
80	21.08 - 25.60
85	31.63 - 34.64
90	43.67 - 45.18
95	45.18

나. 와류형 유동층 과열수증기 처리장치

- 와류형 유동층 과열수증기 처리장치는 회분식 와류형 roaster((주)태환자동화산업, Proster))를 개량하고 별도로 제작한 과열수증기 발생장치를 조합하여 완성하였다.
- 과열수증기 발생장치는 대기압의 포화수증기를 수퍼히터로 가열하는 방식을 채택하였고, 외형과 사양은 아래와 같다.



그림 1-5. 과열수증기 발생장치.

표 1-8. 과열수증기 발생장치 사양

항목	사양	항목	사양
소비전력	14kw/h	압력	0.5MPa
과열수증기발생 히터	1.5kw/hx10ea	물저장 탱크 용량	20L
연속스팀 발생량	900cc/min	규격	1100*680*1040 mm
출구온도	100~400℃	-	-

○ 와류형 roaster의 구조는 그림 1-6에, 외형은 그림 1-7에 나타내었다. 투명한 유리로 된 부분이 유동화 챔버이다. 상부에서 원료를 투입하면 유동화 챔버 내에서 형성되는 열풍의 와류에 의하여 재료는 유동화 되며, 재료의 크기에 따라 풍량을 조절한다. 표 1-9에 나타낸 것과 같이 1회 처리 용량은 100-500g이다.

표 1-9. 회분식 와류형 roaster의 사양

항 목	사양
처리 용량	100 - 500g/회
작업 온도	120-350
Blower	1.5kw, 400m /min
히터	10KW
냉각fan	50W
소비전력	1KW/h
규 격	1020*600*1550mm

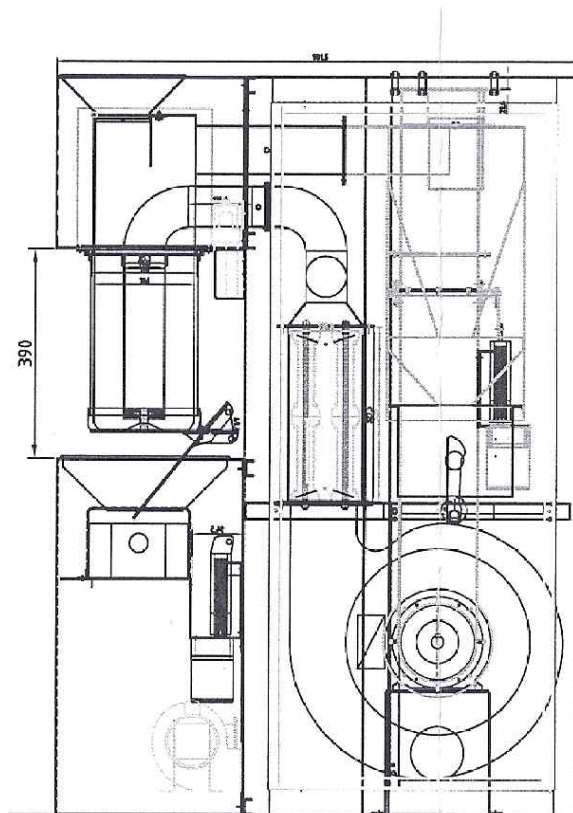


그림 1-6. 회분식 와류형 roaster의 구조.



그림 1-7. 회분식 와류형 roaster의 외형.

- 상술한 roaster에 별도로 제작한 과열수증기 발생장치를 조합하여 구성한 과열수증기 처리장치의 구조는 그림 1-8, 외형은 그림 1-9와 같다. 과열수증기 발생장치를 roaster의 열풍 순환기류의 공급부에 연결하여 열풍대신에 과열수증기가 roaster내부를 순환하도록 개량하였다. 과열수증기 발생기의 증기생성량은 900cc/min 이며 발생하는 과열수증기의 출구온도는 100-400℃ 범위이다.
- 운전 초기 과열수증기의 응축을 방지하기 위하여 열풍으로 유동화장치를 예열한 다음 과열수증기를 공급하여 내부가 완전히 과열수증기로 대체되고 온도평형에 도달되게 하였다. 장치의 제반 조작성이 안정화되면 상부에서 시료를 공급하여 일정한 시간 과열수증기와 접촉시킨 후 과열수증기 공급을 중단하고 하부 리시버로 배출시켜 냉각하였다.

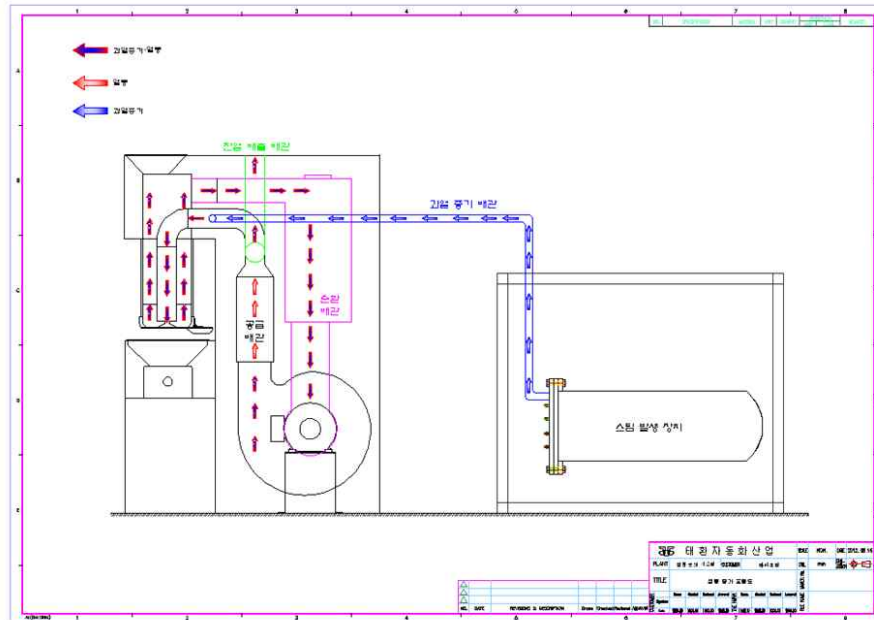


그림 1-8. 와류형 유동층 과열수증기 처리장치의 구성도.



그림 1-9. 과열수증기 발생장치와 조합한 와류형 유동층 과열수증기 처리장치

- 와류형 유동층 과열수증기 처리장치의 운전상의 가장 큰 문제점은 상부 슬라이더에서 시료를 투입할 때 시료와 동시에 공기가 순간적으로 혼입되어 처리 초기의 과열수증기 처리효과가 불안정하다는 점이었다. 따라서 이와 같은 공기의 혼입을 최대한 억제하기 위하여 그림1-10과 같이 호퍼를 설계 제작하여 부착하였다.

- 그러나 호퍼 하단의 슬라이더를 열어 시료를 투입했을 때 시료와 함께 일부 공기가 흡입되는 현상이 완전히 차단되지 않고, 시료 투입부에 응축현상이 발생하면서 시료 투입이 순조롭지 않아 그림 1-11의 도면과 같이 시료공급 가이드를 설치하여 단열효과를 높이고 가이드 내부에 시료를 채운 후 상부에 카버를 덮는 형태로 호퍼를 개량하였다.



그림 1-10. 공기흡입 방지용 호퍼 및 호퍼부착 유동층 과열수증기 처리장치.

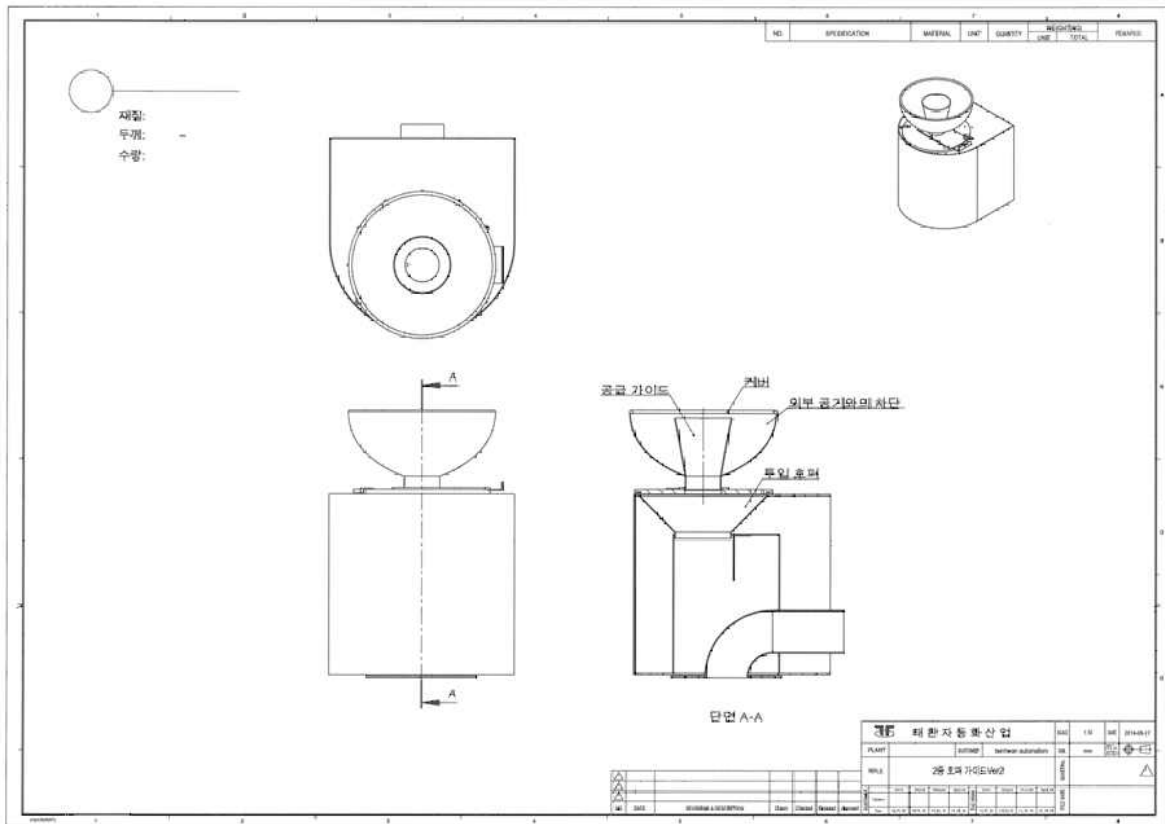


그림 1-11. 시료투입 개량 호퍼 설계도.



그림 1-12. 공기혼입 방지용 개량 호퍼 및 개량호퍼부착 유동층 과열수증기 처리장치

다. 오븐형 과열수증기 처리장치

○ 다양한 형태와 입도를 가진 시료의 살균처리에 필요한 기본 데이터를 확보하기 위하여 오븐형 과열수증기 처리장치를 다음과 같이 구성하였다.

○ 포화수증기를 생성하는데 필요한 열량계산(필요한 증기발생량 7.5kg/h)

$$Q_{ss} = m[C_w(100 - T_w) +] = 7.5[4.18(100 - 15) + 2257] / 3600 = 5.44 \text{kJ/s} = 5.44 \text{kW}$$

과열수증기 발생 수퍼히터의 열량계산

$$Q_{shs} = mc_s(T - 100) = 7.5[2.0[450 - 100]] / 3600 = 1.46 \text{kJ/s} = 1.46 \text{kW}$$

○ 이상의 과열수증기 발생장치의 기본 열량계산을 바탕으로 표 1-10과 같이 설정한 사양의 오븐형 과열수증기처리 장치의 구성도는 그림 1-13과 같다.

표 1-10. 오븐형과열수증기 처리장치의 사양

항목	사양	항목	사양
소비전력	5.5kw/h	압력	01MPa
과열수증기 온도	120~400℃	온도제어	±1℃
과열수증기 발생량	7.5m /h	오븐 유효크기	300(W)*260(D)*100(H)

○ 시료는 그림 1-14에 나타낸 것과 같이 스테인레스망으로 트레이를 제작하고 트레이 위에 시료를 monolayer로 펼쳐서 예열한 오븐에 삽입하고 전면의 닫은 후 일정시간 과열수증기 처리를 하였다.

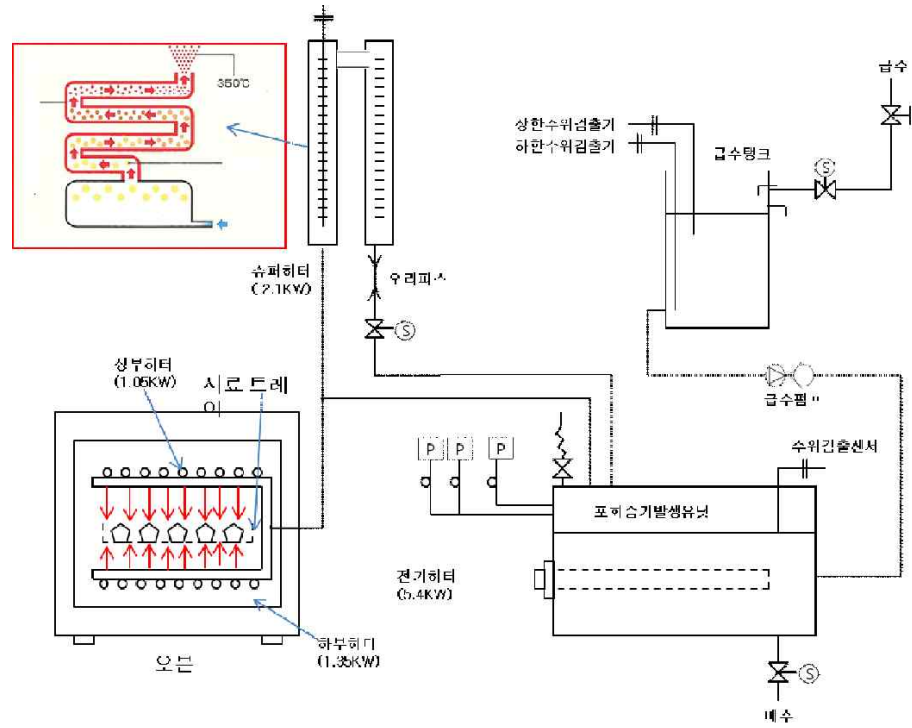


그림 1-13. 과열수증기 발생장치 구성도



그림 1-14. 오븐형 과열수증기의 외형

라. 컨베이어형 과열수증기 처리장치

- 현장 적용이 가능한 처리장치의 개발을 위하여, 조리용으로 일본 Naomoto사에서 개발된 컨베이어형 과열수증기 처리장치를 임차하여 사용하였다.

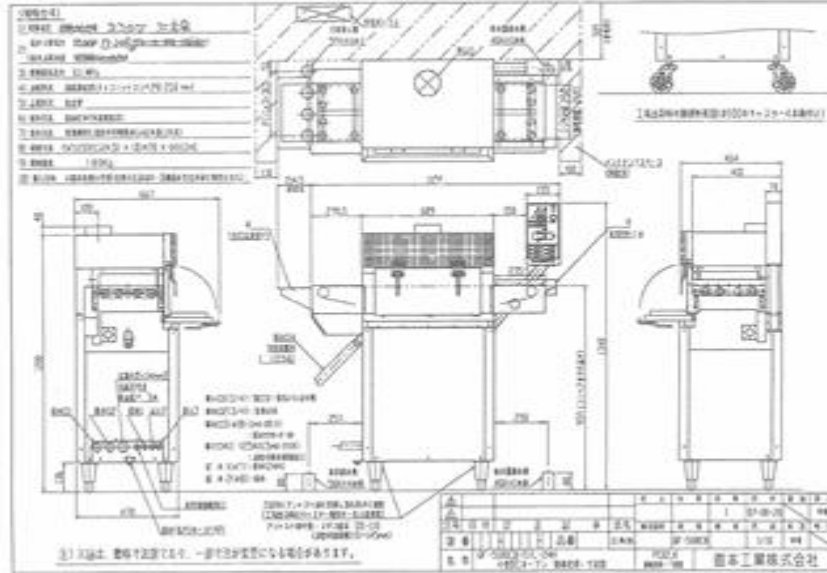


그림 1-15. 컨베이어형 과열수증기 처리장치의 구성도와 외형

- 현장 적용이 가능한 처리장치의 개발을 위하여, 조리용으로 일본 Naomoto사에서 개발된 컨베이어형 과열수증기 처리장치를 임차하여 사용하였고, 소비전력 15kw/h이며 최고 40 0℃의 스팀을 상하에서 각 3단계로 스팀량을 조절할 수 있으며 처리 chamber 내부에는 상하에 heater가 장착되어 내부온도를 조절할 수 있게 제작되었다.
- 이동용 컨베이어의 속도는 처리시간 기준으로 최소 20초에서 최대 30분으로 조절이 가능하다.

- 이동 콘베이어에 맞는 mesh tray에 최대한 monolayer 형태가 유지되도록 겹치지 않게 넓게 시료를 펴서 깔았다. 이때 mesh tray의 mesh 크기는 시료가 통과되지 않도록 선택하여 사용하였다. 콘베이어의 이동속도를 조절하여 시료의 처리시간을 계산하였다.

3. 과열 수증기의 기초 살균 연구

가. 분체(분말)식품의 적용 가능성 탐색

- 분말제품은 유통 및 보관의 용이성, 섭취의 간편성 등으로 인하여 널리 소비되고 있다. 하지만 현재 분말제품의 경우, 열 민감도, 응축 등 여러 가지 이유로 살균 처리를 하는데 어려움이 있으며(Fine et al., 2005), 실제로 품질저하를 이유로 가공공정 중 살균 처리가 필수적이지 않기 때문에 식중독 사고가 빈번하게 발생하고 있다(Elviss et al., 2009).
- 시료 선정 시 가공공정 중 적합한 살균처리가 이루어지지 않고 있는 분말제품들을 대상으로 하였으며, 다양한 입자의 크기 및 모양의 분말제품을 선정하였다. 상기 기준에 따라 미숫가루, 카레 분말, 라면 쇠고기 분말 수프, 멸치 분말, 깨, 생강 분말, 파슬리, 바질, 채소 분말 수프(후레이크), 고춧가루 등을 선정하였고, 과열수증기 장치로 살균이 적합한 시료인지 알아보는 실험을 수직 터널형 과열수증기 처리 장치를 이용하여 수행하였다.

(1) 입자 크기

- 본 연구에서 사용된 장비의 reacting cell의 메쉬는 100 mesh (149 μ m)로, 이보다 작은 크기의 분체 식품은 본 장치에 적용이 불가능하다. 따라서 가장 먼저 시료가 100 mesh의 reacting cell에서 새지 않는지 확인해보았다.
- 미숫가루 및 카레 분말은 모든 입자가 reacting cell을 통과하였기 때문에 시료 선정에서 배제하였다. 멸치 분말은 입자크기가 미숫가루 및 카레 분말보다는 컸지만, 시료 5.0 g 중 절반 이상인 2.8 g이 reacting cell을 통과하는 것으로 나타났다. 따라서 멸치분말 역시 본 장치에 적용하기 부적합하다고 판단되어 시료 선정에서 배제하였다. 마지막으로 쇠고기 분말은 시료 5.0 g 중 1.0 g만이 reacting cell보다 입자가 큰 80 mesh (180 μ m) 표준망체를 통과하는 것을 관찰하였다. 따라서 입자크기 180 μ m 이상인 쇠고기 분말은 본 장치에 적용이 적합하다고 판단하였다. 그 외에 깨, 생강 분말, 파슬리, 바질, 후레이크, 고춧가루는 모두 reacting cell보다 큰 크기의 입자였으므로 본 장치를 이용하여 살균이 가능할 것으로 판단하였다.

(2) 응축 효과

- 과열수증기 처리 시 시료의 응축효과를 알아보기 위하여 모든 시료를 120℃의 과열수증기로 3초, 120초간 처리하였다. 살균처리 후 시료의 외관과 reacting cell 내 시료의 분포양상 등을 살펴보았다.

(가) 라면 쇠고기 분말 수프

- 라면 쇠고기 분말 수프를 120℃의 과열수증기로 3, 120초 처리 후, 외관은 그림 1-16과 같이 나타났다. 이 때 reacting cell 내 쇠고기 분말의 분포양상은 아래 그림 1-17과 같이 나타났다.



그림 1-16. 120℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 쇠고기 분말의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).



그림 1-17. 120℃ 과열 수증기 처리 후 reacting cell 내 쇠고기 분말의 분포 양상
(좌 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

- 쇠고기 분말은 그림 1-16에서 보듯이 처리 시간에 관계없이 응축 효과가 뚜렷하게 나타나는 것을 관찰하였다. 또한 응축의 영향으로 쇠고기 분말이 부분적으로 reacting cell에 흡착되어 회수되지 않는 것을 그림1-17과 같이 확인하였다. 쇠고기 분말은 흡습성이 크기 때문에 과열 수증기 처리 초기에 형성된 응축수로 인하여 쉽게 aggregate를 형성한다.

- 쇠고기 분말을 고온에서 처리하였을 때에도 응축이 발생하는지 살펴보았다. 쇠고기 분말을 200℃의 과열 수증기로 9초 처리한 결과, 그림 1-18와 같이 관찰되었다.



그림 1-18. 200℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 쇠고기 분말의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 우 : 9초 처리).

- 그림에서 보듯이, 200℃에서도 여전히 응축이 발생할 뿐만 아니라, 품질에도 변화가 나타나는 것을 볼 수 있다. 따라서 응축 정도를 확인하여 본 장치를 이용한 처리가 적합한 지 살펴본 결과, 쇠고기 분말은 적합하지 않은 시료인 것으로 판단하였다.

(나) 생강분말

- 생강분말을 120℃의 과열수증기로 3, 120초 처리 후 외관을 살펴본 결과, 그림 1-19와 같이 나타났다. 이 때 reacting cell 내 생강분말의 분포양상은 아래 그림 1-20와 같이 나타났다.



그림 1-19. 120℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 생강분말의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).



그림 1-20. 120℃ 과열 수증기 처리 후 reacting cell 내 생강 분말의 분포 양상
(좌 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

- 생강분말 역시 쇠고기 분말과 마찬가지로, 120℃ 과열수증기로 처리 시, 처리 시간에 관계없이 응축효과가 나타나는 것을 관찰하였다. 응축 정도는 쇠고기 분말에 비해 낮았으나, 그림 1-20에서 보듯이 응축효과의 영향으로 생강분말이 reacting cell에 흡착되어 쉽게 회수되지 않았다.



그림 1-21. 200℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 생강 분말의 외관 변화 및 reacting cell 내의 흡착 정도
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 9초 처리, 우 : reacting cell 내부 모습).

- 또한 200℃에서 생강분말을 과열수증기 처리하여도 여전히 응축 및 응축으로 인한 흡착이 발생하는 것을 그림 1-21와 같이 확인하였다. 따라서 응축정도로 판단해 보았을 때 생강분말은 적합하지 않은 시료인 것으로 판단하였다.

(다) 파슬리

○ 파슬리를 120℃의 과열 수증기로 3, 120초 처리한 시료의 외관은 그림 1-22과 같다.



그림 1-22. 120℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 파슬리의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

○ 파슬리는 그림 1-22에서 보듯이 처리시간과 관계없이 응축이 전혀 나타나지 않은 것을 확인할 수 있었고, 외관 또한 대조군과 비교하였을 때 차이를 확인할 수 없었다. 파슬리의 경우는 표면 응축수에 의하여 서로 응집체를 형성하지 않고 지속적으로 처리되는 과열 수증기에 의하여 증발되기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 응축정도로 판단해 보았을 때 파슬리는 적합한 시료인 것으로 판단하였다.

(라) 바질

○ 바질을 대상으로 하여 120℃의 과열수증기로 3, 120초 처리한 시료의 외관은 그림 1-23과 같이 나타났다.



그림 1-23. 120℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 바질의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

○ 파슬리와 마찬가지로, 바질 또한 처리시간과 관계없이 응축이 나타나지 않은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 응축정도로 판단해 보았을 때 바질 또한 적합한 시료인 것으로 판단하였다.

(마) 채소 분말 수프(후레이크)

- 채소 분말 수프를 대상으로 하여 120℃의 과일수증기로 3, 120초 처리한 시료의 외관은 그림 1-24와 같이 나타났다.



그림 1-24. 120℃의 과일 수증기 처리 후 나타나는 후레이크의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

- 채소 분말 수프의 경우 처리시간과 관계없이 응축효과가 전혀 나타나지 않은 것을 확인할 수 있었다. 채소 분말 수프는 파쇄 건조 상태로 흡습성이 크지 않고 rehydration 되려면 상대적으로 긴 시간이 필요하기 때문에 과일 수증기 처리 초기의 형성되는 응축수에 의하여 크게 영향을 받지 않는다. 따라서 응축정도로 판단해 보았을 때 채소 분말 수프는 적합한 시료인 것으로 판단하였다.

(바) 깨

- 깨를 대상으로 하여 120℃의 과일수증기로 3, 120초 처리한 시료의 외관은 그림 1-25와 같이 나타났다.



그림 1-25. 120℃의 과일 수증기 처리 후 나타나는 깨의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

- 깨를 120℃ 과열 수증기 처리 시 단시간의 경우에는 응집 현상이 관찰되지 않았으나 120초 처리한 경우 부분적으로 응축이 발생하면서 시료들 중 일부가 달라붙어 덩어리를 이루는 것을 확인할 수 있었다. 이는 깨 표면의 장시간 열처리에 따른 유지 성분의 유출로 인하여 응집 현상이 일어나는 것으로 사료된다. 200℃의 과열수증기로 9초 처리 후 응축을 살펴본 결과, 그림 1-26과 같이 관찰되었다.

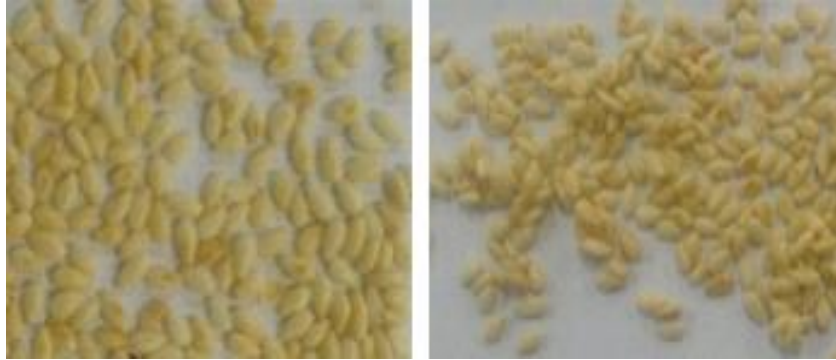


그림 1-26. 200℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 깨의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 우 : 9초 처리).

- 120℃ 과열수증기 처리에 비해 200℃의 고온 과열수증기로 9초간 깨를 처리하였을 경우 응축이 전혀 생기지 않은 것을 확인하였다. 외관 또한 대조군과 차이를 확인할 수 없었다. 따라서 응축정도로 판단해 보았을 때 깨는 단시간 처리에 적합한 시료인 것으로 판단하였다.

(사) 고춧가루

- 고춧가루를 대상으로 하여 120℃의 과열수증기로 3, 120초 처리한 시료의 외관은 그림 1-27와 같이 나타났다.



그림 1-27. 120℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 고춧가루의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

- 고춧가루를 120℃ 과열 수증기 처리 시 단시간의 경우에는 응집 현상이 관찰되지 않았으나 120초 처리한 경우 부분적으로 응축이 발생하면서 시료들 중 일부가 달라붙어 덩어리를 이루는 것을 확인할 수 있었다. 200℃의 과열수증기로 9초 처리 후 응축을 살펴본 결과, 그림 1-28과 같이 관찰되었다.



그림 1-28. 200℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 고춧가루의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 우 : 9초 처리).

- 120℃ 과열수증기 처리에 비해 200℃의 고온 과열수증기로 9초간 고춧가루를 처리하였을 경우 응축이 전혀 생기지 않은 것을 확인하였다. 외관 또한 대조군과 차이를 확인할 수 없었다. 따라서 응축정도로 판단해 보았을 때 고춧가루는 단시간 처리에 적합한 시료인 것으로 판단하였다.

(3) 열 민감도 및 유동 효과

- 응축에 의하여 응집체를 형성한 정도를 기준으로 볼 때, 라면 쇠고기 분말 수프와 생강 분말은 적합하지 않았고 열 민감도와 유동 효과 확인은 상기 두 시료를 제외한 깨, 파슬리, 바질, 채소 분말 수프, 고춧가루를 대상으로 실시하였다. 시료를 160℃의 과열수증기로 3, 6, 9, 15, 30초간 처리하고 시료의 외관을 관찰하여 열 민감도를 알아보고 reacting cell 내 시료의 분포 양상을 확인하여 유동 효과를 판단하였다.
- 그림 1-29는 각 시료의 과열 수증기 처리 시간에 따른 외관의 변화를 나타낸 것이다. 채소 분말 수프의 경우 30초간 처리하였을 때 표면 색깔이 약간 변색되었고 나머지 시료는 모든 처리 시간에 대하여 표면 색깔 변화를 육안으로 관찰할 수 없었다.

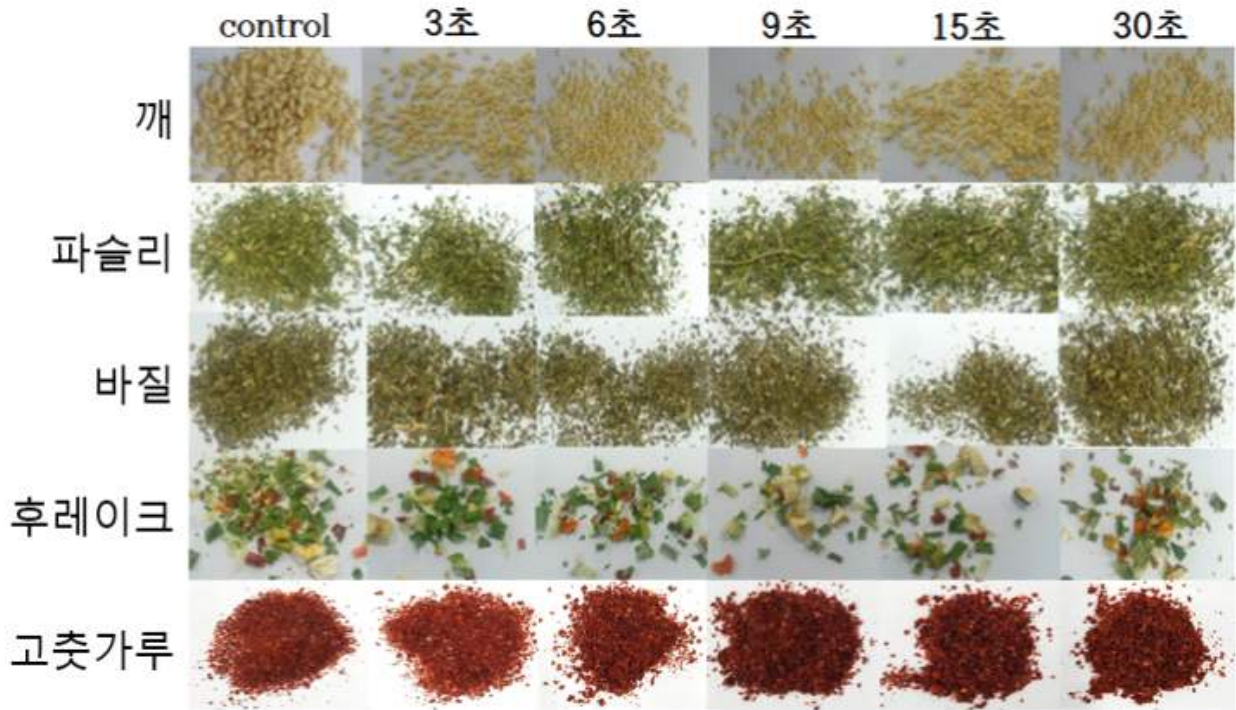


그림 1-29. 160℃의 과열수증기 처리 후 시료의 외관 변화.

- 살균처리 후 reacting cell 내부 사진을 관찰한 결과, 그림1-30과 같이 나타났다. 깨와 채소 분말 수프, 고춧가루는 적당한 유동효과를 나타내는 것으로 판단되었다. 파슬리와 바질 역시 유동효과가 나타나는 것으로 관찰되나, 시료의 무게에 비해 과열수증기의 속도가 높아 대부분의 시료가 과열 수증기 처리 직후 reacting cell의 천장에 달라붙는 것을 관찰하였다.

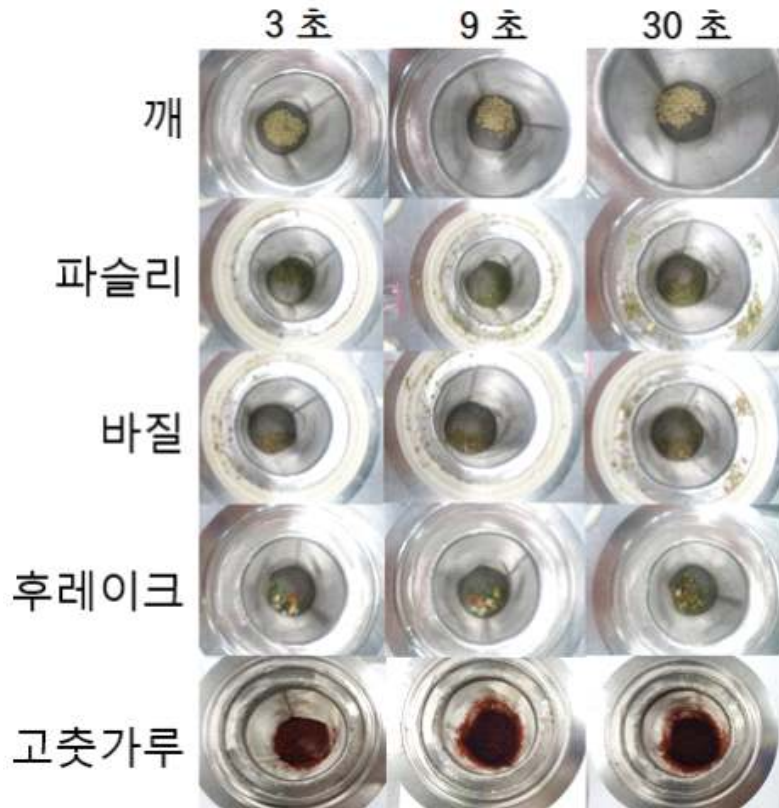


그림 1-30. 160℃의 과일 수증기 처리 시 시료들의 유동 효과.

- 깨, 파슬리, 바질, 채소 분말 수프, 고춧가루의 입자 크기, 응집 정도, 유동 효과 등의 사항을 고려하여 과일수증기 장치에 대한 적합성 실험을 수행한 결과, 파슬리나 바질은 적당한 유동을 통해 과일수증기 처리를 골고루 받게 하기 위하여 과일수증기의 속도조절이 필요하며, reacting cell의 메쉬의 입도를 다양하게 제작하여 크기가 작은 입자의 분체 식품도 본 장치에서 살균할 수 있다고 판단된다.
- 본 연구에서 사용하는 장치의 과일수증기의 속도(풍량)와 reacting cell에 적용 가능성에서 깨, 채소 분말 수프, 고춧가루가 적합하다고 판단되었다.

나. 과일수증기 처리를 이용한 현미의 살균 및 저장성 향상

- 현미를 포함한 곡류에 잔존하는 미생물에 대한 규정은 없으나, 곡류에 존재하는 미생물은 변색 또는 이취발생의 주요 요인으로 작용하며 아프라톡신 등의 심각한 독성물질의 생성 가능성도 있다. 또한 곡류는 가열처리를 거치지 않거나 제한적인 가열처리만을 하는 생식 또는 선식의 원료로 사용이 되므로 미생물의 위해성에 주의를 기울일 필요가 있다.
- 한편, 현미는 저장 중에 효소에 의한 지질의 산화에 의하여 산패취가 발생하여 저장성에 크게 영향을 주게 된다. 따라서 현미의 저장성 향상을 위해서는 현미에 존재하는 잔존 미

생물의 저감화와 더불어 현미에 내재하고 있는 지질산화 효소의 불활성화가 필수적이므로, 본 연구에서는 이러한 두가지 목적을 동시에 달성할 수 있는 과열수증기 처리기술을 이용한 현미의 저장성 향상 기술을 개발하고자 하였다.

(1) 시료

- 현미는 2013년에 재배된 백진주미를 사용하였으며, 품질의 변화를 최소화하기 위하여 밀봉하여 냉장보관하며 사용하였다.

(2) 과열수증기 처리 및 미생물 저감 효과 측정

- Oven type 과열수증기 처리 장치를 이용하여 다음 조건과 같이 과열수증기 처리를 하여 현미의 일반세균수 및 대장균수 저감 효과를 측정하였다.

표 1-11. 현미의 과열수증기 처리에 의한 일반세균의 저감효과

단위 : CFU/g

time(sec) steam temp.(°C)	10	20	30	40	60	120
110	2.52×10^5	9.37×10^4	1.97×10^4	1.67×10^4	2.11×10^4	1.07×10^4
120	3.9×10^3	6.54×10^3	2.56×10^3	6.77×10^4	9.3×10^3	7.9×10^3
160	-	2.48×10^3	-	-	-	-
200	-	4.43×10^3	-	-	-	-
240	2.3×10^3	-	-	-	-	-

- 과열수증기 처리를 하지 않은 현미의 일반세균수는 5.13×10^5 CFU/g이었다. 대조구와 비교하여 110°C에서는 살균효과가 미미하여 120초 처리 후에도 1 log 정도 밖에 감소되지 않았다. 그 이유는 bench scale 오븐형 장치로는 과열수증기의 온도를 110°C를 유지하기 어려웠던 점에 기인하는 것으로 생각된다. 한편 온도 120°C의 과열수증기로 10초 간 처리한 경우 현미의 일반세균수는 99% 감소하였으며, 그 이상 120초까지 처리하여도 잔존 일반세균수는 3 log 수준을 유지하였다. 특히 160-240°C의 고온 과열수증기로 살균하여도 일반세균수는 3 log 이하로 감소되지 않았다. 이와 같은 결과는 현미에는 토양에서 유래된 *Bacillus*속 내열성 포자가 3 log 정도 오염되어 있기 때문인 것으로 추측된다.

○ 한편 식품위생의 지표균으로 사용되는 대장균군의 검사결과를 아래 표에 나타내었다.

표 1-12. 현미의 과열수증기 처리에 의한 대장균군의 저감효과

단위 : CFU/g

time(sec) steam temp.(°C)	10	20	30	40	60	120
110	2.35×10^3	8.66×10	3.6×10^2	2.27×10^2	1.51×10^2	ND
120	ND	ND	ND	ND	ND	ND
160	-	ND	-	-	-	-
200	-	ND	-	-	-	-
240	ND	-	-	-	-	-

○ 과열수증기 무처리 현미의 대장균군의 초기 오염도는 4.8×10^3 CFU/g이었다. 과열수증기 온도가 최저온도인 110°C인 경우 전술한 것과 같이 온도가 불안정하여 살균효과가 미미하였다. 그러나 120°C 이상의 과열수증기로 처리한 경우에는 모든 처리구에서 대장균군은 검출되지 않아 효과적으로 사멸되었음을 알 수 있다.

○ 과열수증기 처리시료의 수분함량이 미생물의 사멸에 영향을 준다는 사실에 근거하여, 현미를 과열수증기 처리 전 흐르는 물에 15초가량 수세하여 일부 수분이 남아 있는 상태에서 동일한 조건으로 과열수증기 처리하였다.

표 1-13. 수세 현미의 과열수증기 처리에 의한 일반세균의 저감효과

단위 : CFU/g

time(sec) steam temp.(°C)	10	20	30	40	60	120
110	1.05×10^3	1.35×10^3	6.73×10^3	8.4×10^2	6.73×10^2	1.93×10^2
120	9.07×10^3	1.59×10^3	8.5×10^2	3.5×10^2	4.67×10^2	7.9×10^2
160	-	2.73×10^3	-	-	-	-
200	-	6.43×10^3	-	-	-	-
240	1.17×10^3	-	-	-	-	-

○ 수세한 현미는 표면이 젖어 있는 상태이므로 과열수증기에 의한 습열살균 기간이 길어 생현미의 경우보다 전반적으로 살균효과가 우수하였다. 그러나 모든 처리구에서 내열성 포자가 2-3 log 정도 잔존하였다. 한편 대장균군 및 대장균은 모든 살균시료에서 검출되지 않았다.

(3) 과열 수증기 처리에 의한 현미의 저장성 향상

○ 현미를 물에 2 ~ 3회 수세 후, 1시간 가량 침지 후 건져내어 과열수증기 처리 시료로 사용하였다. 침지현미를 과열수증기 오븐 트레이에 얇게 펼친 후 과열수증기 온도 160℃ ~ 240℃에서 5s ~ 20s간 처리하여 과열수증기 처리 직후 선풍기로 냉각하고 여분의 수분을 증발시킨 후 건조하여 수분함량을 약 13% 내외로 조절하였다. 수분조절한 시료를 건식분쇄기로 40mesh의 입도로 분쇄 후 일부는 전분손상도, lipase, lipoxygenase 활성측정 시료로 사용하였고, 나머지 시료는 저장실험에 사용하였다. 저장실험 시료는 알루미늄 파우치에 담아 밀봉한 후 50℃ incubator에서 15일간 저장 후 산가측정과 관능평가를 하였다.

(가) Lipoxygenase 활성 측정

시료 5g에 5배수의 0.05M phosphate buffer(pH 7.0)을 넣어 10℃ incubator에서 30분간 교반하여 추출한 후 원심분리한 상층액을 조효소로 사용하였다.

큐벳에 10mM linoleic acid를 50배 희석한 용액 2.9 mL와 조효소액을 0.1 mL를 넣고 반응시켜 생긴 과산화물을 234nm에서의 흡광도를 변화를 측정하였으며 분당 0.001의 흡광도 증가를 1 unit으로 하였다.

(나) 전분손상도

쌀가루의 전분손상도는 시료 9g을 100 mL 정용플라스크에 넣고 α-amylase solution(*Aspergillus oryzae* 125,000unit in 450 mL acetate buffer) 45 mL을 첨가하여 잘 혼합한 다음 30℃ shaking water bath에서 정확히 25분 반응시켰다. 이 용액에 3.68N H₂SO₄ 용액 3 mL와 12% Sodium tungstate 용액 2mL을 가하여 잘 혼합한 후 2분간 정치시켜 Whatman No. 4 여과지로 여과를 하였다. 여액을 굴절당도계(WM-7, ATAGO, Japan)를 이용하여 Brix를 측정하여 전분손상도 값을 계산하였다.

$$\text{maged starch}(\%) = \frac{(B - B_1) \times V}{M} \times F$$

B₁: Brix value of blank filtrate

B₂: Brix value of sample filtrate

V: Volume of slurry(50mL)

M: Sample size(g)

F: Conversion factor(1.64)

(다) 산가측정

① 지방추출

시료를 분쇄 또는 세절하여 필요한 양의 유지가 얻어질 수 있도록 적당량을 공전 삼각플라스크에 취하여 검체가 잠길 정도의 정제에테르를 넣고 때때로 흔들면서 약 2시간 방치하였다. 시료의 고형물이 유출되지 않도록 건조여지로 여과하고 다시 삼각플라스크중의 검체에

정제에테르를 넣어 흔들어 섞은 후 동일 여지에 반복여과 하였다.

여액을 분액 깔대기에 옮기고, 이 여액의 1/3 용량에 해당하는 물을 넣어 잘 흔들어 씻고 물층은 제거 조작을 2회 되풀이하고 에테르층은 분취하여 무수황산나트륨으로 탈수한 후, 40℃의 수욕상에서 감압하여 에테르를 완전 날려 보내고 남은 유지를 정밀하게 달아 산가 시험의 시료로 사용하였다.

② 산가 측정

1시료 5g~10g을 정밀히 달아 마개 달린 삼각 플라스크에 넣어 중성의 에탄올 : 에테르 (1:2) 혼합액 100mL을 넣어 녹인다. 이를 페놀프탈레인시액을 지시약으로 하여 옅은 홍색이 30초간 지속할 때까지 0.1N 에탄올성 수산화칼륨 용액으로 적정한다.

$$\text{산가 (Acid value)} = \frac{5.611 \times a \times f}{S}$$

S : 검체의 채취량(g)
a : 0.1N 에탄올성 수산화칼륨용액의 소비량(mL)
f : 0.1N 에탄올성 수산화칼륨용액의 역가 (1.004)

• 페놀프탈레인 (Phenolphthalein) 시액 - 1g Phenolphthalein / 100mL Ethanol
• 0.1N 에탄올성 수산화칼륨 용액 - 5.611g KOH / 1L Ethanol

(라) lipase 활성

① 지질 제거

현미 시료 40g에 n-hexane 400ml을 첨가하여 잘 혼합한 후 실온에서 30분간 stirring 하여 탈지한다. 감압여과(Whatman No.2)로 분리하고, 여과 시 동일한 양의 n-hexane으로 헹굼 과정을 거친다. 여과지에 올려 1시간 동안 자연 건조하여 잔존 n-hexane을 제거한다.

② 조효소 추출

상기의 시료에 0.5mM CaCl₂를 포함한 50mM phosphate buffer (pH 7.4) 100ml을 첨가하여 혼합한다. 10℃ incubator에서 stirring하여 추출한 후 15분간 원심 분리하여 상등액을 조효소로 사용하였다.

③ lipase 활성 측정

40mg의 p-Nitrophenyl laurate 에 isopropanol 12mℓ을 혼합한 것을 solution A라 하고 0.4g Triton X-100과 0.1g gum arabic에 100mM potassium phosphate buffer (pH 7.0) 90mℓ을 혼합 것을 solution B라 하였다. 0.2mℓ solution에 3mℓ solution B를 혼합하여 vortexing 후 실온에서 1시간 안정화 시킨 용액을 기질로 사용하였다. 기질 3.3mℓ에 조효소액을 첨가하여 35℃ shaking water bath에서 20min간 반응시키면서 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20분에 꺼내어 끓는 물에 5분동안 중탕하여 반응을 종료한 후 원심분리하여 상등액을 410nm에서 흡광도를 측정하여 반응속도를 계산하였다.

(마) 관능평가

- 우선 시료의 외관을 살펴본 후 정수된 물 30 mL에 시료 5g을 혼합하여 냄새와 맛을 평가한 다음 종합적인 기호도를 평가하였다.
- 수세 후 1시간동안 실온에서 침지한 현미시료를 160℃, 200℃, 240℃의 온도에서 각각 5초 간격으로 최대 20초간 과열수증기 처리하고 전분손상도, lipase activity, lipoxygenase activity를 측정하였고, 가속저장실험을 위해 50℃ incubator에서 15일간 저장한 후 시료의 산가와 관능평가를 수행하였다.













	5s	10s	15s	20s
160℃				
200℃				
240℃				

그림 1-31. 과열 수증기 처리 한 현미가루의 색상 변화.

- 과열수증기 처리조건에 따라 현미가루의 색상변화가 일어났음을 확인할 수 있었다. 고온으로 처리 할수록 그리고 장시간 처리할수록 현미가루의 색이 밝게 나타나, 실험 조건하에서는 160℃, 5초간 처리한 시료가 가장 노란색을 띠었으며 240℃, 20초간 처리한 시료가 가장 밝은 색을 나타내었는데, 이는 가열 중에 갈변효소의 불활성화와 연관된 현상으로 생각된다. 이러한 현상은 실제 현미가루를 제조하는 공정에서 매우 중요하게 다루어져야 할 부분으로 현미가루의 품질유지 및 향상에 크게 영향을 줄 수 있는 요인으로 생각되어진다.
- 현미의 저장성 향상을 위한 효소불활성화를 목적으로 열처리 방법은 많이 사용되어진 방법이나, 과도한 열처리는 전분의 호화 등의 자체의 특성을 변화시키는 결과를 초래한다. 본 연구에서는 현미의 전분손상도(degree of starch damage)를 측정하여 최적 처리조건에 반영하고자 하였다.

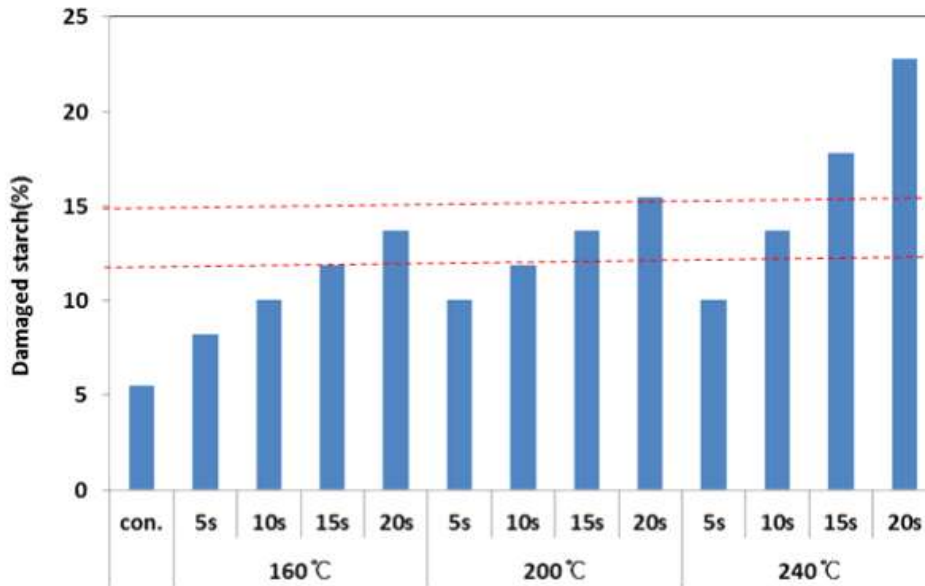


그림 1-32. 과열수증기 처리조건에 따른 현미의 전분손상도.

- 무처리 현미의 전분손상도는 5.47%이었고 고온으로 오래 처리할수록 전분 손상도가 점차 증가하는 것으로 나타나 240°C에서 20초간 처리로 최대 22.78%의 전분손상도를 나타내었고, 10% ~15%정도의 전분손상도의 경우에는 관능적으로 변화가 없는 것으로 나타나 (data not shown) 최대로 처리가 가능한 범위는 160°C, 15초 또는 200°C 20초 정도인 것으로 확인할 수 있었다.
- 과열수증기 처리한 현미의 lipase와 lipoxygenase 활성을 측정한 결과, lipoxygenase는 240°C에서는 5초, 200°C에서는 15초, 160°C에서는 20초에서 완전히 불활성화된 것을 확인하였으며, lipase의 경우에는 lipoxygenase 보다 훨씬 낮은 온도인 120°C에서 20sec 처리로도 완전히 불활성화되어 lipase가 lipoxygenase에 비하여 쉽게 불활성화 됨을 알 수 있었고 이러한 사실은 기존의 현미 중의 효소 불활성화에 관련한 보고(Kazuhito, Food Sci. Techno. Res., 16(1))와도 정확히 일치하고 있다.

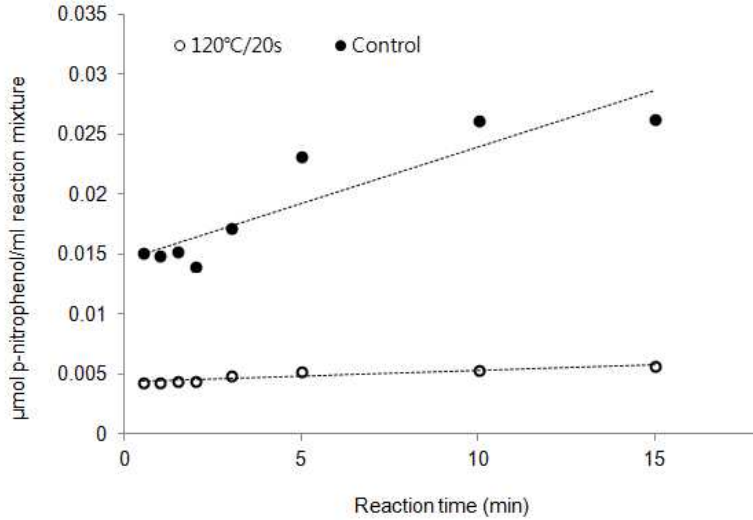


그림 1-33. 과열수증기 처리한 현미의 lipase activity.

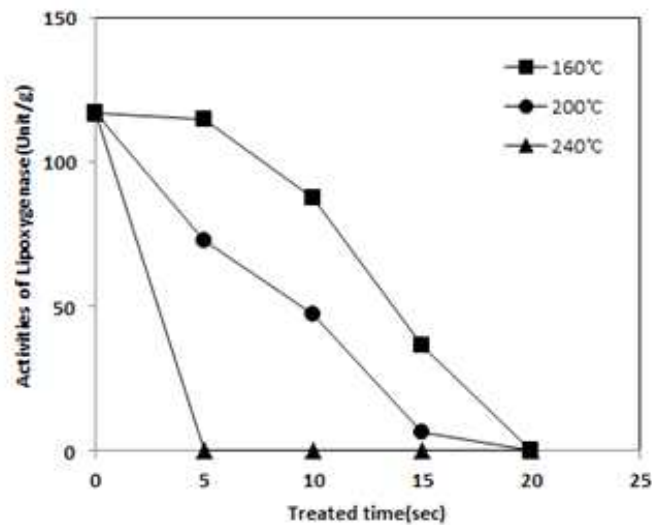


그림 1-34. 과열수증기 처리한 현미의 lipoxigenase activity.

- 과열수증기 처리한 현미를 분쇄한 현미가루를 알루미늄 파우치에 넣어 50°C에서 15일간 가속 저장하여 산가와 관능평가를 수행한 결과를 나타내었다.
- 무처리 시료의 경우 초기 12.3에서 급격한 증가로 145.60까지 증가하였으나 과열수증기 처리한 시료의 경우에는 증가폭이 작아 240°C에서 20초간 처리한 시료의 경우 최저값인 38.59를 보였으며 160°C와 200°C에서 20초 처리한 시료의 경우에도 각각 44.23과 41.04를 보여 현미가루의 저장, 유통 기간 중의 산패를 억제하는데 과열수증기 처리가 매우 효과적이었음을 확인할 수 있었다.

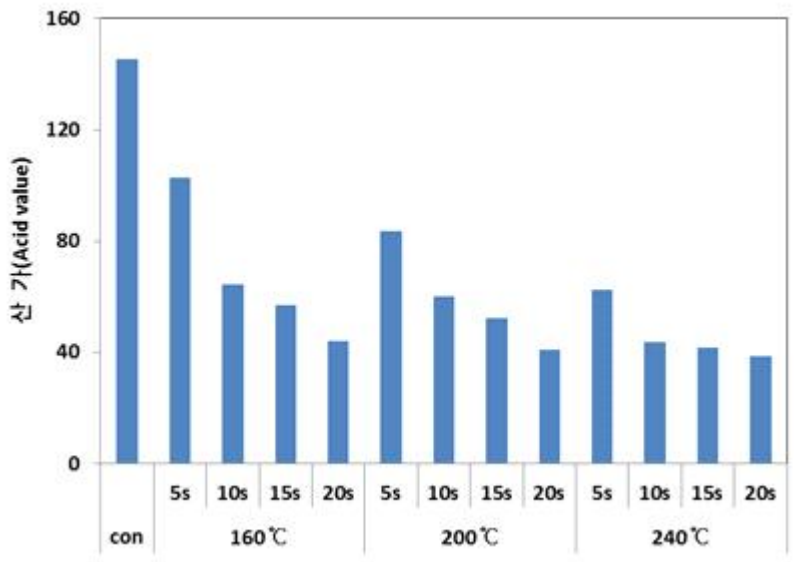


그림 1-35. 과열수증기 처리한 현미 분말의 가속저장 후 산가 변화

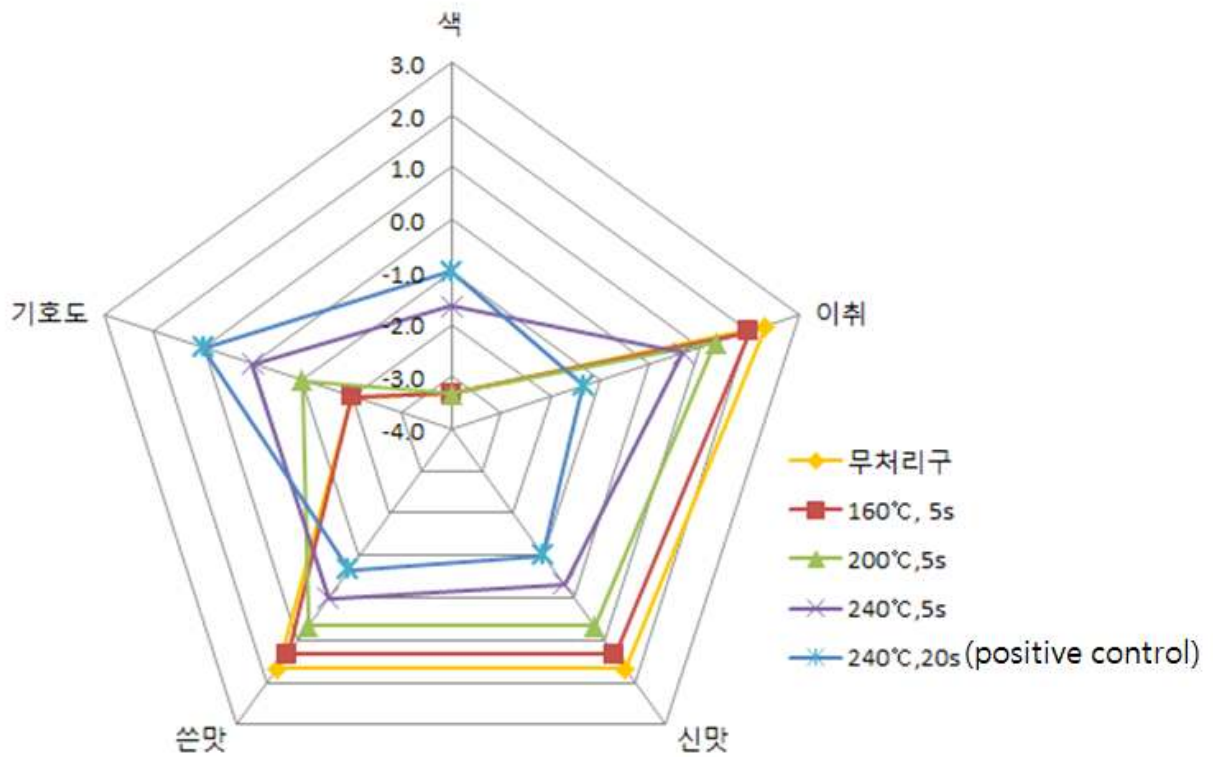


그림 1-36. 과열수증기 처리한 현미 분말의 가속저장후 관능 평가.

- 관능평가 결과에서도 무처리구에 비하여 과열수증기 처리한 시료는 이취나 이미가 덜한 것으로 나타났으며 기호도는 오히려 증가하여 과열수증기 처리는 현미가루의 저장성 향상을 위한 매우 적합한 처리 방법으로 생각되었다.

다. 과열수증기 처리를 이용한 메밀의 오염미생물 저감화

- 메밀의 미생물 오염도 조사에서 전술한 바와 같이 메밀에 존재하는 오염미생물은 주로 과피 내부와 외부 및 거피메밀의 표면에 주로 존재하고 있다. 그러나 우리나라의 메밀국수 등의 원료로 사용되는 메밀가루는 메밀의 독특한 색을 선호하는 소비자의 기호에 맞추어 거피메밀만을 사용하지 않고 일부 과피가 포함되어 있는 상태로 소비가 이루어지고 있다. 이러한 점에서 상대적으로 미생물 오염도가 높은 통메밀의 미생물 저감화 필요성이 대두되고 있다.
- 본 연구에서는 통메밀과 거피 메밀을 120℃~160℃ 범위의 온도에서 10초~30초 간 과열수증기 처리를 통해 미생물 저감효과를 살펴보았다.

표 1-14. 거피 메밀의 과열수증기 처리에 의한 일반세균의 저감화 효과

단위 : CFU/g

time(sec) steam temp.(℃)	10	20	30	40
120	5.63×10^4	1.56×10^4	1.77×10^4	1.04×10^4
130	1.20×10^3	9.67×10^2	1.1×10^3	4.63×10^3
140	1.0×10^3	4.67×10^3	4.0×10^2	6.67×10
160	4.67×10^2	3.6×10^2	1.67×10^2	6.67×10

- 과열수증기 처리를 하지 않은 무처리 거피 메밀의 초기 균수는 1.78×10^6 였고 과열수증기 처리에 의하여 효과적으로 감소하여 5log 이상의 저감효과를 보여 140℃이상의 온도에서 40초 처리로 60CFU/g 수준으로 거의 사멸된 현상을 보여 주었다. 대장균군의 경우는 무처리 거피 메밀은 33 CFU/g 이였으나 모든 처리군에서 검출되지 않았다.
- 그러나 거피메밀과는 달리 통메밀의 경우에는 초기 균수 4.73×10^6 CFU/g에서 과열수증기 처리로 약 2log 정도의 저감율을 보이며 처리온도에 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 내열성균주 계열의 미생물이 주로 통메밀의 껍질 부분에 존재하며, 이러한 미생물은 도정과정에서 과피와 같이 제거될 수 있음을 의미하고 있다. 대장균군의 경우에는 무처리군의 경우 3.53×10^4 이였으나 모든 처리 조건에서 검출되지 않아 대장균군은 과열수증기 처리로 효과적으로 제어할 수 있음을 알 수 있었다.

표 1-15. 통메밀의 과열수증기 처리에 의한 일반세균의 저감화 효과

단위 : CFU/g

steam temp.(°C)	time(sec)	10
120		1.62×10^4
130		9.56×10^3
140		4.1×10^4
160		1.72×10^4

라. 과열수증기 처리를 이용한 고춧가루의 살균

(1) 시료 전처리

○ 고춧가루 시료는 2013년에 수확된 국내산(춘천) 고춧가루를 채래시장에서 구입하여 사용하였으며, 구입 후 Lot별로 플라스틱용기에 보관하여 사용하였다. 고춧가루는 20 mesh와 40 mesh로 sieving 하여 20 mesh에 걸리는 시료, 20 mesh와 40 mesh 사이에 걸리는 시료, 40 mesh를 통과하는 시료로 총 3가지로 크기별로 분획하여 사용하였다.

(2) 과열수증기 처리

○ 과열수증기 연구 장치는 oven type과 fluidized type 두 가지를 사용하였다. oven type의 과열수증기 장치를 사용할 때에는 위와 같이 분획하여 분류한 고춧가루 5g을 과열수증기 처리 장치에 장착되는 mesh tray에 최대한 monolayer 형태가 유지되도록 겹치지 않게 넓게 펴서 깔았다. 이때 mesh tray의 mesh 크기는 고춧가루가 통과되지 않도록 고춧가루 입도에 맞추어 선정하였다.

○ 과열수증기 장치의 챔버 온도, steam 온도, steam 분사량, 시간을 조건에 맞게 셋팅 한 다음, mesh tray를 과열수증기 장치 안에 장착한 후 곧바로 과열수증기 처리를 하였으며, 처리 후 곧바로 꺼내어 clean bench 안에서 상온으로 냉각시킨 후 무균백에 담았다.

○ Fluidized type의 과열수증기 장치를 사용할 때에는 장치의 챔버 온도, steam 온도, 풍량, 시간을 조건에 맞게 셋팅 한 다음, 위와 같이 분획하여 분류한 고춧가루 약 100g을 과열수증기 장치의 주입부(hopper)에 넣어 처리하였다. 과열수증기 처리 후 배출되는 시료를 수거한 다음 clean bench 안에서 상온으로 냉각시킨 후 무균백에 담았다.

○ 위와 같은 방법으로 무균백에 회수된 고춧가루 시료는 10배수의 멸균 증류수를 가하여 균질기(Stomacher)를 이용하여 1분간 균질화 하여 미생물 오염도 테스트를 위한 시료로 사용되었다.

표 1-16. 과열수증기 처리 조건에 따른 고춧가루의 미생물 오염도 변화
(고춧가루 입도 20~40mesh)

super-heated steam type	Oven temp. (°C)	steam temp. (°C)	time (sec)	Aerobic bacteria (CFU/g)	Coliform group (CFU/g)
-	-	-	-	1.0×10^6	1.67×10^2
oven	110	110	30	3.5×10^5	ND
	110	130		4.7×10^5	ND
	110	140		5.6×10^5	ND
	110	150		6.6×10^5	ND
	120	120		9.1×10^5	ND
	140	140		3.6×10^5	ND
fluidized	120	120	5.1×10^5	ND	
	140	140	7.7×10^5	ND	
	160	160	6.0×10^5	ND	

- 20 mesh와 40 mesh에 걸러진 고춧가루를 이용하여 위와 같이 처리시간을 30sec으로 동일하게 설정한 후 오븐온도와 스팀온도만 변수로 두는 조건으로 과열수증기 처리한 후 일반세균수, 대장균군수 및 대장균수를 측정하였다.
- 과열수증기 처리하지 않은 대조군의 경우 일반세균수는 약 10^6 CFU/g, 대장균군수는 1.67×10^2 CFU/g 였으며, 대장균은 검출되지 않았다. oven type과 fluidized type의 과열수증기 장치를 이용하여 과열수증기 처리한 고춧가루의 미생물 오염도를 측정한 결과, 모든 조건의 시료에서 일반세균수는 약 10^6 CFU/g으로 대조군과 비교하여 저감되지 않았으며, 대장균군 및 대장균은 모두 검출되지 않았다. 위와 같은 과열수증기 처리 조건으로는 호기성미생물 저감에는 효과를 확인하지 못하였으며, 대장균군만 살균되는 결과를 확인하였다.

표 1-17. 과열수증기 처리 조건에 따른 고춧가루의 미생물 오염도 변화
(고춧가루 입도 20+mesh)

super-heated steam type	Oven temp. (°C)	steam temp. (°C)	time (sec)	Aerobic bacteria (CFU/g)	Coliform group (CFU/g)
-	-	-	-	8.2×10^6	2.0×10^2
oven	110	110	60	5.7×10^5	ND
			90	4.0×10^5	ND
	120	120	40	5.3×10^5	ND
			60	2.6×10^5	ND
	130	130	20	2.8×10^5	ND
			40	2.6×10^5	ND
fluidized	120	120	60	3.9×10^5	ND
			90	3.7×10^5	ND
	140	140	60	1.6×10^6	ND
			90	2.1×10^5	ND
	160	160	60	2.3×10^5	ND
			90	3.1×10^5	ND
			120	8.7×10^4	ND
	180	180	60	1.5×10^5	ND

- 20 mesh에 걸러진 가장 굵은 입도의 고춧가루를 이용하였으며, 오븐의 온도와 스팀의 온도를 동일하게 설정하고, 위의 실험보다 처리시간을 늘려 과열수증기 처리한 후 일반세균수, 대장균군수 및 대장균수를 측정하였다.
- 과열수증기 처리하지 않은 대조군의 경우 일반세균수는 약 10^6 CFU/g, 대장균군수는 약 10^2 CFU/g 였으며, 대장균은 검출되지 않았다. Oven type 과열수증기 장치를 이용하여 과열수증기 처리한 고춧가루의 미생물 오염도를 측정한 결과, 모든 조건의 시료에서 일반세균수는 약 10^6 CFU/g으로 대조군에 비해 저감되지 않았으며, 대장균군 및 대장균은 모두 검출되지 않았다. Fluidized type 과열수증기 장치를 이용하여 과열수증기 처리한 고춧가루의 미생물 오염도 측정 결과, 마찬가지로 대조군에 비해 미생물 오염도가 저감되는 효과를 확인하지 못하였다. 160°C의 온도에서 120초간 처리하였을 때 다른 실험군보다 1log 정도 감소되는 경향을 보였지만, 본 조건으로 과열수증기 처리하였을 때에는 과다한 열처리로 인하여 고춧가루가 탄화되는 현상이 발생하였다.

- 위와 같은 과열수증기 장치를 이용한 고춧가루의 살균은 어려울 것으로 판단되어, 초기균수를 저감하여 최종 고춧가루의 오염도를 낮추기 위한 목적으로 고춧가루의 원료가 되는 건고추를 과열수증기 처리하여 오염도 변화를 조사하였다. 먼저, 시판되는 건고추를 구입하여 일반세균 오염도를 측정하였다. 수집한 건고추는 고추를 수매하여 HACCP인증받은 공장에서 건조되고 포장된 것과, 재배한 농산자가 직접 태양초로 말린 것, 또한 찌서 말려진 것들로 재배지역, 건조 및 가공 방법이 모두 다르며, 지역마트와 재래시장에서 5종 구입하였다.

표 1-18. 시판 건고추의 일반세균수

시료순번	원산지	재배년도	Aerobic bacteria (CFU/g)
1	국내산(영양)	2013	1.6×10^4
2	국내산(춘천)	2013	4.2×10^2
3	국내산(호남)	2013	1.0×10^7
4	국내산(영주)	2013	1.1×10^4
5	국내산(정읍)	2013	1.7×10^2

- 건고추 5종에 대한 일반세균 오염도는 시료에 따라 최소 10^2 CFU/g, 최대 10^7 CFU/g으로 각기 다른 오염도를 나타내었다. 건고추 시료는 품질이 균일하게 유지되는 것을 사용해야 하므로, 2013년에 수확된 고춧가루 중 영양고추유통공사에서 HACCP 인증을 받아 생산하는 세절고추를 구입하여 사용하였다.

표 1-19. 건고추의 과열수증기 처리에 의한 일반세균 저감효과

time (sec) / steam temp.(°C)	30	60	90	120	150	180
110	3.14×10^4	1.37×10^4	3.27×10^4	1.60×10^4	1.36×10^4	1.70×10^4
120	3.27×10^4	1.77×10^4	1.53×10^4	1.12×10^4	2.03×10^4	-
130	1.37×10^4	1.43×10^4	1.03×10^4	8.8×10^3	-	-
140	-	1.08×10^4	-	-	-	-

- 건고추의 과열수증기 처리 후 일반세균수를 측정한 결과 약 10^4 CFU/g으로 대조군에 비교하였을 때 살균 효과가 거의 없는 것으로 확인되었다. 130°C에서 120초간 처리하였을 때 1log 정도 감소하지만 이 때 건고추 시료는 색변화로 품질이 저하되었다.
- 건고추를 오븐형 과열수증기 장치를 이용하여 위의 조건과 같이 과열수증기 처리 후 색변화를 관찰하였다. 무처리군의 색을 +, 이후 색변화에 따라 ++, +++, ++++로 총 5가지 그룹으로 나누었을 때 그 결과는 다음과 같다.

표 1-20. 건고추의 색 변화

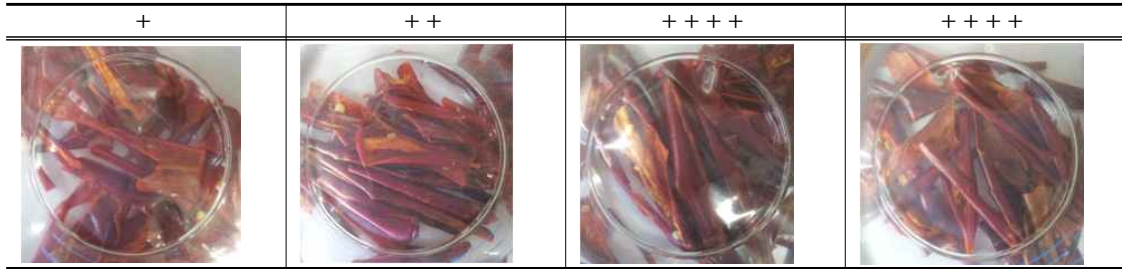


표 1-21. 건고추의 과열수증기 처리 후 색 변화 관찰

time (sec) / steam temp.(°C)	30	60	90	120	150	180
110	+	++	++	++	++	+++
120	++	++	++	+++	++++	-
130	++	++	+++	++++	-	-
140	-	++++	-	-	-	-

- 건고추는 위의 과열수증기 처리 조건에 따라 색이 변하거나, 탄화 되거나, 마르는 등 품질이 변화 되었다. 과열수증기 처리 시 건고추의 품질저하가 일어나는 것은 과열수증기 처리를 통한 잠열에 의해 건고추의 수분이 감소되는 것에 기인하는 것으로 사료된다.
- 시료의 수분함량이 고춧가루 살균에 영향을 줄 수 있다는 판단 하에 수분함량이 약 66%인 홍고추를 이용하여 비교적 저온인 110°C~140°C에서 5분에서 20분의 장시간동안 oven type 과열수증기 장치로 과열수증기 처리하였을 때 건조 및 살균 효과를 확인하기 위하여 아래와 같은 조건으로 과열수증기를 처리하였다.

표 1-22. 홍고추의 과열수증기 처리에 의한 일반세균 저감효과

단위 : CFU/g

time(min) / steam temp.(°C)	5	10	15	20
110	-	-	-	ND
120	ND	ND	ND	-
130	-	ND	-	-
140	ND	-	-	-

- oven type 과열수증기 장치를 이용하여 위와 같은 조건으로 과열수증기 처리하였을 때 과열수증기 무처리군의 홍고추의 일반세균수는 2.7×10^4 CFU/g이었으나, 처리 후 모든 실험군에서 일반세균은 검출되지 않았다.







표 1-23. 홍고추의 과열수증기 처리 후 수분함량 변화

(단위 : %)

time(min) steam temp.(°C)	5	10	15	20
110	-	-	-	51.78
120	48.21	62.68	58.07	-
130	-	53.24	-	-
140	59.11	-	-	-

- 과열수증기 처리 후 수분함량을 측정하였을 때 처리조건별로 수분함량이 유의적으로 감소하지는 않았으나, 약 5~18%가량 수분함량이 감소하는 경향을 보였다. 하지만 과열수증기 처리 후 색변화를 관찰하였을 때 홍고추 시료의 가장 얇거나 약한 조직 부분부터 탄화 현상이 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

표 1-24. 홍고추의 과열수증기 처리 후 색변화

time(min) steam temp.(°C)	5	10	15	20
110	-	-	-	
120				-
130	-		-	-
140		-	-	-

- 이상의 결과로부터, 고춧가루의 효과적인 미생물 저감화를 위해서는 높은 수분함량의 고춧가루를 저온에서 장시간 처리하는 것이 보다 유리함을 알 수 있었고 이에 따라 기존의 건고추를 재침지하여 수분함량을 높인 후에 과열 수증기 처리하여 미생물 저감효과를 살

펴보았다. 세절고추 5g을 완전히 잠길 정도로 물에 약 20분정도 침지시킨 후 실온에서 30분간 방치하여 표면수를 증발시킨 후 oven 형 과일 수증기 장치를 이용하여 과일수증기 처리하였다. 이때 세절고추의 수분함량 변화와 미생물 오염도를 아래 표에 나타내었다.

표 1-25. 침지 세절고추의 수분함량 변화




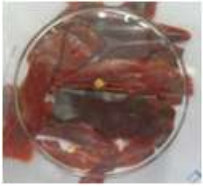

Control	침지 직후	침지후 표면 건조 후	과열 수증기 처리 후 (120℃, 15min)
15.62%	71.28%	61.23%	16.24%

표 1-26. 침지건고추의 과열수증기 처리에 따른 미생물 오염도 변화

온도	120℃		130℃	
	건고추	침지 고추	건고추	침지고추
10min	-	-	3.13×10^3	1.00×10^2
15min	1.87×10^3	3.67×10	1.03×10^3	-
30min	-	3.00×10	-	-

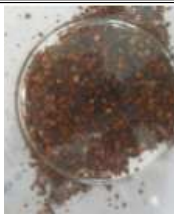



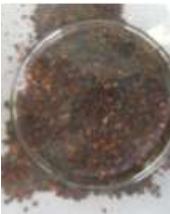
- 무처리군의 일반세균 오염도는 1.16×10^4 으로 침지하지 않은 건고추의 경우에는 큰 살균 효과가 없었으나, 침지한 경우에는 2-3 log의 미생물 저감효과가 관찰되어 목표치인 10^3 이하의 일반세균 오염도를 달성하였다. 또한 과열수증기 처리에 의한 색변화도 120℃에서 15분 처리로 무처리군에 비하여 크게 변색되지 않아 실제 생산공정에 적용할 수 있는 수준의 결과로 기대되었다.

표 1-27. 침지고추의 과열수증기 처리 후 색변화

time(min) steam temp.(℃)	10	15	30	무처리군.
120	-			
130				

- 이러한 결과로 과열수증기를 이용한 고춧가루의 살균에는 비교적 낮은 온도인 120℃에서 장시간 처리하는 것이 효과적인 것이 분명한 것으로 나타났다. 그러나 이러한 결과를 고춧가루에 바로 적용하기 위해서는 고춧가루의 수분함량을 살균에 적합한 60% 이상으로 조절해야 하는데, 고춧가루의 특성상 과도한 수분상태에서는 응집되므로 과열 수증기 처리가 어려워 침지과정 없이 고춧가루를 저온, 장시간 가열을 통해 비교 실험을 행하였다.
- 고춧가루 5g을 침지없이 저온(120℃~130℃)에서 15~ 30분동안 과열수증기 처리한 결과를 표1-28에 나타내었다. 일반세균수는 세절고추와 유사하게 2-3log가 감소하는 것으로 나타났으나, 시료의 탄화현상이 심하게 나타나 실제 공정에 적용하기는 어려울 것으로 판단되었다.

표 1-28. 과열수증기 처리에 의한 고춧가루의 색변화 및 일반세균 저감효과

time(min) steam temp.(℃)		10	15	30	무처리군.
120	색변화	-		-	
	Aerobic bacteria (CFU/g)	-	1.30×10^3	-	1.26×10^5
130	색변화				-
	Aerobic bacteria (CFU/g)	3.40×10^3	4.00×10^2	3.67×10^2	

- 유동층형 과열수증기 장치와 오븐형 과열수증기 장치를 이용한 과열수증기처리에 따른 일반세균의 살균효과를 살펴보기 위하여 110℃~200℃, 0~180 sec 범위의 가열조건으로 고춧가루를 가열살균한 결과를 표1-29, 1-30 에 나타내었다.

표 1-29. 유동층 과열수증기 장치에 의한 고춧가루 살균결과(log CFU/g)

Steam temp.	Time (sec)													
	0	5	10	15	20	25	30	45	60	75	90	120	150	180
110°C	6.44	6.14	6.48	6.71	6.53	6.63	6.73	6.58	6.64	6.68	6.52	6.36	6.88	6.67
120°C	6.44	6.47	6.56	6.36	6.51	6.67	6.29	6.41	6.35	6.58	6.24	6.36	6.41	6.61
130°C														
140°C														
150°C		6.40	6.34	6.71	6.49	6.60	6.46	6.14	6.54	6.59	7.00	6.13	5.93	5.79
160°C	6.43	6.46	6.13	6.04	6.15	6.17	6.17	5.37	5.10	5.37	5.29	5.30	5.15	5.03
170°C	7.39	6.38	6.30	6.16	6.07		6.18	6.23	5.91	5.88	5.68	5.92	5.67	4.45
180°C	6.43	6.08	6.08	5.78	6.08	5.33	5.76	5.00	4.56	5.39	3.82	5.95	4.29	5.07
200°C	6.43	5.87	5.07	4.82	5.16	5.12	5.17	4.84	4.17	4.45	2.43	3.57	0	0

표 1-30. 오븐형 과열수증기 장치에 의한 고춧가루 살균결과(log CFU/g)

Steam temp.	Oven temp.	Time (sec)														
		0	5	10	15	20	25	30	45	60	75	90	105	120	150	180
110°C	110°C	5.99	5.92	5.98	5.95	5.87	5.85	5.87	5.76	5.82	5.60	5.79	5.86		5.88	5.39
120°C	120°C	5.99		5.94				5.74			5.72	5.78	5.89	5.85	5.56	5.51
120°C	125°C	5.96		5.88		5.87		5.77		5.56		5.40		5.96		4.75
130°C	135°C	5.96		5.79		5.92		5.81		5.63		5.46			5.16	5.17
140°C	140°C	5.99	5.76	5.81	5.79	5.75	5.64	5.59	5.48		4.81	4.80	3.99	3.18	3.60	3.86
150°C	150°C	5.99	5.85	5.84	5.83	5.85		5.75	5.46	5.44	4.89	4.24		3.64		2.00
160°C	160°C	5.99	6.01	5.75	5.54	5.54		5.25	4.79	3.99	3.98			3.16		
170°C	170°C	5.99	6.23	5.80	5.54	5.44	4.99	4.88	3.64		2.12	0		0		
180°C	180°C	5.99	6.00	5.68	5.46	5.35	4.7	4.6	3.01	0	0	0				
200°C	200°C	5.99	5.86	5.70	4.74	4.37	3.67	2.30	0	0	0	0				

○ 유동층 처리장치의 경우, 110°C와 120°C의 저온에서 처리한 경우에는 일반세균수의 감소가 관찰되지 않아 거의 살균효과가 없는 것으로 나타났다. 150°C 이상의 고온에서 처리한 경우에도 1~2 log 정도의 감균정도가 관찰되어 과열수증기 처리에 의한 뚜렷한 살균효과가 나타나지 않았으며 180°C 이상 에서 90초 이상 가열한 경우에만 비로소 3~4 log 정도

의 감균효과와 3log 수준의 잔존 세균수를 나타내었다.

- 오븐형 처리장치를 사용한 경우에는 130℃ 이하의 온도에서는 처리시간과 관계없이 1 log 정도의 약간의 감균효과만을 나타내었으나, 150℃ 이상의 온도에서는 처리시간에 따라 뚜렷한 살균효과가 나타나 150℃에서 180초간 처리로 잔존미생물의 수가 초기 5.99 log에서 2.00 log로 감소하였다. 또한 170℃, 90초, 180℃ 60초, 200℃ 45초 처리로 잔존 미생물의 수를 거의 불검출 상태로 만들 수 있었다.
- 유동층형 처리장치와 오븐형 처리장치를 비교하였을 때, 오븐형 처리장치가 보다 높은 살균효율을 가진 것으로 나타났다. 이는 각 처리장치의 구조적 차이에서 기인하는 것으로 여겨진다. 유동층형 처리장치는 발생한 과열수증기를 목표 온도까지 수퍼히터를 이용하여 재가열한 후 유동층 반응기에 직접 공급하여 피가열체와 접촉하게 되는데, 이 과정에서 피가열체에 응축 및 건조 반응이 일어나게 되면서 반응기 전체의 온도가 일시적으로 낮아지는 현상이 필연적으로 발생하게 된다. 실례로 180℃의 과열수증기가 공급되면서 정상상태(steady state)에 도달한 180℃의 반응기에 실온 상태의 시료(고춧가루)를 투입하게 되면 투입 즉시 165℃~170℃로 반응기의 온도가 내려가고 이후 서서히 온도가 증가하여 180℃의 정상상태의 온도로 복귀하게 된다.
- 반면에 오븐형 처리장치는 과열수증기의 온도와는 별도로 반응기 내의 온도를 조절할 수 있는 히터가 따로 장착되어 있어 반응기 내의 온도를 목표온도와 거의 동일하게 유지할 수 있는 구조로 되어 있다. 따라서 같은 온도의 처리조건이라 하더라도 오븐형 처리장치가 유동층형 처리장치에 비하여 보다 정확한 열처리 조건을 만족한 시스템으로 이해할 수 있다. 특히 처리시간이 60초 이하의 짧은 경우에는 유동층형 처리장치는 목표온도에 다시 도달하기도 전에 처리가 완료되는 구조이므로, 이에 대한 보완 또는 보정 작업이 필요한 것으로 판단된다.

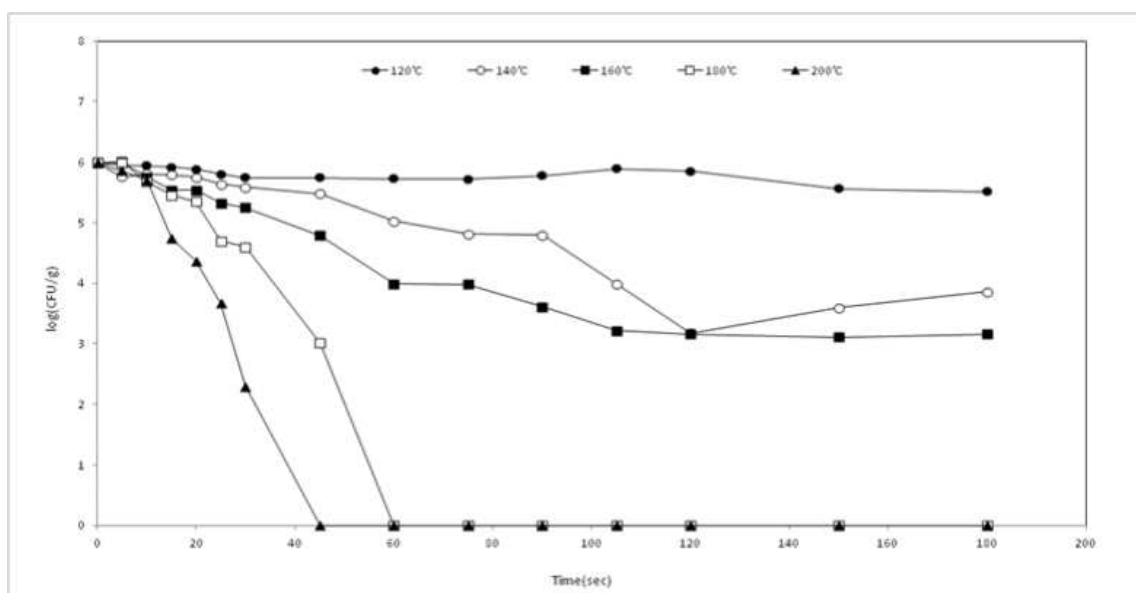


그림 1-37.. 오븐형 과열수증기 장치에 의한 고춧가루 살균결과(log CFU/g)

- 이상의 결과로 과열수증기를 이용한 가열처리로 고춧가루의 일반세균을 3log 이하로 제어할 수 있음을 확인하였으나, 열처리는 고춧가루의 변색을 야기하여 품질열화를 수반하기 때문에 살균처리에 있어서는 이러한 점을 고려하여야 한다. 표.. 에 과열수증기 처리에 따른 고춧가루의 색상변화를 나타내었다. 살균목표인 잔존 일반세균수 3log 수준에 도달하기 위한 처리조건에서는 고춧가루가 과도한 열처리에 의하여 갈변이 일어나거나 심한 경우에는 일부 탄화현상까지 발생하여 품질에 심각한 영향을 나타내었다.
- 한편, 수직 터널형 과열수증기 처리 장치를 이용하여 120, 140, 160, 180℃의 과열수증기를 15, 30, 45, 60, 75초 동안 처리한 결과를 그림 1-38에 나타내었다.

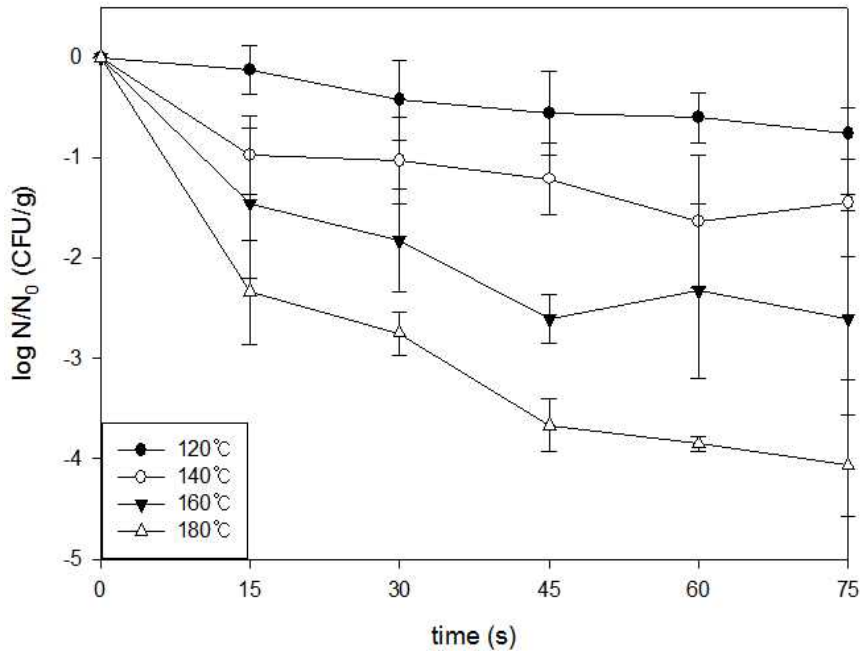


그림 1-38. 과열수증기의 온도에 따른 고춧가루의 총 호기성균 저감화 효과.

- 시료의 살균 전 오염 정도는 7.42 log CFU/g이며, 과열 수증기 온도가 증가할수록 총 호기성균의 저감화 속도가 빨랐다. 각 온도에서 75초간 처리하였을 때 최종 총 호기성균의 저감화 정도는 120℃의 경우 약 0.75 log, 140℃에서는 약 1.4 log, 160℃에서는 약 2.6 log, 180℃에서는 약 4.06 log 저감되었다. 초기 오염 정도를 고려하면 180℃에서 75초 처리하여야 총 호기성 균수가 10^3 CFU/g 이하로 떨어지게 된다. 하지만 과열 수증기를 처리하는 시간이 길어질수록 시료가 탄화되는 등의 품질 저하가 나타났다(뒤의 품질 변화 측정에서 결과 기술함). 따라서 고온에서 단시간 처리하여 품질 변화를 최소화하고자 180, 200℃에서 3, 6, 9, 12, 15초로 조건을 설정하여 저감화 실험을 재수행한 결과를 그림 1-39에 나타내었다.

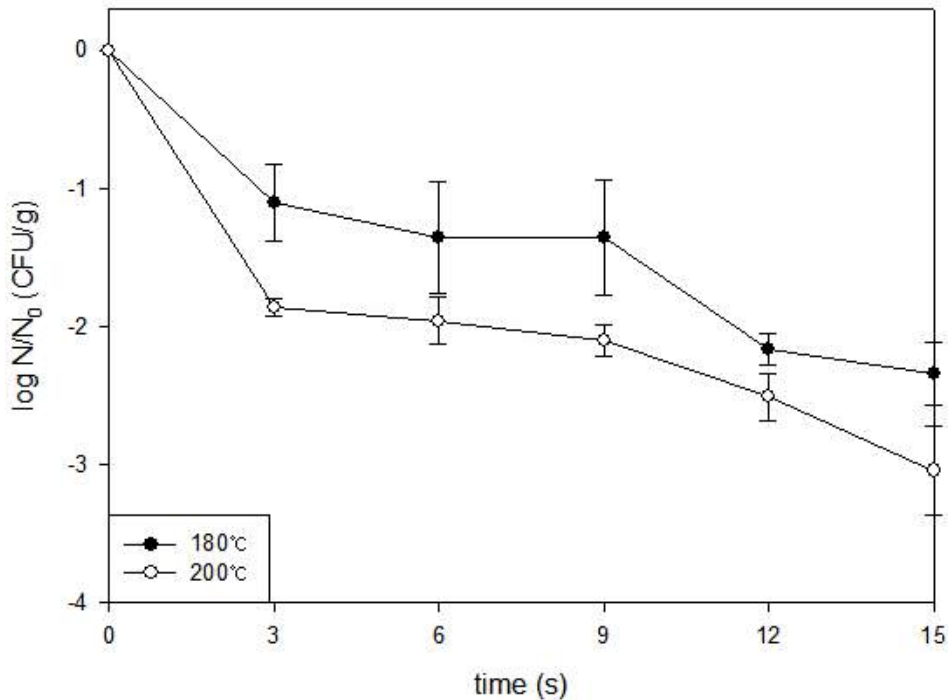


그림 1-39. 고온의 과열 수증기 처리 시 총 호기성균의 저감화 효과.

- 180°C의 과열 수증기로 처리 시 3초 만에 1.1 log 감소되었으며, 15초 처리 시 약 2.33 log 감소되는 것을 알 수 있었다. 200°C의 과열수증기를 3초 처리 시 약 1.86 log 감소하였으며 15초 처리 시에는 3.04 log 감소하는 것을 알 수 있었다.
- 상기 결과는 총 호기성균을 대상으로 얻은 것으로 단일 미생물은 아니지만, 저감화 효과가 균일해지기까지의 구간을 대상으로 얻은 각 온도에서의 D값을 표 1-31에 나타내었다. 과열 수증기 온도가 증가할수록 D값은 감소하였다. 과일이나 채소류에서 *Bacillus* 속 미생물의 포화수증기에 대한 D₁₂₁값은 *B. stearothermophilis*의 경우 약 4-5분, *B. poymyxa*는 0.005분, *B. subtilis*는 약 0.4분 등으로 내열성의 차이가 크다. Biofilm을 형성하거나 spore인 경우에는 D값이 크게 증가한다. 단순 비교는 어렵지만 고춧가루 표면의 총 호기성균의 상당 부분은 *Bacillus* 속이며 과열 수증기의 경우 D₁₂₀은 약 1.65분으로 가장 내열성이 강한 *B. stearothermophilis*에 비하여 2배 이상 감소하였다.

표 1-31. 과열 수증기 온도에 따른 고춧가루의 총호기성균의 D값

과열 수증기 온도 (℃)	D값 (분)
120	1.65
140	0.49
160	0.29
180	0.21
200	0.08

- 120 , 140, 160℃의 과열 수증기 처리 시, 목표하는 살균 정도에 도달하지 못하는 것을 알 수 있다. 180℃의 경우 75초 처리 시 약 4 log 감소를 이루었으나, 고춧가루의 품질이 심하게 저하되는 것을 확인하였다. 품질을 유지하면서 유의적인 미생물 저감효과를 나타내려면 가급적 고온의 과열 수증기로 짧은 시간동안 처리하는 것이 유리할 것으로 판단되었다. 180℃의 과열 수증기로 15초 처리 시, 약 2~3 log의 총 호기성균의 감소가 일어났다. 200℃의 온도에서는 15초 처리 시 3 log의 균 저감 효과가 있으나, 6초 이후에서 여전히 탄화가 진행되었다. 따라서 품질을 유지하는 범위에서 최대 미생물 저감효과는 200℃에서 6초 처리 시로 약 1.9 log 감소하는 것을 알 수 있다. 과열 수증기가 상대적으로 낮은 온도의 시료와 접촉하면서 응축이 발생하게 되는데, 단시간 처리 시에는 생성된 응축수가 모두 건조되지 않아 시료가 응집되는 현상이 나타났다. 따라서 응축수가 제거될 수 있는 처리 시간동안 과열 수증기를 처리하거나, 단시간 처리 후 응축된 시료를 다시 분쇄하는 공정을 추가할 필요가 있는 것으로 판단된다.
- 총 호기성균의 살균 효과가 크기 않은 것으로 나타나는데, 이는 다양한 원인에 의한 것으로 사료된다. 다양한 농작물에서 미생물이 biofilm을 형성하여 더욱 강한 내열성을 나타내는 것으로 연구된 바 있다(Han *et al.* 2000). 고춧가루도 마찬가지로, 원재료에 오염되어 있던 미생물이 제조 공정 과정이나 오랜 시간이 지남에 따라 biofilm을 형성하여 살균 효과가 저해되는 것으로 판단할 수 있다.
- Biofilm 형성뿐 아니라 고춧가루에 존재하는 spore에 의한 위해 요인도 중요하다. 고춧가루를 재료로 사용하는 식품에서 spore는 잠재적 위해 요인으로 식품 공정상 과도한 열처리를 해야 할 필요가 생기고 이로 인한 품질 저하가 심하게 일어난다. 특히 토양의 오염도가 높은 *Bacillus* 속의 spore가 큰 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

(3) 고춧가루 초기온도의 영향

- 과열수증기로 가열처리를 할 때 가열초기에는 시료의 온도가 낮기 때문에 시료표면에 과열수증기가 응축한다. 차츰 시료 표면온도가 포화수증기 온도에 도달하면 응축수가 증발하여 원래의 상태로 복원되고 가열이 계속되면 시료 표면은 건조되고 시료 중심온도도 증가한다.
- 가열초기 과열수증기의 응축에 의하여 표면 오염미생물은 습열가열 상태가 되기 때문에 비록 매우 짧은 시간이지만 응축-복원 과정에서 살균효과는 매우 크다. 4℃ 냉장고에 저장하여 온도 평형에 도달한 영양 고춧가루 시료를 바로 오븐형 과열수증기 장치에서 가열처리하여 응축-복원 시간의 영향을 검토하였다.
- 표 1-32에 나타난 것과 같이 2초간의 매우 짧은 시간 처리했음에도 살균효과가 있음을 알 수 있다.




표 1-32. 가열초기 과열수증기의 응축이 오염미생물 살균에 미치는 영향

과열수증기 처리 조건 (영양고춧가루 초기 온도 4℃)		일반세균 (logCFU/g)	비고
과열수증기 온도 (℃)	처리시간 (s)		
대조구	2	4.27	
115	2	3.95	
120	2	3.94	
125	2	4.03	
130	2	4.02	

- 남안동 고춧가루 시료를 각각 25℃ 및 4℃에 저장하여 온도 평형에 도달하게 한 후 즉시 오븐형 처리장치에서 과열수증기 온도 115 - 180℃ 범위에서 각각 1 min 처리하였다.
- 과열수증기 처리온도에 큰 영향을 받지 않고 대조구에 비하여 일반세균 오염도가 약 1log 감소하였다. 특히 과열수증기 처리온도 180℃의 고온인 경우 시료 초기온도의 영향을 매우 크다. 시료 초기온도가 실온인 경우 180℃에서 30s 과열수증기 처리했을 때 거의 살균도지 않았으나 초기온도 4℃ 일 때 약 1log 감소하였다. 또한 1 min 가열한 경우 초기온도가 실온인 시료는 과열에 의하여 거의 탄화되었다.

- 이상의 결과로 미루어 보아 과열수증기 살균할 경우 시료의 초기온도는 살균효과 뿐만 아니라 품질에도 큰 영향을 미치므로 적절히 제어할 필요가 있음을 알 수 있다.

표 1-33. 고춧가루 초기온도가 오염 미생물 살균에 미치는 영향

시료 초기온도	처리조건	일반세균 (CFU/g)	처리 후 변색 정도
4°C	대조 구	1.25x10 ⁴	
25°C		1.95x10 ⁴	
4°C	115°C 1 min	1.4x10 ³	
4°C	130°C 1 min	3.2x10 ³	
4°C	145°C 1 min	2.7x10 ³	
4°C	180°C 30 s	2.45x10 ³	
25°C		1.35x10 ⁴	
4°C	180°C 1 min	1.05x10 ³	
25°C		탄화	

(4) 간헐살균의 효과

- 전술한 것과 같이 고춧가루 제품에는 10⁴~10⁵ CFU/g 의 내열성 세균이 오염되어 있어 온화한 가열처리 조건에서는 거의 사멸되지 않았다.
- 전통적으로 포자를 살균할 때는 간헐살균법을 사용하여 왔으므로 과열수증기를 이용한 고춧가루의 간헐살균의 가능성을 검토하였다. 그림 1-40에 나타난 것과 같이 115°C와 180°C의 과열수증기로 2회 간헐살균한 결과 한 결과 대조구의 일반세균 4.27 CFU/g임을 고려하면 포자살균효과는 미미하였다. 그러나 이와 같은 결과는 발아시간이 짧은 것이 한 원인 일 수 도 있으므로 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

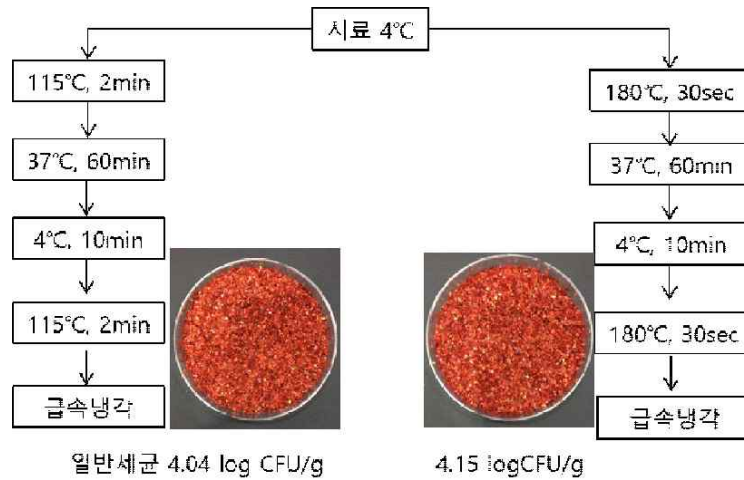


그림 1-40. 과열수증기를 이용한 고춧가루의 간헐 살균

(5) 과열수증기 처리에 의한 고춧가루의 품질 변화

(가) 실험 방법

- 일반적으로 고춧가루의 품질 지표는 capsaicin으로서 매운 맛의 주성분이다. Capsaicin은 지용성으로 열에는 매우 안정한 것으로 알려져 있기 때문에 고춧가루의 색도와 수분함량을 주요 품질 지표로 하여 과열 수증기 온도와 처리 시간에 따른 품질 지표의 변화를 측정하였다. 과열 수증기 온도와 처리 시간은 총 호기성균 저감화 실험 조건과 동일하였다.

① 고춧가루의 색도 변화

- 고춧가루를 열처리하게 되면 탄화되어 표면의 색이 변하는 현상이 관찰된다. 이는 품질의 저하로 판단되기 때문에 살균 후 고춧가루의 색도 변화를 관찰하는 것은 필수적으로 요구된다.
- 살균 전 고춧가루와 각 조건에서 살균 처리한 고춧가루를 흰 바탕의 종이 위에 수집하여 사진촬영을 진행하였으며, Chroma meter CR-400 (KONICA MINOLTA, USA) with accessory CR-A50 (The granular materials attachment)를 이용하여 색도를 측정하였다.
- 매 회 색도 측정 시 2.0 g의 고춧가루를 CR-A50에 적재하여 Chroma meter CR-400 색차계를 이용하여 L(lightness), a(redness), b(yellowness) 값을 3회 측정하였다. 이 과정을 모든 실험조건마다 3번 반복 수행하였으며, 그 결과를 SPSS 프로그램을 이용하여 Tukey 법으로 유의적인 차이를 확인하였다.

② 고춧가루의 수분함량 변화

- 우리나라 식품공전에서는 고춧가루의 수분함량 규격을 15% 이하로 하고 있다. 따라서

고춧가루가 제품으로서 가치를 유지하기 위해서는 수분함량이 매우 중요하다. 본 연구에서는 고춧가루의 수분 함량을 측정하기 위하여 IR moisture analyzer (A&D MX-50)를 사용하였다. 1 g의 시료를 과열 수증기로 처리한 후, 미리 데시케이터에 보관하여 향량에 도달시킨 알루미늄 용기에 옮겨 담았다. 총 8회 처리하여 수분함량 측정에 사용될 시료의 양을 8 g으로 하였으며, 이 용기들을 데시케이터에 넣고 30분간 방냉시킨 후 IR moisture analyzer에 넣어 수분함량을 측정하였다.

(나) 실험 결과

① 고춧가루의 색도 변화

○ 각각의 처리온도 및 처리시간 별 시료 외관의 변화를 그림 1-41 ~ 1-44에 나타내었으며, 그에 따른 색도 변화를 측정한 결과를 표 1-34 ~ 1-37에 나타내었다.

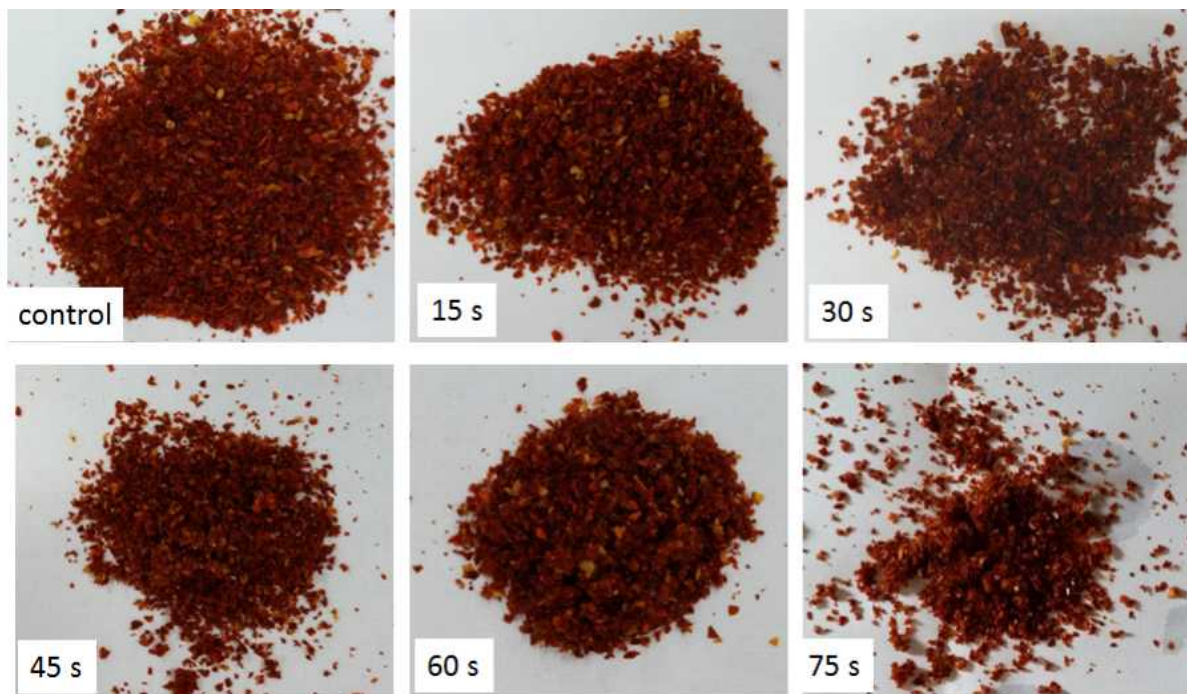


그림 1-41. 120℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 외관 변화.

표 1-34. 120℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

처리시간 (초)	L	a	b
0	35.08±0.24 ^a	18.09±0.56 ^a	19.03±2.13 ^a
15	36.19±0.40 ^a	20.23±3.03 ^a	18.76±1.35 ^a
30	34.85±1.05 ^{ab}	20.03±3.39 ^a	19.68±0.66 ^a
45	33.61±0.64 ^b	20.00±2.38 ^a	19.02±1.04 ^a
60	33.59±0.21 ^b	20.71±3.22 ^a	21.91±0.79 ^b
75	34.91±0.58 ^{ab}	20.62±2.32 ^a	20.15±0.79 ^{ab}

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

○ 120℃의 과열수증기 처리 후 색도 변화를 관찰하였을 때, lightness는 30초 처리 후부터 대조군 시료와 유의적인 차이가 나는 것으로 나타났다. Redness는 모든 시료에서 유의적인 차이가 없었으며, yellowness는 60초 처리 후부터 유의적인 차이가 나타났다. 하지만 시료들을 육안으로 관찰하였을 때에는 구별할 수 있는 차이가 나지 않았다.

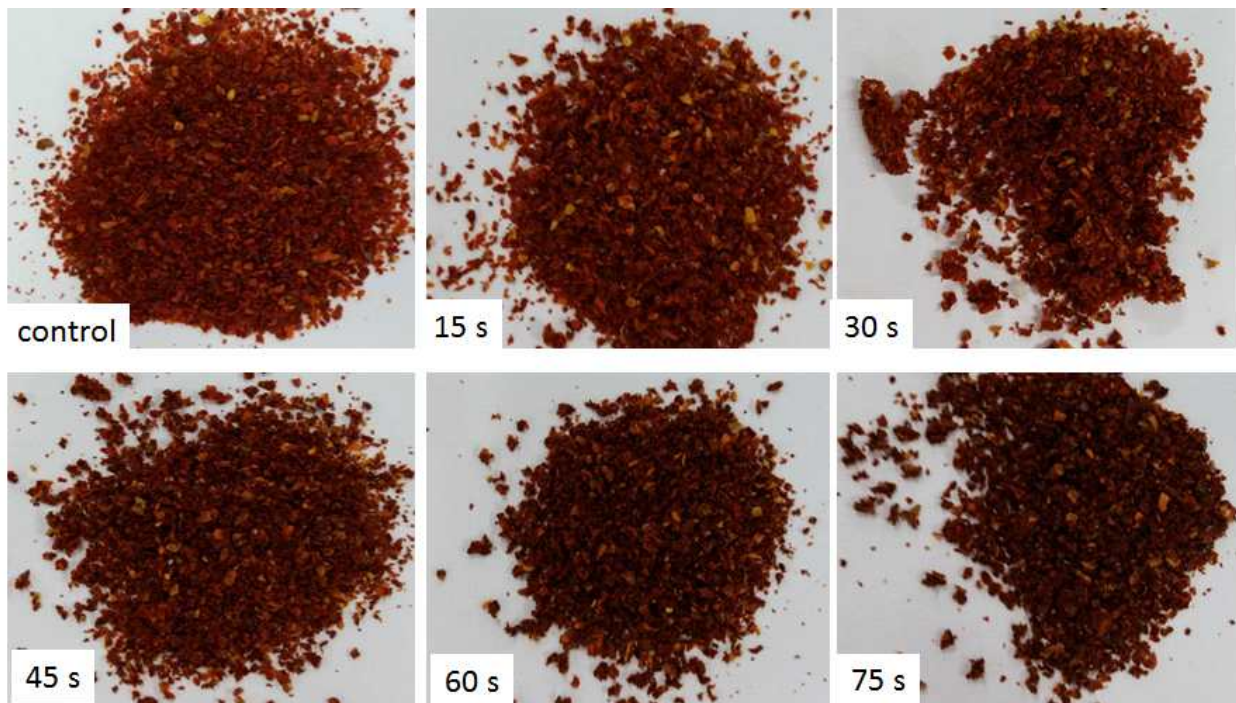


그림 1-42. 140℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 외관 변화.

표 1-35. 140℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

처리시간 (초)	L	a	b
0	35.08±0.24 ^a	18.09±0.56 ^a	19.03±2.13 ^a
15	34.40±0.20 ^a	18.41±3.17 ^a	15.19±1.94 ^{ab}
30	35.94±0.62 ^a	18.75±2.78 ^a	16.44±1.71 ^{ab}
45	35.97±0.93 ^a	17.42±2.99 ^a	16.36±1.46 ^{ab}
60	33.23±1.62 ^{ab}	15.37±1.12 ^a	14.41±0.71 ^{ab}
75	32.49±1.67 ^b	14.84±2.72 ^a	12.70±2.30 ^b

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며, 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

○ 140℃의 과열수증기 처리 후 색도 변화를 관찰하였을 때, lightness는 60초 처리 후부터 대조군 시료와 유의적인 차이가 나는 것으로 나타났다. Redness는 모든 시료에서 유의적인 차이가 없었으나 120℃의 과열수증기 처리와 비교하였을 때 redness가 감소하는 것을 알 수 있다. Yellowness는 15초 처리 후부터 유의적인 차이가 나타났으며 75초 처리 후에는 대조군 시료와 큰 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이는 육안으로 시료를 관찰할 때에도 확인할 수 있었다. 60초, 75초 처리한 시료는 대조군 시료에 비교하였을 때 탄화가 된 것을 확인할 수 있다.

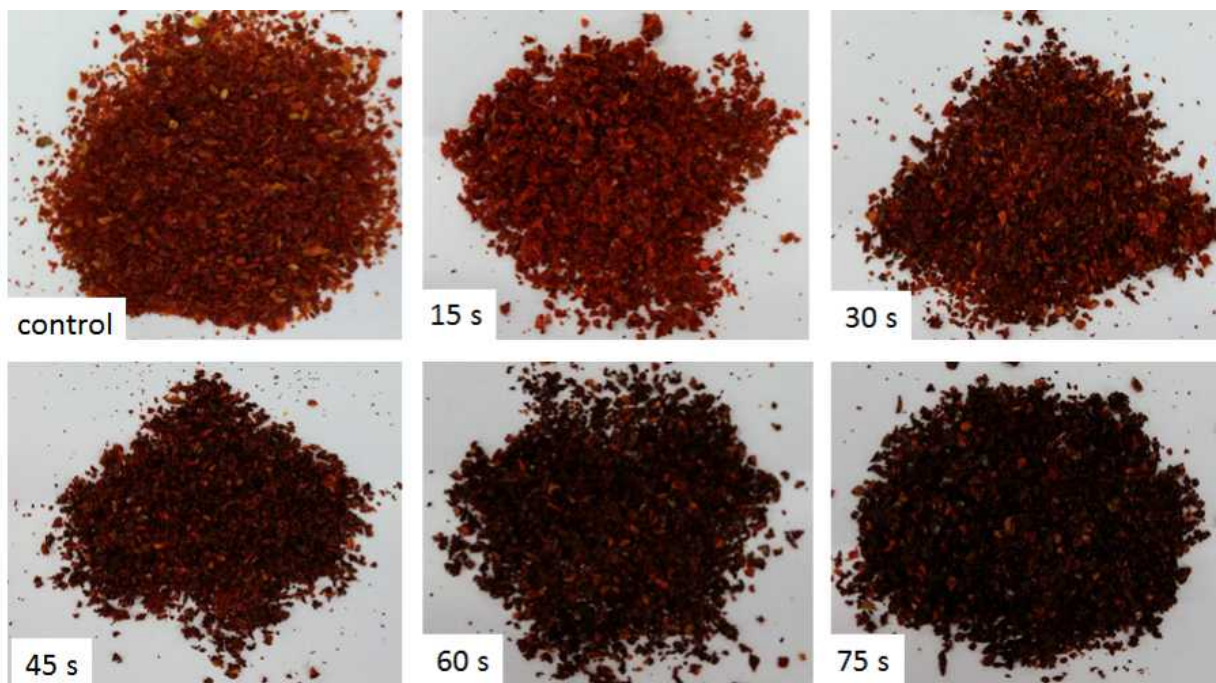


그림 1-43. 160℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 외관 변화

표 1-36. 160℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

처리시간 (초)	L	a	b
0	35.08±0.24 ^a	18.09±0.56 ^a	19.03±2.13 ^a
15	33.61±0.78 ^{ab}	17.10±1.22 ^{ab}	17.92±2.63 ^a
30	33.05±1.60 ^{ab}	14.54±1.51 ^b	15.07±4.26 ^{ab}
45	30.96±0.17 ^{bc}	11.83±0.82 ^c	12.57±3.40 ^{ab}
60	30.62±0.41 ^c	9.56±0.44 ^{cd}	10.71±2.63 ^{ab}
75	29.30±0.67 ^c	8.61±0.77 ^d	9.46±2.97 ^b

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

○ 160℃의 과열수증기 처리 후 색도 변화를 관찰하였을 때, lightness는 15초 처리 후부터 대조군 시료와 유의적인 차이가 나는 것으로 나타났다. Redness는 모든 시료에서 유의적인 차이가 나타났으며 큰 폭으로 감소하는 것을 알 수 있다. Yellowness는 30초 처리 후부터 유의적인 차이가 나타났으며 45초 처리 후부터 대조군 시료와 큰 차이가 나는 것을 알 수 있다. 시료를 육안으로 관찰하였을 때, 30초부터 시료가 탄화되는 것을 구분할 수 있었다.

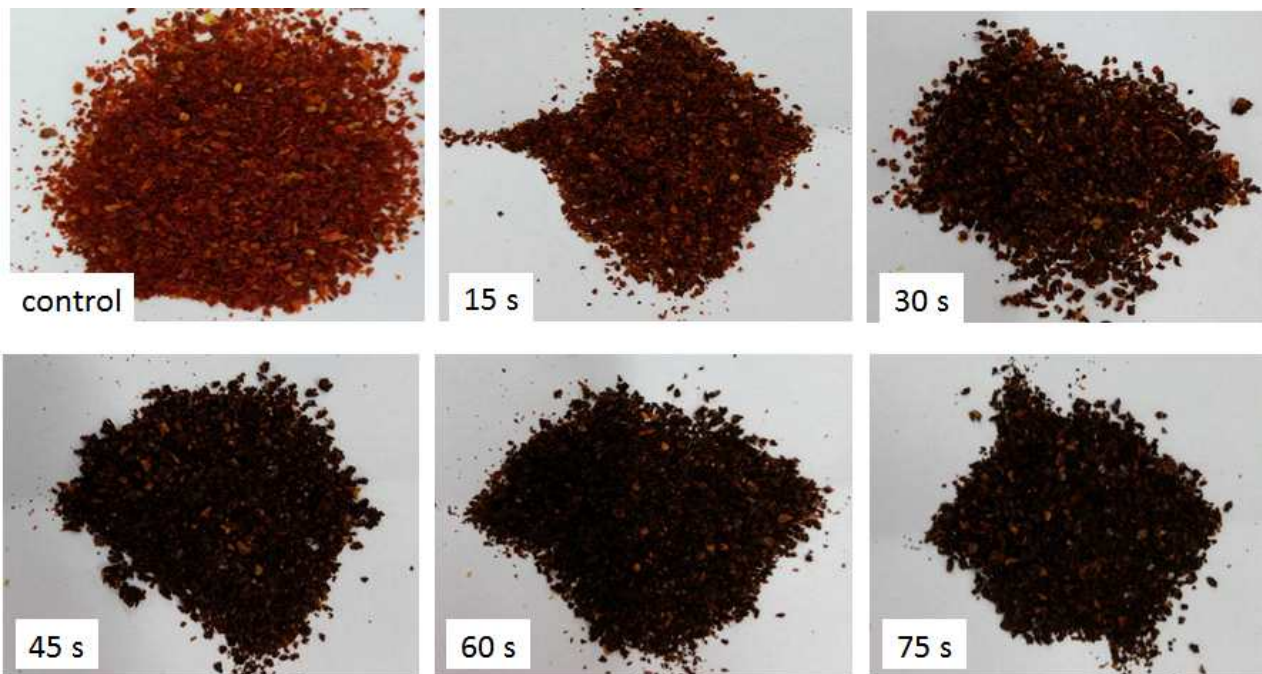


그림 1-44. 180℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 외관 변화.

표 1-37. 180℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

처리시간 (초)	L	a	b
0	35.08±0.24 ^a	18.09±0.56 ^a	19.03±2.13 ^a
15	32.41±0.77 ^b	13.15±0.47 ^b	15.87±0.41 ^{ab}
30	29.72±0.09 ^c	8.62±0.66 ^c	11.23±0.32 ^{bc}
45	28.63±1.64 ^{cd}	7.39±1.02 ^{cd}	8.32±3.01 ^c
60	28.82±0.67 ^{cd}	7.00±0.46 ^{cd}	8.49±2.82 ^c
75	27.00±0.97 ^d	5.72±0.15 ^d	6.93±2.23 ^c

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

○ 180℃의 과열수증기 처리 후 색도 변화를 관찰하였을 때, 160℃와 마찬가지로 lightness 는 15초 처리 후부터 대조군 시료와 유의적인 차이가 났으며, 30초 만에 매우 큰 폭으로 감소하였다. Redness는 15초 만에 매우 큰 차이를 보였으며, yellowness 또한 15초 처리 만에 크게 감소하였다. 시료를 육안으로 관찰하였을 때에도 15초 만에 시료가 탄화하는 것을 알 수 있었으며 30초 처리 이후는 품질이 크게 떨어짐을 알 수 있었다.

○ 앞서 보듯이 균 저감효과가 높은 온도와 시간에서는 품질이 저하되는 것을 알 수 있었다. 따라서 품질 변화를 최소화하고 미생물 저감효과를 높이기 위하여 180℃, 200℃의 고온에서 15초 이내로 살균 처리하는 실험을 진행한 후, 품질 변화를 살펴보았으며 그 결과를 그림 1-45, 1-46과 표 1-38, 1-39에 나타내었다.



그림 1-45. 180℃의 과열수증기를 단시간 처리 시 고춧가루의 외관 변화.

표 1-38. 180℃의 과열수증기를 단시간 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

처리시간 (초)	L	a	b
0	35.08±0.24 ^a	18.09±0.56 ^a	19.03±2.13 ^a
3	35.98±0.84 ^a	17.99±0.31 ^a	19.54±1.21 ^a
6	34.95±0.72 ^{ab}	16.78±0.30 ^{ab}	19.36±0.50 ^a
9	33.32±1.80 ^{ab}	15.48±1.13 ^{bc}	18.86±1.25 ^{ab}
12	32.45±1.12 ^b	14.91±0.77 ^{cd}	15.53±2.47 ^b
15	32.41±0.80 ^b	13.15±0.47 ^d	15.87±0.41 ^b

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

- 180℃의 과열수증기를 3, 6, 9, 12, 15초 처리 후 색도 변화를 관찰하였을 때, lightness는 6초 처리 후부터 대조군 시료와 유의적인 차이가 났으며, redness 역시 6초 처리 후부터 대조군과 유의적인 차이가 나는 것으로 측정되었다. Yellowness는 12초 처리 후부터 크게 감소하였다. 시료를 육안으로 관찰하였을 때, 9초 처리 후 부터는 대조군과 비교하여 탄화가 진행됨을 확인할 수 있었다.

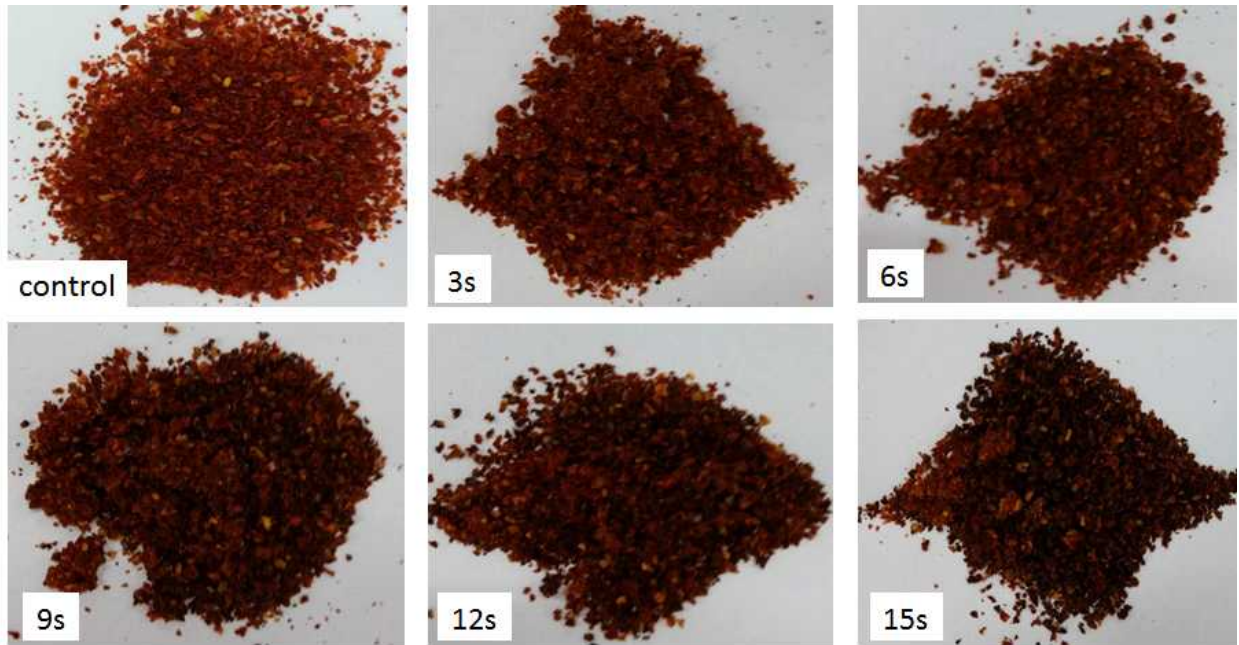


그림 1-46. 200℃의 과열수증기를 단시간 처리 시 고춧가루의 외관 변화.

표 1-39. 200℃의 과열수증기를 단시간 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

처리시간 (초)	L	a	b
0	35.08±0.24 ^a	18.09±0.56 ^a	19.03±2.13 ^a
3	34.81±0.43 ^a	18.15±2.05 ^a	20.40±0.76 ^a
6	33.97±0.97 ^{ab}	18.33±1.31 ^a	19.27±0.40 ^a
9	32.82±0.33 ^{ab}	15.84±1.40 ^b	17.10±0.81 ^{bc}
12	31.31±2.12 ^{bc}	14.31±1.48 ^{bc}	15.03±0.70 ^{cd}
15	30.03±1.45 ^c	11.36±2.06 ^c	13.20±1.50 ^d

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.



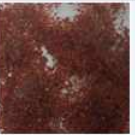
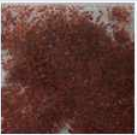










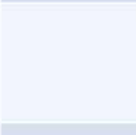






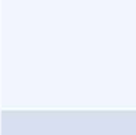

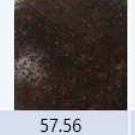


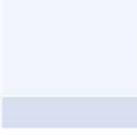
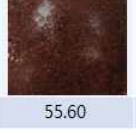
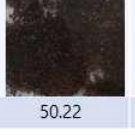

○ 200℃의 과열수증기를 3, 6, 9, 12, 15초 처리 후 색도 변화를 관찰하였을 때, lightness는 6초 처리 후부터 대조군 시료와 유의적인 차이가 났으며, redness와 yellowness는 9초 처리 후부터 크게 감소하였다. 시료를 관찰하였을 때, 6초 처리 만에 대조군과 비교하여 탄화가 진행됨을 확인할 수 있었다.

○ 한국산업규격에서는 고춧가루의 색상을 ASTA(American Spice Trade Association)색도로 등급을 나누고 있다. 규격에 따르면 ASTA 색도 101~130이면 보통등급, 131~161이면

상급, 161 이상이면 특상으로 구분하고 있다. 그러나 본 연구팀이 조사한 바에 의하면 국내 유통 고춧가루의 ASTA 색도는 대부분 100을 넘지 못하였고, 본 실험에 사용한 시료의 ASTA 색도는 68.39였다.

- 오븐형 과열수증기 처리장치를 이용하여 과열수증기처리에 따른 ASTA 색도변화를 살펴 보기 위하여 110℃~200℃, 0~180 sec 범위의 가열조건으로 고춧가루를 가열처리한 결과를 표... 에 나타내었다.
- 가열처리가 심하게 진행될수록 ASTA 색도가 줄어드는 경향을 보이고는 있으나, 육안으로 보아 완전히 탄화가 된 시료의 경우에도 ASTA 색도는 급격하게 줄어들거나 하지 않아, 관능적인 평가 또는 기계적 색도와는 상관은 크게 없는 것으로 보여진다.

표 1-40. 과열수증기 처리에 따른 고춧가루의 ASTA 색도 변화

Steam temp.	Time (sec)						
	0	10	20	30	60	120	180
120℃							
	68.39	66.58	63.96	63.80	62.33	61.0	60.52
140℃							
		66.01	62.75	62.28	59.08	56.21	55.22
160℃							
		65.77	61.34	64.94	56.70	52.00	50.01
180℃							
		65.60	57.56	57.01	54.00		
200℃							
		55.60	50.22	50.01			

② 수분함량 변화

- 120, 140, 160, 180℃의 과열 수증기를 15, 30, 45, 60, 75초 처리한 후 수분함량을 측정한 결과를 그림 1-47에 나타내었다. 고춧가루의 처리 전 수분함량은 12.91±0.26%로 측정되었다.

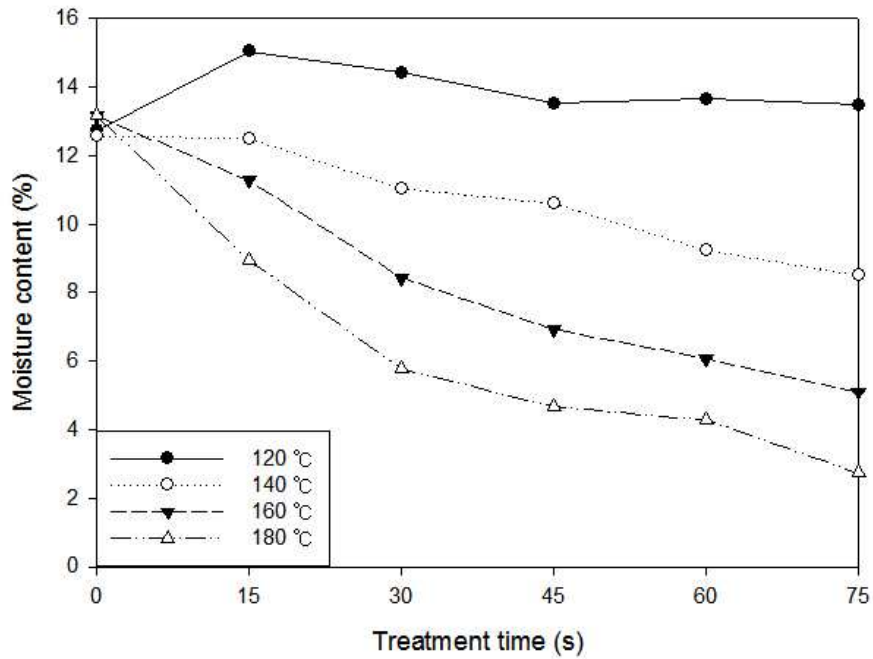


그림 1-47. 과일 수증기 처리에 따른 수분함량 변화.

- 120°C의 경우를 제외하곤 과일 수증기 온도가 증가할수록 처리 시간이 증가할수록 수분 함량이 감소되었다. 120°C 과일 수증기로 처리 시, 초기 15초의 경우 수분 함량이 약 15%로 소폭 증가되었고 이는 초기 응축수에 의한 것으로 판단된다. 과일 수증기의 온도가 높을수록 전달하는 열에너지양이 많기 때문에 처리 시간이 증가할수록 초기 형성된 응축수가 증발되고 건조 과정으로 이행되나, 과일 수증기 온도가 낮은 경우(즉, 과열도가 작을 때) 지속적으로 응축 현상이 일어나기 때문에 120°C에서 75초 처리하여도 큰 건조 효과가 나타나지 않았다. 75초간 처리하면 140°C에서는 약 9%, 160°C에서는 약 6%, 180°C에서는 약 3.5%까지 수분함량이 감소되었다.
- 180, 200°C의 고온에서 단시간 처리한 후 수분함량을 측정한 결과, 그림 1-48과 같았다.
- 비교적 낮은 온도의 과일 수증기(120°C)를 사용하였을 때 관찰되었던 초기 응축수의 영향(그림 2-3-7)이 고온의 과일 수증기를 사용할 때도 나타남을 알 수 있었다(그림 2-3-8). 180°C, 200°C의 경우 약 6초간 초기 응축수의 영향으로 소폭 수분함량이 증가한 후 처리 시간 증가에 따라 수분함량이 감소되었다. 180°C, 200°C의 과일 수증기를 15초 처리 후 최종 수분함량은 각각 8.94 %, 6.85 %로 측정되었다.

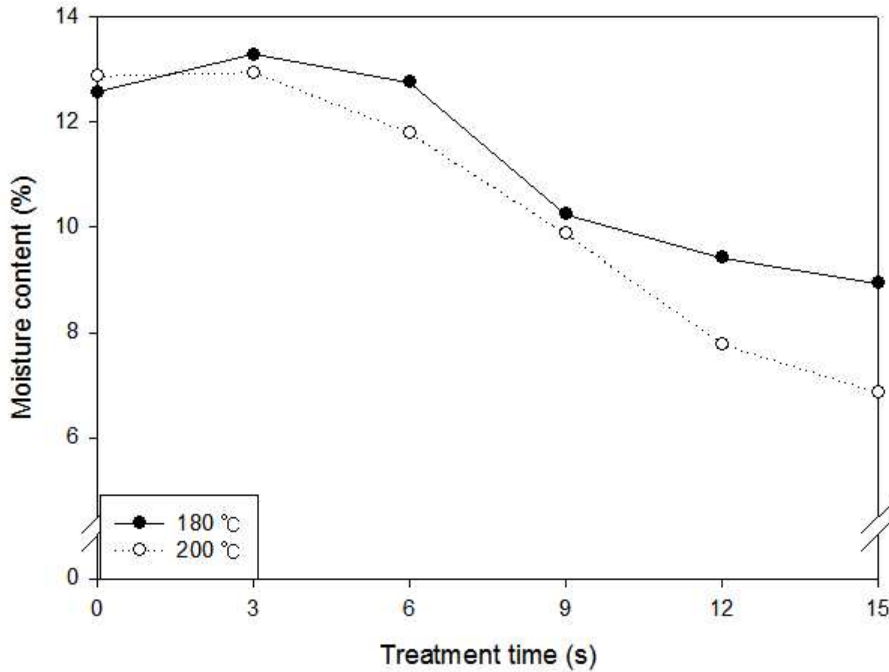


그림 1-48. 180, 200°C의 과열 수증기를 15초 이내로 처리 시 고춧가루의 수분함량 변화.

- 과열수증기로 처리 시 초기의 시료와 과열수증기와의 큰 온도 차이에 의하여 순간적인 응축이 발생하나 지속적인 처리 시 수분이 재증발되고 처리 시간이 더 길어지면 건조 효과가 나타난다. 120°C의 과열 수증기 처리 후 외관을 살펴보았을 때 모든 처리에서 응축수에 의한 응집 현상이 관찰되었다. 이는 수분함량 변화를 측정된 결과와도 상응한다. 120°C의 과열 수증기 처리 시에는 모든 시간에서 수분함량이 증가하거나 대조군과 비슷한 함량을 보였다. 140°C의 경우, 육안으로 관찰하였을 때 30초 처리까지 응축이 발생하는 것으로 관찰되었다. 수분함량 측정 결과, 30초 처리 시부터 건조가 진행되는 것으로 나타났다. 160°C의 경우 눈으로 관찰되는 응축은 15초 처리 시로 나타났으며 실제 수분 함량은 15초 처리만으로도 감소하는 것으로 측정되었다. 180°C의 경우, 모든 처리 시간에서 응축이 관찰되지 않았으며 수분함량 측정 결과와도 상응한다. 육안으로 구별 가능한 정도의 색도 변화가 나타날 때, 수분함량이 10% 이하로 떨어지는 것을 알 수 있었다.
- 180°C의 과열 수증기를 15초 이내로 처리하였을 때, 6초 처리까지 응축이 발생하였으며, 수분함량의 변화와 상응하는 결과임을 알 수 있다. 뿐만 아니라 9초 처리부터는 눈으로 구별 가능한 색도 차이가 나타났다. 200°C에서는 3초 처리하였을 때 응축이 관찰되었으며, 6초부터는 수분함량도 크게 감소하고 색도 변화도 큰 것으로 측정되었다. 이처럼 외관으로 관찰할 수 있는 응축과 실제 수분함량, 색도 변화가 연관되어 변화하는 것을 알 수 있다.

(6) 내열성 미생물(내생포자)의 확인

- 본 연구과정에서 과열수증기를 이용하여 살균목표인 3log 수준의 잔존 일반세균 목표를 달성하기 위하여서는 과도한 가열에 의한 고춧가루의 품질열화가 수반되었기에, 과열수증기 외에 식품살균에 적용되고 있는 또 다른 가열방법인 마이크로웨이브를 이용하여 고춧가루를 살균하고 이를 비교하였다. 실험에는 상용 조리장치(삼성전자 RE-C20SY)로 정격전압 220V, 60Hz, 발진 주파수 2450MHz, 정격출력 700W의 전자렌지를 사용하였다. 고춧가루 약 2g을 정확히 칭량하여 밀이 평평한 유리 비이커에 고르게 편 다음 0초에서 120초까지 가열한 후 바로 무균 상태로 방냉한 후 시료로 사용하였고 결과를 표1-41에 나타내었다.

표 1-41. 마이크로웨이브 가열에 따른 살균효과

(log CFU/g)

수분함량(%)	0s	10s	30s	60s	90s	120s
15.05±0.20	5.90±1.03	5.88±0.99	5.74±0.90	5.61±0.98	5.33±0.69	4.86±0.21

- 고춧가루를 마이크로웨이브 처리한 결과, 마이크로웨이브 처리는 90초의 가열로도 고춧가루의 총균수에 거의 영향을 주지 못하였고 45초 이상의 가열에서는 심각한 품질의 열화 현상이 발생하여 고춧가루의 살균에는 적당하지 않은 것으로 판단하였다. 이는 마이크로웨이브 가열이 대장균(균), 병원성 미생물 등 다양한 미생물을 효과적으로 살균한다는 보고와는 불일치하는 결과이다. 또한 과열수증기를 이용한 살균에 관련한 기존의 보고들과 비교하였을 때, 본 연구의 처리조건은 상당히 높은 온도와 긴 처리시간임에도 불구하고 고춧가루 미생물의 살균 효과가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 가열을 이용한 대표적인 신살균방법인 마이크로웨이브 살균과 과열수증기 살균 두가지 모두 고춧가루를 대상으로 효과적인 살균이 이루어지 않고 있다는 사실로부터 고춧가루에 존재하는 미생물의 상당부분이 내열성이 높은 미생물임을 알 수 있으며 주로 토양에서 유래된 *Bacillus* 계열의 미생물로 포자형태로 존재하고 있음을 추측할 수 있었다.
- 과열수증기를 이용한 살균에 관련한 기존의 보고들과 비교하였을 때에도, 본 연구의 처리조건은 상당히 높은 온도와 긴 처리시간임에도 불구하고 미생물의 살균 효과가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 이는 고춧가루에 존재하는 미생물의 상당수가 내열성이 높은 균주임을 의미하고 있으며 주로 토양에서 유래된 *Bacillus* 계열의 미생물로 포자형태로 생존하고 있음을 추측할 수 있었다.

- 이러한 추론을 확인하기 위하여 과일수증기 처리 후 시료에 잔존하는 미생물을 평판배지에 배양한 후 생성된 colony를 현미경 관찰한 결과 내생포자를 생성하는 미생물임을 확인할 수 있었다.
- 많은 세균들은 영양분의 고갈 등 생존에 적당치 못한 조건에서는 내성이 강하고 두꺼운 세포벽을 가진 내생포자를 형성한다. 내생포자는 탈수된 세포로서, 모든 대사활동이 중지되고 세포 성분이 휴면상태에 있게 되는 것이다. 즉 번식 방법이 아니라 열악한 환경 조건에서 살아남기 위한 생존 수단이다. 이는 적당한 조건이 되면 포자가 수분을 흡수해 세포는 다시 활성을 찾는다. 그람 양성균에서 발견되며, 이중에서 *Bacillus*(호기성), *Clostridium*(혐기성) 및 *Lactobacillus*, *Sporosarcina* 등의 일부가 이러한 부류에 속한다.

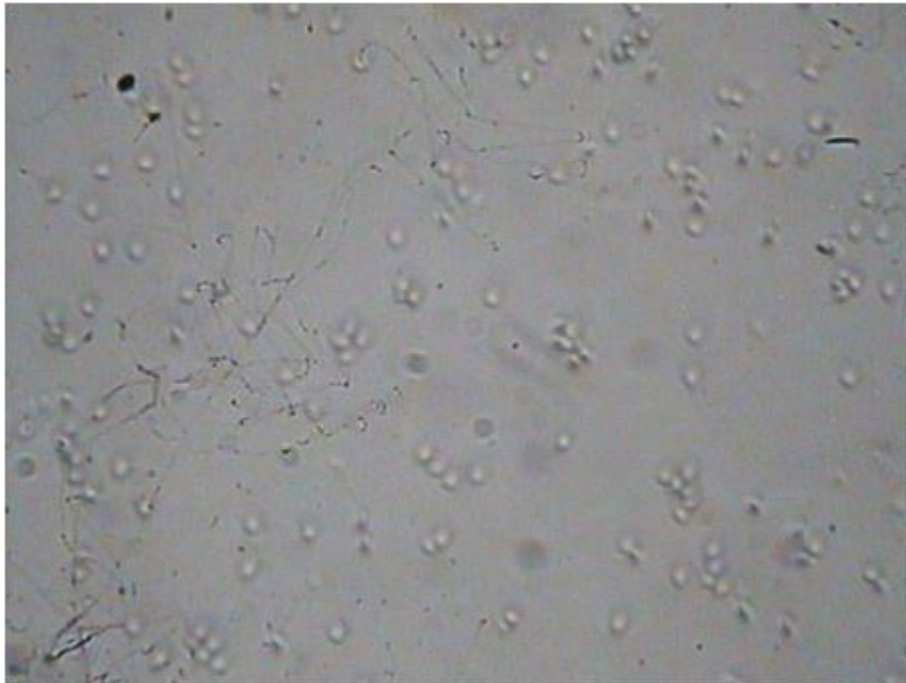


그림 1-49. 과일수증기 처리 후 시료에 잔존하는 미생물의 현미경 사진(X1,000).

- 내생포자는 수분함량이 영양세포에 비해 현저히 낮은 반면에 특이한 성분인 디피콜린산(칼슘염)을 최고 15%로 다량함유하고 있다. 또 막이 두껍고 단단한 구조를 하고 있다. 환경 저항성에 매우 강하다. 열, 건조, 자외선, 방사선, 화학 약품등에 강하여 생명력을 오래 지속시킬 수 있다. 내생포자의 내열성의 경우 100℃에서 수 분만에 사멸하는 영양세포와 달리 수 십분~ 수 시간 생존이 가능하다. 그래서 실험실에서 멸균을 하려면 습열 120℃로 20분 정도, 건열 160℃에서 2시간 정도의 조건이 필요한 것으로 알려져 있다.
- 이러한 내생포자의 존재 유무는 광학현미경이나 역상현미경으로 경험적으로 관찰하거나, 염색법을 통하여 확인할 수 있다. 내생포자는 두꺼운 지질막이나 지단백 막으로 싸여 있기 때문에 일반 염료색소가 침투하기 어렵다. 하지만 가온 염색하면 염료가 아포벽의 지질과 결합하여 탈색제에 내성을 나타내 한번 염색되면 잘 탈색되지 않는다. 세균의 내생

포자를 염색하는 여러 가지 방법들이 알려져 있으며 오랜 시간 동안 생물학적 염료를 처리하여야 한다. 포자의 염색방법은 포자를 염색하는 malachite green과 영양세포를 염색하기 위하여 역염색제(counter-staining agent)인 safranin이 사용되는 Bartholomew-Mittwer방법이 있다.

- 고춧가루에 존재하는 미생물의 내열성을 확인하기 위하여 다음과 같은 실험을 행하였다. 마이크로 웨이브로 0초~120초간 가열처리한 고춧가루 25g을 10배수의 0.1%(w/v) 멸균 peptone water 에 넣어 1분간 균질화 한 후, 95°C water bath에서 15분간 열처리로 영양 세포와 비내열성 미생물을 사멸시킨다. 45°C의 water bath에서 충분히 냉각한 후 3M plate count agar에 접종하여 37°C와 55°C에서 72시간 배양하여 생성된 콜로니의 갯수로 고춧가루에 존재하는 내열성 미생물의 비율을 확인하였다.

표 1-42. 고춧가루의 마이크로웨이브 처리에 따른 미생물 감균 및 잔존 미생물의 내열성
Aerobic bacteria (CFU/g 고춧가루)

분류	0s	10s	30s	60s	90s	120s
Control	5.90±1.03	5.88±0.99	5.74±0.90	5.61±0.98	5.33±0.69	4.86±0.21
열처리 후 37°C(중온균) 배양	5.19±0.19	5.17±0.22	4.98±0.03	4.92±0.04	4.96±0.10	4.65±0.04
열처리 후 55°C(고온균) 배양	3.73±0.06	3.39±0.42	3.36±0.45	3.33±0.47	3.04±0.06	2.99±0.02

- 마이크로웨이브를 이용하여 일부 탄화가 발생할 정도로 120초간 심하게 가열한 고춧가루에서도 효과적인 미생물 제어가 이루어지지 않은 이유를 다음과 같이 설명하고자 한다.
- 초기 고춧가루에 존재하는 미생물의 총균수는 5.90log 였으며, 95°C에서 15분간의 열처리에서도 생존하는 내열성 미생물은 중온균이 5.19log이었고 55°C에서도 생육이 가능한 고온균도 3.73log나 존재하는 것으로 나타났다. 이는 고춧가루에 존재하는 10% 이상의 미생물이 내열성 포자의 형태로 존재하고 있음을 의미한다. 고춧가루의 수분함량은 12~15% 수준으로 생산, 유통되고 있다. 이러한 수분함량은 곰팡이 등 일부 진균류를 제외한 일반 미생물의 생육에 적합한 수분함량은 아니므로 내생포자 형성이 불가능한 균주들은 오염이 되었다해도 크게 증식하지 못할 것이며 내생포자 형성이 가능한 균주들만이 내생포자 형태로 잔존하고 있는 것으로 여겨진다. 따라서 고춧가루에 존재하는 미생물은 고춧가루의 생산 및 유통과정에서 다양한 경로로 오염 및 증식된 각종 미생물 중에서 내생포자 형성균이 대량으로 잔존하며 특히 존재형태도 내생포자 형태로 존재하는 것임을 알 수 있었다.

4. 과열 수증기 처리조건에 따른 미생물 위해인자 저감화

가. 과열 수증기에 의한 *Bacillus* spore 저감화 양상

- 앞서 고춧가루의 총 호기성균 저감화 효과가 불충분한 주원인은 *Bacillus*에 의한 것으로 판단되었다. *Bacillus* 속의 일부 미생물은 위해성이 있으며 이들은 토양과 같은 자연 환경에 존재하여 농작물로 오염되는 경우가 많다(Valero *et al.* 2002). 특히 이 *Bacillus* 속은 spore를 형성하여 적합한 조건에서 세포로 발아하여 신체에 영향을 줄 수 있기 때문에 *Bacillus* 속의 spore를 제거하는 것은 매우 중요하지만 spore는 내열성이 강하여 쉽게 사멸되지 않는다.
- 다양한 온도의 포화 수증기에 대한 *Bacillus stearothermophilus* spore의 내열성은 보고된 바 있다(Feeherry *et al.* 1987). Biological Indicator Evaluator Resistometer를 이용하여 121°C의 수증기를 *Bacillus stearothermophilus*의 spore에 처리하였을 때, 3.33분의 D값이 측정되었다(그림 1-50).

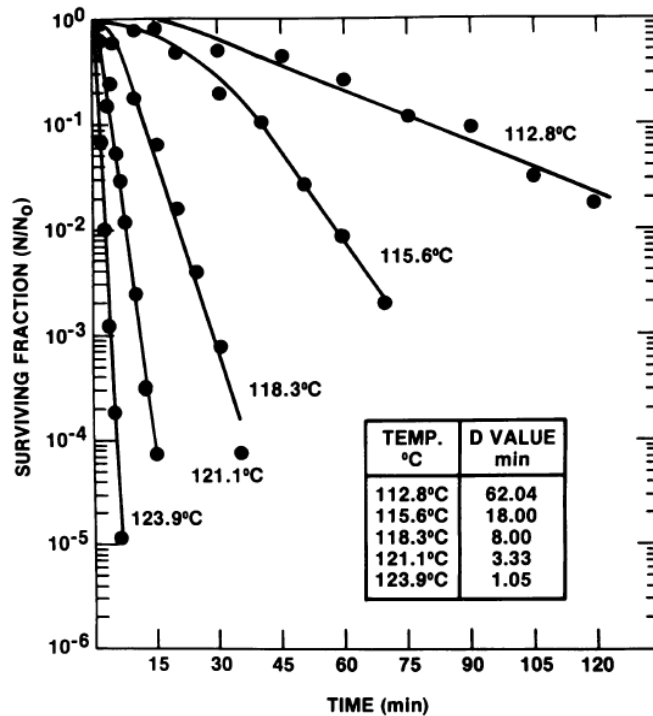


그림 1-50. 다양한 온도의 증기 처리에 따른 *B. stearothermophilus* spore의 내열성 (Feeherry *et al.* 1987에서 발췌).

- 또한 탈지유에 *Bacillus subtilis* spore를 접종하여 고온의 포화 수증기로 처리한 결과 (Edwards *et al.* 1965) 그림 1-51과 같이 나타났다. 275°F, 즉 135°C의 경우 약 3초 처리하였을 때 5 log 정도 감소하는 것을 알 수 있다.

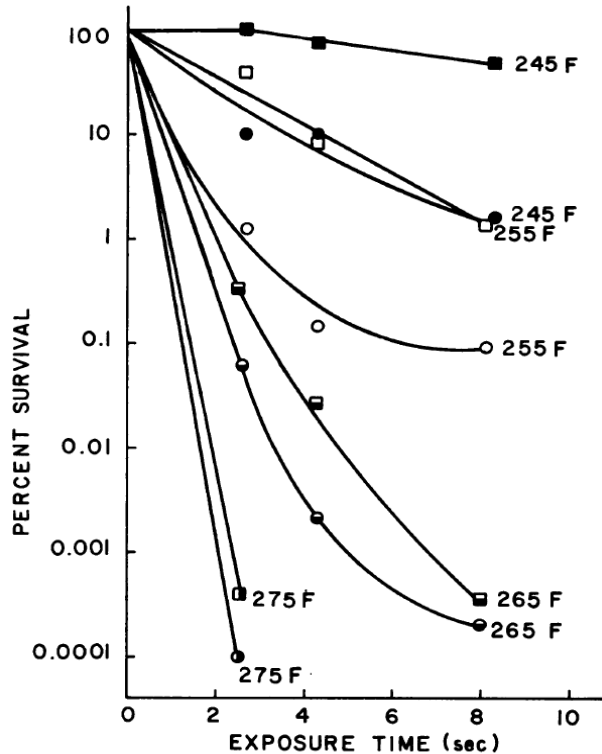


그림 1-51. 탈지유에 포함된 *Bacillus subtilis* spore의 내열성 확인
 (○ : FNA 배지에서 배양, □ : CNA 배지에서 배양, Edwards *et al*, 1965에서 발췌).

- 이처럼 현재 일반적인 고온 포화 수증기에 대한 spore의 저감효과를 살펴본 연구는 비교적 많이 진행된 데 비하여, 과열 수증기에 대한 spore의 내열성에 대한 연구가 부족한 상황이며, 본 연구에서 사용된 과열 수증기 장치에서의 저감 양상도 연구가 필요하다. 따라서 *Bacillus* 속의 spore의 과열수증기에 대한 내열성을 살펴보고자 한다.
- 이미 알려진 방법(Kim *et al*. 1966)에 따라 spore를 배양한 후, 적정 접종량을 멸균된 모래에 혼합하여 과열 수증기 처리를 할 수 있는 시료를 만든 후 이 시료를 스테인리스 메쉬 사이에 놓고 위아래를 스테인리스 링으로 고정한다. 처리 준비가 완료된 시료를 반응 chamber에 넣고 과열 수증기 처리를 하여 spore의 내열성을 확인할 수 있다.

나. 과열수증기에 대한 *Bacillus cereus* spore의 살균 kinetics 결정

(1) 실험방법

- 고춧가루의 총 호기성균 저감화 효과가 불충분한 원인으로 *Bacillus*에 의한 것으로 판단되었다. 특히 *Bacillus* 속의 spore는 적합한 조건에서 발아하여 신체에 영향을 줄 수 있기 때문에, 과열수증기로 *Bacillus* spore를 제어하는 것이 얼마나 효과적인지 알아보 고자 하였다. Spore를 형성하는 다양한 *Bacillus* 속 균주 중 위험성이 보고된 바 있는 *Bacillus cereus* spore의 저감화 양상을 살펴보았다. 실제 식품에 적용하기에 앞서 모래에 *Bacillus cereus* spore를 접종하여 실험을 진행하였다.

(가) *Bacillus cereus* spore 생성

○ *Bacillus cereus* ATCC 14579(Seoul National University, Seoul, Korea) 영양세포의 콜로니를 30% 희석한 Luria Bertani(LB broth, MB cell, Seoul, Korea) 액체 배지에 넣고 37°C에서 11일 동안 배양하였다. 영양세포의 80%가 spore로 전환되었음을 현미경으로 확인한 후 3,600×g, 4°C에서 20분간 원심분리시킨 후 0.2%(w/v) peptone water로 세척하였다. 이후 peptone water를 5 mL 가하여 현탁액을 만들고, 80°C water bath에서 10분간 중탕하여 영양세포를 저해하였다. 세포 현탁액 1 mL를 폴리에틸렌 백에 담긴 멸균된 모래에 접종한 후, 1분간 손으로 균질화하여 biosafety hood에서 2시간 동안 건조시켰다. 모래에 접종된 *Bacillus cereus* spore의 최종 농도는 $5.7 \pm 0.4 \log \text{CFU/g}$ 로 계수되었다.

(나) 과일 수증기 처리

○ 과일 수증기의 표면 살균 효과를 알아보기, 위해 미생물 spore의 내열성 등을 실험하기 위하여 그림 1-52, 1-53과 같은 reacting cell을 별도로 제작하였다. Spore의 내열성 측정을 위하여 저감화 양상을 확인하고자 하는 spore를 배양한 후, 모래와 혼합하여 과일 수증기를 처리할 수 있는 시료를 만들고, 두 개의 스테인리스 메쉬(그림 1-54) 사이에 놓는다. 스테인리스 메쉬의 위아래는 그림 1-53에서 보듯이 단단하게 결합 가능한 스테인리스 링으로 고정한다. 탈착이 가능한 상면의 스테인리스 링은 무게를 무겁게 하여 과일 수증기에 의해 스테인리스 메쉬가 움직이는 것을 방지하였다. 메쉬와 단단하게 고정된 reacting cell을 반응 chamber에 넣어 과일 수증기 살균을 진행하였다.



그림 1-52. Spore 실험용으로 제작된 reacting cell.



그림 1-53. 제작된 spore용 reacting cell의 하단.

- 기존의 reacting cell에서 분체형 시료를 처리하기 위하여 제작하였던 옆면과 아랫면의 100 mesh의 스테인리스 망을 제거하였다. 탈부착이 가능한 스테인리스 링 사이에는 아래의 그림 1-54과 같은 스테인리스 메쉬가 들어가도록 설계되었다.

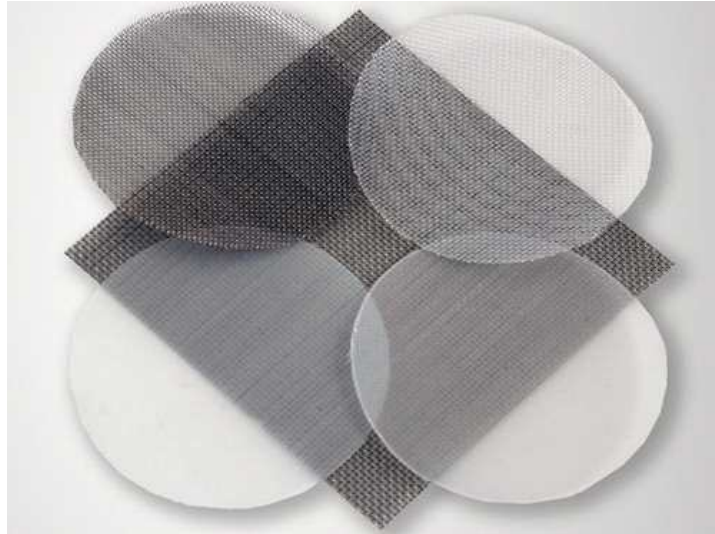


그림 1-54. Spore 실험용 스테인리스 스틸 메쉬.

- 두 개의 스테인리스 메쉬(30 μm mesh opening; 55 mm diameter; Spectrum Laboratories Inc., Rancho Dominguez, California, USA, 그림 1-54) 사이에 spore를 접종한 모래 2 g을 놓고, 스테인리스 메쉬의 위아래 부분에 단단하게 결합 가능한 스테인리스 링으로 고정하였다. 예비실험을 통해, 과열 수증기의 온도는 100, 120, 140, 160, 180°C로 정하였으며, 처리 시간은 15, 30, 45, 60, 180, 300초로 정하였다. 살균 처리한 시료는 처리 직후 멸균된 stomacher bag에 담았다.

(다) 균 계수

- 살균 처리된 2 g의 시료에 18 mL의 0.2%(w/v) peptone water를 가한 후 stomacher를 이용하여 speed 9에서 2분간 균질화하였다. 그 후 균질화된 시료 1 mL를 9 mL의 peptone water를 이용하여 10^{-1} 배에서부터 10^{-7} 배까지 차례로 희석하였으며, 희석된 시

료 1 mL를 Tryptic Soy Agar (TSA, MB cell, Seoul, Korea) 배지에 도말하였다. 도말된 배지는 37°C의 인큐베이터에서 배양하였으며 24시간 후 형성된 콜로니를 계수하였다.

(라) 수분 함량 측정

○ 균을 접종하지 않은 모래 2 g을 100°C의 포화 수증기와 120, 140, 160, 180°C의 과열수증기를 15, 30, 45, 60초 처리하여 수분 함량 측정을 위한 시료로 하였다. 4번의 실험을 반복하여 8 g의 시료를 준비하여 미리 항량을 맞춘 알루미늄 접시에 옮겨 담았다. 시료가 담긴 접시를 데시케이터에서 30분간 방랭시킨 후 IR moisture analyzer(A & D Company, Tokyo, Japan)로 수분함량을 측정하였다.

(2) 연구결과

(가) Spore 저감화 양상

○ 과열수증기에 대한 *Bacillus cereus* spore의 저감화 양상은 그림 3-2-4와 같이 나타났다.

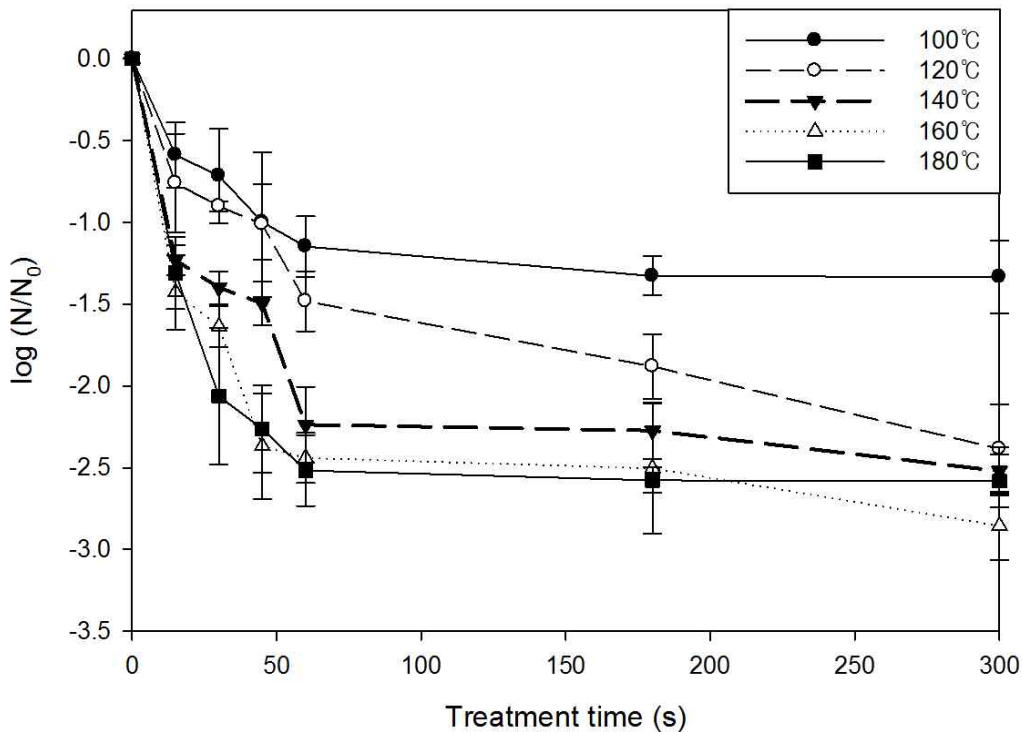


그림 1-55. 과열수증기의 온도에 따른 *Bacillus cereus* spore의 저감화 양상.

○ 100°C의 포화 수증기와 120, 140, 160, 180°C의 과열 수증기를 300초 동안 처리한 결과, 각각의 온도에서 *Bacillus* spore는 1.3, 2.3, 2.5, 2.5, 2.7 log CFU/g 감소하였다.

○ 0.15% NaCl 완충용액에 접종한 *Bacillus cereus* spore를 25kV/cm 세기의 Pulsed electric field로 처리하여 0.4 log CFU/mL 저감화되었다는 선행 연구 결과(Cserhalmi,

Z. et al., 2002)와 비교하였을 때, 과열수증기로 *Bacillus cereus* spore를 더 많이 저감화시킬 수 있었다.

- 온도가 증가할수록, 처리 시간이 길어질수록 spore는 더 많이 저감화되었으나 특정 시간 이후에는 spore의 저감화 속도가 매우 느려지는 양상을 나타내었다. 이는 과열수증기에 의한 건조 효과로 설명할 수 있다. Murrell, W. G.(1966)에 의하면 시스템의 수분활성도가 0.3~0.4일 때 *Bacillus* spore가 가장 열저항성이 높아지며, 그보다 수분활성도가 높거나 낮으면 열저항성은 더 낮아진다. 과열수증기 처리 시 초기에는 응축이 발생하나 처리 시간이 길어지면 수분의 건조가 일어나기 때문에 수분함량을 측정하여 그 영향을 살펴보았다.

(나) 수분함량 측정

- 120, 140, 160, 180°C의 과열수증기로 5, 10, 15, 20, 25, 30초 처리하여 모래의 수분함량의 변화를 살펴본 결과, 그림 1-56와 같았다.

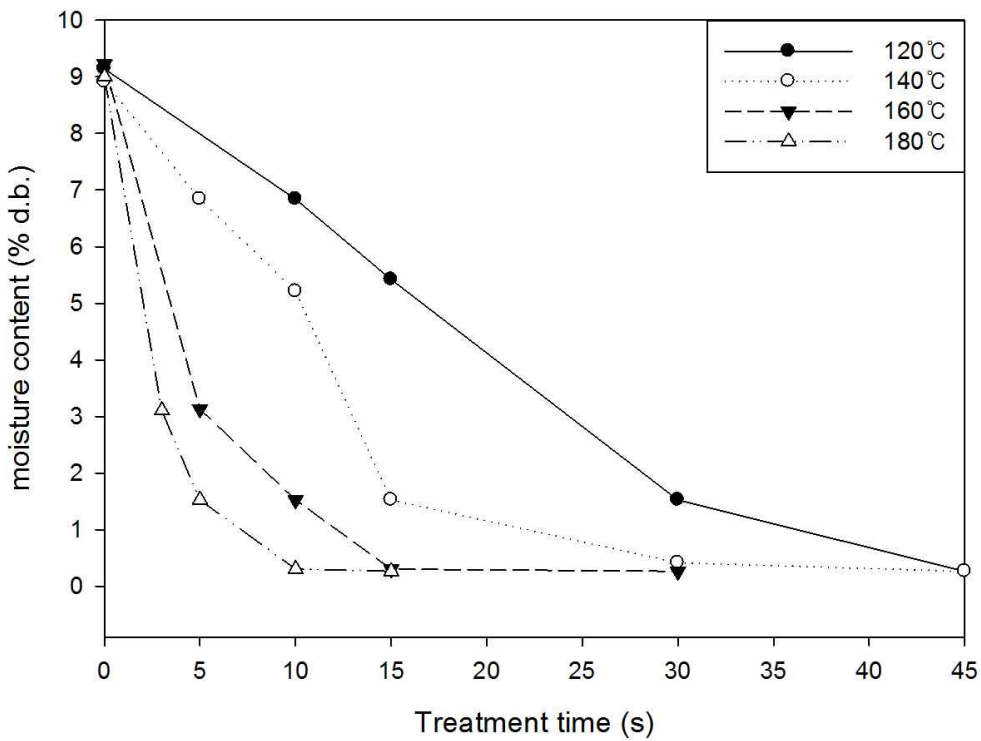


그림 1-56. 과열수증기 처리 시 spore 접종 모래의 수분함량 변화.

- 과열수증기 처리 전 모래의 수분 함량은 약 9.14 ± 0.31 %이며, 온도가 높아질수록 더 빠른 시간 내에 수분이 모두 건조됨을 알 수 있다. 120, 140, 160, 180°C 각각의 온도에서 약 45초, 30초, 15초, 15초 만에 모든 수분이 건조되었다. 이는 사멸곡선의 기울기가 달라지는 시간과 비슷한 양상을 보이고 있다.

- 상기 결과로부터 과열수증기에 의한 *Bacillus cereus* spore의 사멸 kinetics를 분석하기

위하여 biphase model을 이용하였다. SimgaPlot 10.0 (Systat Software Inc., California, USA) 프로그램을 이용하였으며 fitting 식은 다음과 같다.

$$\log N(y) = \begin{cases} -\frac{t}{D_1} & 0 < t < t_c \\ -\frac{t}{D_2} + \frac{t_1 - y_1 - t_c}{t_1 - t_c} y_2 & t_c < t < 300 \end{cases}$$

- 여기서 D_1 은 첫 번째 phase의 D -value, D_2 는 두 번째 phase의 D -value, t_c 는 phase가 변하는 시간, t_1 은 최대 처리 시간 즉 300초, y_1 은 t_1 에서의 저감화 정도, y_2 는 t_c 에서의 저감화 정도를 나타낸다.
- Biphase model을 적용한 결과를 그림 1-57에 나타내었다. Fitting의 결정계수는 모두 0.95 이상으로 현상을 잘 설명하는 것으로 판단되었고, biphase model의 parameter(D_1 , D_2 와 t_c)를 구하여 표 1-43에 나타내었다.

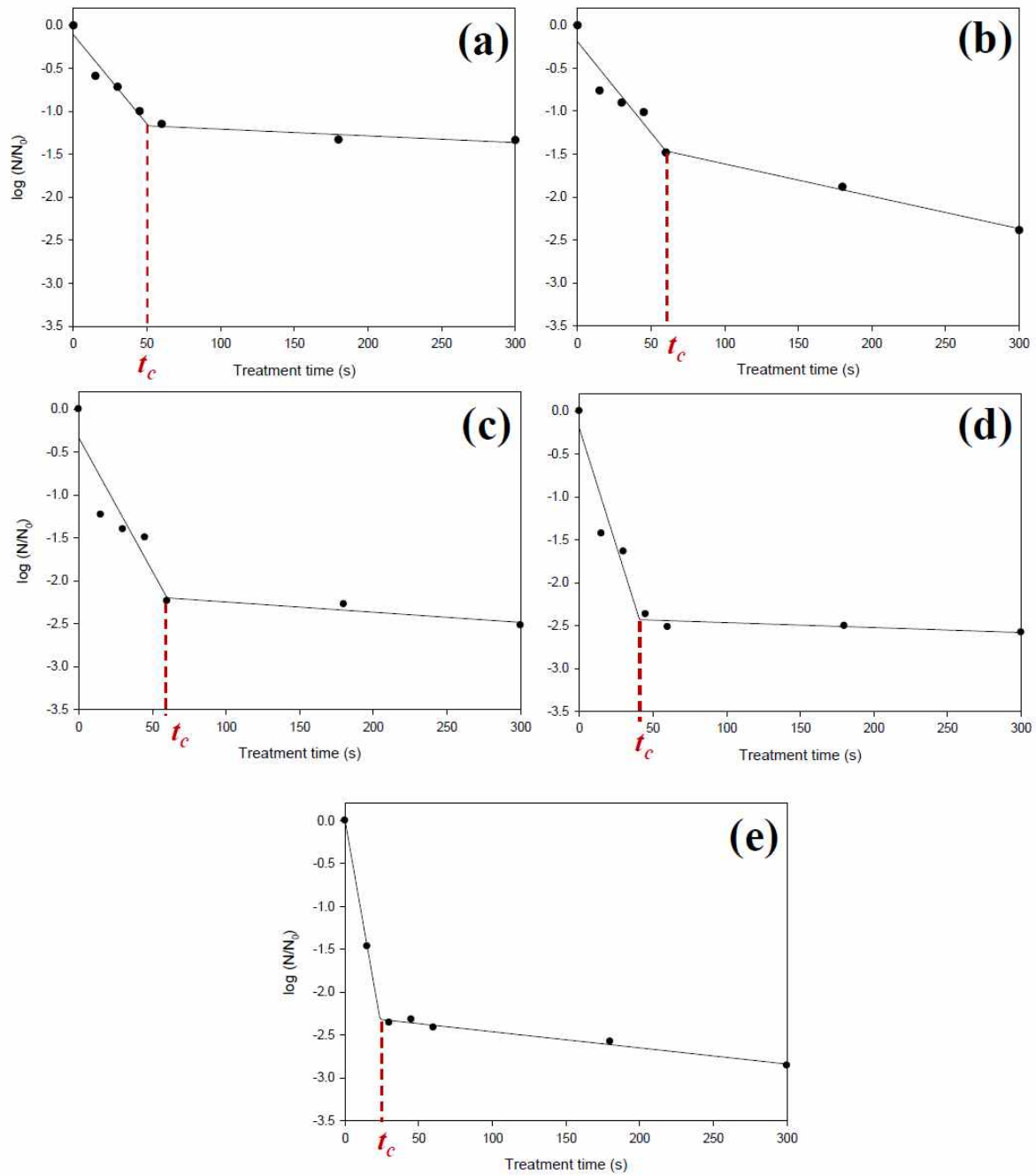


그림 1-57. Biphasic model을 이용한 *Bacillus cereus* spore의 살균 kinetics 분석.
 (a) 100°C, (b) 120°C, (c) 140°C, (d) 160 °C, and (e) 180°C.

표 1-43. *Bacillus cereus* spore의 biphasic model parameters

온도 (°C)	D_1 ¹ (초)	D_2 ¹ (초)	t_c ² (초)	R ²
100	48.08	1281.24	51.06	0.983
120	47.17	265.40	60.00	0.983
140	32.12	839.16	60.00	0.957
160	18.32	1733.54	40.84	0.976
180	10.23	530.92	23.71	0.999

¹ D_1 : 첫 번째 phase의 D -value, D_2 : 두 번째 phase의 D -value.

² t_c : phase 가 변하는 시간.

- Setlow P.(2005)에 의하면 습열과 건열에 의한 *Bacillus subtilis* spore의 저해 메카니즘이 다른 것으로 알려져 있다. 습열은 spore 내부의 효소를 불활성화시키고 투과성이 있는 내부 세포막을 파괴하여 spore를 파괴하지만 건열은 DNA에 손상을 주어 spore를 저해한다.
- 과열수증기는 초기에는 표면에 응축수가 형성되면서 응축잠열이 표면의 미생물에 전달되어 사멸시키는 습열살균이 일어난다. 이후 현열에 의하여 표면 응축수가 증발하면서 건조가 진행된다. 이 기간에는 과열수증기의 현열에 의하여 미생물이 사멸되므로 건열살균이 일어난다. 이와 같이 과열수증기는 습열살균과 건열살균의 효과를 모두 갖고 있기 때문에 두 가지 메카니즘으로 *Bacillus cereus* spore를 저해하여 그림 1-58과 같이 두 구간의 사멸 곡선을 나타내는 것으로 사료된다.
- 두 번째 phase에서는 spore의 저해 효과가 낮으므로, 첫 번째 phase에서의 D -value를 비교해보면 온도가 높아질수록 D_1 값이 짧아졌으며 t_c 역시 160°C 이상에서 짧아지는 경향을 보였다. 또한 온도가 높아질수록 t_c 에서 더 많은 spore가 저해되었다.
- 실험 결과, *Bacillus cereus* spore를 2.5 log CFU/g 만큼 감소시키는데 160°C 이상의 온도와 300초, 즉 5분 이상의 시간이 필요한 것을 알 수 있다. 하지만 이 조건을 실제 식품에 적용한다면 식품 품질에 좋지 않은 영향을 줄 것으로 판단된다. 따라서 식품 내의 spore를 제어할 때 과열수증기 처리는 다른 살균 방법과 동시에 사용되거나 전처리를 통해 일부 저감화하여 향후 열처리 시간을 감소시키는 데 사용할 수 있을 것이다.
- 내열성이 큰 spore를 과열수증기만 처리하였을 때는 식품의 열손상을 막기 어렵기 때문에 spore를 vegetative cell로 germination 시킨 후 과열수증기로 처리하는 방법의 적용 가능성을 탐색해 보았다.

○ 그림 3-2-7은 *Bacillus cereus* spore를 80℃의 수조에서 10분간 열처리하여 germination 시킨 후 모래에 접종하여 120℃의 과열 수증기로 처리한 결과이다. 초기 *Bacillus cereus*의 양은 $5.8 \pm 0.3 \log \text{CFU/g}$ 이며, vegetative cell은 spore에 비해 열저항성이 매우 낮아 120℃의 온도에서도 6초 만에 5 log CFU/g가 감소하였다.

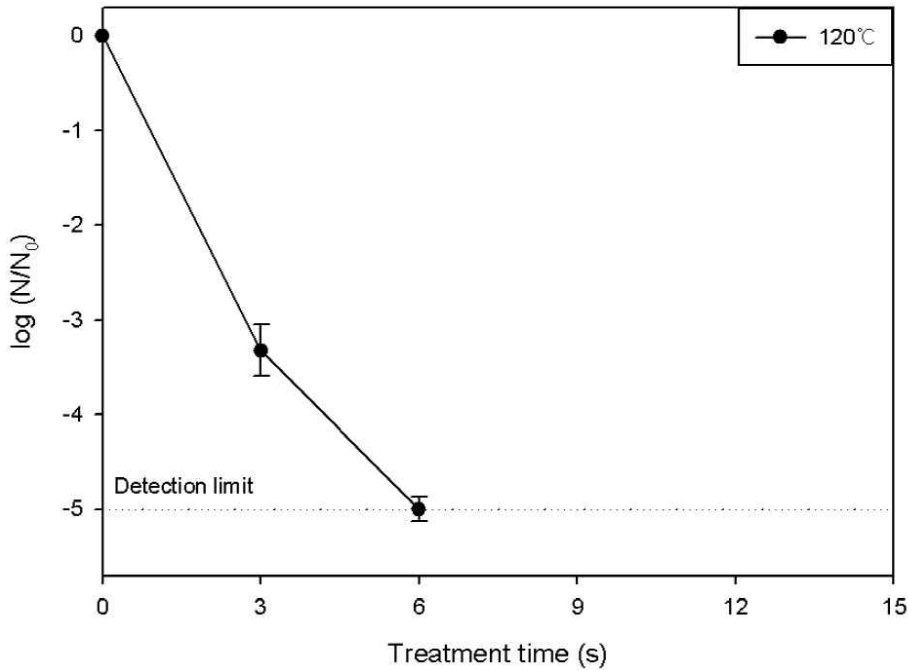


그림 1-58. Germination된 *Bacillus cereus*의 저감화 양상.

- 60℃의 온도에서 500MPa의 압력을 15분 처리하여 *Bacillus cereus*를 5 log CFU/mL 저감화한 선행 연구(Van Opstal, I. et al., 2004)와 비교하였을 때 더 빠른 시간 내에 *Bacillus cereus*를 저감화할 수 있었다.
- 하지만 germination 온도는 80℃로 고춧가루와 같이 열에 민감한 식품에는 적용이 어려울 것으로 판단된다. Alanine이나 K⁺ 등과 같은 spore의 germination을 유도하는 germinants를 처리한 후 과열수증기를 처리하는 방법에 대한 연구가 좀 더 필요할 것으로 사료된다.

다. 과열수증기 처리 조건에 따른 미생물 저감화 및 품질 변화 측정

- 고춧가루 자체에 오염되어 있는 균 뿐 아니라, 가공 식품으로 제조될 때 이미 오염되어 있는 다른 식품 재료나 공정 시설, 식기구, 작업자의 손 등에 의해 교차오염 되어 식중독을 일으킬 수 있다. 실제로 고춧가루 제조·가공업체의 시설 및 공정별 오염도를 평가한 결과(우혜임 외, 2012), 분쇄 공정 후에 높은 오염도가 나타났으며, 자외선 살균 후에도 미생물 저감에 큰 효과가 나타나지 않았다. 따라서 본 연구에서는 과열수증기를 통

해 교차오염을 저해할 수 있는 가능성을 제시하기 위하여 서로 다른 크기의 고춧가루에 위해균을 접종하여 과일수증기를 처리해보았다.

(1) 실험방법

(가) 시료의 종류 및 처리 양 결정

- 본 실험에서는 50 mesh 이상 35 mesh 미만($297\mu\text{m}$ 이상 $500\mu\text{m}$ 미만) 크기의 A 고춧가루, 35 mesh 이상 18 mesh 미만($500\mu\text{m}$ 이상 $1000\mu\text{m}$ 미만) 크기의 B 고춧가루, 18 mesh 이상($1000\mu\text{m}$ 이상) 크기의 C 고춧가루를 사용하였다(그림 1-59).

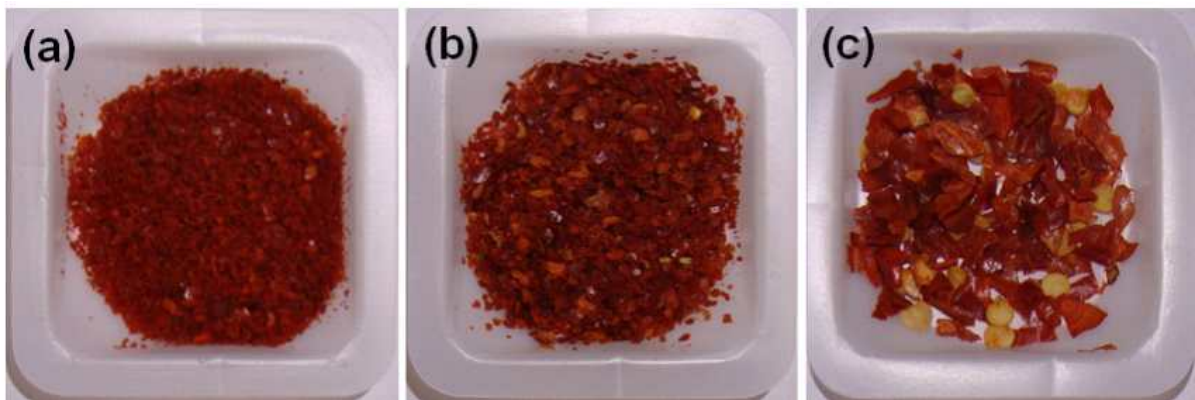


그림 1-59. 실험에 사용된 세 가지 종류의 고춧가루 (a) 50 mesh 이상 35 mesh 미만의 A 고춧가루, (b) 35 mesh 이상 18 mesh 미만의 B 고춧가루, (c) 18 mesh 이상의 C 고춧가루.

- 과일수증기 처리에 사용되는 시료의 양이 많으면 응축수에 의한 응집이 발생하여 살균 효과가 저해되므로 응축을 최소화하는 시료의 최대 양을 설정하는 것이 중요하다. 예비 실험 결과를 통해 처리하는 시료의 양을 1 g으로 설정하였다.

(나) 과일수증기 온도 및 처리시간 결정

- 과일수증기를 이용하여 살균실험을 진행한 국내외 논문들을 참고하여 120, 150, 180°C를 과일수증기의 온도 범위로 선택하였다.
- 과일수증기 처리시간은 예비실험을 통해 5초부터 15초까지 2초 단위로 설정하였다. 이후 detection limit 이하로 감소되는 시간에서는 다시 1초 단위로 실험을 진행하여 정확한 detection limit를 확인하였다.

(다) 위해균 접종

- *Salmonella* Typhimurium (ATCC 19585)와 *Escherichia coli* (MG1655)를 각각 Tryptic Soy Broth (TSB, Difco, Franklin Lakes, New Jersey, USA) 5 mL에 넣고 37°C에서 24시간 배양하였다. 그 후 각 배양액을 합하여 $4,000\times g$, 4°C에서 20분간 원심분리시킨 후 0.2%(w/v) peptone water로 세척하였다. 이후 peptone water를 10 mL 가하여 현탁

액을 만들었다. 이 용액 1 mL를 지퍼백에 담긴 시료 5 g에 접종한 후 1분간 손으로 균질화하여 biosafety hood에서 2시간 동안 건조시켰다. 고춧가루에 접종된 *S. Typhimurium*과 *E. coli*의 최종 농도는 각각 $7.73 \pm 0.29 \log \text{CFU/g}$, $7.70 \pm 0.34 \log \text{CFU/g}$ 로 계수되었다.

(라) 과열 수증기 처리

- 과열수증기가 reacting cell에 의해 응축되는 것을 방지하기 위하여 시료를 넣지 않은 reacting cell을 과열수증기 장치에 부착한 상태로 5분간 예열하였다. 그 후 시료 1 g을 취하여 reacting cell에 넣고 120, 150, 180°C의 과열수증기를 정해진 시간 동안 처리하여 위해균이 얼마나 저감되었는지 살펴보았다. 이 때 모든 처리 사이에는 reacting cell을 세척한 후 5분간 예열하는 과정을 거쳐서 진행하였으며, 살균 처리한 시료는 처리 직후 멸균된 stomacher bag에 담았다.

(마) 균 계수

- 살균 처리된 1 g의 시료를 9 mL의 0.2%(w/v) peptone water를 가한 후 stomacher를 이용하여 speed 9 에서 2분간 균질화하였다. 그 후 균질화된 시료 1 mL를 9 mL의 peptone water를 이용하여 10^{-1} 배에서부터 10^{-7} 배까지 차례로 희석하였으며, 희석된 시료 1 mL를 *Salmonella* 선택배지(xylose lysine desoxycholate agar, XLD, OXOID, Basingstroke, UK)와 *E. coli* 선택배지(Sorbitol-MacConkey agar, HiMedia, Mumbai, India)에 도말하였다. 도말된 배지는 37°C의 인큐베이터에서 배양하였으며 24시간 후 형성된 콜로니를 계수하였다.

(바) 외관 및 색도 측정

- 살균 전 고춧가루와 각 조건에서 살균 처리한 고춧가루를 흰 바탕의 종이 위에 수집하여 사진촬영을 진행하였다.
- 2.0 g의 고춧가루를 CR-A50에 적재하여 Chromameter CR-400(with accessory CR-A50, KONICA MINOLTA, USA)을 이용하여 L(lightness), a(redness), b(yellowness) 값을 3회 측정하여 평균값을 데이터로 하였다. 이 과정을 3번 반복 수행하였으며, 그 결과를 SPSS 프로그램을 이용하여 Tukey 법으로 유의적인 차이를 확인하였다.

(2) 연구결과

(가) 위해균 저감화 확인

- A, B, C 세 종류의 크기의 고춧가루에 120, 150, 180°C의 과열수증기를 처리한 결과는 각각 그림 1-60, 1-61, 1-62와 같다.

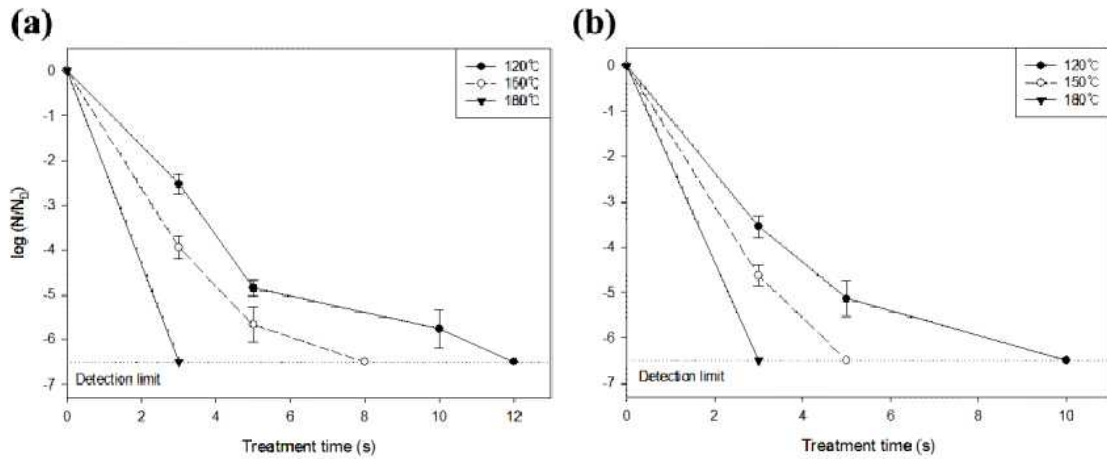


그림 1-60. 과열수증기 온도에 따른 A 고춧가루의 위해균 저감화 효과.
(a) *Salmonella*, (b) *E. coli*.

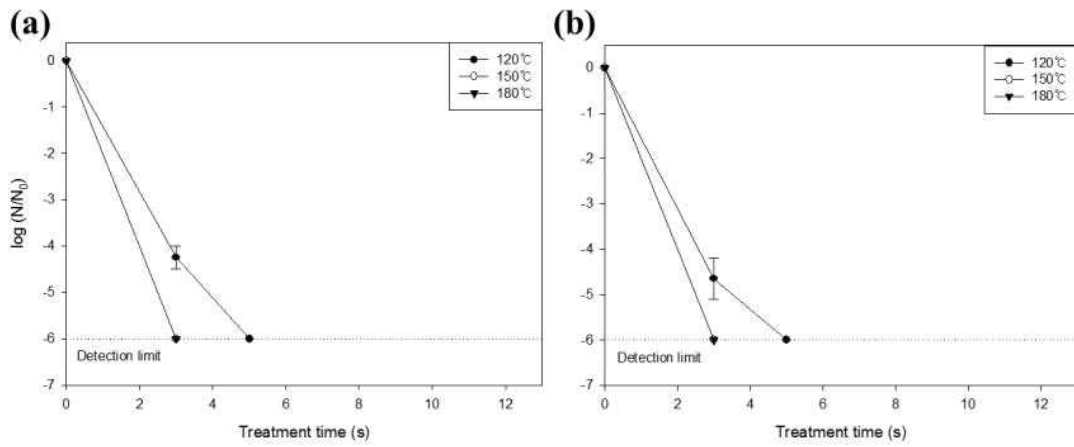


그림 1-61. 과열수증기 온도에 따른 B 고춧가루의 위해균 저감화 효과.
(a) *Salmonella*, (b) *E. coli*.

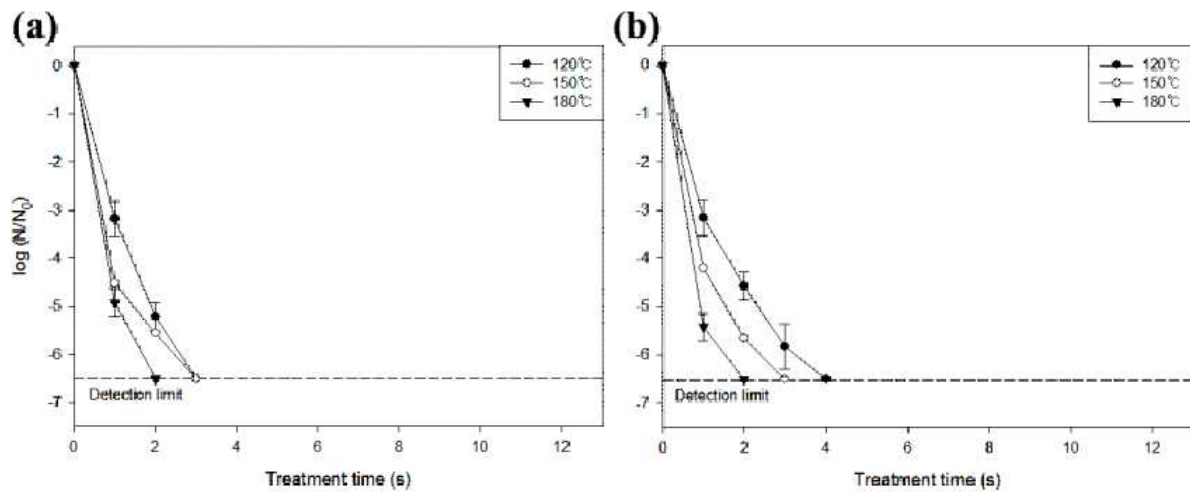


그림 1-62. 과열수증기 온도에 따른 C 고춧가루의 위해균 저감화 효과.
(a) *Salmonella*, (b) *E. coli*.

○ 과일 수증기 온도가 증가할수록 위해균의 저감화 속도가 빨라짐을 알 수 있다. 뿐만 아니라 고춧가루의 크기가 클수록 위해균이 짧은 시간 내에 detection limit 이하로 저감화되는 것을 확인하였다. A 고춧가루의 경우, *Salmonella*와 *E. coli*는 120℃에서 각각 12초, 10초에서 약 7 log 이상 감소하여 detection limit 이하로 저감되었고, 150℃에서는 각각 8초, 5초 만에 저감되었다. 180℃에서는 두 균 모두 3초 만에 저감되었다. B 고춧가루에서는 *Salmonella*와 *E. coli*가 모든 온도에서 비슷한 양상을 보였으며, 120℃에서 5초, 150℃, 180℃에서는 3초 만에 저감되었다. 가장 크기가 큰 C 고춧가루의 경우, *Salmonella*와 *E. coli*는 120℃에서 각각 3초, 4초 만에, 150℃, 180℃에서는 두 균 모두 각각 3초, 2초 만에 저감되었다.

(나) 외관 및 품질변화 확인

○ 처리온도에 따른 시료의 외관 변화를 그림 1-63, 1-64, 1-65에 나타내었다. 각 고춧가루 별로 위해균이 detection limit 이하로 저감화된 조건에서의 품질을 확인하였다.

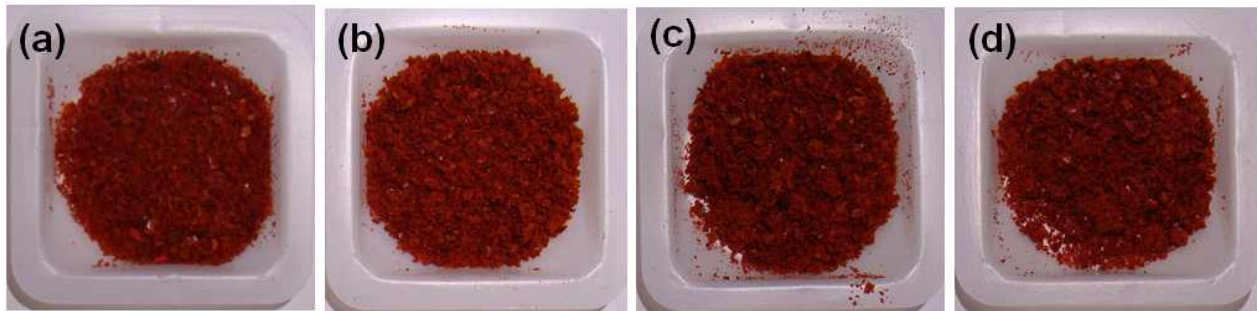


그림 1-63. 과일수증기의 온도에 따른 A 고춧가루의 외관 변화.
(a) 처리 전 시료, (b) 120℃ 12초, (c) 150℃ 8초, (d) 180℃ 3초.

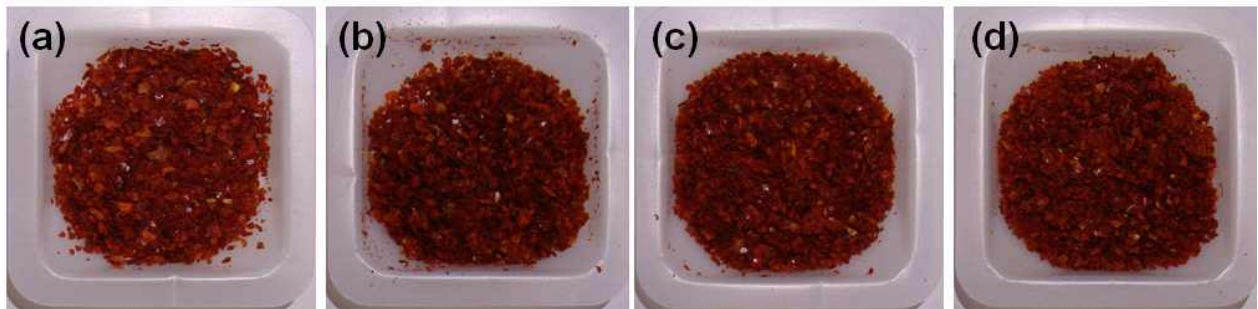


그림 1-64. 과일수증기의 온도에 따른 B 고춧가루의 외관 변화.
(a) 처리 전 시료, (b) 120℃ 5초, (c) 150℃ 3초, (d) 180℃ 3초.

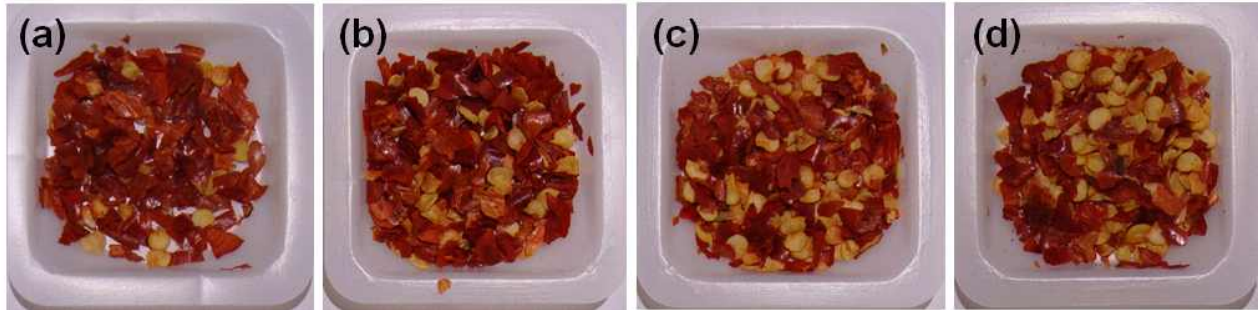


그림 1-65. 과열수증기의 온도에 따른 C 고춧가루의 외관 변화.
(a) 처리 전 시료, (b) 120°C 3초, (c) 150°C 3초, (d) 180°C 2초.

- 세 가지 고춧가루 모두 처리에 따른 외관 변화는 크지 않았다. 모든 시료에서 육안으로 관찰하였을 때 구별할 수 있는 변화는 나타나지 않았다. 하지만 시료의 크기가 작을수록 응축의 정도가 눈에 띄게 늘어나는 것을 알 수 있다.
- 처리온도에 따른 시료의 색도 변화를 표 1-44에 나타내었다. 외관과 마찬가지로 각 고춧가루별 위해균이 detection limit 이하로 저감화된 처리 시간 조건에서의 색도를 확인하였다.

표 1-44. 과열수증기 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

		L	a	b
A	처리 전	39.04 ± 0.56 ^a	17.53 ± 0.57 ^a	13.42 ± 0.54 ^a
	120°C, 12초	38.00 ± 0.21 ^a	15.92 ± 0.65 ^b	11.65 ± 0.39 ^a
	150°C, 8초	38.22 ± 0.35 ^a	16.72 ± 0.45 ^{ab}	12.78 ± 0.54 ^a
	180°C, 3초	38.21 ± 0.24 ^a	16.32 ± 0.38 ^{ab}	12.37 ± 0.53 ^a
B	처리 전	39.41 ± 0.47 ^a	14.88 ± 0.42 ^a	11.18 ± 0.42 ^a
	120°C, 5초	37.74 ± 0.51 ^b	14.23 ± 0.68 ^a	11.55 ± 0.38 ^{ab}
	150°C, 3초	38.26 ± 0.31 ^{ab}	14.80 ± 0.54 ^a	11.75 ± 0.34 ^{ab}
	180°C, 3초	38.76 ± 0.74 ^{ab}	14.56 ± 0.67 ^a	12.67 ± 0.48 ^b
C	처리 전	44.15 ± 0.87 ^a	13.29 ± 0.81 ^a	17.11 ± 0.54 ^a
	120°C, 3초	43.21 ± 0.57 ^a	11.23 ± 0.85 ^a	14.98 ± 0.33 ^b
	150°C, 3초	44.53 ± 0.64 ^a	12.45 ± 0.59 ^a	15.43 ± 0.64 ^{ab}
	180°C, 2초	44.41 ± 0.51 ^a	13.11 ± 0.77 ^a	15.34 ± 0.97 ^{ab}

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며, 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

- 과열수증기 처리 후 모든 시료에서 L, a, b 값이 소폭 감소하는 경향이 나타났고, 특히 A 시료의 경우 a 값에서 유의적인 차이가 보였다. B 시료는 L 값과 b 값에서, C 시료는 b 값에서 유의적인 차이가 나는 것으로 나타났지만 육안으로 관찰하였을 때 구분이 되지 않았다.
- *Salmonella* 와 *E. coli*를 접종한 후 과열 수증기를 처리한 결과, 비교적 짧은 시간 내에 외관 변화 없이 7 log CFU/g 만큼 감소시킬 수 있었다. 본 연구에서 살펴 본 고춧가루의 품질은 외관과 색도 등 물리적 특성이며, 고춧가루의 이화학적인 특성 또한 살펴볼 필요가 있다. 고추의 품질을 좌우하는 요소는 색도와 맛 성분으로 고추에 대한 선호도는 주로 색도와 맛 성분에 의해 영향을 받는다. 고추의 맛 성분 중 가장 중요한 성분은 매운맛을 가진 지용성 성분인 캡사이신이 있다. 캡사이신의 주요 생리기능은 지질대사 증진 및 열 생산에 관여하는 체액성 면역증진, 암유전자 발현조절 등이 보고되어 있다(정중교 외, 2007). 하지만 캡사이신은 열안정성이 비교적 높아 100℃에서 10시간 가열할 때의 잔존율은 대기 중에서는 84.7%이고, 질소로 치환된 조건에서는 90.7%였다(배태진 외, 1991). 본 연구에서는 15초 이하의 단시간 내에 고춧가루를 처리하기 때문에 캡사이신의 양은 큰 변화 없을 것으로 사료된다.
- 본 연구에서 진행된 실험은 실험실 스케일의 살균 장치를 이용한 것으로 처리할 수 있는 고춧가루의 양이 1 g으로 제한되었다. 추후 pilot-scale의 살균 장치를 이용하여 그 장치에 맞는 처리 조건을 찾고, 그 때의 미생물 저감화 양상과 품질 변화를 측정할 필요가 있는 것으로 판단된다. 또한 그 결과와 본 연구의 결과를 비교하여 처리하는 양의 영향을 판단해 보고자 한다.
- 교차오염에 의한 위해균을 저감화시키는 시간 내에 고춧가루의 총균도 함께 저해하기 위해, 고춧가루로 분쇄하기 전의 건고추의 총균수를 줄여 고춧가루의 오염을 줄이고자 하였다. VITEK 2 (bioMerieux Inc., Durham, North Carolina, USA)를 이용하여 시중에 판매되고 있는 건고추에 오염되어 있는 균의 종류를 알아보았다(그림 1-66).

Slot	QC	Card Type	Bar Code	Accession #	Organism
1	<input type="checkbox"/>	BCL	3065		<i>B. vallismortis</i>
2	<input type="checkbox"/>	GP	1748		<i>Staph. lentus</i>
3	<input type="checkbox"/>	BCL	3067		<i>B. vallismortis</i>
4	<input type="checkbox"/>	GP	1750		<i>Staph. lentus</i>
5	<input type="checkbox"/>	GP	1751		<i>Staph. lentus</i>

그림 1-66. 건고추에 오염되어 있는 균의 종류.

- 건고추에 주로 *Staphylococcus lentus*와 *Bacillus vallismortis*가 주로 오염되어 있었다. *Staphylococcus lentus*는 *Staphylococcus sciuri*의 subspecies로, 아직 위해성이 보고된

바는 없다. *Bacillus vallismortis*는 유전적 특징이 *Bacillus subtilis*와 비슷하여 spore를 형성한다. *Staphylococcus lentus*와 마찬가지로 위해성은 보고된 바 없다.

- 실험에 사용한 건고추에 오염된 총균수는 약 3 log CFU/g이었으며 150℃의 과열수증기에서 5, 10, 15, 20초 처리하여 총균수의 저감화 양상을 살펴보았다(그림 1-67).

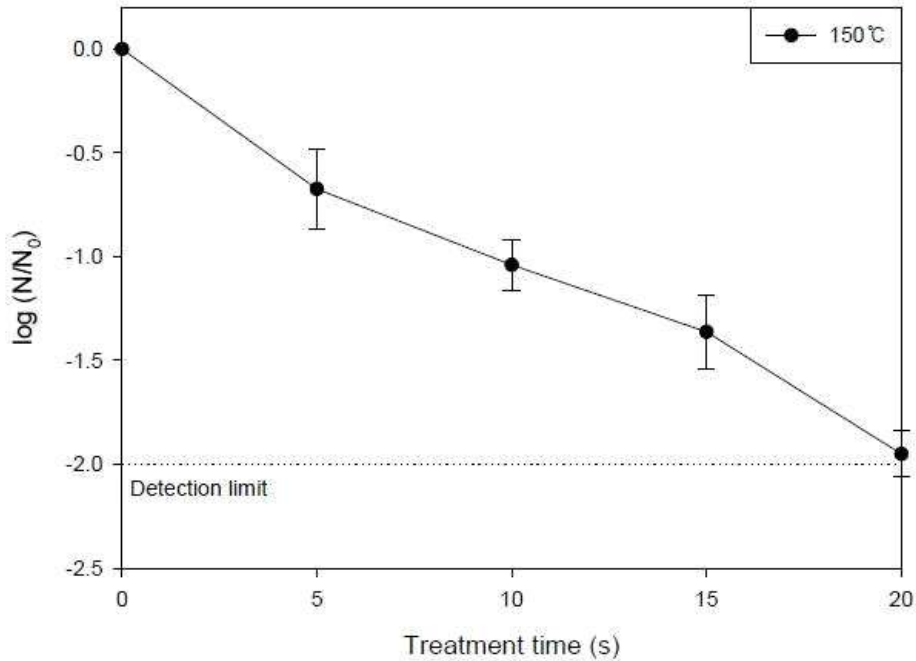


그림 1-67. 과열수증기에 대한 건고추의 총균수 저감화 양상.

- 150℃의 과열수증기로 처리한 결과, 20초 처리 후 총균은 detection limit 이하로 저감화 되었다. 그에 따라 20초 처리한 후 시료의 외관 변화를 살펴 본 결과 그림 1-68과 같았다.

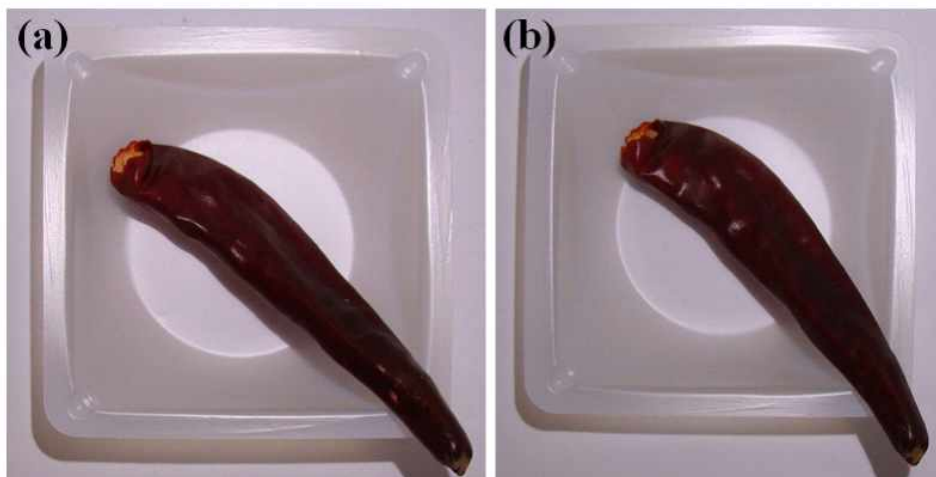


그림 1-68. 과열수증기 처리에 의한 건고추의 외관 변화.
(a) 처리 전, (b) 처리 후.

- 육안으로 보았을 때 구분할 수 있는 변화는 없었으나, 시료를 직접 만져보았을 때 그 단단함이 다른 것을 알 수 있었다. 이는 열처리에 의한 조직의 변화 또는 수분함량에 의한 변화인 것으로 사료된다. 하지만 추후 건조고추는 분쇄의 단계를 거치기 때문에 단단함의 변화는 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

라. 과열수증기 처리에 따른 (냉동)홍고추 표면의 미생물 저감화 양상

- 과열수증기 처리로 고춧가루의 품질 변화가 없는 시간 내에 고춧가루 자체에 오염되어 있는 내열성균과 포자를 사멸시키는 것의 한계를 극복하기 위해 고춧가루가 건조, 분쇄되기 전의 원물 상태로의 홍고추를 살균하여 저감화 양상을 고춧가루 살균과 비교해보고자 하였다. 고춧가루에서 살균이 되지 않은 잔여균이 *Bacillus* 계통의 균이 포자를 형성하고, *Staphylococcus* 계통의 균이 바이오필름을 형성하여 내열성이 강해진 것으로 추정하였다. 이는 원물 상태에 있던 영양세포 상태의 균들이 건조, 분쇄 공정을 거치면서 공정 중 수분함량 감소, 온도 상승 등의 이유로 성장 환경이 열악해짐에 따라 포자, 바이오필름을 형성한 것으로 사료되어 홍고추 상태에서 영양세포를 살균을 하여 이후에 이 영양세포들이 내열성을 가지는 형태로의 전환을 막는데 효과가 있는지 확인하기 위한 실험을 진행하였다.
- 기존의 reacting cell은 고춧가루의 살균에 적합한 형태로서 홍고추 살균을 위해 reacting cell의 크기를 증가시킬 필요가 있었고, 이를 위해 size-up이 된 reacting cell을 홍고추를 살균하기 위해 이용하였고 외관은 그림 1-69과 같다.



그림 1-69. Size-up 된 reacting cell 실사(지름 30 cm).

(1) 실험방법

- 고춧가루 자체에 오염되어 있는 총 호기성균과 교차오염에 의한 식중독 발생 가능성을 염두에 두고 위해균을 접종하여 과열수증기 처리를 했다.

(가) 시료 준비

- 냉동된 홍고추를 별도의 해동, 세척, 손질 과정 없이 처리를 하였다. 그리고 추가로 위해균 접종시 고추 내부로의 균이 침투된 것을 확인하기 위해 고추 손질을 하였다. 고추 손질 방법은 실제 산업에서 실시되고 있는 손질 방법으로 냉동되어 있는 홍고추의 씨와 태좌를 제거해주고, 깨끗한 물에 세척을 하며 해동을 한다. 세척 후 고추에 묻어있던 물기를 제거를 하여 실험에 사용하였다.

(나) 위해균 접종

- *Salmonella* Typhimurium (ATCC 19585)와 *Escherichia coli* (MG1655)를 각각 Tryptic Soy Broth (TSB, Difco, Franklin Lakes, New Jersey, USA) 5 mL에 넣고 37°C에서 24시간 배양하였다. 그 후 각 배양액을 합하여 4,000×g, 4°C에서 20분간 원심분리시킨 후 0.2%(w/v) peptone water로 세척하였다. 이후 peptone water를 10 mL 가하여 현탁액을 만들고, 현탁액을 지퍼백에 담긴 홍고추에 접종한 후 1분간 손으로 균질화하여 biosafety hood에서 2시간 동안 건조시켰다. 손질을 하지 않은 홍고추에 접종된 *S. Typhimurium*과 *E. coli*의 최종 농도는 각각 8.01±0.42 log CFU/g, 8.36±0.31 log CFU/g로 계수되었고, 손질이 된 홍고추에 접종된 *S. Typhimurium*과 *E. coli*의 최종 농도는 각각 8.42±0.08 log CFU/g, 8.36±0.18 log CFU/g로 계수되었다.

(다) 과열수증기 온도 및 처리시간

- 과열수증기 처리 온도는 120, 150, 180°C를 온도 범위로 선택하였고, 처리시간은 10초 간격으로 하여 50초까지 처리하였다.

(라) 과열 수증기 처리

- 과열수증기가 reacting cell에 의해 응축되는 것을 방지하기 위하여 시료를 넣지 않은 reacting cell을 과열수증기 장치에 부착한 상태로 5분간 예열하였다. 그 후 고추를 그림 3-4-2와 같이 reacting cell에 넣고 120, 150, 180°C의 과열수증기를 정해진 시간 동안 처리하여 고추에 원래 존재하던 총 호기성균과 접종된 위해균이 얼마나 저감되었는지 살펴보았다. 이 때 모든 처리 사이에는 reacting cell을 세척한 후 5분간 예열하는 과정을 거쳐서 진행하였으며, 살균 처리한 시료는 처리 직후 멸균된 stomacher bag에 담았다.



그림 1-70. 과열수증기 처리 전 reacting cell에 적재된 시료.
(좌 : 냉동홍고추, 우 : 손질된 세척 홍고추).

(마) 균 계수

- 살균 처리된 시료를 1/4배 희석이 되게 0.2%(w/v) peptone water를 추가한 후 stomacher를 이용하여 speed 9 에서 2분간 균질화하였다. 그 후 균질화된 시료 1 mL를 9 mL의 peptone water를 이용하여 10^{-1} 배에서부터 10^{-7} 배까지 차례로 희석하였으며, 희석된 시료 1 mL를 총균 계수를 위해 Tryptic Soy Agar (TSA, MB cell, Seoul, Korea) 배지에 도말을 하였고, *Salmonella* 선택배지(xylose lysine desonycholate agar, XLD, OXOID, Basingstroke, UK)와 *E. coli* 선택배지(Sorbitol-MacConkey agar, HiMedia, Mumbai, India)에 각각 도말하였다. 도말된 배지는 37°C의 인큐베이터에서 배양하였으며 24시간 후 형성된 콜로니를 계수하였다.

(바) 외관 및 색도 측정

- 살균 전 고추와 각 조건에서 살균 처리한 고추를 수집하여 사진촬영을 진행하였다.
- 고추를 CR-A50에 적재하여 Chromameter CR-400(with accessory CR-A50, KONICA MINOLTA, USA)을 이용하여 L(lightness), a(redness), b(yellowness) 값을 3회 측정하여 평균값을 데이터로 하였다. 이 과정을 3번 반복 수행하였으며, 그 결과를 SPSS 프로그램을 이용하여 Tukey 법으로 유의적인 차이를 확인하였다.

(2) 연구결과

(가) 위해균 저감화 확인

- 냉동홍고추와 씨와 태좌를 분리한 후 세척한 손질된 홍고추를 120, 150, 180°C의 과열수증기를 처리한 결과는 각각 그림 1-71, 1-72와 같다.

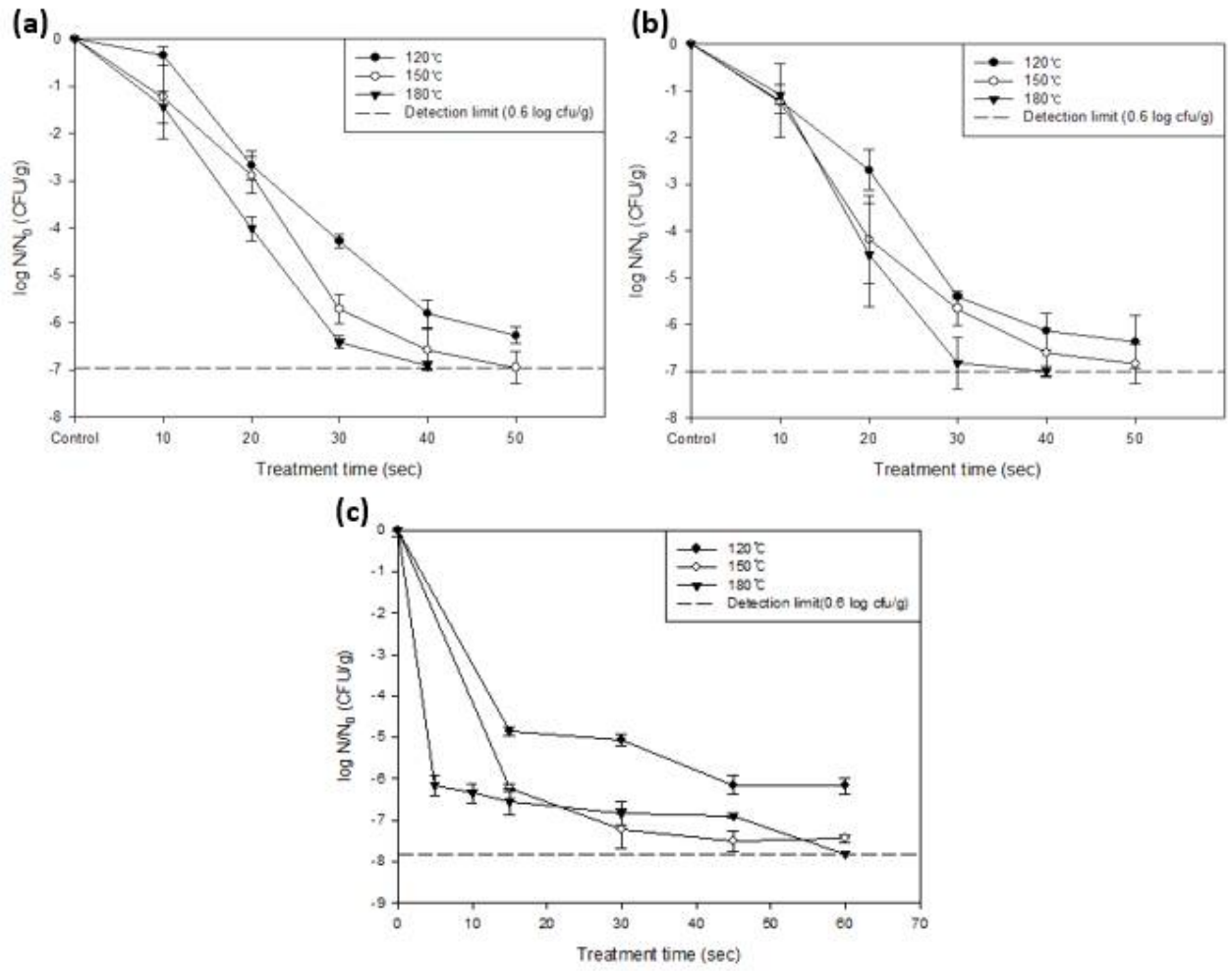


그림 1-71. 과열수증기에 대한 냉동홍고추 표면의 미생물 저감화 양상.
 (a) *Salmonella*, (b) *E. coli*, (c) 총 호기성균.

○ 과열수증기 온도가 증가할수록 위해균의 저감화 속도가 빨라짐을 알 수 있었고 *Salmonella*와 *E. coli*의 저감화 양상은 비슷하였다. 하지만 일정 시간이 지난 이후에도 detection limit 이하로 저감화되지 않는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 접종시에 고추의 내부로 위해균이 접종되어 들어갔을 것이라고 예상을 하고 이를 확인하기 위해 냉동홍고추를 손질을 하여 실험을 진행하였다. 고추 손질 방법은 기존에 사용되어지고 있는 방법으로 고추의 씨와 태좌를 제거하고 깨끗한 물에 세척을 한 고추이며 그 결과는 그림 1-72와 같다.

○ 총 호기성균 저감화 양상을 봤을 때, biphas model이 관찰이 되었다. 총 호기성균 측정 은 접종에 의한 것이 아니기 때문에 냉동건조 조건하에 포자 및 내열성 균이 존재하였을 것이라고 추측할 수 있었다. 과열수증기 처리시간이 길어질수록 더 많이 저감화 되었지만 그 효과가 크진 않았다. 과열수증기 60초를 처리한 결과 180°C에서만 detection limit 이하로 저감화 되었다.

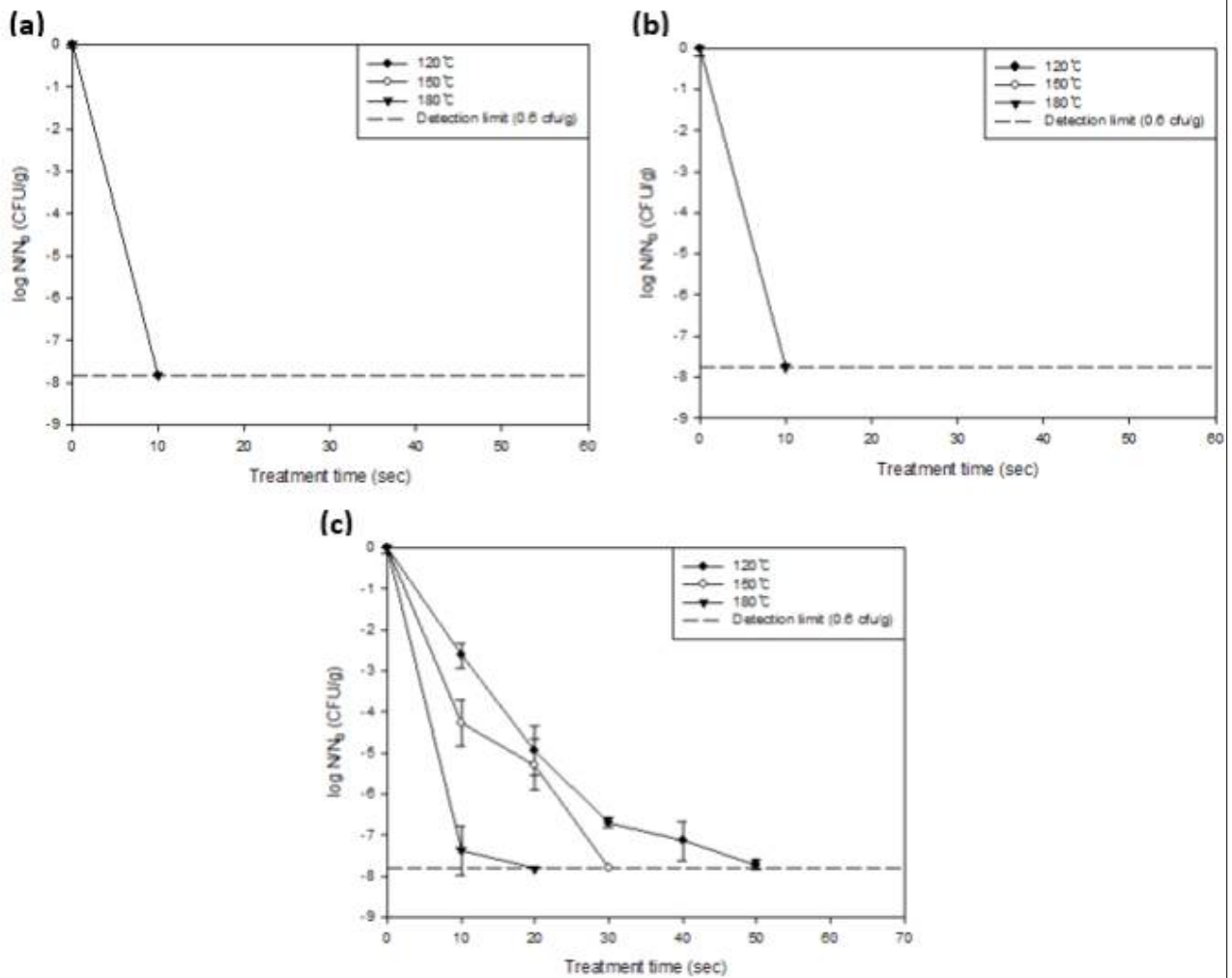


그림 1-72. 과열수증기에 대한 손질된 홍고추 표면의 미생물 저감화 양상.
 (a) *Salmonella*, (b) *E. coli*, (c) 총 호기성균.

- 고추 내부로 *Salmonella*와 *E. coli*가 집중되어 과열수증기의 열에너지를 직접적으로 받지 않았을 것으로 추정되었던 것을 확인하기 위해 고추 손질을 하여 집중을 하여 실험을 다시 진행하였다. 그 결과 냉동홍고추 살균의 경우 30초 이후에도 집중되었던 위해균이 사멸되지 않은 것에 비해 손질된 홍고추의 경우에는 120, 150, 180°C의 과열수증기 온도에서 10초에 위해균이 모두 검출되지 않았다. 총 호기성균은 120°C, 50초에서 약 7 log 이상 감소하여 detection limit 이하로 저감되었고, 150°C에서는 30초 만에 저감되었다. 180°C에서는 20초 만에 저감되었다.
- 냉동홍고추의 총 호기성 미생물 살균과는 다르게 홍고추를 손질한 후 살균했을 때 미생물의 저감화가 효율적으로 잘 이루어졌다. 씨와 태좌를 분리하고 세척을 하면서 홍고추에 수분이 가해졌고, 이 수분에 의해 *Bacillus* 계통의 포자와 내열성 균의 열 저항성이 줄어들어 살균이 잘 이루어진 것으로 판단된다(Alderton, G., & Snell, N, 1970).

(나) 외관 및 품질변화 확인

- 처리온도에 따른 시료의 외관 변화를 그림 1-73, 1-74에 나타내었다. 과열수증기의 각각의 온도에서 위해균이 5 log CFU/g 이상 저감화 된 조건에서 안전성 확보를 위해 처리시간을 추가하였고 그 때의 품질을 확인하였다.

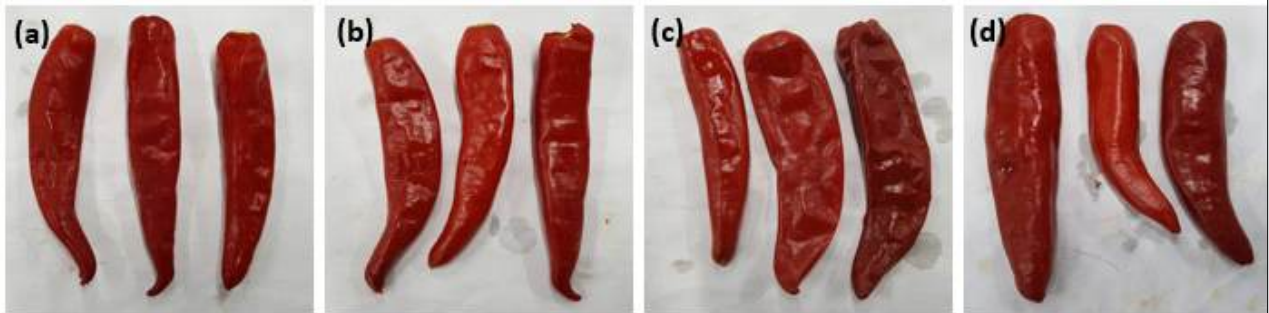


그림 1-73. 과열수증기 처리에 따른 냉동홍고추의 외관 변화.
(a) 처리 전 시료, (b) 120°C 70초, (c) 150°C 60초, (d) 180°C 50초.

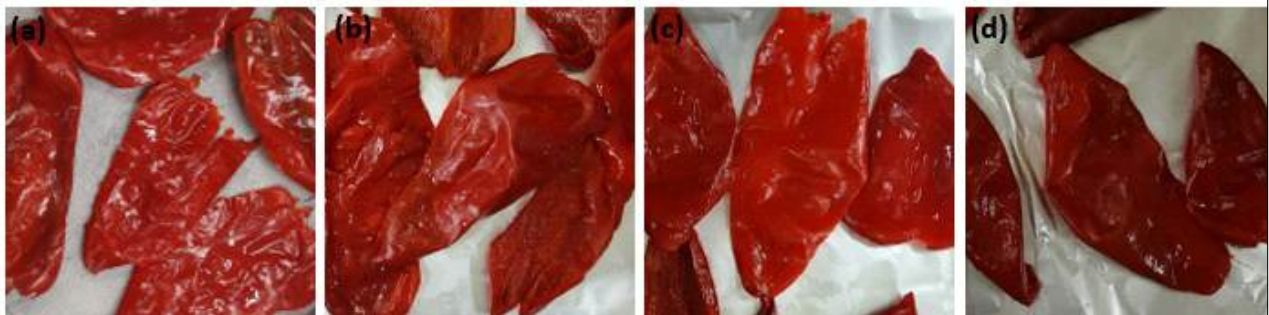


그림 1-74. 과열수증기 처리에 따른 손질된 홍고추의 외관 변화.
(a) 처리 전 시료, (b) 120°C 50초, (c) 150°C 30초, (d) 180°C 20초.

- 120, 150, 180°C의 온도에서 과열수증기로 각각 70, 60, 50초를 처리한 후 냉동홍고추의 외관 변화(그림 1-73)는 크지 않았다. 모든 시료에서 육안으로 관찰하였을 때 구별할 수 있는 변화는 와 같이 나타나지 않았다.
- 손질된 홍고추에 과열수증기를 처리하였을 때도, 냉동홍고추를 처리했을 때와 마찬가지로 육안으로 관찰되는 외관 변화(그림 1-74)는 나타나지 않았다.
- 처리온도에 따른 시료의 색도 변화를 표 1-45에 나타내었다. 외관과 마찬가지로 홍고추의 위해균이 사멸되는 처리 조건에서 안전성을 위해 추가시간 처리를 하였고 색도를 확인하였다.

표 1-45. 과열수증기 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

		L	a	b
냉동홍고추	처리 전	38.16 ± 1.77 ^a	37.09 ± 2.69 ^a	21.02 ± 1.69 ^a
	120℃, 70초	37.65 ± 3.38 ^a	38.90 ± 2.16 ^a	24.23 ± 3.30 ^a
	150℃, 60초	36.24 ± 1.20 ^a	34.36 ± 1.33 ^a	19.52 ± 3.48 ^a
	180℃, 50초	36.72 ± 1.23 ^a	35.07 ± 1.70 ^a	18.75 ± 1.13 ^a
손질, 세척 홍고추	처리 전	39.10 ± 0.18 ^a	38.31 ± 3.48 ^a	20.80 ± 1.59 ^a
	120℃, 50초	35.83 ± 0.47 ^b	30.77 ± 1.96 ^b	14.17 ± 0.86 ^{ab}
	150℃, 30초	37.34 ± 1.62 ^{ab}	33.37 ± 2.36 ^{ab}	20.08 ± 5.39 ^{ab}
	180℃, 20초	35.28 ± 1.21 ^b	32.38 ± 0.97 ^{ab}	16.59 ± 1.93 ^b

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며, 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

- 과열수증기 처리 후 모든 시료에서 L, a, b 값이 소폭 감소하는 경향이 나타났고, 특히 A 시료의 경우 a 값에서 유의적인 차이가 보였다. B 시료는 L 값과 b 값에서, C 시료는 b 값에서 유의적인 차이가 나는 것으로 나타났지만 육안으로 관찰하였을 때 구분이 되지 않았다.
- *Salmonella* 와 *E. coli*를 접종한 후 과열 수증기를 처리한 결과, 원물 상태의 홍고추에 있는 위해균의 저감화는 과열수증기 처리로 비교적 짧은 시간 내에 외관 변화 없이 7 log CFU/g 만큼 감소시킬 수 있었다. 뿐만 아니라 냉동홍고추 상태로 과열수증기 처리를 했을 때 총 호기성균 저감화가 biphasic model을 보인 결과로 포자 등의 내열성 균이 존재함을 확인하였다. 따라서 홍고추를 고춧가루로 만들기 위한 건조, 분쇄 공정 이전에 고추 원물에 있는 이물질을 제거하고, 총 호기성균 저감효과를 위한 이유뿐만 아니라 냉동홍고추에 있던 내열성 균을 효율적으로 살균하기 위해 세척공정이 필수적이라는 결론을 얻을 수 있었다.
- 본 연구에 사용한 과열수증기 살균 기술의 경우, 1 kg의 시료를 처리하는데 1분간 약 2 kg의 물과 1.65 kW의 전기가 사용된다. 환경영향평가 방법으로 이산화탄소 배출량을 계산한 결과, 0.62 kg/kg 시료의 이산화탄소를 배출하는 것으로 나타났다. 초기 시설 투자 비용을 제외하면 물과 전기만을 사용하기 때문에 처리 후 식품에 무해하며, 친환경

경적인 방법이라고 할 수 있다.

5. SHS 처리장치를 이용한 청결고춧가루 생산 공정

- 이미 기술한 바와 같이 고춧가루에는 내생포자 등의 형태로 내열성이 높은 미생물이 10% 이상 존재하고 있는 것으로 확인되었다. 내생포자는 세포막이 두껍고 단단한 구조를 하고 있어서 환경 저항성이 매우 강하다. 열, 건조, 자외선, 방사선, 화학 약품 등에 강하여 생명력을 오래 지속 시킬 수 있다. 내생포자의 내열성의 경우 100℃에서 수 분만에 사멸하는 영양세포와 달리 수 십분~ 수 시간 생존이 가능한 것으로 알려져 있으므로 내생포자의 사멸을 위해서는 매우 심한 정도의 가열처리가 필요하며, 이 과정에서 제품은 심각한 품질열화 또는 탄화가 일어나 상품성이 떨어지게 된다.
- 따라서 환경 저항성이 강한 내생포자가 대량으로 존재하고 있는 고춧가루를 살균처리하여 위생적인 제품을 만들기 보다는, 생산 공정을 보다 위생적으로 유지, 관리함으로써 고춧가루의 잔존 미생물 수를 줄이는 것이 보다 현실적인 방법으로 여겨진다.

표 1-46. 고춧가루 제조공장의 제조공정 단계별 미생물 변화(한국보건산업진흥원, 2005)

A공장		B공장		C공장	
공정단계	일반세균 (cfu/g)	공정단계	일반세균 (cfu/g)	공정단계	일반세균 (cfu/g)
원초	1.5 × 10 ⁴	원초	3.0 × 10 ⁴	원초	3.2 × 10 ⁴
세척후 건조 전	1.6 × 10 ⁴	증기세척 후	1.2 × 10 ⁴	파쇄종자	5.2 × 10 ⁵
건조 후	4.5 × 10 ³	꼭지분리기	5.6 × 10 ⁴	분리된 과피	7.4 × 10 ⁴
조파쇄 후 롤밀 투입 전	1.6 × 10 ⁵	건조기 통과 후	4.2 × 10 ³	롤밀통과 후 체선별기 투입 전	1.2 × 10 ⁵
롤밀 통과 후 선별체 전	3.2 × 10 ⁵	혼합저장탱크 롤밀 투입 전	5.7 × 10 ⁵	체선별기 후 7번 롤 재투입 전의 큰 입자	5.9 × 10 ⁴
최종	3.0 × 10 ⁵	체선별기(원형정전기)	3.2 × 10 ⁵	체선별 거처 자외선 살균 후	8.5 × 10 ⁵
❖가공공정에서 교차오염 심각 ❖UV살균효과 거의 없음		최종	7.2 × 10 ⁵	분쇄완료 가공품 씻가루 제거 후	2.2 × 10 ⁶
		완제품(소포장)	1.1 × 10 ⁶	저장고(완제품)	3.3 × 10 ⁶

- 고춧가루의 제조공정은 크게 원료선별, 세척, 건조, 분쇄로 나눌 수 있다. 한국보건산업진흥원에서 2005년 발표한 자료에 의하면 공정이 진행될수록 미생물의 오염도가 심각해지며 자외선 살균 등의 기존의 살균 방법은 거의 효과가 없는 것을 알 수 있다.

○ 이는 원초에서 유입된 세균이 제조 공정에서 일부 증식하고 교차오염되면서 균체수가 일부 증가되고 건조과정 이후에는 전술한 바와 같이 포자형태로 존재할 가능성이 높음으로 기존의 살균 방법으로는 효과적인 미생물 제어가 불가능한 것으로 설명할 수 있을 것이다.

○ 본 연구팀의 연구결과와 기존의 보고 등을 종합하여 볼 때, 일반세균 수가 $3\log$ 이하의 위생적인 청결고춧가루의 제조를 위하여 다음과 같은 가정 하에서 공정의 개선 및 도입을 제안한다.

◇ 고춧가루에 존재하는 미생물의 대부분은 원초(홍고추)로부터 유입된다.

$4\log$ 수준의 일반 미생물이 존재하는 원초(홍고추)는 수분함량이 80% 이상으로 분석결과 대부분의 미생물이 비내열성 상태로 존재하여 약간의 열처리로도 효과적인 미생물 제어가 가능하므로, 원초(홍고추)의 미생물을 제어함으로써 생산 공정 자체에 유입되는 미생물을 근본적으로 차단할 수 있다.

◇ 건조 및 파쇄 공정 중 불완전한 위생관리로 인하여 교차오염이 심각하다.

고춧가루는 당성분이 많고 왁스층도 존재하기 때문에 공정 중 장치의 구석진 부분에 바이오필름이 형성될 가능성이 매우 높으며, 이러한 부분이 재오염의 원인으로 지적되고 있다. 그러나 현재의 고춧가루 제조 장비는 완전한 CIP가 용이하지 않으므로 편리하고 효율적인 CIP 장비의 보급으로 이러한 문제를 해결할 수 있다.

가. 원초 및 세척 방법에 따른 미생물 저감효과

○ 고춧가루 공정은 크게 원초선별, 세척, 건조, 분쇄인데, 수확기에 수확한 원초를 바로 건조하여 건고추 형태로 만들고 장기보관하면서 필요량에 따라 분쇄하여 완제품을 생산하는 방식을 주로 택하고 있다. 이에 따라 시중에 유통되는 세절건고추의 위생상태를 파악하고 세척방법에 따른 미생물 저감효과를 확인하기 위하여 다음과 같은 실험을 행하였다.

○ 영양고추유통공사의 세절고추(상품명: 빛갈찬) 5g을 취하여 흐르는 물과 10배수의 물에 30초, 60초씩 수세한 후 미생물 오염도를 측정하고, 이를 마이크로웨이브를 이용하여 30초, 60초간 가열하여 미생물 저감효과를 살펴보았다.

○ 시중에서 구입한 영양고추유통공사의 세절고추(상품명: 빛갈찬)는 일반미생물은 $4.14\log$, 수분함량 20.37 이었다. 수세방법에 따른 잔존 미생물의 변화는 거의 없었고, 수세 효과도 $0.1\sim 0.2\log$ 정도의 감소로 거의 없는 것으로 나타났다. 이를 마이크로웨이브로 30초, 60초간 가열하여도 최대 $1\log$ 정도의 일반세균의 감소만이 관찰되었고, 이러한 가열조건에서는 세절건고추의 품질열화가 심각하게 일어났다.

○ 이러한 실험결과로 세절건고추에 잔존하는 미생물 역시 고춧가루와 유사하게 내열성이 높은 내생포자임을 확인할 수 있었다. 따라서 내생포자가 우점균 상태가 되기 전인, 즉 건고추가 만들어지기 전의 원초(홍고추)를 대상으로 미생물을 제어하여야 함을 알 수 있었다.

표 1-47. 수세방법에 따른 세절고추의 오염도 변화

분류	Aerobic bacteria (log CFU/g)	수분함량(%)	사진
세절고추 control	4.14±0.10	20.37±2.25	
흐르는 물에 30sec 수세	3.85±0.08	47.54±4.27	
흐르는 물에 60sec 수세	3.95±0.11	50.77±7.45	
10배수 물에 60sec 수세	4.04±0.27	51.69±4.57	

* 수돗물

일반 세균수 : 1.40 ±0.00 log CFU/ml,

대장균 및 대장균군 : 불검출

표 1-48. 수세방법과 마이크로웨이브 열처리에 따른 세절고추의 오염도 변화

분류	Aerobic bacteria (log CFU/g)	수분함량(%)	사진
흐르는 물 60sec + microwave 30sec	3.35±0.34	16.88±2.49	
흐르는 물 60sec + microwave 60sec	3.03±0.11	11.55±1.65	
10배수 물에 수세 + microwave 30sec	3.73±0.05	17.25±1.67	

- 시중에서 구입한 홍고추를 흐르는 물과 초음파를 이용한 세척 및 건식세척방법으로 세척하여 미생물 저감화를 확인하였다. 시료로 사용한 홍고추의 일반세균은 3.68log로 측정되었고, 건식 세척만으로는 거의 효과가 없었으나 흐르는 물에 60초 세척하였을 경우 2.51log, 초음파 처리를 하였을 경우에는 1.90log로 홍고추의 경우 충분한 물 세척만으로도 상당한 미생물 저감화를 기대할 수 있음을 알 수 있었다.
- 그러나 추후 이루어질 가공공정을 감안하면 보다 위생적인 건조고추의 생산이 필요할 것이며 이를 위해 과열수증기를 이용한 홍고추의 살균공정을 적용하려 한다.

표 1-49. 세척 방법에 따른 홍고추의 일반세균 저감화 효과

실험군	일반세균 (log CFU/g)	비고
홍고추 (control)	3.68±0.02	수분함량 87.25±1.21%
흐르는 물에 60sec 세척	2.51	
초음파(물) 60sec 세척	1.90	
홍고추를 마른 종이타월로 닦음	3.43	

나. 과열수증기를 이용한 홍고추의 살균

○ 시중에서 구입한 홍고추를 120℃~220℃의 온도에서 0.5분에서 15분까지 오븐형 과열수증기 장치를 이용하여 열처리 한 후, 잔존 일반미생물과 품질변화를 살펴보았다. 실험에 사용한 홍고추의 초기 일반세균수는 4.31log, 수분함량은 87.08%였다.

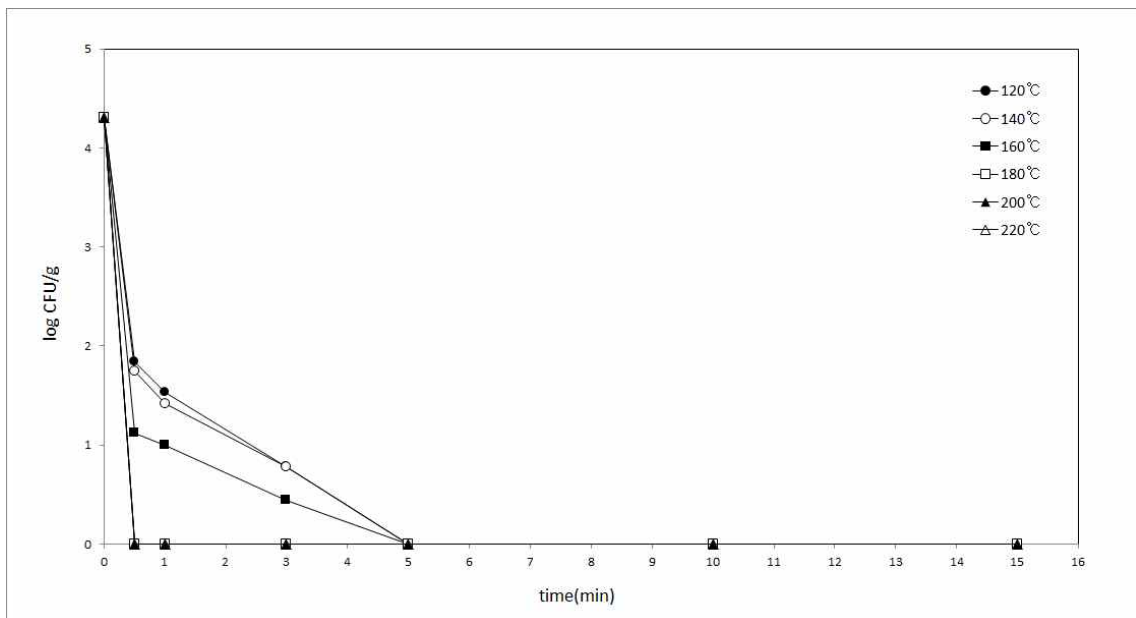
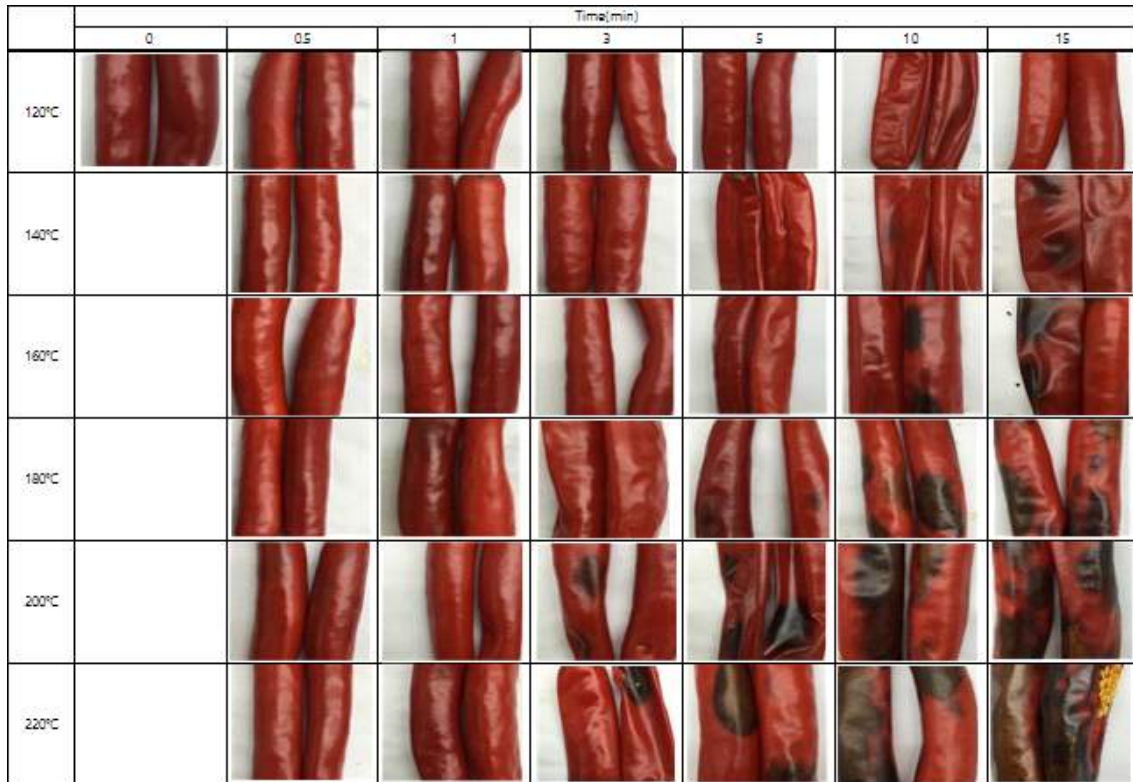


그림 1-75. 과열수증기 처리에 의한 홍고추의 잔존 미생물수의 변화

표 1-50. 과열수증기 처리에 의한 홍고추의 품질 변화



○ 오븐형 과열수증기 처리장치를 이용하여 홍고추를 열처리한 결과를 그림1-75 에 나타내었다. 180°C 이상의 온도에서는 30초 이내의 처리로 ND 상태에 도달하였으며, 160°C 이하의 온도에서는 5분간의 처리로 ND 상태에 도달하였다. 표1-50, 1-51 에 나타낸 바와 같이 홍고추의 품질은 상기의 조건에서는 크게 열화현상이 발생하지 않았고 수분함량 역시 큰 변화를 보이지 않아 제품의 품질에는 과열수증기 처리가 큰 영향을 주지 않았음을 알 수 있었다.

표 1-51. 과열수증기 처리에 따른 홍고추의 수분함량 변화

		Time(min)						
		0	0.5	1	3	5	10	15
수분함량 (%)	120°C	87.08	85.24	85.18	82.84	83.62	78.65	80.04
	140°C	87.08	85.81	86.36	84.03	84.99	84.94	83.2
	160°C	87.08	86.95	85.83	82.02	83.54	83.52	80.19
	180°C	87.08	87.37	86.3	84.35	76.76	86.95	72.02
	200°C	87.08	86.64	88.95	86.91	84.03	80.37	68.43
	220°C	87.08	87.62	88.56	86.09	82.19	78.25	70.99

- 전술한 바와 같이 고춧가루의 오염원은 1차적으로는 원초로부터의 오염균 유입이 가장 큰 원인이며 2차적으로는 가공공정 위생관리 미비로 인한 2차오염 및 교차오염이다. 따라서 이러한 2차오염 및 교차오염을 효율적으로 제어할 수 있는 현장 적용이 가능한 CIP 장비의 구축이 필요한 요소라 할 수 있다.

다. 이동식 과열수증기 살균 장비

- 본 연구팀은 과열수증기를 이용한 현장 적용이 가능한 CIP 장비를 다음과 같이 구축하였다. 개발 보유한 과열수증기 발생장치에 고압용 스팀건을 장착하여 현장에서 건조기, 분쇄기 및 포장기 등 교차오염의 가능성이 있는 다양한 장비에 사용이 가능할 것으로 생각된다. 과열수증기를 사용한 스팀살균기는 기존의 일반 스팀 살균기와 비교하였을 때, 뛰어난 살균효과는 물론 세척, 소독시 장비에 묻은 수분의 건조가 매우 빠르게 일어나므로 장비의 재가동 시간이 현저히 단축되어 매우 효율적인 CIP 효과를 기대할 수 있다.

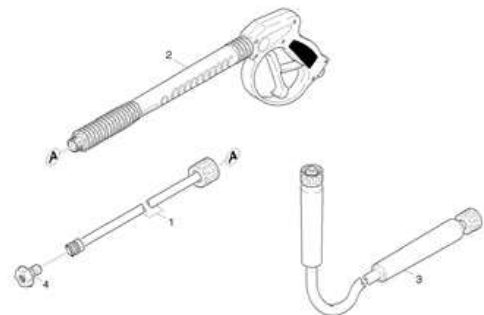
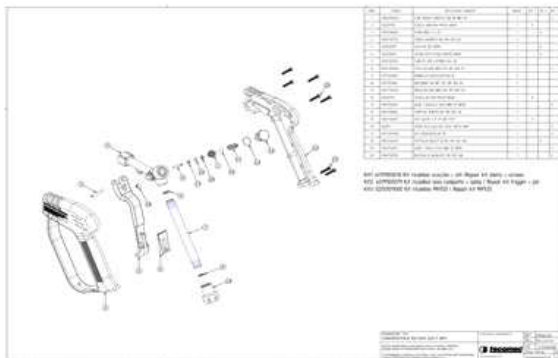


그림 1-76. 과열수증기를 이용한 CIP 장비 개발을 위한 스팀건 구성도



그림 1-77. 과열 수증기를 발생장치를 이용한 현장적용형 CIP 장비

라. 무균 고춧가루의 제조

- 한국식품연구원이 수행한 「정량적 위험분석기법을 이용한 산지형 고추가공업체의 안전 관리기술 개발」 연구 (2011)에서는 고춧가루 상태에서는 제품의 성장을 유지하는 상태에서 미생물제어가 매우 어렵기 때문에, 원초 (생고추)의 미생물 오염도를 낮추는 방안이 검토되어야 한다고 결론지었다.
- Schweiggert 등 (Trends in Fd Sci. Technol. 18 (2007) 260-268)은 고품질 향신료를 생산하기 위해서 수확한 신선한 원료를 즉시 열처리하여 오염 미생물과 내재 효소를 불활성화 시키는 혁신공정을 제안하였다.

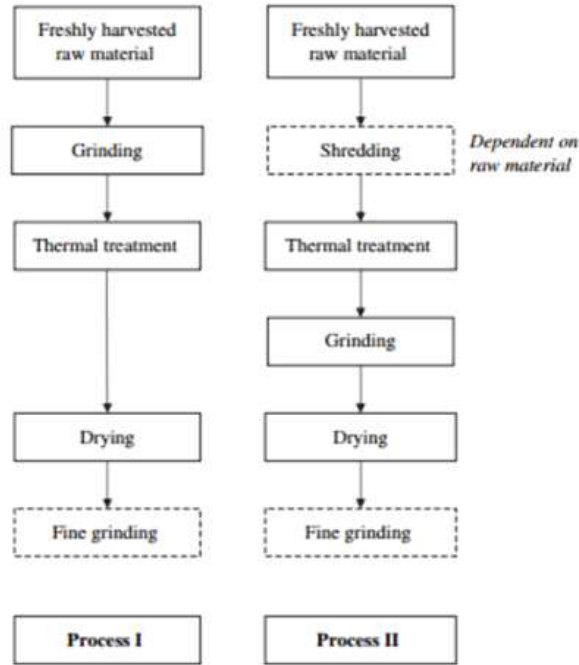


그림 1-78. 고춧가루 제조 시 대체공정(점선은 선택적 공정)
 (Trends in Fd Sci. Technol. 18 (2007) 260-268)

- 내생포자는 세포막이 두껍고 단단한 구조를 하고 있어서 환경 저항성이 매우 강하여 열, 건조, 자외선, 방사선, 화학 약품 등에 의해 잘 사멸되지 않는다. 내생포자의 내열성의 경우 100℃에서 수 분만에 사멸하는 영양세포와 달리 수 십분~수 시간 생존이 가능한 것으로 알려져 있으므로 내생포자의 사멸을 위해서는 매우 심한 정도의 가열처리가 필요하며, 이 과정에서 제품은 심각한 품질열화 또는 탄화가 일어나 상품성이 떨어지게 된다.
- 따라서 환경 저항성이 강한 내생포자가 이미 우점하고 있는 최종단계에서 고춧가루를 살균처리 하여 위생적인 제품을 만들기 보다는, 원초(홍고추)의 살균에 의하여 초기 오염도를 현저히 낮은 수준으로 제어하고 이후 가공공정을 위생적으로 유지, 관리함으로써 2차 오염을 최소화 하는 새로운 가공공정으로의 대전환 (그림 1-78)이 요구된다.

원초살균공정 개발전략

기본전략

- 고춧가루 상태에서는 제품의 품질을 유지하는 수준에서 미생을 제어 곤란
- 원료(홍고추 /건고추)의 초기 미생물 오염도 저하 기술 개발: 원초의 SHS 살균
- 가공공정에서의 교차오염 방지: 가공기계 및 부대 장비 개선, 청정제균시스템 도입

1. 고추 신건조공정



2. 고춧가루 가공공정 개선

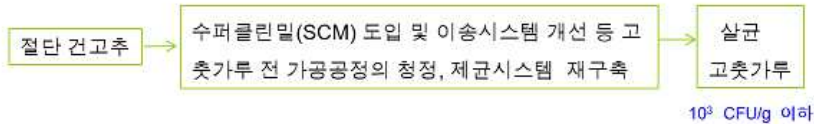


그림 1-79. 원초살균에 의한 무균 고춧가루 가공공정 개발전략

- 이에 따라 본 연구에서는 오븐형 과열수증기 처리 장치를 이용하여 홍고추를 살균하고, 제작이 완료된 현장적용형 CIP 장비를 이용하여 건조기와 분쇄기를 CIP 처리하여 무균 고춧가루를 시생산 하였다.
- 또한 현장 적용을 위하여는 배치형태의 오븐형 과열수증기장비는 한계가 있으므로 컨베이어형 과열수증기 처리장비를 임대하여 현장 적용 가능성을 테스트 하였다.
- 세척은 흐르는 물에서 60초간 세척하였고, 과열수증기 처리는 180℃에서 1분간 처리하였으며, 건조는 일반 드라이 오븐을 CIP 장비로 충분히 처리한 후 60℃에서 30시간 동안 건조하였다. 이후 분쇄는 pin mill에 40mesh를 장착하고 분쇄 전후에 CIP 처리하였다.

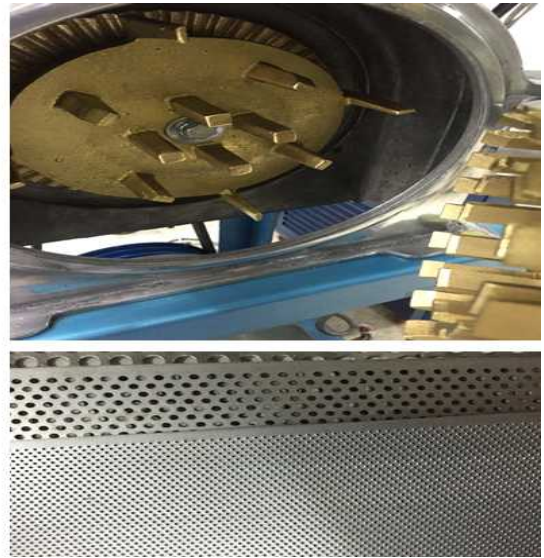


그림 1-80. 시 생산에 사용된 pin mill(mesh 교체형)

표 1-52. 무균 고춧가루 생산공정별 잔존 미생물

		control	세척	과열수증기처리 (180℃, 1min)	건조 (60℃, 30H)	분쇄 (40mesh)
오븐형과열수증기	사진					
	일반미생물(logCFU/g)	5.16	3.59	N/D	N/D	N/D
	대장균군(logCFU/g)	1.08	0.85	N/D	N/D	N/D
	수분함량(%)	87.13	89.03	86.11	13.06	13.11
컨베이어형과열수증기	사진					
	일반미생물(logCFU/g)	5.16	3.56	N/D	N/D	N/D
	대장균군(logCFU/g)	1.08	0.78	N/D	N/D	N/D
	수분함량(%)	87.13	89.04	85.51	12.84	13.02

- 초기 미생물 농도 5.16 log의 홍고추를 과열수증기 처리로 살균한 후 과열수증기를 이용한 CIP장비로 관리된 건조, 분쇄 과정을 거치면서 고춧가루를 제조한 결과 미생물의 증가가 전혀 관찰되지 않아 일반 미생물과 대장균군이 전혀 검출되지 않고, 품질도 전혀 이상이 없는 매우 위생적인 고춧가루의 생산에 성공하였다. 이로써 미생물적으로 안전한 고춧가루의 생산을 위해서는 홍고추를 건조시키는 과정에서 충분한 저감화가 이루어져야 할 것이며 이후 공정이 과열수증기를 이용한 CIP 장비로 관리된다면 가능할 것으로 생각된다.
- 현장 적용을 위하여 콘베이어형 과열수증기 처리 장치로 같은 조건에 시생산을 하였고 오븐형 과열 수증기 장비를 사용하였을 때와 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었다.
- 사용한 콘베이어형 처리 장비는 소형으로 실 capacity는 홍고추 기준으로 약 10~15kg/h 정도이었으나, 용량을 증대는 다양한 크기로 설계가 가능하기 때문에 현장 적용에는 필요한 용량에 따라 얼마든지 변형이 가능한 형태이다.

6. 현장 적용형 pilot scale 과열수증기 처리 장치

가. 설계 및 제작

- 실제 고춧가루 제조 공정에 투입되어 대량 생산이 가능하기 위해서는 연속식 처리가 필수이므로 컨베이어형 타입의 과열수증기 처리장치를 pilot 규모로 제작하기로 하였다.
- 임차하여 사용하였던 컨베이어형 처리장치를 기본으로 하고, 제조사인 일본의 나오모트사에 의뢰하여 스팀발생 장치를 대용량으로 사용하고 컨베이어 벨트의 폭을 넓혀 처리 용량을 증가시켰으며, 컨베이어 벨트의 이송속도를 조절할 수 있게 하여 처리 시간을 최소 30초에서 10분으로 조절할 수 있게 설계하였다. 또한 처리 후 과열수증기 배기관의 위치를 기존의 상층부에서 입구와 출구 쪽으로 분산하여 설계함으로써 처리 시 발생 우려가 되었던 배기관에서 발생한 응축수의 낙하 문제를 해결하였다.
- 처리용량은 홍고추 기준으로 약 30~50 kg/h 정도로, 일일 10시간의 조업시간을 기준하면 약 300~500 kg/h 의 생산용량을 가진다. 이러한 생산규모는 소규모의 고춧가루 생산공장에서 사용이 가능한 규모로 판단된다.
- 규모를 더 이상 증가시키기 위해서는 증기 발생기 및 제어장치를 포함한 많은 부분에서 재설계가 필요하고, 특히 증기발생장치와 컨베이어 시스템(처리장치)부분이 별도로 운전되어야 하기 때문에 보일러 내장형으로 가능한 규모로 제작을 하였으며 소규모의 장비를 여러 대 설치하고 필요에 따라 다양하게 운용하는 것이 유리할 것이다.

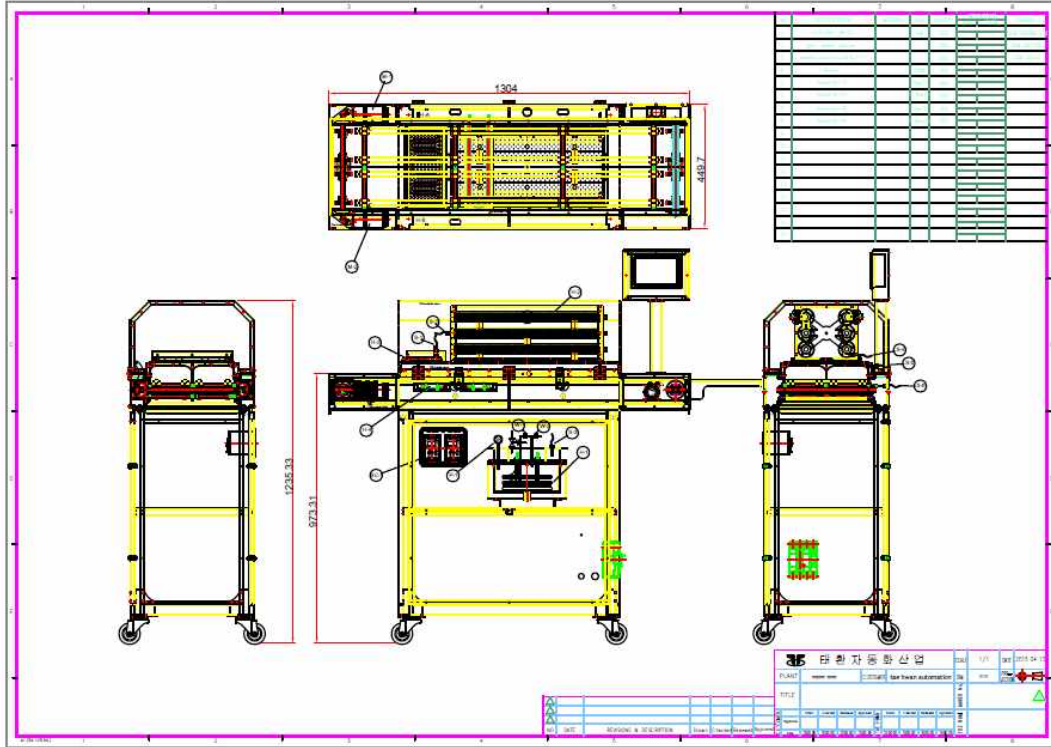


그림 1-81. Pilot 규모의 컨베이어형 과열수증기 처리장치의 개략도

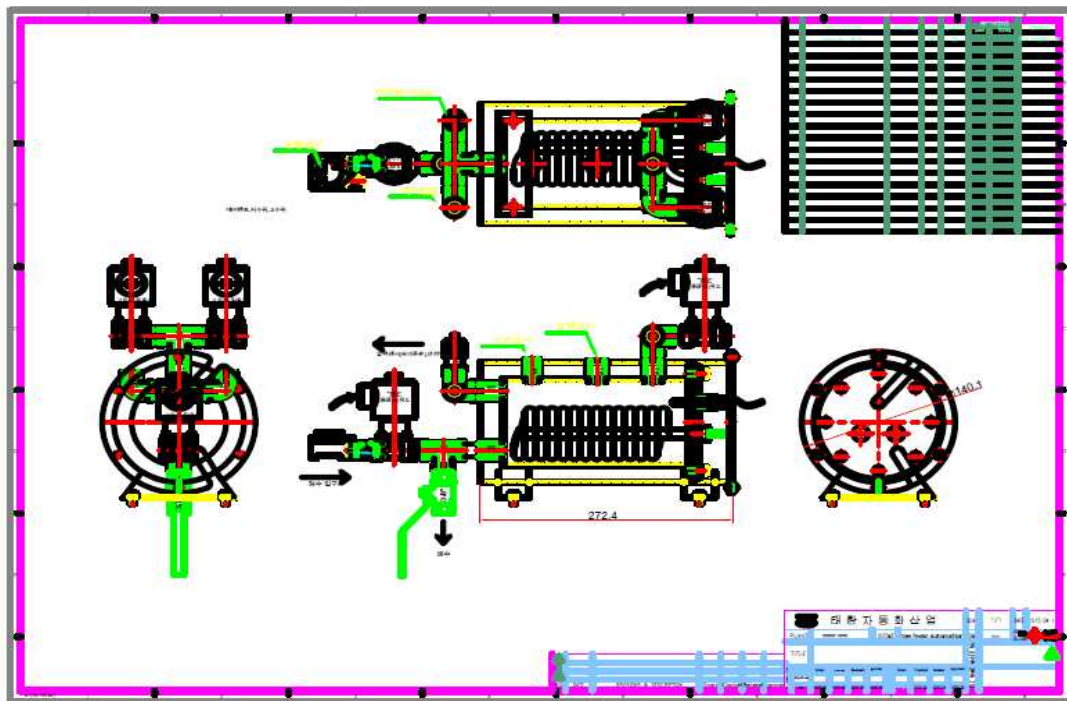


그림 1-82. 과열수증기 발생장치용 보일러 설계도

나. 과열수증기 설비의 세부 제작 사양

(1) 자동 재생식 연수기

(가) 원수 급수전:1/2인치 pipe 급수 공급 연결장치

(나) 전원: AC 220V 단상

(다) 배수구20A

(라) 급수 수지TANK

(마) 압력계:Ø50×0.8MPa×PT1/4

(바) Over flow 장치

(2) 보일러 급수 Tank

(가) 급수 저장탱크1식

(나) 급수조절용 flow balve 및 급수용solenoid valve(급수전자변) 장치

(다) 보일러 공급부 solenoid valve 장치

(라) check valve 및 piping system

(3) 스팀 발생장치 (BOILER SYSTEM)

(가) 급수장치:급수조절용 flow balve 및 급수용solenoid valve 장치

(나) 열원 전기장치: AC 220V 3상 25KW Heater system

(다) Boiler 용량: 스팀발생량 50kg/h. 0.1 MPa

(라) 스팀 공급부 solenoid valve(스팀전자변) 장치 및 piping system

(4) 과열증기 발생장치 (SUPER HEATED STEAM SYSTEM)

(가) Steam 공급부 solenoid valve(스팀전자변) 장치 및 piping system

(나) 과열증기발생용 Super heated용 Heat System10KW

(다) 과열방지 system

(라) 과열증기 공급부 solenoid valve(스팀전자변) 장치 및 piping system

(5) 스팀발생장치 Box 제작

(가) 재질:sus304 2T L880 × W560 × H520

(나) Maintenance용 좌측1개소 전,후면 착탈식 bolt부착 조립

(다) 이동,높이 조정용 caster 부착 및 높이조절용 bolt 장착

(6) 컨베이어 System

(가) ALL sus net

(나) 전원: AC 220V 3상

(다) 투입구 적외선 sensor 부착

(라) 자동 시간 조절 Timer

(마) tension 조정장치

(바) water 청소 받이 부착



그림 1-83. Pilot scale 컨베이어형 과열수증기 처리장치

7. 원물고추의 종류에 따른 살균 효과

- 고추는 수확기에 홍고추 상태로 수확하여 건조 또는 냉동 보관하고 필요에 따라 분쇄하여 고춧가루로 제조되고 있다. 또한 냉동상태로 보관된 냉동고추는 고춧가루 이외의 양념류로 사용되는 홍고추의 거의 대부분을 차지하고 있으므로 냉동과 저장과정에서 발생할 수 있는 미생물의 살균저항성 변화에 대해 살펴보았다.
- 홍고추는 시중에서 늦여름인 8월말에 구입하여 사용하였고, 냉동고추는 참여업체인 (주)태경의 지원으로 실제 양념류 제조에 사용되는 중국산 냉동고추를 지원받아 실험에 사용하였다.
- 홍고추는 흐르는 물에 2분간 세척하고 체망을 이용하여 표면수만 제거한 상태로 살균하였고, 냉동고추는 물에 담가 해동 후에 흐르는 물에 2분간 세척하고 체망을 이용하여 표면수를 제거하고 시료로 사용하였다.
- 과열수증기 처리 조건은 30초에서 5분사이로 하였고, 온도는 140℃에서 200℃사이에서 pilot scale의 컨베이어형 살균장치를 이용하여 살균처리하고 호기성 총균수를 측정하였다.

표 1-53. 과열수증기 처리조건에 따른 홍고추의 살균효과

단위 : log CFU/g

	Time (min)					
	0	0.5	1	2	3	5
140 °C	3.89	1.55	1.17	1.11	1.11	N/D
160°C	3.89	1.34	1.11	N/D	N/D	N/D
180°C	3.89	1.30	N/D	N/D	N/D	N/D
200°C	3.89	1.26	N/D	N/D	N/D	N/D

표 1-54. 과열수증기 처리조건에 따른 냉동고추의 살균효과

단위 : log CFU/g

	Time (min)					
	0	0.5	1	2	3	5
140 °C	3.81	1.93	1.40	1.17	1.48	1.65
160°C	3.81	1.40	1.54	1.11	0.70	1.48
180°C	3.81	1.30	1.18	N/D	N/D	N/D
200°C	3.81	0.85	0.48	N/D	N/D	N/D

○ 홍고추와 냉동고추의 초기 균수는 각각 3.89 log와 3.81 log로 큰 차이가 없었으며, 홍고추는 160°C에서 2분 또는 180°C에서 1분의 과열수증기 처리로 검출한계 이하(ND)를 나타내었고 냉동고추의 경우에는 180°C에서 2분 정도의 처리로 검출한계 이하의 미생물 저감현상을 보였다.

○ 두 경우 모두 품질 저하 현상은 전혀 나타나지 않았으며, 이러한 결과에서 냉동고추의 살균에도 과열수증기 처리방법이 매우 효과적임을 알 수 있었다.

8. 홍고추의 과열수증기 처리 공정 이후 제조된 고춧가루의 저장실험

- 과열수증기로 살균 처리된 2종의 고추(원료: 국산 홍고추, 중국산 냉동고추)를 65℃에서 24시간 건조시킨 후 분쇄된 고춧가루의 품질 변화를 관찰하는 실험을 진행하였다. 2종의 고춧가루(원료: 국산 홍고추, 중국산 냉동고추)를 폴리에틸렌 지퍼백에 담아 4℃와 25℃에서 12주간 저장하였다. 저장기간 동안 색도 및 외관 변화 측정을 하였고 실험 방법은 이전 저장실험과 동일하게 진행하였다.

가. 실험방법

(1) 균 계수

- 고춧가루 2 g을 18 mL의 0.2%(w/v) peptone water를 가한 후 stomacher를 이용하여 speed 9 에서 2분간 균질화하였다. 균질화된 시료 1 mL과 9 mL의 peptone water를 이용하여 10⁻¹배에서부터 10⁻²배까지 희석하여 Tryptic Soy Agar (TSA, MB cell, Seoul, Korea) 배지에 도말하여 37℃ 인큐베이터에서 24시간 배양 후 형성된 콜로니를 계수하였다.

(2) 수분함량 측정

- 수분함량은 Daood, 2006 의 방법을 참고하였다. 시료를 담은 칭량병은 건조에 들어가기 전 65℃ dry oven에서 약 1시간 건조시켜준 뒤 데시케이터에 약 40분간 방냉시켜 항량을 맞추었다. 건조된 칭량병의 무게를 재고, 고춧가루 시료 2 g을 담은 칭량병 무게를 잰 뒤 105℃ dry oven에서 24시간 건조시켜주었다. 건조 후 데시케이터에서 약 40분 식힌 뒤의 무게와 건조 전 무게를 비교하였고 수분함량은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{moisture content}(\%) = \frac{\text{건조전무게} - \text{건조후무게}}{\text{조전무게}} \times 100$$

*칭량병+ 시료의 무게이다.

나. 연구결과

(1) 색도 및 외관 관찰

- 두 종류의 고춧가루에 각각 4℃와 25℃에 12주간 저장했을 시의 외관과 색도 변화를 살펴본 결과를 그림 1-84, 1-85, 1-86 표 1-55, 1-56에 나타내었다.



그림 1-84. 저장 전 고춧가루 외관.
(좌 : 홍고추, 우 : 냉동고추).

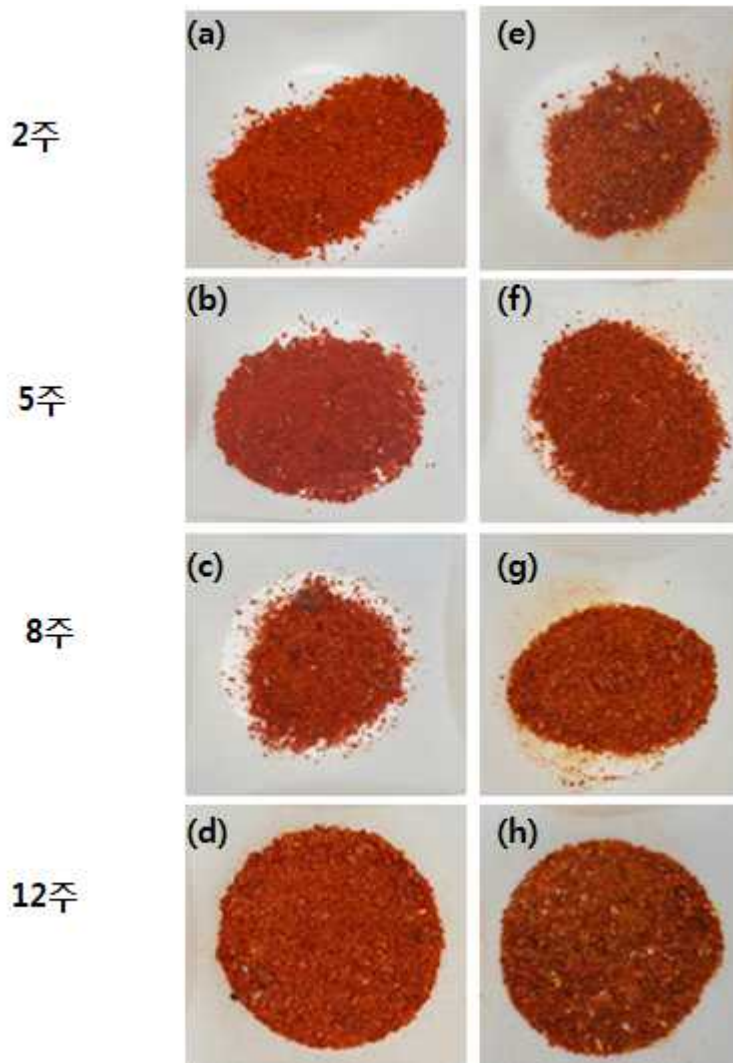


그림 1-85. 저장 기간 중 홍고추 고춧가루의 외관변화.
(a)-(d) 4°C 보관 시료, (e)-(h) 25°C 보관 시료.

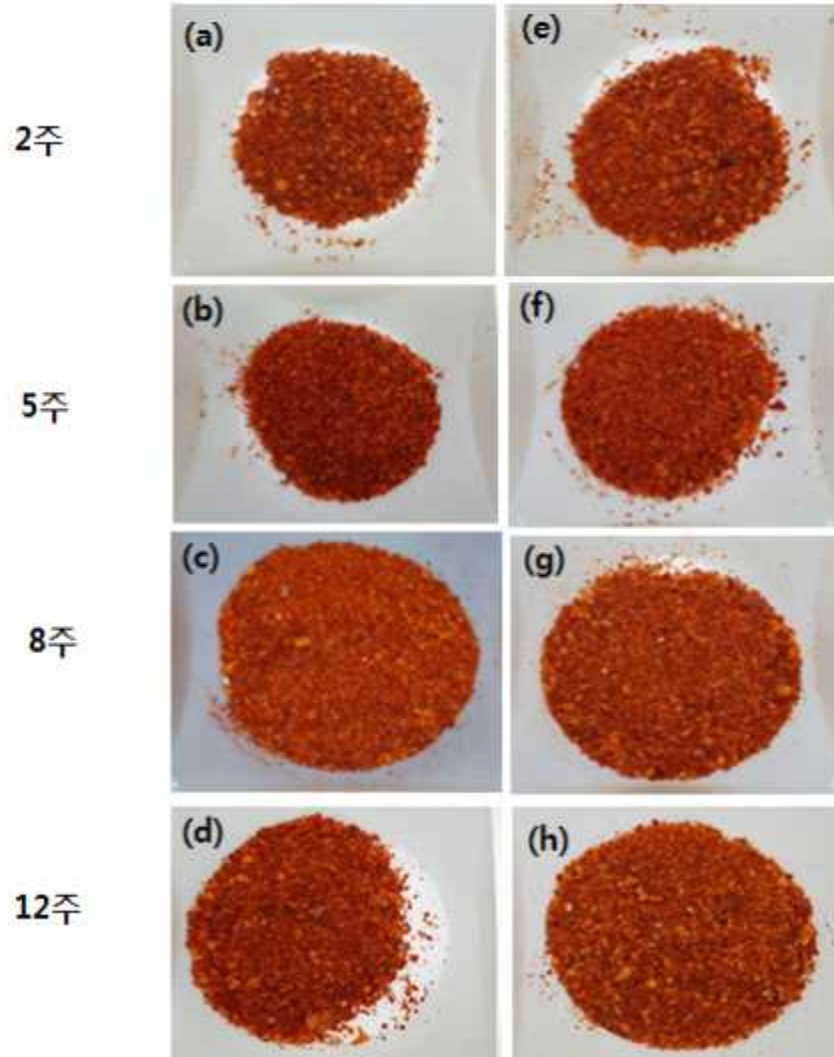


그림 1-86. 저장 기간 중 냉동고추 고춧가루의 외관변화.
 (a)-(d) 4℃ 보관 시료, (e)-(h) 25℃ 보관 시료.

표 1-55. 저장 기간에 따른 홍고추 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

Week	Temp.(°C)	L	a	b
0	Control	44.58 ± 0.65	23.29 ± 0.61 ^a	19.58 ± 0.52 ^a
1	4	45.60 ± 1.00 ^{ab}	23.93 ± 0.54 ^a	20.96 ± 1.36 ^{ab}
	25	46.30 ± 0.62 ^{bc}	22.79 ± 0.27 ^a	19.43 ± 0.46 ^a
2	4	44.81 ± 0.66 ^a	23.38 ± 0.87 ^a	22.74 ± 1.32 ^b
	25	44.85 ± 0.53 ^{ab}	21.34 ± 0.52 ^b	19.32 ± 0.65 ^a
3	4	45.31 ± 0.55 ^{ab}	23.83 ± 0.66 ^a	20.50 ± 0.46 ^{ab}
	25	46.78 ± 0.26 ^c	20.49 ± 0.40 ^b	22.03 ± 0.49 ^b
6	4	45.15 ± 0.60 ^{ab}	23.83 ± 0.57 ^a	20.34 ± 0.45 ^a
9	4	45.66 ± 0.65 ^{ab}	23.05 ± 0.80 ^a	21.14 ± 0.71 ^{ab}
11	4	47.02 ± 0.85 ^b	22.94 ± 0.32 ^a	21.76 ± 0.70 ^{ab}
	25	47.69±0.80 ^c	18.35±0.26 ^c	22.92±0.85 ^b
12	4	47.06±0.29 ^b	22.78±0.54 ^a	21.84±0.70 ^{ab}
	25	47.44±0.48 ^c	18.72±0.65 ^c	22.14±0.97 ^b

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며, 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

표 1-56. 저장 기간에 따른 냉동고추 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

Week	Temp. (°C)	L	a	b
0	Control	44.15 ± 0.40	21.27 ± 0.12 ^a	20.32 ± 0.62 ^{a(bc)}
1	4	43.92 ± 0.43 ^a	20.21 ± 0.33 ^{ab}	19.63 ± 0.59 ^{ab}
	25	44.15 ± 0.68 ^a	21.19 ± 0.36 ^a	19.63 ± 0.65 ^{ab}
2	4	45.31 ± 0.54 ^a	19.56 ± 0.51 ^b	18.09 ± 0.17 ^b
	25	44.29 ± 0.44 ^a	20.18 ± 0.47 ^{ab}	18.95 ± 0.58 ^a
3	4	44.00 ± 0.27 ^a	21.08 ± 0.28 ^{ab}	19.68 ± 0.46 ^{ab}
	25	44.36 ± 0.57 ^a	20.59 ± 1.09 ^{ab}	19.87 ± 0.67 ^{abc}
4	4	43.76 ± 0.61 ^a	20.93 ± 0.60 ^{ab}	19.62 ± 0.51 ^{ab}
	25	44.13 ± 0.13 ^a	20.86 ± 0.37 ^a	20.25 ± 0.24 ^{abc}
6	4	44.19 ± 0.38 ^a	20.50 ± 0.56 ^a	19.53 ± 0.72 ^{ab}
	25	44.65 ± 0.43 ^a	21.27 ± 0.43 ^a	20.37 ± 0.44 ^{abc}
8	4	43.84 ± 0.67 ^a	21.25 ± 0.67 ^a	20.00 ± 0.93 ^a
	25	44.98 ± 0.42 ^a	21.39 ± 0.36 ^a	21.17 ± 0.41 ^{bc}
10	4	43.94 ± 0.75 ^a	21.26 ± 0.44 ^a	19.60 ± 0.55 ^{ab}
	25	45.12 ± 0.71 ^a	20.65 ± 0.16 ^{ab}	21.41 ± 0.72 ^c
12	4	43.99 ± 0.74 ^a	20.58 ± 0.88 ^{ab}	19.39 ± 0.90 ^{ab}
	25	44.73 ± 0.64 ^a	19.27 ± 0.40 ^b	20.25 ± 0.95 ^{abc}

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며, 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

○ 고춧가루를 12주간 저장 했을 때 육안으로 확인한 변화는 관찰되지 않았지만, 두 종류의 고춧가루 모두 25°C에서 저장한 시료에 비해 4°C에 보관한 시료가 색이 더 선명히 잘 유지되는 것을 확인하였다. 고춧가루 색 변화의 요인으로는 고추 품종, 건조

온도, 산소와의 접촉, 저장 온도, 수분함량 등이 있다(Addala, 2015). 저장 기간이 길어지고 저장 온도가 높아질수록 고춧가루의 붉은 색이 옅어지고 노란입자가 늘어나는 것으로 보아 고춧가루 내 주요 붉은색소인 capsanthin이 분해되어 나타나는 현상으로 사료된다(Kim, 2004).

- 고춧가루의 품종별로는 같은 조건 하에서 냉동고추를 분쇄한 고춧가루가 홍고추 원료 고춧가루에 비해 본연의 색을 더 잘 유지하였는데, 이는 고추의 품종이나 전처리 등의 차이로 인해 발생하였을 것으로 판단된다.

(2) 수분함량 관찰

- 두 고춧가루를 12주간 4℃와 25℃에 보관한 뒤의 수분함량 변화는 그림 1-87과 같다.

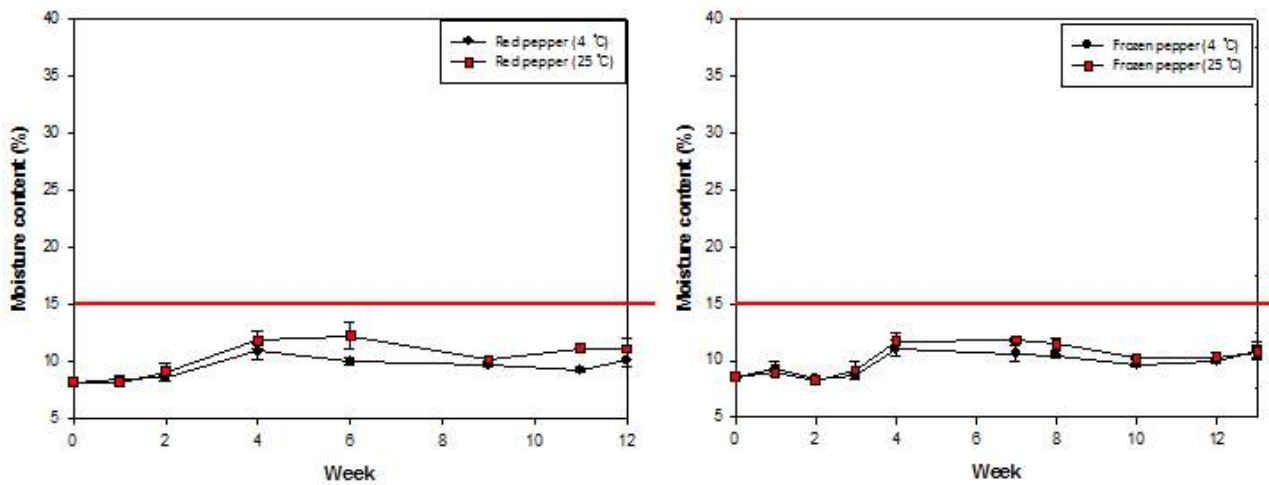


그림 1-87. 저장기간 중 두 고춧가루의 수분함량.

(좌 : 홍고추, 우 : 냉동고추).

- 현행 식품공전에서는 고춧가루의 수분함량 규격을 15% 이하로 규정하고 있다(Jeong, 2013). 두 종류의 고춧가루 모두 12주 동안 4℃와 25℃에서 수분함량 15% 이하로 잘 유지되었다.

(3) 총 호기성균 관찰

- 두 종류의 고춧가루를 4℃, 25℃에 보관했을 시, 12주 후 미생물의 성장을 살펴본 결과는 표 1-57과 같다.

표 1-57. 저장 12주 후 두 고춧가루에서의 미생물 성장 여부 확인

	Control	4℃	25℃
홍고추	N.D.	N.D.	N.D.
냉동고추	N.D.	N.D.	N.D.

- 12주 동안 저장 실험을 한 결과, 두 종류의 고춧가루에서 미생물이 모두 검출되지 않았고, 이를 통해 살균이 잘 이루어졌음을 확인하였다.

9. 처리온도별 최적처리시간에 따른 저장실험

가. 실험방법

- 본 연구에서는 냉동고추를 과열수증기 처리했을 시 외관의 변화가 최소화되고, 균 또한 저감화 되는 최적조건을 찾아 저장성을 평가하는 실험을 진행하였다. 과열수증기 처리 온도로는 120, 150, 180℃로 각각 70, 60, 50 초 과열수증기 처리 한 후 건조와 분쇄과정을 거친 후 저장하였다. 세 가지 다른 조건으로 처리된 고춧가루 시료의 저장성 차이를 분석하였다.
- 일반적으로 고춧가루는 장기간의 보존을 하는 만큼 그 유통기한을 정확히 예측하는데 상당한 시간이 요구된다. 따라서 저장온도를 상승시켜 증가된 변화율로부터 획득한 데이터를 아레니우스 방정식(Arrhenius equation)을 사용하여 정상 저장 조건 (4℃, 25℃)을 외삽하여 구하였다. 고춧가루의 품질지표로는 명도(L) 값을 설정하였는데, 고춧가루의 전체적인 외관 변화를 가장 잘 나타낸다고 사료되기 때문이다. 고춧가루가 본연의 선명한 붉은 빛을 잃고 외관변화를 감지할 수 있는 명도(L)로는 53±1을 설정하였다.
- 가속실험으로는 1)저장온도별 저장기간에 따른 각 품질지표의 함량 변화를 분석하였다. 2) 시료의 저장온도별 저장기간에 따른 품질지표의 함량변화 방정식을 산출하였다. 3) 2단계에서 산출한 온도별 K 값을 이용하여 활성화 에너지를 산출하였다. 4) 저장온도 및 유통기한을 계산하였다.
- 아레니우스 방정식의 계산은 Excel을 이용한 계산하였고 그 결과를 SPSS 프로그램을 이용하여 Tukey 법으로 유의적인 차이를 확인하였다.

나. 연구결과

(1) 아레니우스 방정식을 이용한 가속실험

- 65, 50, 37℃ 보관 시료는 세 처리 조건 모두에서 각각 7, 14, 21 일 만에 색 변화를 나타내었고, 25℃ 보관 시료는 저장기간 동안 외관상의 색변화는 관찰되지 않았다. 저장

전과 비교해 저장 후 외관변화는 그림 1-88 과 그림 1-89에 나타내었다.

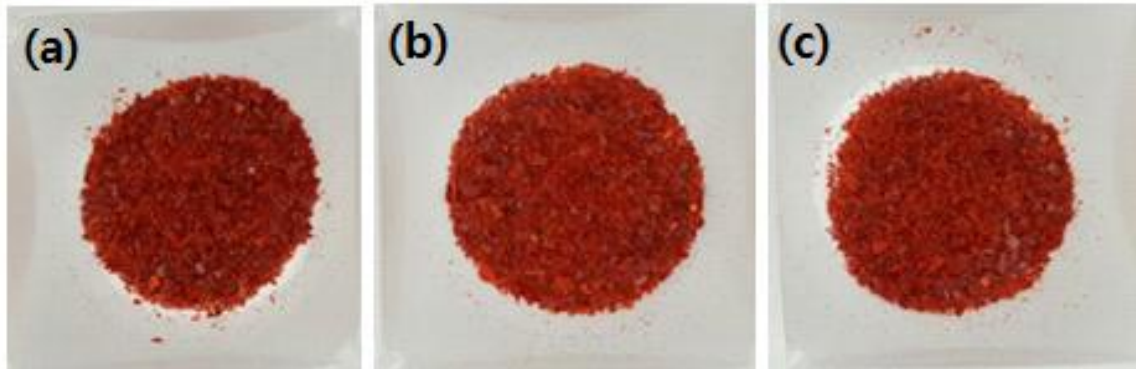


그림 1-88. 저장 전 고춧가루의 외관.

(a) 120°C 70초, (b) 150°C 60초, (b) 180°C 50초.

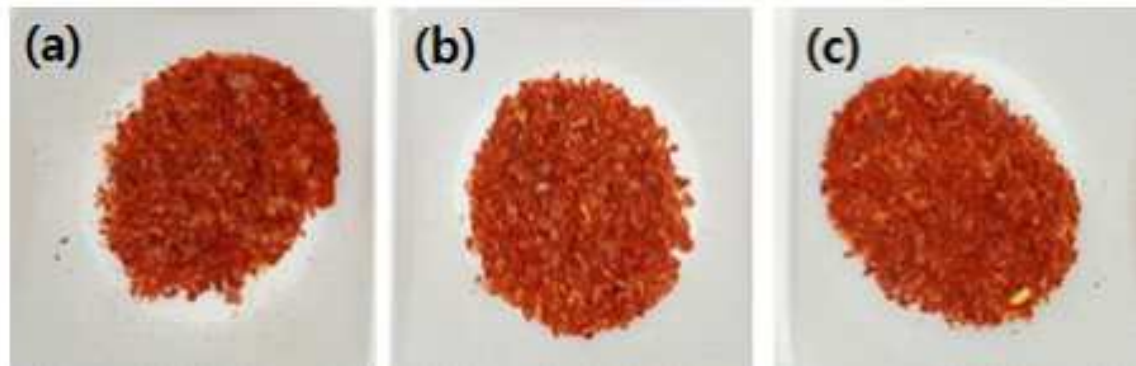


그림 1-89. 저장 후 색이 변한 고춧가루의 외관.

(a) 120°C 70초, (b) 150°C 60초, (b) 180°C 50초.

○ 120°C에서 70초 처리한 시료를 저장일수 - 품질지표 변화율간의 그래프를 그려본 결과 25, 37, 50, 65°C에서 모두 0차 반응을 나타내었고 따라서 반응속도상수 K = 직선의 기울기가 된다. 4개의 가속온도로부터 이를 바탕으로 lnK를 Y축으로 1/T를 X축으로 하여 선형회귀분석한 후 나타낸 그래프의 방정식은 $y = -7195.9x + 21.382$ ($r = 0.9115$) 이다.

○ Arrhenius equation : $-(E_a/R)(1/T) + \ln A$ 이를 이용해 활성화 에너지 $E_a = \text{slope} \times R$ (기체상수: 1.987 cal/mol)을 구해주면, -14297.5가 된다.

○ 식약처에서 발간한 주요식재료검수도감에 의하면, 고춧가루의 유통온도는 상온 (15~25°C)다. 0차 반응식으로부터 25°C 저장 시 유통기한을 예측해보면 $t = \frac{A_0 - A_t}{s + I}$ (이때,

$e^{\frac{s}{T+I}} = K$)이므로, $t = (|46.92 - 54.12|) / 0.045 = 160$ (일) 이 나온다. 위의 방정식에

$T=4^{\circ}\text{C}$ 일 때 $1/T = 1/277\text{K}$ 을 구하면 $y = -4.939$ 이고 이때의 $K=0.007$ 이다. 이를 마찬가지로 $t = \frac{0 - A_t}{s} = (|46.92-54.12|)/0.007 = 1029$ (일) ≈ 2.9 년이 나온다. 이로써

고춧가루의 일반적인 유통기한은 1년으로 알려져 있지만, 낮은 온도에서 저장 시 저장 안정성이 증가함을 확인하였다.

- 위와 같은 방법으로 과열수증기 150°C 에서 60초 처리한 시료에 대해서 유통기한을 구해보면, $\ln K$ 를 Y축으로 $1/T$ 을 X축으로 하여 선형회귀분석한 후 나타낸 그래프의 방정식은 $y = -7048x + 20.949$ ($R^2 = 0.8898$)이다. 25°C 에 보관 시 유통기한 $t = (|46.93-54.41|)/0.046 = 163$ (일)이 나온다. 위와 마찬가지로 4°C 보관 시 반응상수를 구하면 $K = 0.01$ 이고, $t = (|46.93-54.41|)/0.011 = 748$ (일) ≈ 1.9 (년)이다.
- 위와 같은 방법으로 과열수증기 180°C 에서 50초 처리한 시료에 대해서 유통기한을 구해보면, $\ln K$ 를 Y축으로 $1/T$ 을 X축으로 하여 선형회귀분석한 후 나타낸 그래프의 방정식은 $y = -6849.4x + 20.388$ ($R^2 = 0.8965$) 이다. 유통기한 $t = (|46.93-54.38|)/0.052 = 143$ (일) 이 나온다. 위와 마찬가지로 4°C 보관 시 반응상수를 구하면 $K = 0.01$ 이고, $t = (|46.93-54.38|)/0.013 = 573$ (일) ≈ 1.6 (년)이다.

10. 신개념 내생포자 살균기술의 개발 및 청정고춧가루 생산

가. 분체식품 가열살균기술의 한계

- **건열살균** 전통적인 분체 살균방법은 가열살균방법이지만 품질저하가 문제. 고온공기를 이용한 건열살균에서는 건조공기는 열전달율이 낮아 분체식품의 온도를 살균온도까지 상승시키는데 시간이 걸리기 때문에 처리시간이 길고 산화 등에 의해 품질이 저하 초래.
- 또한 일반적으로 미생물은 저수분 환경조건에서 열에 대한 내성이 매우 강하다. 예컨대 *Samonella*와 같은 병원성균의 내열성은 수분활성도가 0.6 이하로 감소하면 내열성이 급격히 증가. 수분활성도가 0.8인 분체를 살균하는 데는 수분활성도 0.99인 분체보다 4-10배 장시간이 필요하다. 따라서 분체식품에서 오염미생물을 불활성화 시키는데 핵심 인자는 수분활성도이다. 건열살균과정에서 내부 온도가 증가하면 내부 수분이 표면으로 이동, 표면에서 증발한다. 이때 표면증발에 의한 수분손실은 수분활성도를 더욱 저하시켜 결과적으로 장시간 열처리가 필요하여 품질악화를 초래한다.
- **습열살균** 포화수증기를 이용한 습열살균은 건열살균에 비하여 살균효과가 우수하나 수증기가 분립체에 응축되어 수분이 증가하고 응집되기 때문에 살균 후에 재건조와 재분쇄

처리가 필요하다. 더욱이 입자들이 건조장치 내부에 고착하여 운전조작이 어렵고, 조리취 등이 발생하는 등 품질이 손실된다.

- 포화수증기를 이용한 대표적인 분체살균장치는 Ventilix pasteurization system. 고압의 포화스팀 (130-220 kPa)을 사용하여 107-123℃에서 25-50s 동안 살균처리 한 다음 cooler/dryer를 사용하여 과잉의 수분을 건조하여 최종 제품을 얻는다.
- **Controlled condensation steam process** 향신료 등은 가공하는 동안에 품질변화를 받기 쉽기 때문에 원래의 품질을 유지할 수 있도록 온화한 조건에서 pasteurization기술이 필요하다. 특히 이들 저수분 식품의 수분함량은 처리하는 동안이나 처리 후 현저히 증가하지 않아야 한다. 그렇지 않으면 저장수명이 감소하고 외관이 손상. 이와 같은 목적을 달성하기 위해서 고안된 시스템이 **controlled condensation process (CCP)** 이다.
- Pasteurization 설정온도와 분체와의 온도차가 클수록 살균과정 동안에 표면에 응축하는 수분양이 증가하고 이것은 식품에 흡수된다. Pasteurization하는 동안에 분체 표면에 수막이 생성될 정도로 과잉의 응축이 생성되지 않도록 분체 온도를 증발온도보다 약간 낮게 건열을 이용하여 예열한 다음 예열된 분체에 직접 소량의 스팀 (3-10%)을 취입하여 수분이 분체 표면에 제한적으로 응축되게 하여 습열에 의하여 표면 오염미생물을 불활성화시키고 냉각. 이와 같은 시스템을 이용한 분체 살균장치는 Revtech, Safesteril, Steristep 등이다.
- 또 다른 CCP시스템은 본 연구에서 수행한 **과열수증기를 이용한 분체의 살균**이다. 가열 초기 과열수증기가 분체의 찬 표면과 접촉하면 과열도를 잃어버리고 순간적으로 응축된다. 이때 분체 표면이 과열수증기와 골고루 접촉할 수 있게 진동컨베이어 또는 유동층 살균장치를 채택한다.
- 상술한 CCP 시스템은 현재까지 세계 각국에서 분체살균에 가장 성공적으로 사용되고 있다. 그러나 우리나라 고춧가루는 유럽, 미국, 일본 등의 고춧가루와는 달리는 당분이 많아 입자들이 응결되거나 장치 내에 부착하는 경향이 있어 CCP시스템을 적용하기 어렵다. 또한 현재 고추종합처리장에서 생산되는 최종 고춧가루제품의 오염도가 높을 뿐 아니라 **내열성 포자 오염도가 높아 재래 기술로는 오염도를 10^4 - 10^5 CFU/g 이하로 감소시키기 어렵다.**

나. 신개념 내생포자 살균기술의 이론적 배경

- 분립체 식품은 수분활성도가 낮기 때문에 식중독균의 생육을 억제하는 이점은 있으나 주의하여야 하는 문제점이 있다. 분립체 식품의 건조과정에서 병원성균을 포함하여 일부 미생물은 생육할 수 있으며, 미생물은 일단 탈수상태가 되면 대사가 현저히 감소되어 성장

하지 못하지만 수개월 또는 수년 동안 살아 있을 수 있다. 예컨대 *E. coli* O157:H7 또는 *Salmonella*의 경우 단지 몇 개의 세포만 살아 있어도 식중독을 일으키기 충분하다.

- 소비자들은 분립체 식품을 구입한 후 가열조리 등의 과정 없이 그대로 섭취하므로 위해 가능성이 높다. 또한 분립체 식품을 오염되지 않은 다른 청정 식품재료에 첨가하여 가공하는 경우 식중독을 일으킬 가능성이 있다. 따라서 분립체 식품의 제조과정에서는 병원성균을 사멸시키는 효과적인 살균방법과 동시에 오염되지 않도록 위생적인 관리체계를 철저히 갖추는 것이 필수적이다.
- 분체식품은 액체식품에 비하여 수분활성도가 낮아 병원균의 내열성이 크기 때문에 고수분 식품에서와 같이 온화한 열처리 공정으로 살균할 수 없다. 분체식품에서 수분활성도의 저하에 따라 병원성균의 내열성이 어느 정도 증가하는가 하는 것은 용이하게 예측할 수 없으며 병원균의 종류, 식품의 종류 등에 따라 변한다.
- 특히 내생포자 형성균은 자연계에 널리 분포되어 있어 모든 식품 재료를 오염시킬 수 있고 게다가 100℃ 전후의 고온에서도 완전히 사멸시키기 어렵다. 오염된 식품 재료를 세척, 조리, 가열살균 등의 공정을 거쳐도 포자가 살아서 잔류하는 경우 그 포자가 때때로 발아, 증식하여 식품의 변패나 식중독의 원인이 된다.

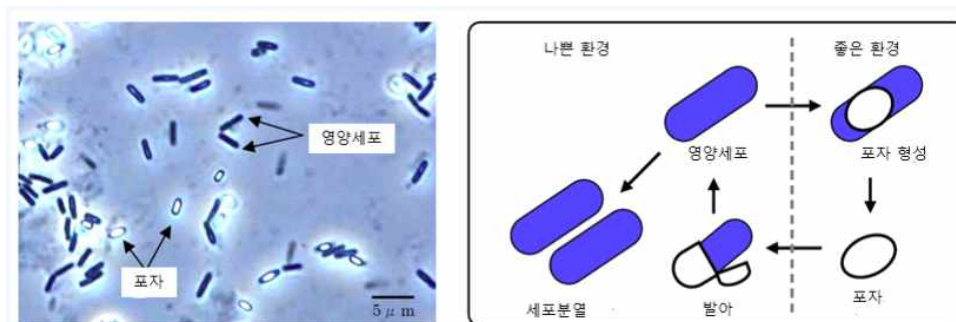


그림 1-90. 포자의 life cycle.

- 가열에 의한 미생물 세포의 불활성화는 세균 막단백질 등 단백질에 존재하는 물에 의하여 일어난다. 세포를 가열하면 물 분자는 빠르게 진동하게 되고 이 진동에 의하여 disulfide 및 hydrogen bond들은 약해지거나 파괴되어 단백질을 변성시킨다. 그 결과 세포의 형태가 변하고 단백질은 변성으로 기능을 못하게 된다.
- 수분활성도가 낮은 분체는 액체식품에 비하여 살균하기가 훨씬 어려운데, 저수분 조건에서 미생물의 저항성이 증가하는 것은 소량의 수분(저 수분활성도) 만이 존재하므로 가열하였을 때 물분자의 진동은 제한적이라 단지 소량의 단백질만 파괴 (변성) 되기 때문이다.

- 고온에서 저수분 식품의 수분활성도의 변화와 병원성 미생물의 내열성과의 관계는 매우 중요하지만 이에 관한 연구는 매우 적다. Murrell 등 (J Gen Microbiol. 1966. 43(3):411 - 25)은 *B. megaterium* 등의 세균포자의 수분활성도와 열불활성화에 대한 동역학적 연구에 의하면 a_w 약 1.0일 때와 비교하여 a_w 0.2~0.4 일 때 내열성이 1000배 까지 증가한다고 보고하였다.
- 100℃ 이상에서 식품의 수분활성도 대기압, 100-120℃의 온도범위에서 평형상태일 때 식품의 수분활성도는 1.0-0.5 이지만 120℃ 이상에서는 0.5 이하로 감소한다. 예를 들어 향신료와 같은 분체식품 중의 병원성 미생물을 살균하기 위하여 120℃ 정도의 스팀 또는 가열공기를 이용하여 가열한다고 하면, 이때 식품의 초기 수분함량은 가열하는 동안에 점점 감소되어 수분활성도는 0.5 이하에 도달할 것이다. .
- 결론적으로 분체식품의 열처리에 의한 살균에서 미생물의 내열성을 결정하는 인자는 온도 이외에 추가적으로 수분활성도를 새로운 변수로 고려하여야 한다.

$$a_w = f(T, X_w)$$

$$D = f(T, a_w(T, X_w))$$

여기서 X_w = 식품의 수분함량, D = 병원성 미생물의 D-value

- 포자의 수분증발 포자 내의 수분은 noncore water (cortex and coat)와 core water로 구분되어 있으며, 포자 수분의 상당한 부분이 core 에 존재하는 것으로 보고되고 있다. 포자를 대기압 이하에서 가열하면 100℃ 이하에서 포자에 존재하는 수분은 서서히 증발하고 100-130℃ 사이에서는 특히 core 에 존재하는 수분의 일부도 기화하여 결과적으로 초기 수분은 대부분 잃어버린 상태로 된다. 따라서 내열성이 매우 강해져 160℃ 이상의 고온 처리를 하여야 불활성화 할 수 있는 것으로 보고되었다 (Biophysics. 2013. 31 July).
- 포자가 열에 의하여 사멸되는 것은 한 종류 이상의 중요 포자 단백질이 변성되기 때문인 것으로 알려져 있다. 열이 어떤 임계수준을 초과하면 핵심 성장단백질 (vital growth protein)의 구조적 변화가 비가역적인 포자의 불활성화를 초래하게 된다. 수분활성도가 낮을 수록 단백질이 불활성화 되는 온도는 증가하게 되며 이는 핵심 단백질의 불활성화를 더욱 어렵게 한다는 것은 잘 알려져 있다 (Sochava, 1977).

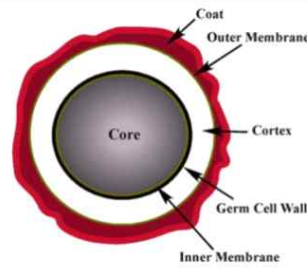


그림 1-91. 포자의 구조

- 결론적으로 수분활성도가 낮을 때 포자의 내열성이 큰 것은 단백질의 유동성과 구조변화가 저수분 상태에서는 어렵기 때문인 것으로 설명할 수 있다. 또 다른 인자는 증발은 흡열반응이므로 표면에서의 연속적인 수분 증발로 인해 국부온도가 저하되고 이로 인해 포자의 불활성화도 감소된다.
- 결과적으로 포자의 원래 수분함량이 유지될 때 열처리하는 동안 단백질 손상이 증가하게 될 것이다. 따라서 분체식품의 이상적인 살균기술은 주위 환경의 수증기의 분압을 높여 오염된 미생물로부터 수분이 증발되지 않는 조건 즉, 영양세포 및 내생포자의 수화된 상태가 그대로 유지되는 조건에서 열처리 하는 것이다.

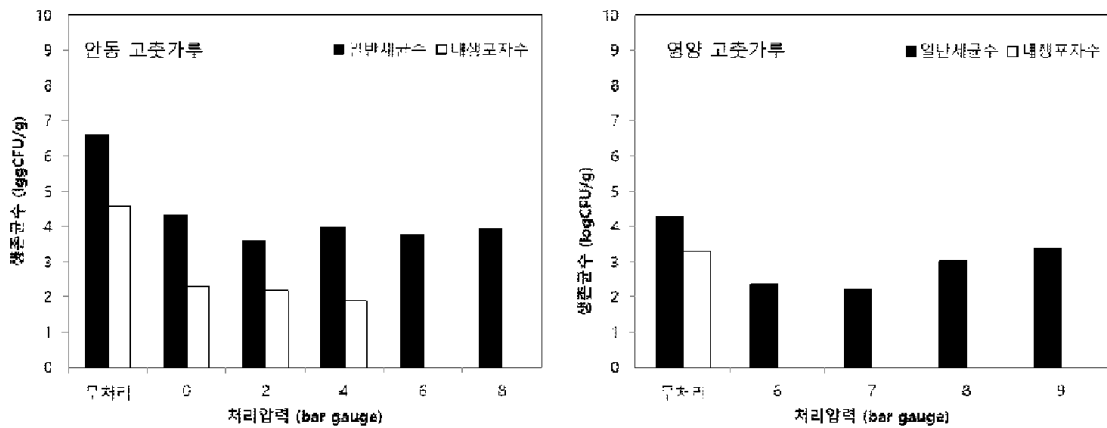
다. 신개념 살균기술에 의한 고춧가루의 내생포자 살균

- 이상에서 기술한 이론적 배경을 종합하면 살균하고자 하는 분체식품의 품질을 최고로 유지하는데 가장 중요한 핵심 인자는 살균 처리하는 과정 중에 수분함량이 일정한 수준으로 유지하는 것이다. 이와 같은 추론을 바탕으로 다음과 같은 살균공정을 개발하였다. (a) 분체식품을 압력매체를 이용하여 가압하는 단계; (b) 가압된 상태에서 분체식품을 가열하는 단계; (c) 가압, 가열된 등압등온 조건을 일정시간 유지하는 단계; (d) 가압상태에서 분체식품을 순간적으로 감압, 증발시키는 단계; 및 (e) 상압에서 분체식품을 냉각시키는 단계.

(1) 처리압력과 온도가 포자살균에 미치는 영향

- 시판 고춧가루 중 비교적 오염도가 높은 안동 고춧가루 (선비마을, 2015년산)와 오염도가 낮은 영양 고춧가루를 시료로 사용하였다. 고춧가루 시료 100g을 일정한 온도로 예열된 압력용기에 넣고 질소가스로 일정한 압력을 걸어주면서 가열한 다음 감압 배출시켰다. 이때 가압압력을 1~8 bar (게이지압) 범위에서 변화시키면서 150℃에서 50초간 처리한 후 일반세균수와 내생포자수를 측정하였다.

○ 그림1-92에 나타난 안동 고춧가루 (초기 오염도: 일반세균 6.58 logCFU/g, 내생포자 4.58 logCFU/g)의 경우 일반세균수는 처리압력에 큰 영향을 받지 않고 4.32~3.58 logCFU/g로 약 (2~3)log 감소되었다. 이에 비하여 포자는 처리압력이 증가함에 따라 현저히 감소되어 6 bar 이상의 압력에서는 포자는 완전히 사멸되어 검출되지 않았다. 영양 고춧가루의 경우에도 처리압력 6 bar 이상에서는 내생포자가 검출되지 않았다. 이와 같은 결과는 150℃, 6 bar에서 50초간 처리함으로써 포자가 우선적으로 사멸된다는 획기적인 새로운 살균기술인 것을 증명하는 것이다.



-남안동고춧가루

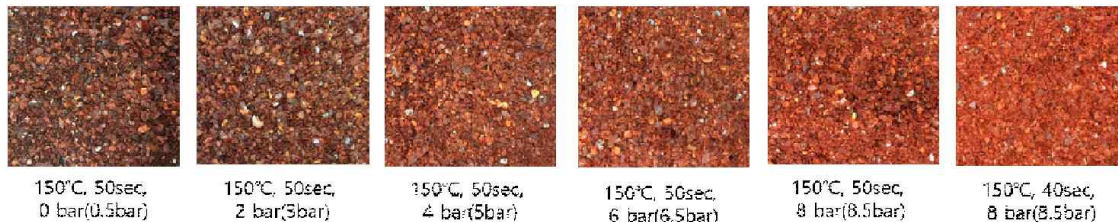


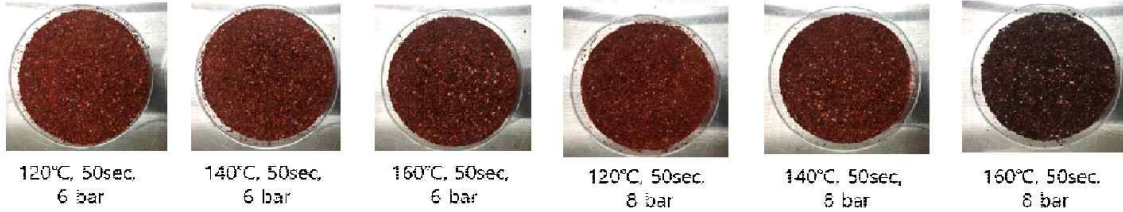
그림 1-92. 고춧가루에 오염된 내생포자의 살균에 미치는 압력의 영향

- 처리압력 6 bar 이상일 때 포자 살균효과가 우수하였으므로 압력 6 및 8 bar에서 처리온도의 영향을 검토하였다. 영양고춧가루의 경우에는 6 bar, 160℃, 50s 처리 했을 때, 또한 8 bar, 160℃, 50s 처리 했을 때 각각 포자는 검출한계 이하로 선택적으로 감소하였으나 오히려 일반세균수는 10²~10³ CFU/g 생존하였다.
- 이와 같은 결과로 미루어 보아 처리압력은 일반세균보다 포자의 사멸에 더 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있으며, 처리 압력-온도를 적절히 제어함으로써 일반세균과 포자의 사멸율을 조절 할 수 있을 것으로 판단된다.

표 1-58. 압력-온도 조합이 일반세균수 및 내생포자의 살균에 미치는 영향

시료	처리압력 bar(gauge)	처리온도 °C	처리시간 s	일반세균수 log(CFU/g)	내생포자수 log(CFU/g)	수분함량 (%)14.97
영양고춧가루	무처리			4.27	3.28	17.32
	6	120	50	4.16	2.31	14.97
	6	140	50	3.91	2.19	14.21
	6	160	50	2.84	ND	14.20
	8	120	50	4.33	3.32	13.96
	8	140	50	3.84	2.52	12.80
안동고춧가루	무처리		50	6.58	4.58	16.63
	6	120	50	5.07	3.55	16.26
	6	140	50	4.84	3.53	14.58
	6	160	50	4.01	1.90	14.12
	8	120	50	5.48	4.29	12.47
	8	140	50	4.74	3.61	10.95
	8	160	50	2.08	ND	6.74

-선비마을 고춧가루(남안동)



120°C, 50sec,
6 bar

140°C, 50sec,
6 bar

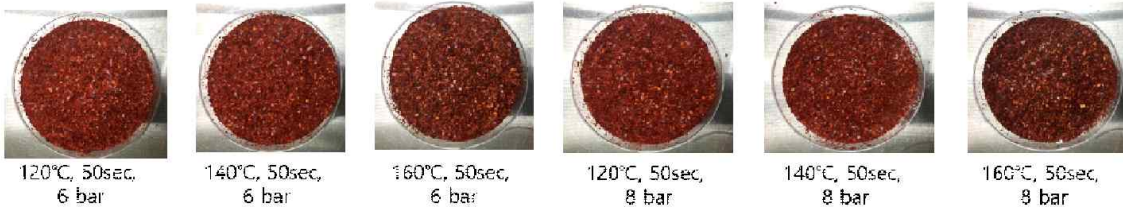
160°C, 50sec,
6 bar

120°C, 50sec,
8 bar

140°C, 50sec,
8 bar

160°C, 50sec,
8 bar

-빛깔찬 고춧가루(영양)



120°C, 50sec,
6 bar

140°C, 50sec,
6 bar

160°C, 50sec,
6 bar

120°C, 50sec,
8 bar

140°C, 50sec,
8 bar

160°C, 50sec,
8 bar

(2) 초기 수분함량의 영향

- 처리압력 및 온도의 영향을 살펴볼 때 고춧가루에 오염된 포자살균의 최적조건은 처리압력 8 bar, 처리온도 150°C인 것으로 판단되어 이 조건에서 시료의 초기수분함량의 영향을 살펴보았다.
- 영양 및 안동 고춧가루의 경우 수분함량 12~14% 일 때는 처리압력 8 bar, 처리온도 150°C에서 포자는 검출한계 이하로 사멸되었으나 16% 이상 고수분인 경우에는 포자가 사멸되지 않아 초기수분이 큰 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다.
- 고압용기 내의 고춧가루의 정확한 온도를 측정할 수 있는 시스템이 구축되지 않아 정확히 판단하기는 어려우나 고수분 조건인 경우 압력이 평형에 도달하기 전에 시료 표면에

서 일부 수분이 증발되면서 표면이 순간적으로 증발냉각 되기 때문인 것으로 추정된다.

표 1-59. 고춧가루 시료의 초기 수분함량이 포자살균에 미치는 영향

시료	초기 수분함량 (%)	처리압력 bar(gauge)	처리온도 °C	처리시간 s	일반세균수 log(CFU/g)	내생포자수 log(CFU/g)
영양고춧가루	12	8	150	50	2.48	ND
	14	8	150	50	2.64	ND
	16	8	150	50	3.13	2.14
	20	8	150	50	3.11	2.55
안동고춧가루	12	8	150	50	3.12	ND
	14	8	150	50	3.34	ND
	16	8	150	50	3.66	2.85
	20	8	150	50	4.24	3.61

(3) 과열수증기 살균공정과 고압살균 공정의 비교

- 이상의 결과를 종합하여 과열수증기 처리한 경우와 신개념 고압고온 처리한 경우 동일 온도와 처리시간 조건에서 고춧가루 오염도 저감효과를 표 1-60에 비교하였다. 과열수증기 처리한 경우 일반세균보다 내열성 세균의 살균효과가 더 높았으나 전반적으로 만족할 수준으로 저감되지 않았다.
- 이에 비하여 고압고온 처리한 경우 내열성균은 검출되지 않았으며, 일반세균수도 3 log 이하로 감소되어 살균목표를 달성하였으며 신개념 포자살균기술을 고추종합처리장에 도입한다면 오염도 10³ CFU/g 이하의 청정고춧가루 생산이 가능할 것으로 판단된다.

표 1-60. 과열수증기 처리와 고압살균의 고춧가루 살균효과 비교

살균공정	처리조건	일반세균 (logCFU/g)	내열성 미생물 (logCFU/g)	수분함량 (%)	
대조구 (무처리)	-	5.57	4.47	14.39	
과열수증기 처리 (오븐형)	160°C 50 s	5.48	3.58	12.73	
과열수증기 처리 (유동형)	160°C 50 s	5.06	2.86	9.95	
가압살균	160°C 8 bar 50 s	2.08	ND	6.74	

시료: 선비마을 (남안동 고춧가루 종합처리장)

제 2 절. 분체시료의 오염도 조사 및 pilot-scale 광펄스 살균시스템 제작

1. 분체 원료에 대한 잠재적 위해세균의 오염도 모니터링 및 오염미생물 저감화 수준 설정

- 오염도 조사를 위한 분체(분말)원료로는 마늘분말과 참깨를 선정하였고 (그림 2-1), 두 원료에 대한 일반세균, 대장균군, 곰팡이 오염도를 확인하였음.
- 참깨의 경우, 총 10여종의 제품으로 백화점, 마트, 재래시장 등에서 골고루 구입하였으며 원산지 역시 국산과 수입산(중국, 인도, 아프리카)이 골고루 포함되도록 구입하였으며, 이때 볶음 공정을 거친 참깨와 거치지 않은 참깨 각 5종씩을 선정하여 오염도 조사를 수행하였음.
- 마늘분말은 라면스프나 소스 등을 제조하는 업체에 공급되는 B-to-B 제품으로, 백화점이나 마트, 시장에서는 쉽게 구할 수 없어 본 협동과제의 참여기업인 태경농산에서 공급받은 마늘 분말 1종을 이용해 오염도 조사를 수행하였음.
- 두 원료의 총균, 대장균군, 곰팡이·효모 오염도를 파악한 결과는 표 2-1과 같음.
- 참깨의 경우, 볶음 공정을 거친 제품(시료 번호 1, 2, 4, 5, 6)에는 미생물이 검출되지 않았으나 볶음 공정을 거치지 않은 제품에서는 모두 10^{4-5} CFU/g 의 미생물(일반세균, 대장균, 곰팡이·효모)이 검출되었으며 백화점, 마트, 재래시장 제품 간의 차이는 보이지 않는 것으로 확인되었음.
- 마늘분말의 경우 오염 미생물이 대부분 곰팡이·효모 균(10^3 CFU/g)인 것을 확인하였고, 1차 가공을 거친 제품으로서 참깨에 비해 대장균군의 오염정도는 비교적 낮은 것으로 확인되었음.
- 현재 종자 농산물이나 분말제품을 다루거나 이를 이용하여 식품을 생산하는 업체들은 분체 시료 내에 존재하는 미생물을 2-3 log 정도 감소시키는 것을 목표로 두고 있으며, 단 시간에 제품을 변질시키지 않으면서 효과적으로 미생물을 살균시키는 기술이 필요한 것으로 사료됨.
- 본 연구에서도 개발하고자 하는 광펄스 살균시스템을 이용하여 대상식품의 살균도를 2-3 log 정도로 설정하여 최종제품의 미생물수를 10^3 CFU/g 이하(또는 법적허용 기준 이하)로 감소하고자 함.

	마늘 분말	참깨
외관		
수분함량(%)	7.5-8.0	4.5-5.0

그림 2-1. 마늘 분말과 참깨 외관 및 수분함량.

표 2-1. 참깨 및 마늘분말 오염도 조사

원료	원료 번호	구입처/원산지	오염도 (CFU/g)		
			일반세균	대장균군	곰팡이, 효모
참깨	1	백화점/국산	-	-	-
			-	-	-
			-	-	-
	2	백화점/국산	-	-	-
			-	-	-
			-	-	-
	3	백화점/국산	8.0×10^5	1.5×10^5	1.2×10^5
			6.6×10^5	5.0×10^4	1.3×10^5
			2.6×10^5	2.0×10^5	2.0×10^5
	4	마트/수입산*	-	-	-
			-	-	-
			-	-	-
	5	마트/수입산*	-	-	-
			-	-	-
			-	-	-
	6	마트/국산	-	-	-
			-	-	-
			-	-	-
	7	시장/국산	4.7×10^4	5.5×10^4	2.9×10^4
			4.0×10^4	3.0×10^4	5.5×10^4
			3.5×10^4	9.0×10^4	1.0×10^5
	8	시장/중국산	6.0×10^5	5.5×10^5	1.4×10^5
			8.6×10^5	1.2×10^5	5.1×10^5
			3.5×10^5	2.4×10^5	2.0×10^5
	9	시장/아프리카산	1.7×10^5	2.6×10^5	8.4×10^3
			1.8×10^5	2.4×10^4	8.0×10^3
			3.0×10^5	1.0×10^4	2.0×10^4
	10	시장/인도산	4.0×10^5	1.5×10^5	3.3×10^4
			2.9×10^5	3.2×10^4	2.6×10^4
			2.3×10^5	2.0×10^4	3.0×10^4
마늘 분말	1	태경농산/국산	8.5×10^3	7.0×10^1	2.0×10^3
			1.6×10^3	1.0×10^1	5.0×10^3
			2.4×10^3	1.0×10^2	4.0×10^3

수입산*: 정확한 원산지가 표기되어 있지 않음

- : 미생물 검출되지 않음

2. Batch식 소량 분체 광펄스 살균장치를 이용한 예비실험

- 대용량 분체 살균을 위한 광펄스 장치를 제작하기에 앞서 본 연구팀이 기존에 보유하고 있는 batch식 소량 살균장치를 이용한 예비실험을 통하여 마늘분말과 참깨의 살균 효과를 확인하였음.
- 마늘분말과 참깨는 각 1종씩을 선정하여 실험을 진행하였고, 한 번 살균 처리에 사용된 분체 시료의 양은 10 g이었음.
- 광원 lamp에서 12 cm 떨어진 지점에 분체 시료가 담긴 petri dish를 놓고 가변 전압과 처리 시간, mixing 작업 횟수를 조절하여 각각의 살균 효과를 파악하였음. 이 때, 분체에 광원이 조사되는 frequency는 5 Hz로 고정하였음.
- 가변전압은 700, 1200, 1600 V로 조절하였으며, 각 조건에서 측정된 광원의 에너지밀도는 8.74, 13.71, 16.93 $\text{mJ}/\text{cm}^2/\text{s}$ 임. 모든 조건에서 분체 시료는 5분 동안 광펄스 처리되었으며, 처리 가변전압에 따른 분체 시료 내 미생물 사멸효과는 그림 2-2와 같음.
- 가변 전압, 즉 식품에 조사되는 광원의 에너지밀도가 높을수록 두 분체 시료 내 존재하는 미생물의 사멸효과가 높아지는 것을 확인하였으며, 참깨와 마늘 분말에 존재하는 미생물은 16.93 $\text{mJ}/\text{cm}^2/\text{s}$ 의 에너지밀도(가변 전압 1600 V)에서 각각 최고 0.97, 0.68 log 감소하였음.
- 처리 시간에 따른 분체 내 미생물 사멸 효과를 확인하기 위해 에너지밀도 13.71 $\text{mJ}/\text{cm}^2/\text{s}$ 의 조건에서 각 분체를 1, 3, 5분 동안 광펄스 처리하였음. 광원의 frequency는 5 Hz로 고정하였으며, 각 처리 조건에 따른 미생물 사멸효과는 그림 2-3과 같음.
- 분체가 광원에 노출되는 시간이 길어질수록 살균 효과가 높아졌으며, 5분간 광펄스 처리 후 참깨와 마늘분말 내 미생물은 0.65, 0.47 log 사멸한 것을 확인하였음.
- 마늘분말보다 참깨의 사멸 효과가 비교적 높은 것으로 나타났는데 이는 참깨의 초기균수가 마늘 분말보다 높고 광원에 노출되는 참깨의 면적이 마늘분말보다 높기 때문인 것으로 사료됨.

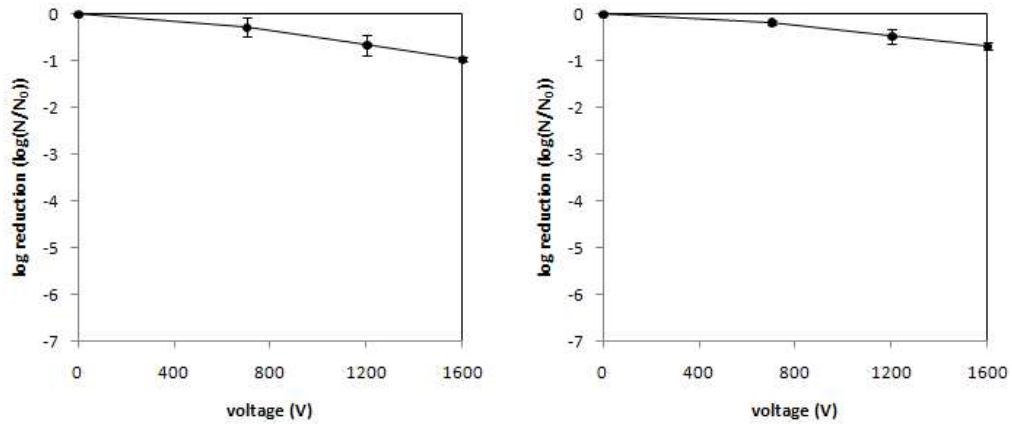


그림 2-2. 가변 전압에 따른 분체 시료 내 미생물 사멸 효과((A)참깨, (B)마늘분말)

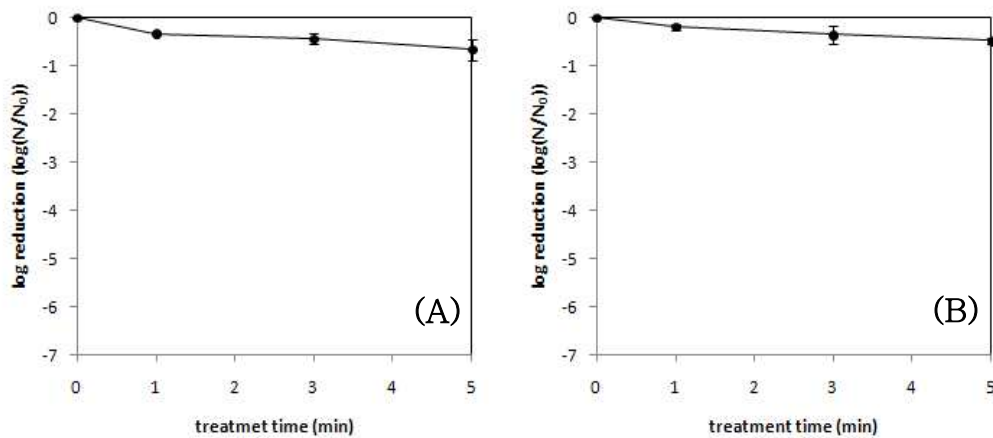


그림 2-3. 광펄스 처리 시간에 따른 분체 시료 내 미생물 사멸 효과((A)참깨, (B)마늘분말).

- 광펄스 살균 장치를 이용하여 분체에 존재하는 미생물의 살균력을 높이기 위해서는 높은 에너지밀도를 갖는 광원을 장시간 조사하는 것이 사실상 효과적임.
- 하지만 지나치게 높은 에너지 밀도의 광원 사용이나 장시간의 살균 처리는 살균 장치의 과열 현상을 유발시켜 분체의 색상, 향미 등의 품질 저하를 일으킬 수 있으므로 광펄스 처리할 분체 시료에 적절한 살균 조건이 확립되어야 함.
- 광펄스 처리 중 mixing 작업이 분체 시료 내 미생물 살균효과에 미치는 영향을 파악하기 위한 실험을 진행하였음.
- 광원 lamp에서 12 cm 떨어진 지점에 분체(분말) 시료가 담긴 petri dish를 놓고 14 mJ/cm²/s의 에너지밀도로 4분간 처리하였음. 이 때, 분체(분말) 시료에 혼합을 위한 stirring 작업을 가해주는 것이 살균 효과에 영향을 미치는지 알아보기 위해 처리 시간 4

분 동안 아무런 작업을 하지 않은 조건과 1분에 한번씩 mixing을 가해준 조건의 살균 효과를 파악, 비교하였음 (표 2-2).

- 전체적으로 마늘분말과 참깨에 존재하는 총균, 곰팡이 *Salmonella*, *Bacillus*의 살균 효과는 1 log 이내로 나타났고, 총 균수가 상대적으로 많았던 참깨의 살균 효과가 조금 더 높은 것으로 파악되었음.
- 살균 처리 중 시료에 stirring 작업을 가해주었을 때 살균 효과가 다소 높은 것을 확인하였으며 특히 참깨의 경우에는 1 log 이상의 살균 효과를 얻었음. 이는 분체 시료를 섞는 과정으로 인해 살균 처리되는 분체의 표면적이 증가하기 때문인 것으로 사료됨.
- 앞서 언급한 바와 같이 현재 종자 농산물이나 분말 제품을 다루거나 이를 이용하여 식품을 생산하는 업체들은 분체 시료 내에 존재하는 미생물을 2-3 log 정도 감소시키는 것이 목표이며, 기존의 batch식 광펄스 살균 장치를 이용하여 만족스러운 결과를 얻는 데에는 어려움이 있었음.
- 2-3 log 정도의 높은 사멸 효과를 얻기 위해서는 더욱 높은 에너지의 광원이 필요하며, 이를 위해서는 기존의 광원 lamp 및 광원 발생 장치의 업그레이드가 필수적임.
- 또한 살균 처리가 이루어지는 동시에 분체 시료가 stirring 될 수 있도록 chamber를 새롭게 디자인하여 분체가 빛에 노출되는 면적 및 시간을 증가시킬 수 있도록 설계되어야 함. 또한 빛의 왜곡 현상을 막도록 설계되어야 함.

표 2-2. Batch식 소량 분체 광펄스 살균 장치를 통한 마늘분말 및 참깨의 미생물 살균 효과

			살균 효과 (log reduction)	
			마늘 분말	참깨
처리시간	4분	총균수 (CFU/g)	0.38	0.52
			0.29	0.40
			0.03	0.12
			0.74	1.17
			0.36	0.89
			0.20	0.5
	1분×4회	곰팡이	0.02	0.43
			-	0.39
			-	0.30
			-	0.60
		<i>Salmonella</i>	-	0.29
			-	-
			0.17	0.32
			0.09	0.25
1분×4회	<i>Bacillus</i>	-	0.12	
		-	-	

- : 살균 효과가 파악되지 않음

3. 광펄스 살균시스템 및 분체(분말) 원료 살균을 위한 sample treatment chamber 제작

가. 광펄스 살균시스템 설계 및 제작

- 본 연구를 통하여 자체 개발된 광펄스 살균시스템은 전원공급부(power supply), 펄스발생기(pulse generator), 펄스변압기(transformer), 광원(light source) 그리고 처리용기(treatment chamber)로 구성되어 있음 (그림 2-4).
- 전원 공급부는 AC 220 V 입력 전원을 고전압 변압기를 통해 승압하고 DC로 정류하여 최대 DC 50 kV 전원을 발생시킬 수 있으며, 최대 허용치 전력은 50 kW임.
- 펄스 발생기는 광원에 펄스를 구성시킬 수 있는 펄스 발생망(pulse forming network, PFN)과 고전압의 전기를 순간적으로 방전시킬 수 있는 스위치로 구성되어 있음.
- 펄스 발생망은 광원에 인가되는 펄스의 형태와 길이를 결정하는 중요한 부분으로서 전원 공급부에서 공급된 전원을 충전하고 펄스의 상승시간(rising time)을 결정하는 축전지(capacitor, 1800 pF/each), 펄스의 길이와 하강시간(falling time)을 조절하는 방전 지연 유도기(discharge delay inductor, 2-20 μ H)로 되어 있으며, exponential decay pulse와 square wave pulse를 발생시킬 수 있도록 구성됨.
- 충전방식은 resonance charging이며 축전지에 충전된 고전압의 power를 순간적으로 방전하는 switch는 얼음극방전관(thyratron, 50 kV)을 사용하였으며, 방전시 발생하는 열은 cooling device를 사용하여 방출하였음.
- 광펄스 시스템 controller는 펄스의 폭을 0.5-4.5 ms까지, 광원 주파수는 1-20 Hz, trigger 전압을 최대 35 kV까지 쉽게 가변할 수 있도록 제작되었음 (그림 2-5).
- 일반적으로 광펄스 처리 장치에 사용되는 광원은 대부분 xenon 가스 또는 krypton 가스가 고압으로 충전되어 있는 quartz 재질의 lamp를 사용함.
- 본 실험에 사용된 광원 lamp는 더욱 높은 강도의 광원을 얻기 위하여 예비실험에서 사용하였던 기존의 batch식 소형 살균장치에 장착된 lamp(type NL4006)를 대체하여 59 kPa의 압력으로 xenon을 충전한 quartz 재질의 Heraeus Noble light XAP series(type NL9553)를 사용하였음 (그림 2-6).
- 본 연구를 통하여 개발된 광펄스 살균시스템과 기존의 batch식 소형 살균장치와의 광원의 강도를 비교하기 위해 spectroradiometer를 이용하여 에너지밀도를 측정해 본 결과 새로 개발된 시스템의 에너지밀도가 기존 장치에 비해 10배 이상 높은 것으로 나타났음 (그림 2-7).

- Xenon flash lamp는 xenon gas로 충전되어 있어 lamp로부터 빛을 발생시키게 하기 위해서는 xenon gas를 여기(excitation) 시켜 plasma를 형성시켜야 하며, 이를 위한 최소 전압은 16 kV이며 lamp에는 상시적으로 600-2100 V의 전압이 공급되어야 함.

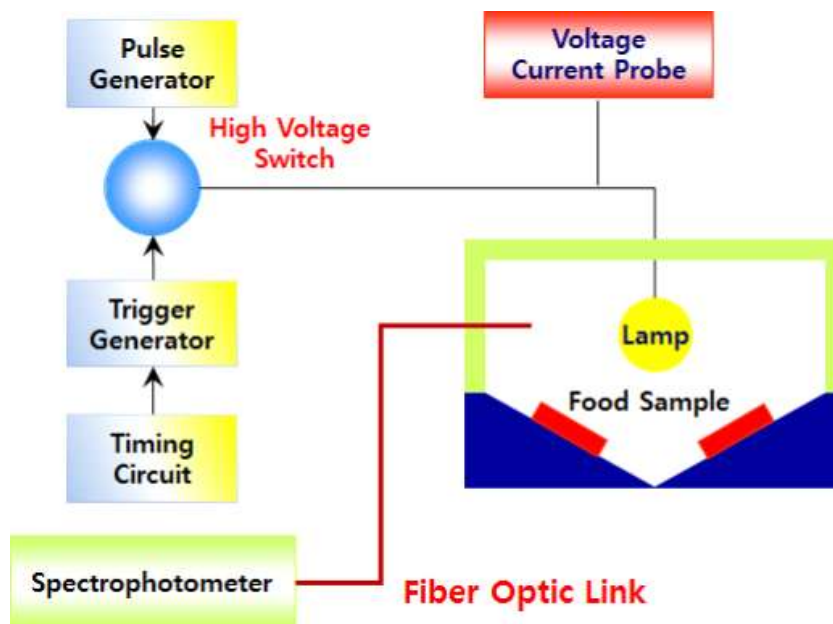


그림 2-4. Schematic diagram of high-intensity pulsed light system

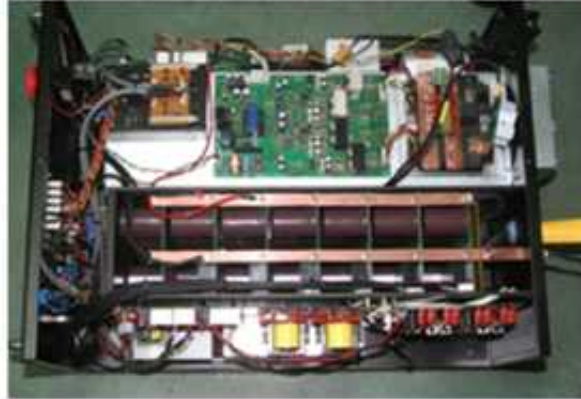


그림 2-5. 고전압펄스 트리거 발생 하드웨어(위) 와 광펄스 시스템 controller 외형(아래).



그림 2-6. 광원 lamp type NL9553(위, 27.1 cm) 과 type NL4006(아래, 14.5 cm).

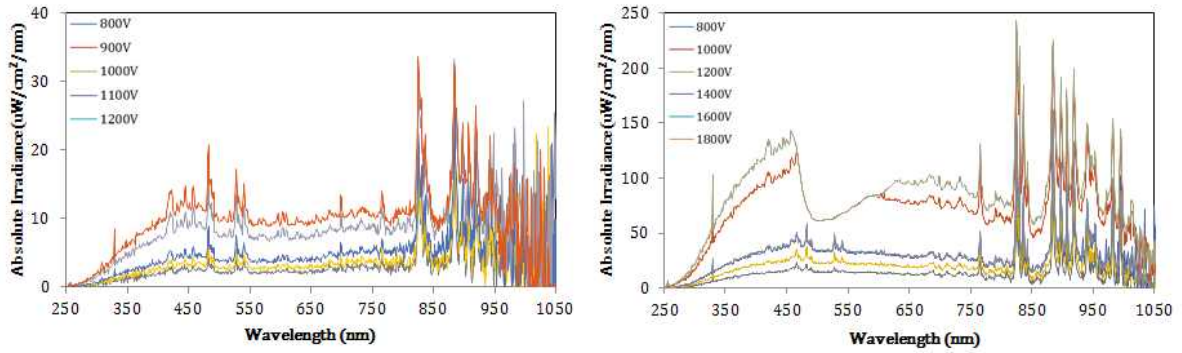


그림 2-7. 개발된 광펄스 살균시스템과 기존 장치와의 에너지밀도 비교.

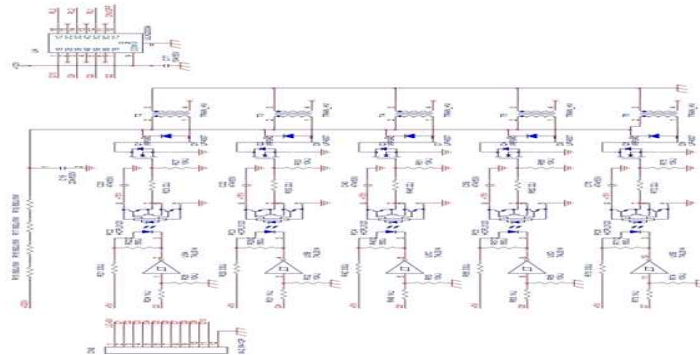


그림 2-8. 고전압펄스 트리거 발생장치 회로도

- 광을 발생시키기 위한 triggering 방식은 external triggering 방식으로 높은 에너지 밀도를 갖는 광을 발생시킬 수 있으며 (그림 2-8), 일반 중소기업이나 소규모의 생산 공장에서 쉽게 사용할 수 있도록 AC 220 V 50/60 Hz 단상의 전원을 사용하고 소비전력은 약 1.2 kW로 설계되었음.
- 전원 장치로부터 발생하는 전원의 강도와 램프에 인가되는 전압의 세기, 펄스의 길이 (pulse duration)를 측정하기 위해 spectroradiometer와 oscilloscope를 사용하였음.

나. Sample treatment chamber 설계 및 제작

- Sample treatment chamber는 광펄스 처리 중 살균 대상식품이 실제로 광에너지를 받는 부분으로서 균일한 빛이 분체(분말) 식품 개별입자에 골고루 조사될 수 있도록 설계되어야 하며, 고전압이 인가되는 장치이므로 안전성 확보가 중요시 됨.

- 회분식과 연속식의 두 종류를 생각해 볼 수 있는데, 회분식의 경우 시료의 상단부만이 광원을 직접적으로 받게 되고 하단부는 처리를 받지 못하여 시료가 균일하게 광원에 노출되지 않아 처리가 불완전해지는 현상이 나타남.
- 이런 단점을 보완하기 위해 chamber 내 광원 위치를 시료의 상단부와 하단부, 좌우에 설치하는 방안을 고려해 볼 수 있으나 이는 비효율적으로 고가의 장치비용이 드는 단점이 있음. 따라서 시료를 광원에 최대한 노출시킬 수 있는 새로운 디자인의 chamber 설계가 필수적임.
- 본 연구에서는 이러한 점들을 고려하여 분체(분말) 살균을 위한 sample treatment chamber를 설계하여 제작하였는데 개발된 장치는 크게 sample container, treatment chamber, 그리고 chiller로 이루어져 있으며 전체적인 장치 모식도는 (그림 2-9)과 같음.
- 살균 처리를 위한 분체(분말) 시료는 기기 하단부의 hopper에 들어가며, 최대 3 L의 분체 시료를 담을 수 있도록 설계되어 있음 (그림 2-10).
- 분체 시료는 air compressor에 의해 파이프를 따라 기기 상단부의 acrylic cyclone chamber로 이송되어 chamber 위에서 아래로 떨어지게 되는데 이 때 진공 상태의 chamber 내에서 분체는 cyclone을 형성하며 떨어지도록 하여, 분체가 chamber 내에 머물러 있는 시간을 증가시킬 뿐만 아니라 광원을 받는 분체(분말) 시료의 표면적을 최대화시킬 수 있도록 함.
- 떨어진 시료는 일정한 속도로 작동되는 rotary valve에 의해 일정량이 hopper에 다시 모이게 되고 다시 파이프를 따라 chamber 내로 이송되어 연속적으로 살균 처리가 가능하도록 제작됨.
- 광원 램프는 chamber 내 중앙부에 위치한 석영관 재질의 노즐 장치 내부에 장착되어 있는데, 석영관 내부로는 냉각수가 순환할 수 있는 chiller 장치가 연결되어 살균 처리 중 램프에서 과도한 열이 발생하는 것을 막아주고 chamber 내 온도를 일정하게 유지시킬 수 있도록 제작함. 또한 이는 램프 수명 연장 및 균일한 세기의 광원을 이용해 살균 처리할 수 있다는 점에서 효과적임.

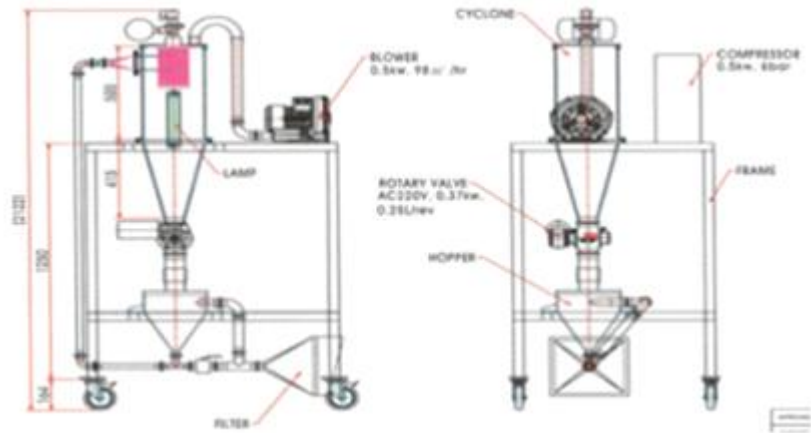


그림 2-9. 분체(분말) 살균용 광펄스 살균장치 설계도

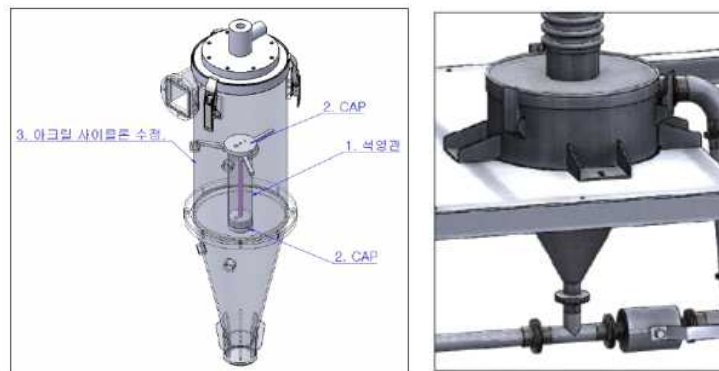


그림 2-10. acrylic cyclone chamber(위) 와 hopper (아래)

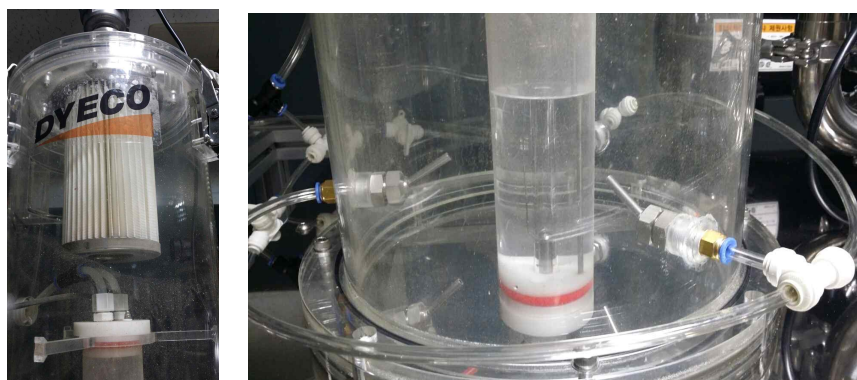


그림 2-11. 분체(분말)용 광펄스 필터 장치와 스폿 에어노즐 장치

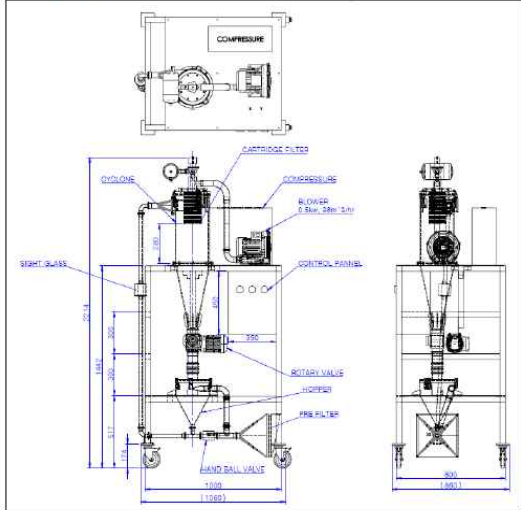
- Chamber 내부 압력 조절 및 분체 시료의 원활한 cyclone 형성을 위해 chamber 내부의 공기가 들어갔다 빠져나가게 되는데, 공기가 외부로 빠져나가는 과정에서 분체 시료가 함께 빠져나가는 것을 방지하기 위해 chamber 상단부에 필터를 설치함 (그림 2-11).
- 살균 처리 중 필터에 분체 시료가 끼거나 달라붙는 현상을 방지하기 위해 필터 장치에 강한 바람을 불어넣어 시료를 떨어뜨릴 수 있는 blower 장치를 기기 상단부에 연결함.
- 아크릴로 제작된 chamber를 이용하여 분체 시료를 장시간 순환시키는 과정에서 시료가 chamber 외벽 및 광원 lamp의 석영관 주위에 달라붙는 현상을 발견함. 이는 살균 과정 중 광원이 효과적으로 분체 시료에 조사될 수 없으며 살균 효과를 떨어뜨리는 결과를 낼 수 있음. 이를 방지하기 위해 chamber 중반부와 하단부에 석영관을 아래에서 위로 불어주는 스폿 에어노즐을 각각 세 지점, 총 여섯 지점에 장착함.
- 분체(분말) 시료의 원활한 흐름 및 안정적인 광원 발생을 눈으로 확인하기 위해 chamber 를 1차적으로 투명한 아크릴 재질로 제작하였으나, 향후에는 스테인리스 재질로 변경할 계획임. 이는 분체(분말) 시료가 chamber 내벽에 달라붙는 현상을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 광원의 반사·산란 효과를 일으켜 살균 효율의 증가에도 도움이 될 것으로 사료됨.
- 이 장치의 사양 역시 일반 기업이나 생산 공장에서도 사용할 수 있는 AC 220 V, 60 Hz 단상의 전원을 사용하였으며, blower 모터, rotary valve, compressor 등의 소비전력은 모두 1.2 kW 이하로 설계되었음.

다. 장비 사용 매뉴얼

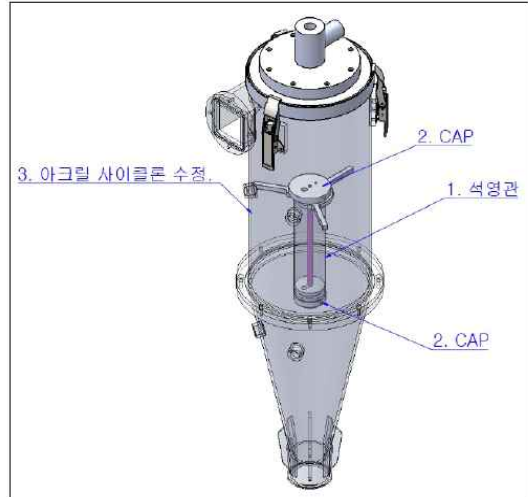
- 개발된 장비의 안전한 사용을 위해 기본적인 매뉴얼을 1차적으로 작성하였으며, 향후 장비를 실제로 사용하면서 업그레이드할 계획임.
- 현재 작성된 매뉴얼은 다음과 같이 구성되어 있음.

1. 도면

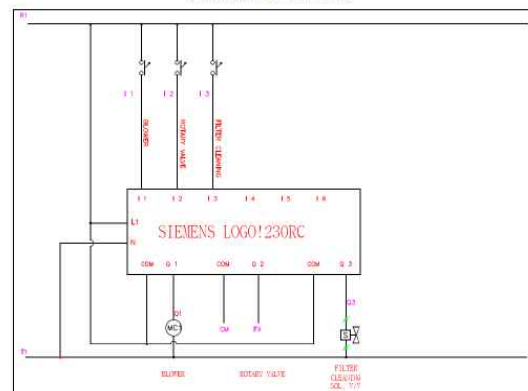
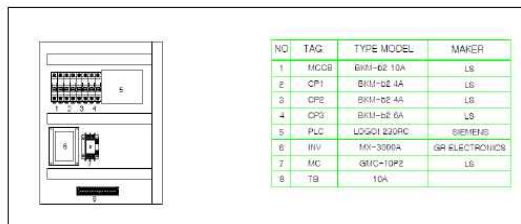
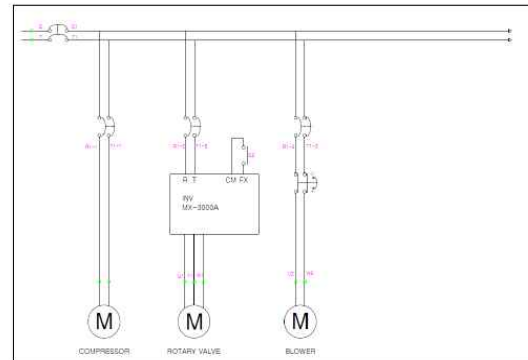
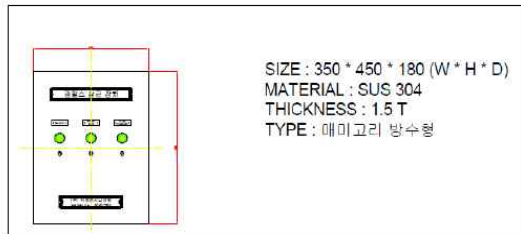
1) 제품 전체 도면



2) 아크릴 사이클론 및 석영관 도면



3) 전기 도면

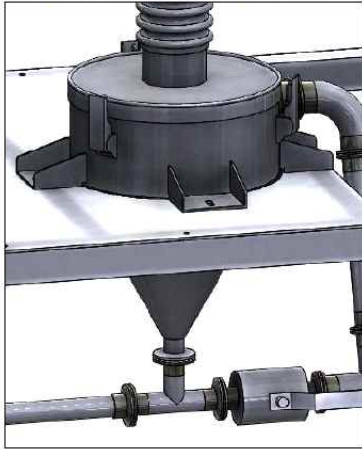


2. 장비 사양

항목	사양
메인 전원	220V, 1P, 1.2kW
전체 Size	1000(W) x 2214(H) x 800(D)
Ring Blower	0.5kW, 2P, 1HP, 220V, 60Hz
Rotary Valve	Sanitary, Stainless Steel 304, Φ80, IP65
Compressor	500W, Max. 8bar, 89L/min air생산

3. 시료 준비

- 광필스 살균장치에 넣을 분체 준비
- 시료량 : 200~300g
- 시료 넣는 곳 : 장비 하단 호퍼 (아래 그림 참조)



도7. 호퍼

4. FILTER CLEANING 타임 수정 방법

TIME BLOCK
B01
FILTER CLEANING
TIME 설정

1. 호퍼가빈에서 먼저 ESC 버튼을 누른다.

2. 화면이 전환되면 상,하 화살표(▲▼) 키를 이용하여 수정할 원하는 BLOCK 화면의 번호를 선택하여 키를 누른다.

TIME BLOCK
B01
FILTER CLEANING
TIME 설정

3. 화면이 전환되면 상,하 화살표(▲▼) 키를 이용하여 수정할 원하는 BLOCK 화면의 번호를 선택하여 키를 누른다.
4. 원하는 BLOCK 화면으로 전환되면 OK 키를 눌러 상,하,좌,우 화살표(▲▼◀▶) 키를 이용하여 타임 설정하는 시간대로 설정한다.
5. 원하는 시간으로 설정 후 OK 키를 눌러 설정시킨다.

TIME BLOCK
B01
FILTER CLEANING
TIME 설정

6. ESC 키를 눌러 메뉴 화면으로 이동시킨다.
7. 다시 ESC 키를 눌러 초기 동작모드나 화면으로 전환시킨다.

5. 가동 방법

- 1) 호퍼에 시료를 넣는다.
- 2) 장비 전체가 제대로 조립 되어 있는지 확인 후, 장비의 메인 전원을 공급한다. (220V, 1P)
- 3) 장비 상부의 컴프레서를 켜다.
- 4) 광필스 살균장치 CONTROL PANEL을 켜다.
- 5) 광필스의 광원을 전원 연결 한다.
- 6) 광필스 살균장치 CONTROL PANEL의 BLOWER, ROTARY VALVE, FILTER CLEANING을 켜다.
(여기서 FILTER CLEANING 버튼은 FILTER가 막혔을 때만 사용해도 괜찮다.)
- 7) 가동하고자 하는 시간만큼 장비를 가동한다.

6. 가동 정지

- 1) 가동이 완료되면 CONTROL PANEL의 스위치를 모두 내리고, 광필스 광원 전기공급을 중단한다.
- 2) 살균된 분체를 HOPPER에서 꺼낸 후 장비를 세척 한다.

7. 장비 세척 및 조립

- 동영상 참고

4. 광펄스 살균시스템을 이용한 살균 조건 확립 및 살균 효과 검증

가. 광펄스 살균시스템

- 본 연구를 통하여 자체 개발된 광펄스 살균시스템은 전원공급부(power supply), 펄스발생기(pulse generator), 펄스변압기(transformer), 광원(light source) 그리고 처리용기(treatment chamber)로 구성되어 있음.
- 전원 공급부는 AC 220 V 입력 전원을 고전압 변압기를 통해 승압하고 DC로 정류하여 최대 DC 50 kV 전원을 발생시킬 수 있으며, 최대 허용전력은 50 kW임.
- 펄스 발생기는 광원에 펄스를 구성시킬 수 있는 펄스 발생망(pulse forming network, PFN)과 고전압의 전기를 순간적으로 방전시킬 수 있는 스위치로 구성되어 있음.
- 펄스 발생망은 광원에 인가되는 펄스의 형태와 길이를 결정하는 중요한 부분으로서 전원 공급부에서 공급된 전원을 충전하고 펄스의 상승시간(rising time)을 결정하는 축전지(capacitor, 1800 pF/each), 펄스의 길이와 하강시간(falling time)을 조절하는 방전 지연 유도기(discharge delay inductor, 2-20 μ H)로 되어 있으며, exponential decay pulse를 발생시킬 수 있도록 구성됨.
- 충전방식은 resonance charging이며 축전지에 충전된 고전압의 power를 순간적으로 방전하는 switch는 열음극방전관(thyratron, 50 kV)을 사용하였으며, 방전시 발생하는 열은 cooling device를 사용하여 방출하였음.
- 광펄스 시스템 controller는 펄스의 폭을 0.5-4.5 ms까지, 광원 주파수는 1-20 Hz, trigger 전압을 최대 35 kV까지 쉽게 가변할 수 있도록 제작되었음(그림 2-12).
- 본 실험에 사용된 광원 lamp는 59 kPa의 압력으로 xenon을 충전한 quartz 재질의 lamp로 Heraeus Noble light XAP series(type NL9553, 길이 27.1 cm)이 사용되었음(그림 2-13).
- Xenon flash lamp는 xenon gas로 충전되어 있어 lamp로부터 빛을 발생시키게 하기 위해서는 xenon gas를 여기(excitation) 시켜 plasma를 형성시켜야 하며, 이를 위한 최소 전압은 16 kV이며 lamp에는 상시적으로 600-2100 V의 전압이 공급되어야 함.
- 광을 발생시키기 위한 triggering 방식은 external triggering 방식으로 높은 에너지밀도를 갖는 광을 발생시킬 수 있으며, 일반 중소기업이나 소규모의 생산 공장에서도 쉽게 사용할 수 있도록 AC 220 V 50/60 Hz 단상의 전원을 사용하고 소비전력은 약 1.2 kW로 설계되었음.

- 전원 장치로부터 발생하는 전원의 강도와 램프에 인가되는 전압의 세기, 펄스의 길이를 변화시키면서 광원의 에너지밀도를 spectroradiometer를 이용하여 측정하였으며(그림 2-14), 최고 조건인 펄스 폭 3.0 ms, 가변전압 2400 V에서 $185.23 \text{ mJ/cm}^2 \text{ pulse}$ 의 에너지 밀도가 측정되었음.



그림 2-12. 고전압펄스 트리거 발생 하드웨어(왼쪽) 와 광펄스 시스템 controller 외형(오른쪽).



그림 2-13. 광원 lamp

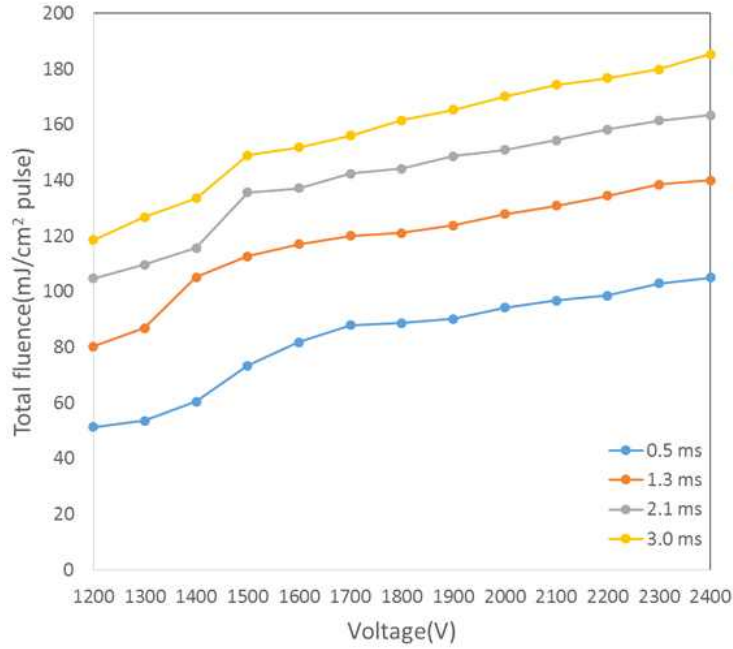


그림 2-14. 가변전압과 펄스폭에 따른 광원의 에너지밀도 변화

- 분체식품(종자 농산물) 살균을 위한 treatment chamber 역시 자체 제작되었으며 크게 sample container, treatment chamber, 그리고 chiller로 이루어져 있음(그림 2-15).
- 살균 처리를 위한 분체식품(종자 농산물)은 기기 하단부의 hopper에 들어가며, 최대 3 L의 분체 시료를 담을 수 있도록 설계되어 있음.
- 분체 시료는 air compressor에 의해 파이프를 따라 기기 상단부의 acrylic cyclone chamber로 이송되어 chamber 위에서 아래로 떨어지게 되는데 이 때 진공 상태의 chamber 내에서 분체는 cyclone을 형성하며 떨어지도록 하여, 분체가 chamber 내에 머물러 있는 시간을 증가시킬 뿐만 아니라 광원을 받는 분체식품(종자 농산물)의 표면적을 최대화시킬 수 있도록 함.
- 떨어진 시료는 일정한 속도로 작동되는 rotary valve에 의해 일정량이 hopper에 다시 모이게 되고 다시 파이프를 따라 chamber 내로 이송되어 연속적으로 살균 처리가 가능하도록 제작되었으며, 단시간에 많은 양의 샘플을 처리 가능하도록 하였음(최대 처리용량: 30 kg/h).
- 광원 램프는 chamber 내 중앙부에 위치한 석영관 재질의 노즐 장치 내부에 장착되어 있는데, 석영관 내부로는 냉각수가 순환할 수 있는 chiller 장치가 연결되어 살균 처리 중 램프에서 과도한 열이 발생하는 것을 막아주고 chamber 내 온도를 일정하게 유지시킬 수 있도록 제작함. 또한 이는 램프 수명 연장 및 균일한 세기의 광원을 이용해 살균 처리할 수 있다는 점에서 효과적임.



그림 2-15. 분체식품(종자 농산물) 살균용 광펄스 살균장치

나. 분체식품(종자 농산물) 선정 및 초기 균수 확인

- 시중에 판매되고 있는 분체식품(종자 농산물) 20여 종을 구입하여 treatment chamber에 넣고 약 2분간 cyclone을 형성하여 떨어지도록 하여 실험에 적합한 샘플을 선정하였음.
- 마늘 분말, 들깨, 참깨분 등 시료가 당이나 유지성분을 함유하고 있는 경우 chamber 내부를 돌다가 벽면에 달라붙어 30초 이상 처리하는 데에 어려움이 있었으며 기장, 팥, 서리태 등 강도가 약한 시료는 chamber 내부와 파이프라인을 돌면서 시료끼리 부딪히면서 깨지는 현상이 나타나 본 연구에서 개발된 살균시스템의 시료로 적합하지 않았음. 또한 말린 옥수수, 구기자, 건포도 등 시료의 입자가 큰 시료의 경우 chamber에서 파이프라인으로 넘어가기 전 rotary valve에서 막히거나 파이프라인에서 막히는 현상이 일어나 선정 시료에서 제외되었음.
- 선정된 시료는 참깨, 결명자, 차조 세 종류로 2분 이상 처리했을 때 막히는 부분이 없고 시료의 파손이 비교적 덜 일어나는 것을 확인하였음. 세 시료의 초기 균수를 측정할 결과 참깨, 결명자, 차조 순으로 10^5 , 10^3 , 10^2 CFU/g임(그림 2-16).



그림 2-16. 시료(왼쪽부터 참깨, 결명자, 차조)

다. 살균 조건 설정

- 본 연구를 통해 개발된 power supply에서 광원의 에너지밀도를 조절할 수 있는 인자는 DC voltage(V), frequency(Hz), pulse duty(ms), treatment time(sec)이고 에너지밀도에 따른 각 분체식품(종자 농산물)의 사멸 효과를 파악하기 위해 각 인자들을 조절하였음.
- 세 종류의 시료는 1회에 150 g을 계량하여 살균시료로 사용하였으며, DC voltage는 1200, 1600, 2000, 2400 V로, pulse duty는 0.5, 2.1, 3.0 ms로, treatment time은 30, 60, 90, 120 sec로 조절하여 광펄스 처리되었음. 이 때 frequency는 2 Hz, triggering voltage는 35 kV로 고정하였음.
- Frequency에 따른 사멸 효과를 확인하기 위해 참깨를 이용하여 1, 2, 3, 4, 5 Hz로 변경해가며 실험하였으며, 이 때 DC voltage는 1800 V, triggering voltage는 35 kV, pulse duty는 0.5 와 2.1 ms, treatment time은 120 sec로 고정하여 실험하였음.
- Triggering voltage에 따른 사멸 효과를 확인하기 위해 참깨를 이용하여 17, 35 kV로 변경해가며 실험하였으며, 이 때 DC voltage는 1800 V, frequency는 2 Hz, pulse duty는 0.5 ms, treatment time은 120 sec로 고정하여 실험하였음.
- 광펄스 처리된 시료는 모두 회수한 후 10 g을 취하여 90 mL의 증류수가 들어있는 멸균 백에 넣어 스토마커로 3분간 균질화시켰음. 이 중 1 mL를 취하여 각 시료의 초기균수에 맞춰 9 mL의 증류수로 희석 한 후에 100 μ L를 취하여 PCA 배지에 spreading시켰으며 이를 37 $^{\circ}$ C 배양기에 넣어 24 h 배양하였음.
- 배양이 완료된 배지는 30-300 개로 뜨는 colony 수를 세어 각 시료의 초기 균 수(N_0)와 처리 후 균 수(N)의 비율($\log(N_0/N)$)을 계산하여 사멸 효과를 파악하였음.
- 모든 실험은 3반복되었음.

라. 살균 효과 확인

- 광펄스 살균시스템을 이용하여 DC voltage, pulse duty, treatment time에 따른 참깨, 결명자, 차조 내 미생물 저감 효과를 확인하였음(그림 2-17).
- 참깨의 경우, 최고 조건인 DC voltage 2400 V, pulse duty 3.0 ms, treatment time 120 sec에서 평균 1.46 log 의 사멸효과를 나타내었으며, 그 외 조건에서는 평균 0.05-1.2 log reduction의 사멸효과를 보였음. DC voltage가 2400, 2000, 1600, 1200 V 순으로 낮아질수록 최고 조건인 pulse duty 3.0 ms, treatment time 120 sec에서의 사멸효과가 1.46, 0.79, 0.46 log reduction으로 낮아지는 것을 확인하였음.
- 결명자의 경우, 최고 조건에서 평균 1.05 log reduction의 사멸효과를 나타내었으며, 그 외 조건에서는 평균 0.02-0.70 log reduction의 사멸효과를 보였음. DC voltage가 낮아질수록 최고 조건에서의 사멸효과는 1.05, 0.19, 0.23 log reduction의 사멸효과를 얻었음.
- 차조의 경우, 최고 조건에서 평균 0.77 log reduction의 사멸효과를 나타내었으며, 전체적으로 0.01-0.67 log reduction의 사멸효과를 보였음. 참깨와 결명자에 비해 사멸효과가 낮았으며 광원 세기에 따른 사멸효과의 변화 정도도 미미한 것으로 확인되었음.
- DC voltage를 고정하고 광원의 세기에 따른 시료별 미생물 사멸 효과를 추세선을 통해 확인한 결과, 세 시료 모두 pulse duty와 treatment time이 높아질수록 사멸 효과가 높아지는 양상을 띠었으며 그 양상은 DC voltage가 높을수록 증가하는 양상이 비교적 뚜렷하게 나타나는 것을 확인하였음.
- 참깨, 결명자, 차조 순으로 광원 세기의 증가에 따른 미생물 사멸 효과의 증가 양상이 비교적 뚜렷하게 나타나는 것을 확인하였으며, 이는 시료의 크기(particle size), 화학적 조성(chemical composition), 초기균수(initial load of microorganism), 껍질의 물리적 강도(physical strength) 등의 차이에서 비롯된 것으로 사료됨. 향후 이에 대한 추가적인 연구가 필요함.
- Pulse duty를 고정하고 광원의 세기에 따른 미생물 사멸 효과를 추세선을 통해 확인한 결과, 역시 세 시료 모두 DC voltage와 treatment time이 높아질수록 사멸 효과가 높아지는 양상을 띠었으며 그 양상은 pulse duty가 높을수록 증가하는 양상이 비교적 뚜렷하게 나타나는 것을 확인하였음.
- Frequency에 따른 사멸 효과를 확인하기 위해 참깨를 대상 시료로 하여 1, 2, 3, 4, 5 Hz로 변경해가며 실험 한 결과 frequency가 높아질수록 사멸효과가 높아지는 경향을 보였으며, 펄스폭이 0.5 ms에서 2.1 ms로 높아질 때 최고 사멸 효과가 0.46에서 0.86 log reduction으로 증가하는 것을 확인하였음(그림 2-18).

- Triggering voltage에 따른 사멸 효과를 확인하기 위해 참깨를 대상 시료로 하여 17, 35 kV로 변경해가며 실험한 결과, 두 조건 모두 treatment time이 증가할수록 사멸효과가 증가하는 양상을 보였으나 triggering voltage에 따른 사멸효과의 유의적인 차이는 보이지 않았음(그림 2-19).
- 두 triggering voltage 사이에 사멸 효과가 유의적으로 차이가 나지 않는 이유는 triggering voltage가 광원의 세기에 영향을 미치지 않기 때문이며, 이는 이전의 충분한 실험을 통해 확인할 수 있음. 하지만 triggering voltage가 균수만이 아니라 미생물에 미치는 직접적인 영향에 대해서는 추가적인 연구가 필요함.

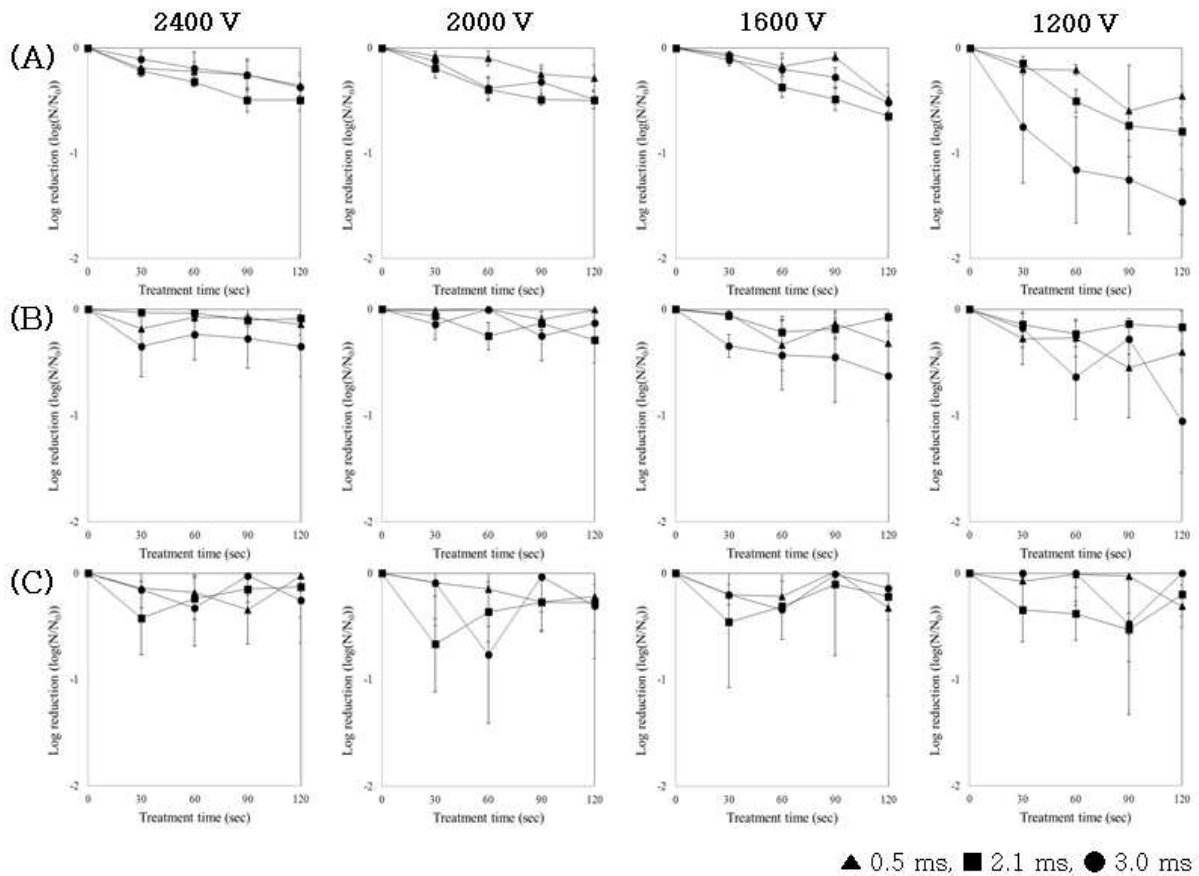


그림 2-17. DC voltage, pulse duty, treatment time에 따른 분체식품 미생물 저감 효과

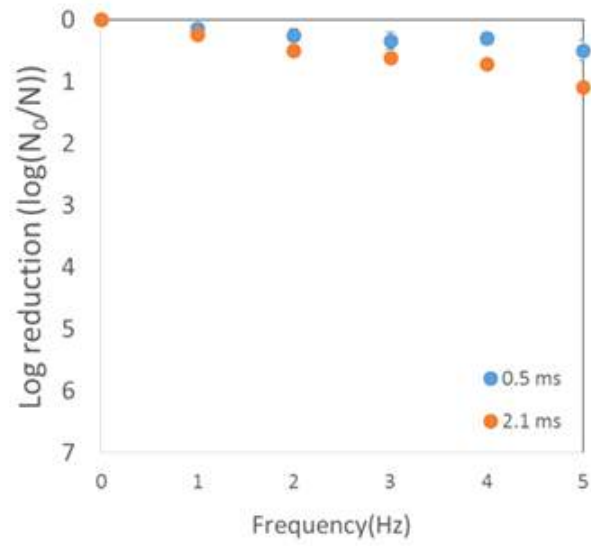


그림 2-18. Frequency와 pulse duty에 따른 챔개 내 미생물 저감 효과

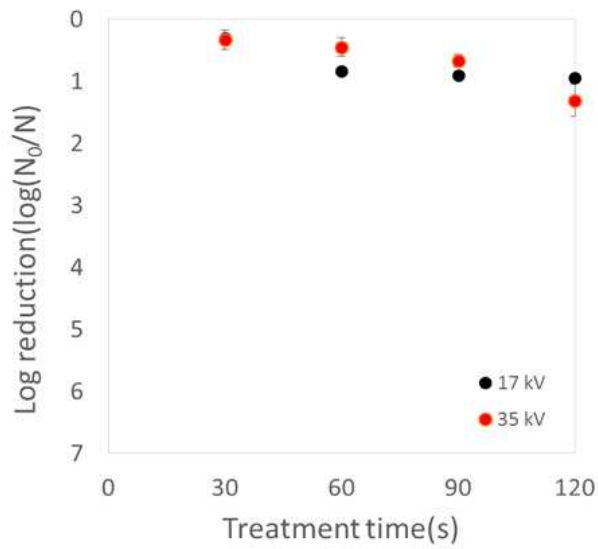


그림 2-19. Triggering voltage와 treatment time에 따른 챔개 내 미생물 저감 효과

5. 기존 광펄스 살균시스템의 개선 및 산업적 적용가능한 pilot-scale 광펄스 살균시스템 디자인 설계 및 제작

- 본 연구에 사용된 광펄스 살균시스템은 treatment chamber 내부에서 분체 시료가 cyclone 형식으로 원활히 떨어지는 것을 확인하기 위해 투명한 재질인 아크릴로 제작되었으며 관찰 결과 분체 시료가 적절히 chamber 내부에서 돌아가면서 chamber 내에 머무는 것을 확인하였음.
- 기존의 디자인은 그대로 유지하면서 재질을 스테인레스로 교체하여 제작 완료하였으며, 이로 인해 광원이 밖으로 노출되었던 기존 장치의 단점 보완은 물론, chamber 내부에서 빛의 반사 작용에 의한 사멸 효과 증가를 기대할 수 있음(그림 2-20).
- 기존 장치는 광펄스 살균 처리 후 treatment chamber 벽면과 lamp가 들어 있는 석영관 겉면, 그리고 chamber 윗부분에 존재하는 필터 부분에 분체 시료가 달라붙고, chamber 중간에 에어노즐과 냉각수 호스가 연결되어 있어 그 부분에 분체 시료가 끼어 꼼꼼한 청소가 필수적이었음. 하지만 기존 장치의 윗부분에 달려있는 뚜껑을 열어서만 청소가 가능했기 때문에 chamber의 아랫부분에 존재하는 lamp 석영관 겉면과 호스에 끼어 있는 시료의 청소가 힘들다는 단점이 있었음(그림 2-21).
- 따라서 스테인레스 재질로 교체된 광펄스 살균시스템의 chamber 중간 부분에 문을 설치하여 청소시 중간 부분의 문을 열어 lamp 석영관 겉면과 chamber의 아랫부분의 청소를 원활히 할 수 있도록 업그레이드하였으며 문 설치시 문틈에서 공기가 새어나가거나 시료가 끼지 않도록 설계하였음.
- 또한 기존 장치의 에어노즐의 효과가 미미하고 오히려 에어노즐에 시료가 끼어 광펄스 처리에 부적절하였기 때문에 이를 제거하고 chamber 내부를 통과하는 연결선이나 호스 등은 최소로 하여 살균 효과 및 청소에 용이하도록 하였음(그림 2-22).



그림 2-20. 스테인리스 재질의 pilot-scale treatment chamber



그림 2-21. 청소가 용이하지 않은 기존 광펄스 장치의 treatment chamber

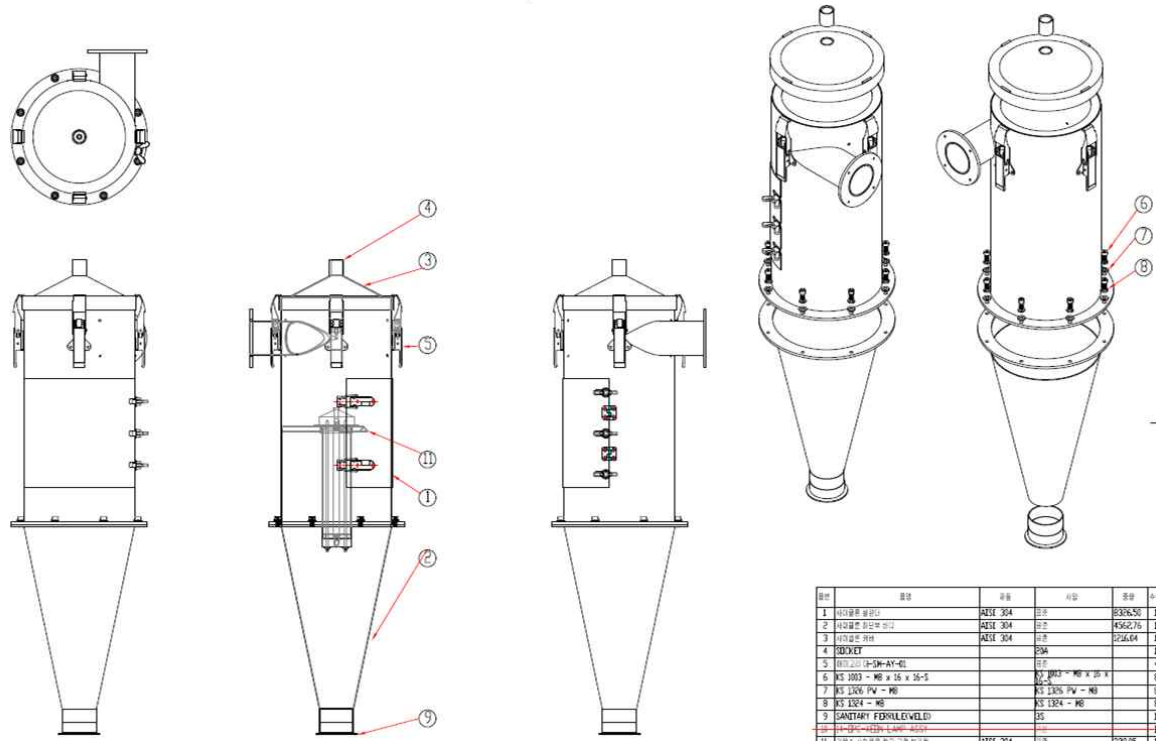


그림 2-22. 업그레이드된 광필스 살균시스템 treatment chamber 디자인

- 앞서 언급한 바와 같이 본 연구를 통해 1-2차년도에 개발된 cyclone 방식의 광필스 살균 시스템으로는 살균처리가 부적합한 종자 농산물을 대상으로 다양한 디자인을 고안하고 있음. Treatment chamber는 광필스 처리 중 살균 대상 식품이 실제로 광에너지를 받는 부분으로서 균일한 빛이 분체식품(종자 농산물) 개별입자에 골고루 조사될 수 있도록 설계되어야 하는 것이 중요하며 고전압이 인가되는 장치이므로 안전성 확보가 중요시 됨. 본 연구에서는 우선 실험적으로 그림 2-23 같은 진동식 살균시스템을 제작하여 살균 효과를 확인해 볼 예정임.
- 새롭게 제작될 광필스 살균시스템은 진동식 장치로, 진동하는 treatment chamber 위로 분체 시료가 지나가면서 광원에 노출되도록 제작되었음. Lamp를 지난 시료는 기기 아래로 빠지게 되고 빠진 시료는 파이프라인을 따라 이동한 후 다시 광필스 처리 첫 지점으로 돌아오게 하여 연속식으로 lamp를 통과하도록 설계되었음.
- 이 장치 역시 광원이 외부로 노출되는 것을 막기 위해 SUS 재질의 커버를 씌울 예정이며, 이를 통해 광원의 외부 노출을 막는 것은 물론 빛의 반사, 산란 효과로 인한 사멸 효과 증가를 기대할 수 있음. 커버는 두 손으로 들고 옮기기 용이하도록 제작되어 실험시에는 씌우고 청소시에는 옮길 수 있도록 하였음(그림 2-24).

- SUS 재질의 커버는 무게가 22 kg 정도 나가기 때문에 빛의 차단은 용이하나 한 번 옮기는데 노동력이 요구되고 이것이 작업의 효율성을 떨어뜨릴 수 있기 때문에 5 kg 정도가 되도록 PP 재질로 변경 가능한지에 대해서도 검토 중에 있으며 PP 재질의 커버가 빛을 원활히 차단할 수 있는지 확인하여 재질을 최종적으로 결정할 예정임.
- 이 장치의 사양 역시 일반 중소기업이나 소규모의 생산 공장에서도 쉽게 사용할 수 있도록 AC 220V 50/60 Hz 단상의 전원을 사용하였으며, 실제로 손쉽게 구입하여 사용하도록 장치를 소형화하였음. 이는 손쉬운 이동성을 제공할 뿐 아니라 제작비용도 절감되어 기업의 입장에서 현장에 설치하는데 있어 부담을 줄일 수 있음.
- 특히 2, 3차년도 실험에서 사용된 광펄스 장치는 아래 사진과 같이 간단한 조작법만 숙지하면 처리 조건을 쉽게 설정 할 수 있도록 디자인되었으며, 처리할 분말 식품을 장치 입구 부분에 넣고 작동 스위치만 눌러주면 연속적인 처리가 가능하기 때문에 장비를 쉽게 다룰 수 있다는 장점이 있음(그림 2-25).
- 새롭게 제작된 광펄스 살균시스템을 이용하여 기존 실험에 적용된 분체식품(종자 농산물)의 사멸 효과를 파악하여 기존 시스템과의 효과를 비교하고, 그 이외의 적용 가능한 시료를 선정하여 살균시스템의 적용범위를 확인하고 살균 효과를 분석하여 대응량 처리 장치 제작을 위한 data를 제공할 예정임.
- 전원 공급부(power supply)도 높은 에너지밀도의 광원을 안정적으로 발생시키기 위해 계속해서 업그레이드하고 있으며 pulse duty, frequency, DC voltage를 더욱 넓은 범위로 조절하여 가변할 수 있도록 할 예정임. 또한 방진시 발생하는 열을 더욱 효과적으로 낮추기 위한 cooling device 역시 업그레이드하여 power supply에 부착될 예정임. Lamp에서 발생하는 열을 효과적으로 낮추기 위한 cooling system 역시 업그레이드 할 예정이며, 장시간 처리시 약 5-10℃ 오르던 기존 cooling system보다 더욱 효율적으로 열을 낮추도록 할 예정임.
- 개발된 장치를 이용하여 얻은 실험 data를 바탕으로 하여 더욱 다양한 분체식품(종자 농산물)에 적용 가능한 광펄스 살균시스템을 제작할 예정이며, 시료에 손상을 최소한으로 줄이면서도 높은 사멸 효과를 얻을 수 있는 treatment chamber를 제작할 예정임. 현재 다양한 디자인의 광펄스 살균시스템을 고안 중이며 그 중 하나가 시료를 교반기 장치를 이용해 섞어주면서 광펄스 처리할 수 있도록 하는 것임.
- 이 때 lamp는 교반 장치 양 옆에 설치 가능하고 반사판을 이용하여 시료가 광원을 최대한으로 받을 수 있도록 설계할 수 있음.
- 한편, 앞서 기존 장치의 단점인 ‘광펄스 살균 처리 후 treatment chamber 벽면과 lamp가 들어 있는 석영관 겹면, 그리고 chamber 윗부분에 존재하는 필터 부분에 분체식품(종자

농산물)이 달라붙고 chamber 중간에 에어노즐과 냉각수 호스가 연결되어 있어 그 부분에 시료가 끼는 점'을 보완하기 위해 복잡하지 않은 chamber의 디자인이 필수적임.

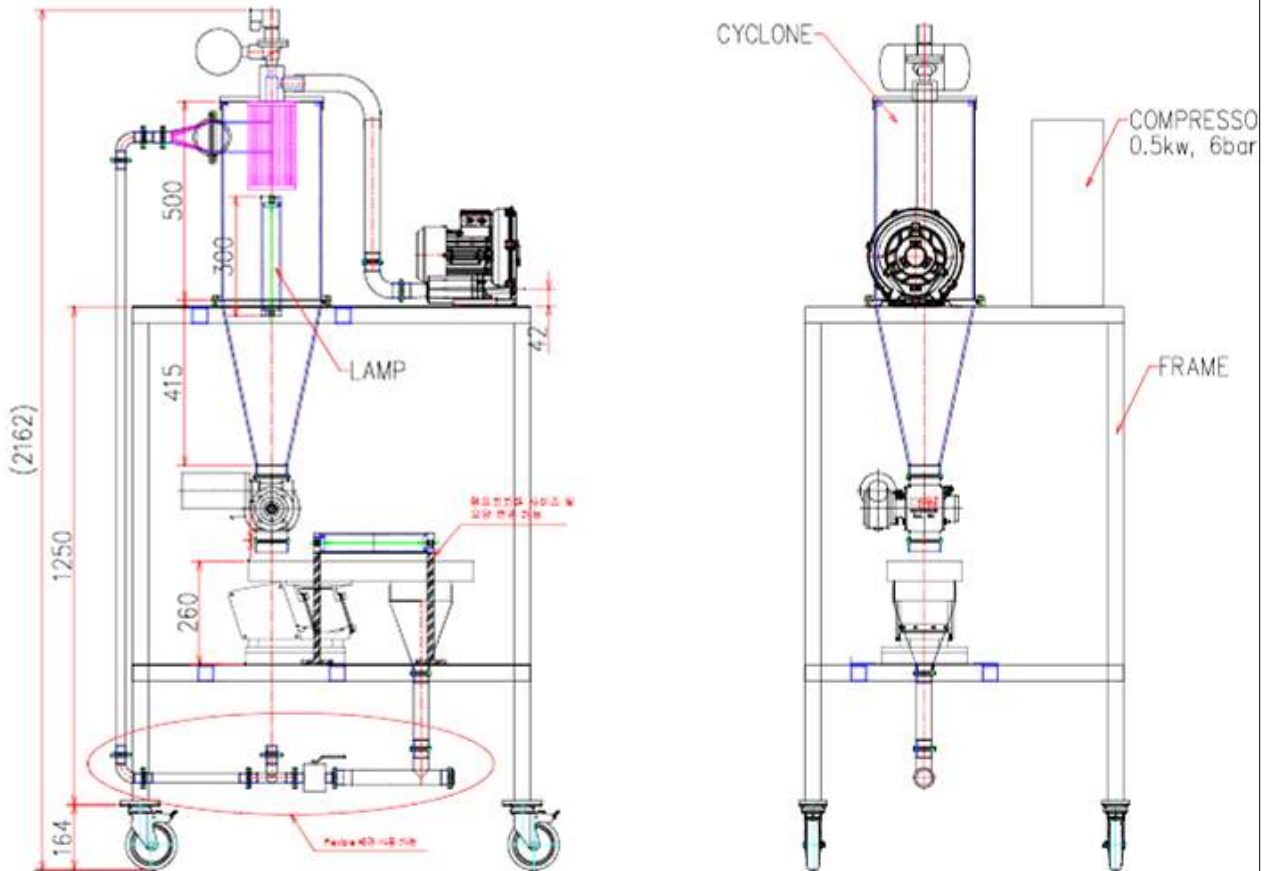


그림 2-23. Pilot-scale 광펄스 살균시스템 제작을 위한 예비 장치 디자인

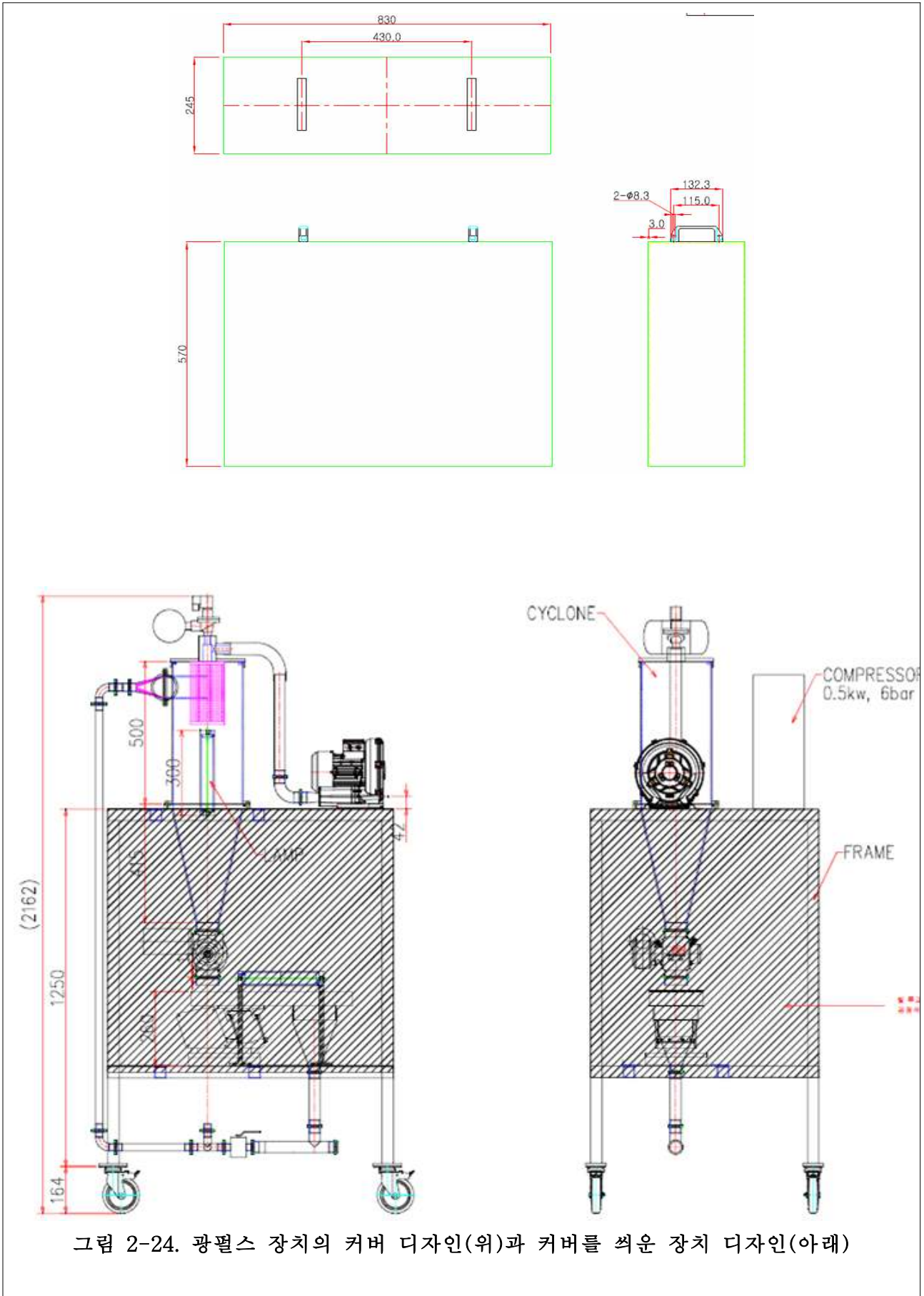




그림 2-25. 처리 조건 설정 버튼(왼쪽)과 장치 시작 스위치(오른쪽)

6. 식품산업체에 적용가능한 pilot-scale 의 최적 광펄스 살균시스템 구축

가. 업그레이드 pilot-scale 광펄스 장치를 이용한 분체식품 살균효과 확인

- Acryl 재질로 제작되었던 pilot-scale 광펄스 장치를 이용하여 분체식품이 treatment chamber 내부에서 원활히 cyclone을 형성하며 떨어지는 것을 관찰하였으며, 이 장치의 식품산업적 적용이 가능하도록 stainless steel 재질로 새롭게 제작하였음.
- 해당 장치에서 발생하는 광원의 에너지밀도를 측정하고자 spectroradiometer를 이용하여 DC voltage 1200 - 2400 V, frequency 2 Hz, pulse duty 0.5 - 3.0 ms, treatment time 1 분 조건 하에서 광원을 발생시켰음(그림 2-26).
- 광원 에너지밀도는 $64.77 - 223.23 \text{ mJ/cm}^2$ 으로 측정되었으며, DC voltage와 pulse duty 가 높아질수록 에너지밀도가 증가하는 경향성을 보였음. 특히 acryl 재질의 광펄스 장치에서 동일한 조건으로 측정한 에너지밀도 값 $51.38 - 185.23 \text{ mJ/cm}^2$ 에 비해 에너지밀도가 높게 측정되었는데, 이는 stainless 재질 특성상 광원이 외부로 빠져나가지 못하고 내부로 반사되기 때문이며 이를 통해 광펄스 장치의 재질 변화가 분체 식품 살균 효과를 증가시킬 수 있을 것이라 예상하였음.
- Acryl 재질의 광펄스 장치를 이용한 분체식품 살균 효과와 비교하기 위해 참깨, 결명자, 차조 150 g을 이전과 동일한 처리 조건인 DC voltage 1200 - 2400 V, treatment time 30 - 120 sec, pulse duty 0.5 - 3.0 ms, frequency 2Hz에서 광펄스 처리 한 후 미생물 분석 실험을 실시하였음.
- Stainless steel 재질의 광펄스 살균시스템을 이용한 참깨, 결명자, 차조의 살균 효과는 그림 2-2와 같으며, acryl 재질에서의 실험 결과와 같이 pulse duty와 treatment time이 높아질수록 사멸 효과가 높아지는 양상을 띠었으며 그 양상은 DC voltage가 높을수록 비교적 뚜렷하게 나타나는 것을 확인하였음.
- 참깨의 경우, 최고 조건인 DC voltage 2400 V, pulse duty 3.0 ms, treatment time 120 sec에서 평균 1.20 log 의 사멸효과를 나타내었으며 DC voltage가 2400, 2000, 1600, 1200 V 순으로 낮아질수록 최고 조건인 pulse duty 3.0 ms, treatment time 120 sec에서 1.20, 0.86, 1.04, 0.85 log의 사멸 효과를 보였음. 그 외 조건에서는 평균 0.20 - 1.10 log reduction을 보였음.
- 결명자의 경우, 최고 조건에서 평균 0.85 log reduction의 사멸효과를 나타내었으며, 그 외 조건에서는 평균 0.13 - 0.74 log reduction의 사멸효과를 보였음. DC voltage가 낮아질수록 최고 조건에서의 사멸효과는 0.85, 0.74, 0.61, 0.36 log 였음.

○ 차조의 경우, 최고 조건에서 평균 0.52 log reduction의 사멸효과를 나타내었으며, 전체적으로 0.01-0.43 log reduction의 사멸효과를 보였음. 참깨와 결명자에 비해 사멸효과가 낮았으며 광원 세기에 따른 사멸효과의 변화 정도도 미미한 것으로 확인되었음(그림 2-27).

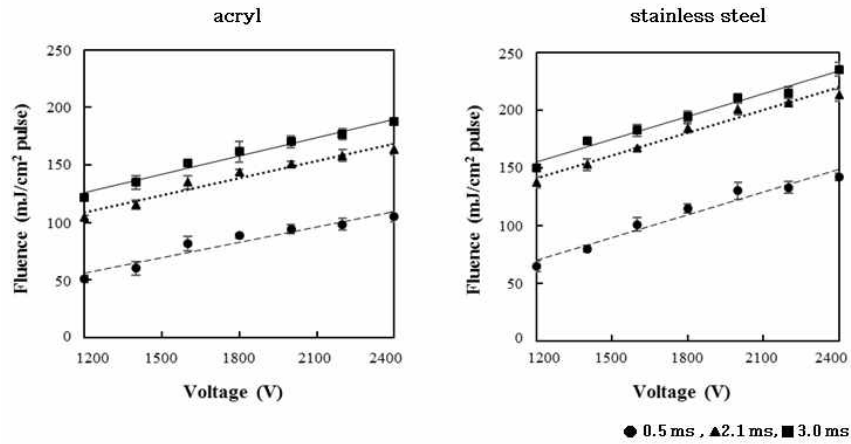


그림 2-26. 광펄스 장치 재질에 따른 광원 에너지 밀도 비교

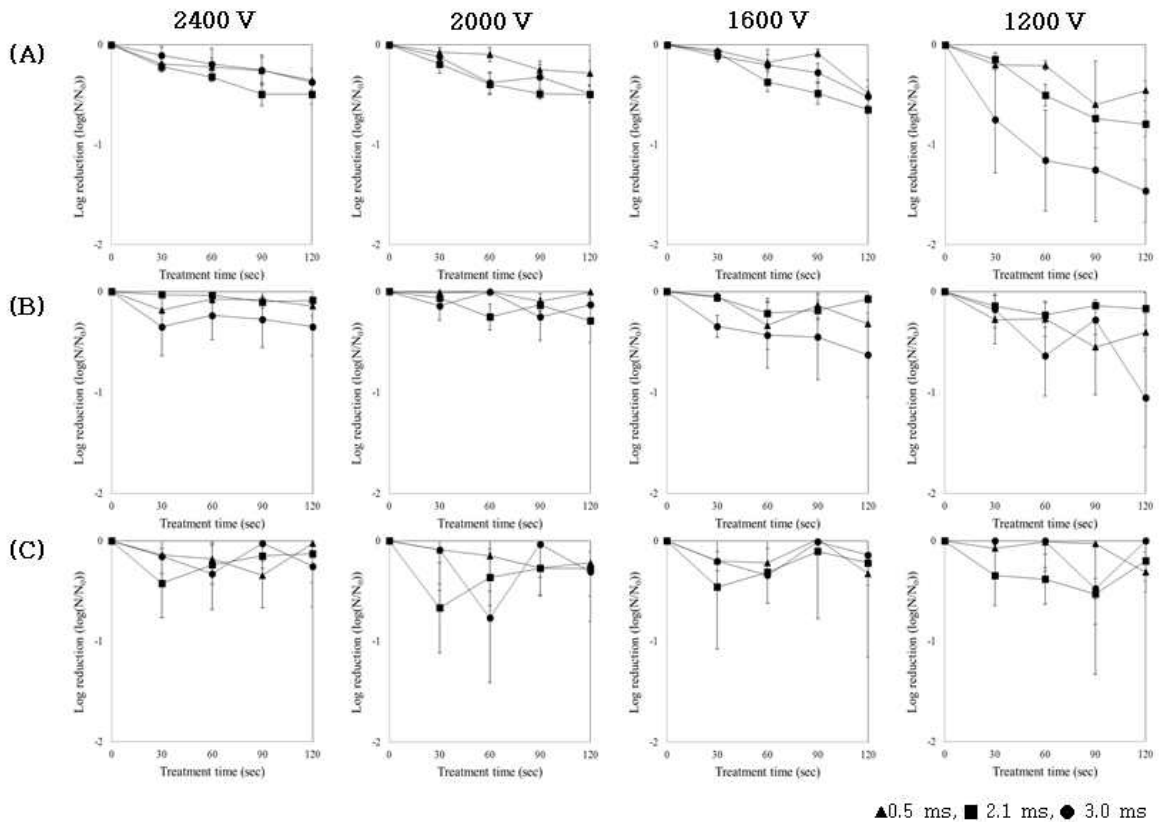


그림 2-27. DC voltage, pulse duty, treatment time에 따른 분체식품 미생물 저감 효과

○ 참깨, 결명자, 차조 순으로 광원 세기의 증가에 따른 미생물 사멸 효과의 증가 양상이 비교적 뚜렷하게 나타나는 것을 확인하였으며, acryl 재질의 광펄스 살균 장치를 이용했을 때와 같은 경향성을 보이는 것으로 나타남.

- 앞서 에너지밀도를 측정했을 때 acryl 재질의 광펄스 살균 장치보다 높은 살균 효과를 얻을 수 있을 것이라 예상하였으나 최고 조건에서의 살균 효과는 크게 차이가 나지 않았음. 이는 광원에너지의 세기가 강해졌지만 분체식품에 존재하는 미생물이 그 에너지를 다 받지 못했음을 의미함.
- 실제로 UV와 관련된 선행연구들 중에는 과일 표면의 특성에 따라 살균력에 차이가 있음을 확인한 것들이 있는데 (Adhikari et al. (2015), Syamaladevi et al. (2013), Syamaladevi et al. (2015)), 이들 연구에 따르면 사과나 배처럼 표면이 매끈한 과일에 비해 굴곡진 표면을 가진 메론, 표면에 씨가 많은 딸기, 작은 과육으로 이루어진 라즈베리, 표면에 털이 있는 복숭아 등의 과일의 UV 살균력이 현저히 떨어지며 이는 미생물이 굴곡진 표면과 털 내부에 숨어 직접적으로 UV에 노출되지 않기 때문이라 설명하고 있음.
- 본 연구에서도 역시 광펄스 장치의 재질이 바뀌면서 광원의 세기가 높아졌음에도 불구하고 각 샘플의 살균력이 증가하지 않은 원인은 샘플 표면의 형태학적 측면에서 기인한 것이라 판단했으며 정밀한 표면 측정을 위해 한국과학기술연구원 (KIST)을 방문하여 SEM (scanning electron microscope) 측정을 실시하였음.
- 그림 2-28은 SEM으로 측정한 분체 식품의 표면이며 왼쪽 열부터 각 샘플을 30-50 배, 150-250 배, 1000-1500 배 확대한 것임. 참깨의 경우 작은 단위의 알갱이로 구성이 되어 있고 중간 중간 틈이 상당히 많은 것을 관찰할 수 있음. 결명자 역시 작은 각질들이 모여 형태를 이루고 있었고 차조는 표면 자체가 상당히 굴곡진 것을 확인하였음.
- 모든 샘플에서 볼 수 있는 틈이나 굴곡에 10 μ m 이하의 미생물이 존재할 가능성이 높으며, 숨어있는 미생물들은 광원 에너지가 높아지더라도 shadow effect에 의해 살균처리 되지 않았을 가능성이 높음.

나. 광펄스 측정 후 분체 식품 특성 변화 확인

- 광펄스는 식품 물성에 변화를 주지 않고 미생물을 살균시키는 비열 살균 기술로 알려져 있음. 본 연구에서는 최고 처리 조건인 DC voltage 2400 V, frequency 2 Hz, pulse duty 3.0 ms, treatment time 2 min 처리 후 각 분체 식품의 수분함량, 수분활성도, 색도차이 (ΔE) 를 측정하여 처리 전과 비교하였음(그림 2-29).
- 선행연구들 중에는 광펄스 처리 후 색상이나 texture 등의 특성이 변화한 경우도 있으나 (Micorescu et al. (2014), Fine and Gervais (2004)) 그 원인을 광펄스 처리 중 발생한 온도 증가에 의한 것이라 설명하고 있음. 선행연구에서는 광펄스 처리 후 20 $^{\circ}$ C 정도의 온도 상승이 일어났다고 설명하고 있음.

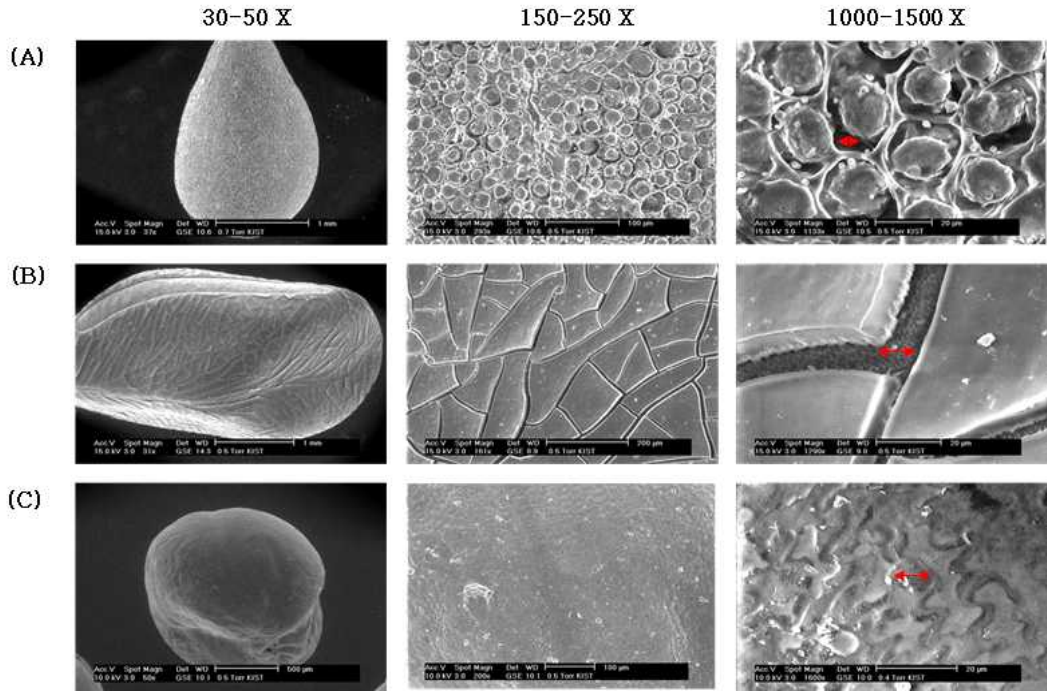


그림 2-28. SEM 측정을 통한 표면 분석 (A) 참깨, (B) 결명자, (C) 차조

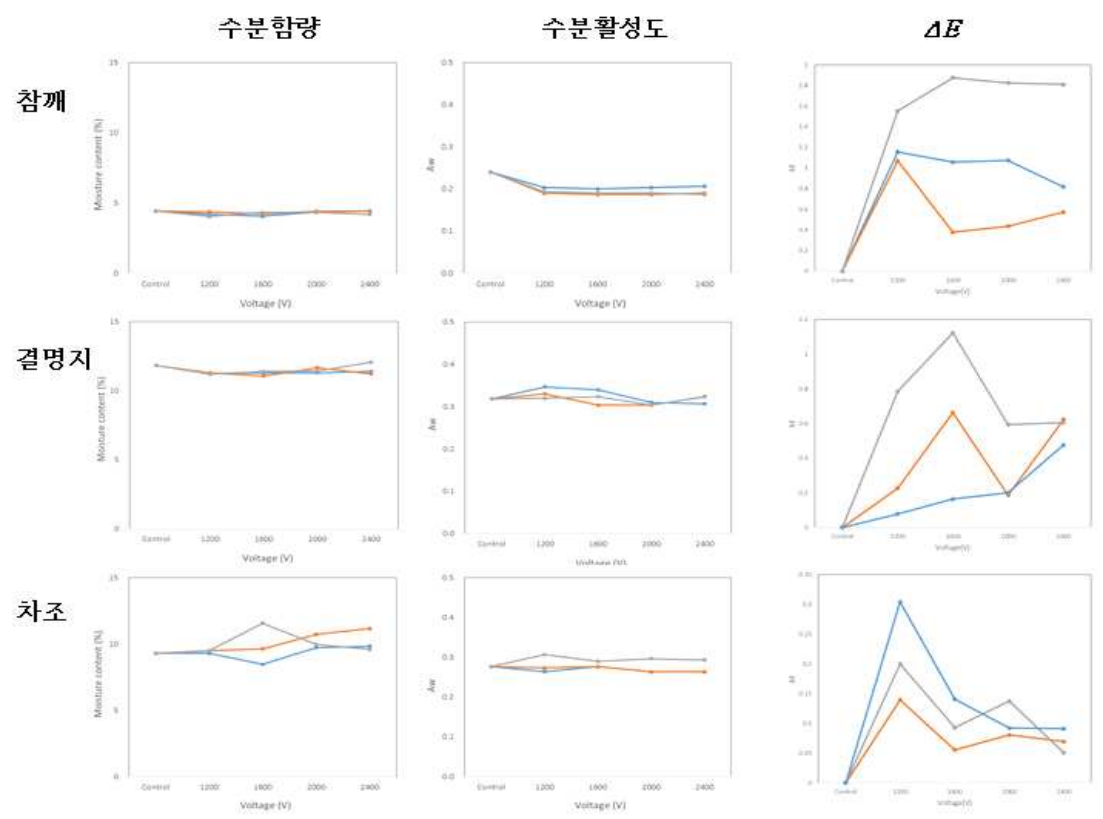


그림 2-29. 광펄스 처리 전과 후 분체식품의 수분함량, 수분활성도, 색도 측정
 ○ 본 연구에서는 램프의 온도 증가를 막기 위해 수냉식 냉각 장치를 이용하고 있으며 실제로 샘플 온도는 5°C 내외임. 실제로 광펄스 살균 기술을 이용한 선행연구들 중에는 온도를 일정하게 조절한 연구들이 많으며 (Macias-Rodriguez et al. (2014), Cheigh et al.

(2013)) 이들의 연구 결과에서 샘플의 특성 변화는 보이지 않았음.

- 참깨, 결명자, 차조의 광펄스 처리 전과 후 수분함량과 수분활성도는 차이를 보이지 않았음. 색도 차이의 경우 colorimeter를 이용하여 각 분체 식품의 L, a, b 값을 측정 후 아래와 같은 식을 이용하여 ΔE 값을 계산하였음.

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

- 그림 2-4에 나타난 ΔE 값의 최고값은 참깨, 결명자, 차조에서 각각 1.87, 1.12, 0.30으로 나타났는데, 일반적으로 ΔE 값이 2 이하인 경우 육안으로 색의 차이를 느끼기 어렵기 때문에 색의 차이가 나지 않는다고 평가하고 있음. 따라서 cyclone 기술을 적용한 pilot-scale IPL 장치로 분체 식품을 살균시켰을 때 미생물 살균 이외의 물리적인 변화는 일으키지 않는 것으로 보임.

다. Belt-type 광펄스 장치 개발 및 분체식품 미생물 저감 효과 확인

- 광원의 에너지밀도값이 증가함에도 불구하고 shadow effect 로 인해 살균 효과가 높아지지 않아 이런 현상을 해소하기 위해 belt-type 장치를 cyclone 장치와 연결하였음(그림 2-30). Cyclone 기술이 적용된 chamber에서는 분체 식품이 rotary valve를 지나 파이프라인을 거치는 동안 원활히 섞이지만 램프에 노출되면서 샘플이 위에서 아래로 떨어지는 cyclone 구간에서는 샘플이 섞이면서 떨어진다기보다는 벽면을 타고 흐르듯이 떨어지는 것을 관찰하였음.
- Belt-type은 전원장치에 연결하면 진동에 의해 샘플이 굴러갈 수 있으며, 샘플이 굴러가는 속도는 연결된 진동 모니터의 세기를 조절하여 높이거나 낮출 수 있음. Belt-type 장치는 광원램프에 노출되는 동안 샘플이 잘 구를 수 있기 때문에 더욱 많은 면적을 광펄스 처리 할 수 있다는 장점이 있음.
- Belt-type 장치는 총 두 개가 연결되었으며 cyclone type 장치의 rotary valve를 통과한 샘플이 윗층의 belt를 따라 오른쪽으로 이동하고 이동 후 아래에 위치한 belt에 떨어진 후 다시 왼쪽으로 이동하도록 설치하였음. 왼쪽으로 이동한 분체 식품은 연결된 파이프라인을 따라 cyclone type 장치의 윗부분으로 들어가게 되며 들어간 샘플은 cyclone를 형성하며 다시 rotary valve에 떨어지게 됨.
- Belt-type 장치에는 NL 4006 램프를 연결하였으며 각 belt의 길이를 고려하여 윗층에는 네 개, 아래층에는 다섯 개의 램프를 설치하였음. 따라서 분체식품이 cyclone 장치 내에서는 NL 9553에서 발생하는 광원에 노출되고 아래 belt type 장치에서는 NL 4006 램프의 광원에 노출되는 것임.

- 두 종류의 램프는 해당 램프를 control 할 수 있는 power supply에 연결하였으며 cyclone 장치에 연결되어있는 램프 NL 9553의 power 는 DC voltage 2400 V, frequency 2 Hz, treatment time 2 min으로 고정하였고 pulse duty만을 0.5 - 3.0 ms로 조절하였음.
- Belt type 장치에 연결되어있는 아홉 개의 램프 NL 4006의 power는 총 세 개로 구성되어있으며 한 power supply가 세 개의 lamp를 control 할 수 있도록 연결하였음. 해당 램프에서 발생하는 광원의 크기는 DC voltage 1800 V, frequency 14 Hz, treatment time 2 min 으로 고정하였음.
- 해당 장치를 이용한 실험은 cyclone의 NL 9553 램프를 사용하지 않는 실험과 사용하는 실험 두 가지로 나누어 belt type 만의 효과와 두 장치의 병합 효과를 확인하고자 한 것임.
- Cyclone type 광펄스 장치와 belt type 장치 모두를 이용하여 세 종류의 분체 식품을 살균 처리한 결과 NL 9553 램프의 pulse duty가 높아짐에 따라 살균력이 증가하는 경향을 보였고, pulse duty가 3.0 ms인 최고 조건에서 참깨, 결명자, 차조의 평균 살균 효과가 각각 0.76, 1.09, 0.28 log로 나타났음 (그림 2-31).



그림 2-30. Belt-type 장치가 연결된 pilot-scale IPL 장치(왼쪽)와 광원 램프가 설치된 모습(오른쪽)

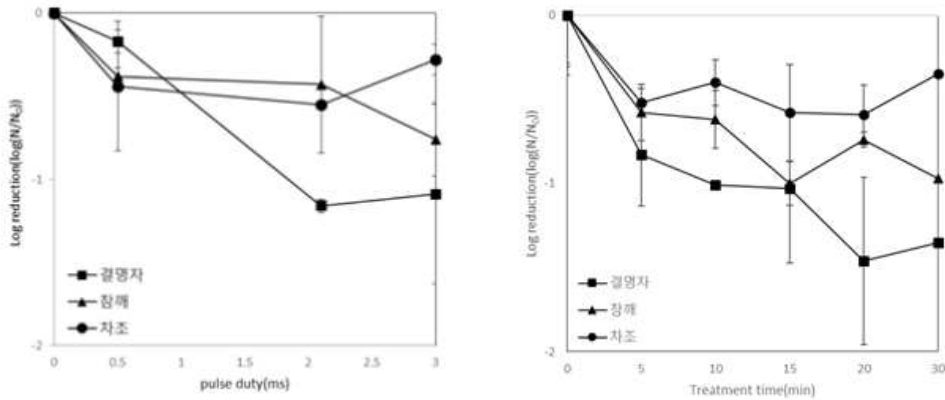


그림 2-31. (A) Cyclone type과의 병합처리, (B) Belt type 단독 처리를 통한 미생물 저감화 비교

- 참깨와 차조의 경우 cyclone type의 장치만 이용했을 때의 살균 효과보다 소폭 낮아졌는데 이는 belt type 장치 연결로 인해 샘플이 1 cycle을 순환하는 시간이 증가했기 때문임. Cyclone type의 장치에서는 샘플이 1 cycle 도는데 걸리는 시간이 대략 3.5초 정도 되며 2분의 광펄스 살균 시간동안 대략 34-35 cycle 을 순환함. 2층으로 구성된 belt type 에서는 샘플이 모두 이동하는데 대략 20초 소요되며 따라서 cyclone type 장치와 연결했을 때 23.5초 정도 소요됨. 총 살균 시간 2분 안에 샘플은 대략 5 cycle을 순환한다고 볼 수 있음.
- 병합처리는 광펄스 빛의 에너지밀도가 강한 램프 NL 9953에 노출되는 시간을 감소시키기 때문에 살균 효과 증가를 확인할 수 없었음. 다만 결명자의 경우 Cyclone type의 단독 처리보다 병합처리의 살균 효과가 소폭 증가하였는데 이는 sieve로 구성된 belt type의 바닥면이 원인인 것으로 사료됨.
- 앞서 기술하였듯, cyclone type 장치에서는 샘플이 램프에 노출되면서 위에서 아래로 떨어지는 c구간에서 벽면을 타고 흐르듯이 떨어지나, belt type 장치는 샘플이 sieve 위를 구르면서 이동하는 모습을 보임. 결명자의 경우 belt type 장치를 굴러가며 이동하면서 많은 면적이 광원에 노출되었으며 그로 인해 사멸 효과가 증가한 것으로 사료됨.
- Belt type 장치의 단독처리 실험은 아홉 개의 NL 4006 램프로 DC voltage 1800 V, frequency 9 Hz로 설정하였으며 treatment time을 최고 30분으로 하여 처리하였음. 최고 처리 조건에서 결명자, 참깨, 차조 순으로 평균 1.35, 0.97, 0.35 log reduction을 보였음.
- 결명자의 살균 효과가 높은 이유는 sieve 바닥면 때문이며 참깨와 차조의 경우 그 크기가 sieve mesh 보다 크기가 거의 비슷하거나 작아 바닥면에 끼어있는 부분이 많았고 따라서 loss가 많았으며 이로 인해 살균 처리가 제대로 이루어지지 않았을 가능성이 높다고 사료됨.

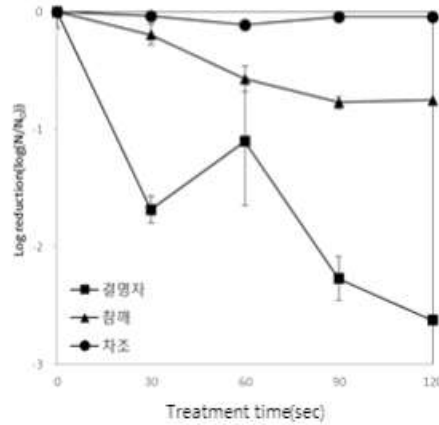
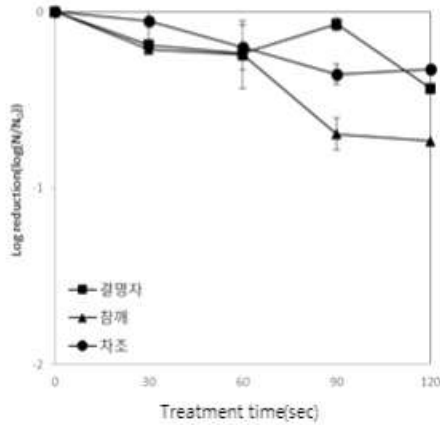


그림 2-32. 일반 belt type 장치(왼쪽)와 sieve 바닥면으로 구성된 장치(오른쪽)를 이용한 분체 식품 미생물 살균 효과 비교

- Sieve 바닥의 효과를 확인하기 위해 기존의 belt type과 바닥면이 매끈한 belt type 장치를 이용하여 결명자, 차조, 참깨를 살균 처리 해보았으며, 이 때 램프는 NL 9553을 이용하였으며 cyclone type 장치와 연결하지 않았음. 샘플은 DC voltage 1800 V, frequency 2 Hz, treatment time 120 sec로 살균 처리 하였으며, 각 장치와 이를 이용한 살균 실험 결과는 그림 2-32 과 같음.
- Sieve 바닥의 belt type 장치에서 결명자의 최고 살균 효과가 2.63 log로 나타났고, 참깨, 차조의 살균 효과는 0.75, 0.04 log 로 나타났음. 매끈한 바닥에서의 살균효과는 참깨, 결명자, 차조 순으로 0.43, 0.73, 0.33 log 로 나타났으며 이것으로 인해 sieve로 이루어진 belt type 광펄스 장치는 특히 결명자에 효과가 있는 것으로 보임.
- 참깨와 결명자의 경우 belt type에서의 살균 효과가 낮게 나타났지만 이는 두 샘플에 적합하지 않은 mesh를 가진 sieve 바닥으로 인한 것이라 사료되며 바닥면 디자인이 두 샘플에 적합하도록 개선된다면 충분히 높은 살균 효과를 보일 것으로 예측됨.
- 최종적으로, 본과제를 통해 제작된 pilot scale 광펄스 장치들은 분말 제품의 색상, 수분함량, 수분활성도 등에 영향을 미치지 않으면서 미생물을 살균 시킬 수 있고 대용량으로 처리 가능하기 때문에 (최대 처리 용량: 30 kg/h) 고효율 저탄소 살균 기술이라 할 수 있음.
- 특히 광펄스 살균 장치는 파이프 라인의 직경과 compressor power 출력에 따라 적용할

수 있는 분말 식품의 종류가 다양하기 때문에 적용 범위가 넓은 장치라 할 수 있음.

- 국외의 경우 광펄스 기술을 식품 산업에 적용하는 곳이 있으나 투명한 물이나 식품 포장재에 주로 사용하고 있으며, 대용량으로 분체 식품을 처리할 수 있는 광펄스 살균 장치의 사용 사례가 없기 때문에 본 연구를 통해 광펄스 기술에 대한 경쟁력을 확보할 수 있음.
- 광펄스 처리 후 분말 제품에 함유되어 있는 내용 성분 변화 (영양 및 향기 성분)에 대한 추가적인 분석 연구와 안전성 등에 대한 연구를 통해 해당 살균 기술의 상용화를 앞당길 수 있을 것이라 사료됨.
- 나아가 적용하는 분체 식품 종류별 중요 미생물을 선정하고 해당 미생물에 대한 살균 효과를 파악하여 분체 식품과 미생물에 대한 적정 공정 조건을 구축해야 할 필요가 있음.

7. 식품제조공정의 광펄스 살균가이드라인 확립

- 본 연구는 분체식품 살균을 위한 pilot-scale 광펄스 장치를 개발하는 것으로, 샘플을 적절히 섞어주면서 강한 광원에 노출시킬 수 있는 cyclone type 장치와 belt type 장치를 개발하였음.
- 최대 30 kg/h의 처리 용량을 가지며 다양한 크기의 분체 식품을 처리 할 수 있음. 단, 당이나 유분이 많은 마늘 분말과 들깨 같은 분체 식품은 기기 벽면에 달라붙어 원활히 살균 처리 되지 못하기 때문에 제한됨.
- Pilot-scale 광펄스 장치는 DC voltage, frequency, pulse duty, treatment time을 조절하면서 광원의 세기를 조절 할 수 있으며, 목표 미생물 저감화 수준, 분체 식품의 크기 및 여러 특성에 맞춰 광원 에너지밀도를 설정 할 수 있음.
- 분체 식품의 살균 효과는 DC voltage (0-2400 V), frequency(0-10 Hz), pulse duty(0.5-3.0 ms), treatment time이 증가함에 따라 높아지는데, 특히 pulse duty에 대한 영향을 받기 때문에 높은 살균 효과를 위해서는 pulse duty를 조절하는 것이 유리함.
- 강한 에너지밀도를 가지는 광원을 샘플에 노출시키는 것이 중요하며, 기기의 안정성을 고려한 최적 살균 조건은 DC voltage 2400 V, frequency 2 Hz, pulse duty 3.0 ms임. 광원 램프의 온도를 조절하는 냉각장치의 파워에 따라 해당 조건의 광원을 2분 이상 처리한다면 2-3 log의 미생물 저감 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료됨.
- 광펄스 처리 시간은 샘플의 색이나 여러 물리적 특성의 변화가 보이지 않는 수준에서 조절 가능하나, 고전압을 발생하는 power supply의 안정성을 고려하여 처리 시간은 5분 이내로 설정함.

- 평균 직경이 2 mm 이상 되는 분체 식품의 경우 sieve 바닥의 belt type 광펄스 장치를 이용하거나 cyclone type 장치와의 병합처리를 통해 살균한다면 샘플이 belt type 장치의 바닥면을 굴러가면서 더욱 많은 샘플의 면이 광원에 노출되어 높은 미생물 저감화 수준을 얻을 수 있음.
- 최종적으로, 분체식품을 대용량으로 처리할 수 있는 pilot-scale 광펄스 장치에 대한 살균 공정순서를 표 2-2과 같이 제시함.
- 본 연구에서 사용된 광펄스 살균시스템의 식품산업 적용을 위해 시설비 및 운영비를 책정하였음(표 2-2). 최대 처리용량을 고려하여 시설비를 책정하였고 램프 교체 비용, 전력비, 유지비 등을 운영비로 책정하였음. 전력비의 경우 해당 장치의 소요전력과 한국전력의 산업용 평균 전기료를 적용하여 산출함.
- 일반적으로 곡물에 적용되는 열풍 건조에 소용되는 연간 연료소비량은 약 403억원임 (농림부, 2000). 따라서 광펄스 살균 장치는 연료소비량을 크게 절약할 수 있을 것으로 사료됨.
- 시설비의 경우 광펄스 처리 조건인 DC voltage, pulse duty, frequency 등을 고정하여 제작하는 것으로 가정하여 50,000,000원으로 추정하였으며, 해당 장치의 대량 생산이 이루어진다면 비용이 감소할 것으로 사료됨.
- 광펄스 살균장치의 경우 신기술이기 때문에 기술의 상업적 적용을 위한 초기 연구개발비가 들어 갈 것으로 사료되나, 해당 장치의 인건비, 운영비, 유지비 등이 가열 살균시스템에 비해 낮을 것으로 예측되기 때문에 실제 산업체에 광펄스 살균시스템 도입은 충분한 경제성을 가질 수 있을 것으로 판단됨.
- 광펄스 살균기술의 실제 실용화를 위해서는 광펄스의 성질(파장, 세기, 펄스의 길이 및 수 등), 적용 식품의 특성(식품의 화학적 특성, 투명도, 색상 등), 공정요소(process factors)들이 미생물의 불활성화에 어떤 영향을 미치며 각 요소들이 살균 효과에 어떤 영향을 미치는지에 대한 실질적인 연구가 필요하며, 광의 종류나 세기에 대한 보다 기초적인 연구가 이루어져야 함.

표 2-2. 분체식품 살균처리를 위한 공정표

1	냉각장치 on	- 냉각수 장치 20℃로 설정 - 광원램프 및 treatment chamber 내부 온도 유지 가능
2	샘플 투입	- 최대 30 kg/h 처리 용량 - 당이나 유분이 많은 분체 식품은 제한됨

3	rotary valve on blower on	- 샘플 순환을 위한 장치
4	광펄스 처리	- 장치 안정성을 고려한 광펄스 처리 조건: DC voltage 0 - 2400 V Pulse duty 0.5 - 3.0 ms Frequency 0 - 2 Hz - 처리 시간은 샘플의 색이나 여러 물리적 특성의 변화가 보이지 않는 수준에서 조절 가능하나, 고전압을 발생하는 power supply의 안정성을 고려하여 처리 시간은 5분 이내로 설정함. - 평균 직경이 2 mm 이상 되는 분체 식품의 경우 belt type 광펄스 처리 적용 가능
5	rotary valve off	- 광펄스 처리 후 샘플 회수를 위한 rotary valve 장치 off
6	blower off 샘플 회수	- 살균 샘플 회수
7	냉각장치 off	- 광펄스 살균 처리 종료
8	장치 세척	- 파이프 라인 해체 및 세척 - 에어건을 이용한 챔버 내부 잔류 샘플 제거 - 챔버 내부 세척 - 건조 - 파이프 라인 조립

표 2-3. 광펄스 살균시스템 시설비 및 운영비 산출

처리용량	720 kg/day
시설비	50,000,000 원
운영비	램프 교체 비용 - 램프가격: 780,000원/개 - 연간 램프교체 주기: $24 \text{ h/day} \times 365 \text{ day/year} \div 6000 \text{ h} = 1.46/\text{year}$ - 연간 램프교체비용: $780,000\text{원/개} \times 1.46/\text{year} = 1,138,800\text{원/year}$
	전력비 소요전력 : 1.2 kw - 전력비: $1.2 \text{ kw} \times 24\text{시간} \times 54\text{원/Kwh} \times 365\text{일/year} = 567,648\text{원/year}$
	유지비 - 필터 교체, valve 점검 등: 1,000,000 원/year

제 3 절. 양파분말의 미생물 저감화를 위한 cold plasma 처리 parameter 결정 및 분말 식품살균용 lab-scale cold plasma (CP) 살균 시스템 제작

1. 양파분말의 잠재적 위해 세균과 부패 미생물 오염도 조사 및 오염 미생물 저감화 수준 설정

가. 시료 준비

○ 양파 분말은 태경농산(Seoul, Korea)으로부터 제공받았다. 분말은 탈피된 양파를 300 ppm 으로 희석한 차아염소산나트륨 살균액으로 4-5 분 동안 살균하였고, 60-65°C에서 7-8 시간 동안 열풍 건조시킨 후 분말화 공정을 통해 제조되었다.

나. 미생물 분석

○ 5 g의 양파 분말을 취하여 45 g의 0.1% (w/v) peptone water가 들어있는 멸균백에 넣어 스토마커(Stomacher Lab Blender Model 400)로 3 분 동안 blending시켰다. 희석액을 10 배수로 희석 한 후에 plate count agar (PCA, Difco, Sparks, MD, USA), potato dextrose agar (PDA, Difco), mannitol-egg yolk-polymyxin B agar (MYPP, Difco), Xylose lysine desoxycholate agar (XLD, Difco), MacConkey agar (Difco), Baird parker agar (Difco), TSC agar (Difco), 그리고 Petrifilm (3M Corporation, MN, USA)에 배양하였다. *Clostridium perfringenes* 선택배지에는 spot on lawn 방법으로 증첩시켜, 혐기적 조건에서 배양하였다. 각 미생물의 선택배지와 배양조건은 Table 3-1에 나타내었다.

Table 3-1. The information on selective agar and incubation condition of microorganisms

Microorganisms	Selective agar	Incubation condition
<i>Bacillus cereus</i>	Mannitol-egg yolk-polymyxin B agar	37°C, 18-24 hours
<i>Salmonella typhimurium</i>	Xylose lysine desoxycholate agar	37°C, 48 hours
<i>E. coli</i> O157:H7	MacConkey agar	37°C, 24 hours
<i>Staphylococcus aureus</i>	Baird parker agar	37°C, 24 hours
<i>Clostridium perfringenes</i>	Tryptose Sulfite Cycloserine agar	37°C, 18-24 hours

2. 양파 분말 미생물 저감화를 위한 CP 처리 parameter 결정

가. 시료 준비

○ 양파 분말은 태경농산(Seoul, Korea)의 ‘분말 A’와 본 실험실에서 직접 생양파를 구매하여 제작한 ‘분말 B’를 이용하였다. ‘분말 A’는 탈피된 양파를 300 ppm으로 희석한 차아염소산나트륨 살균액으로 4-5 분 동안 살균하였고, 60-65°C에서 7-8 시간 동안 열풍 건조

후 분말 화한 샘플이었다. '분말 B'는 생 양파를 구매하여 탈피 후 수돗물 세척하여 4 등 분으로 절단한 후 알루미늄 tray에 고르게 펴 수분함량이 8% 이하가 될 때까지 85°C에서 8-10 시간 동안 열풍 또는 진공 건조시켰다. 건조된 양파는 편칭기를 이용하여 입자당 0.5 cm × 0.5 cm의 크기로 분말화 하였다.

나. 접종원 준비 및 접종

- *B. cereus* 포자는 Finley 그리고 Fields (1962)의 연구에 따라 준비되었다. *B. cereus* 영양세포가 배양된 tryptic soy broth (TSB, Difco)를 0.1 mL 취하여 tryptic soy agar (TSA, Difco)에 도말 한 후에 37°C에서 7 일 동안 배양시켰다. 각 종(strain) 별로 5 개의 TSA plate에 도말 배양시켰다. 7 일 후에 영양세포의 80%가 포자가 되었음을 현미경 관찰을 통해 확인하였다. *B. cereus* 포자가 자란 TSA에 2 mL의 0.1% (w/v) peptone water를 분주하여 멸균된 백금으로 현탁하였다. 현탁액은 15 mL tube에 취하여 80°C에서 10 분 동안 항온수조에서 열처리되었다. 열처리된 현탁액을 원심분리(3,600 × g, 20 분, 4°C)하여 세포를 분리시켰고, 0.1% (w/v) peptone water를 이용하여 3회 세척하였다. 각 종(strain)별로 세척된 세포에 0.1% (w/v) peptone water를 첨가하여 현탁액을 조성하였다. 포자 접종원 제조와 농도는 영양세포 접종원과 동일하게 만들어졌다.
- *Aspergillus flavus* (ATCC 200026, American Type Culture Collection, Manassas, VA, USA)는 20°C에서 5 일 동안 PDA에 배양되었다. *A. flavus*가 자란 PDA에 10 mL의 0.1% (w/v) Tween 80을 분주하여 멸균된 백금으로 현탁 하였다. 현탁액을 15 mL conical tube (SPL Life Science Co., Pocheon, Korea)에 취한 뒤 멸균된 거즈로 여과시켜 hemocytometer (Paul Marienfeld GmbH & Co. KG, Lauda-Konigshofen, Germany)를 이용해 계수하였다. 실험에 사용될 접종원의 농도는 0.1% (w/v) peptone water (Difco)로 희석하여 7 log spores/g이었다.
- *S. typhimurium* DT 104와 *E. coli* O157:H7 ATCC 35150은 서울대학교 농업생명공학부 식품생명공학 실험실(Agricultural Biotechnology Culture Collection, Seoul, Korea)에서 분양 받았다. *S. typhimurium*와 *E. coli* O157:H7이 37°C에서 24 시간 동안 배양된 TSB를 centrifugal tube에 취하여 원심분리(10,000 rpm, 2 분)하였다. 원심분리 된 후 상등액을 버리고 침전물이 있는 centrifugal tube에 0.1%(w/v) peptone water를 첨가하여 원심분리(10,000 rpm, 2 분)하여 세척하였다. 이 과정을 2 회 반복하였으며, 최종적으로 생성된 미생물 현탁액을 접종 농도로 희석하여 접종원으로 준비하였다. *S. typhimurium* 접종원의 농도는 7-9 log CFU/g였고, *E. coli* O157:H7은 약 8 log CFU/g이었다.
- 접종법: 양파 분말 A (200 g)를 250 mL 유리병에 넣어 121°C에서 15 분 동안 멸균시켰다. 멸균시킨 양파 분말(5 g)를 Teflon 재질의 plate (25 cm×25 cm)에 16 cm×16 cm 면적으로 고르게 폈다. 준비된 미생물 접종원을 멸균시킨 유리 분무기(BT1270S-100, Joylab Co., Seoul, Korea)를 사용하여 1 g 분무 접종하였다.

양과 분말 B에는 10 μL 스폿팅 접종하였다. 양과 분말 B에 접종할 경우에는 입자당 1-2 μL 씩 접종하였다. 접종된 각 시료들은 laminar flow biohazard hood ($22\pm 2^\circ\text{C}$)에서 1 시간 동안 건조되었다. 양과 분말에 존재하는 호기성 미생물에 대한 저해효과를 알아보기 위해 사용된 시료에는 미생물을 접종하지 않았다.

다. CP 처리

○ Fig. 3-1에 나타난 position A와 B는 각각 저밀도 마이크로웨이브 CP 처리(low microwave density CP treatment, LMCPT)와 고밀도 마이크로웨이브 CP 처리(high microwave density CP treatment, HMCPT)가 진행되는 위치로 결정되었다. Position B의 경우 시료가 놓여있는 Teflon plate로부터 24 cm의 높이에 위치하였다(Fig. 3-1). LMCPT와 HMCPT의 microwave power density 값은 COMSOL software (COMSOL Inc., Palo Alto, CA, USA)를 이용한 시뮬레이션을 통해 알아보았다. RF (radio frequency) module을 사용하였으며, Maxwell's equations으로 electromagnetic waves (2.45 GHz, 900 W, TE₁₀)를 시뮬레이션 하였다. LMCPT와 HMCPT의 microwave power density 값은 각각 0.17 W/m^2 와 0.25 W/m^2 였다. Table 3-2에 나타난 사용기체, 처리 전력, 처리시간, 처리압력 등을 변수로 하여 CP 처리를 하였다.

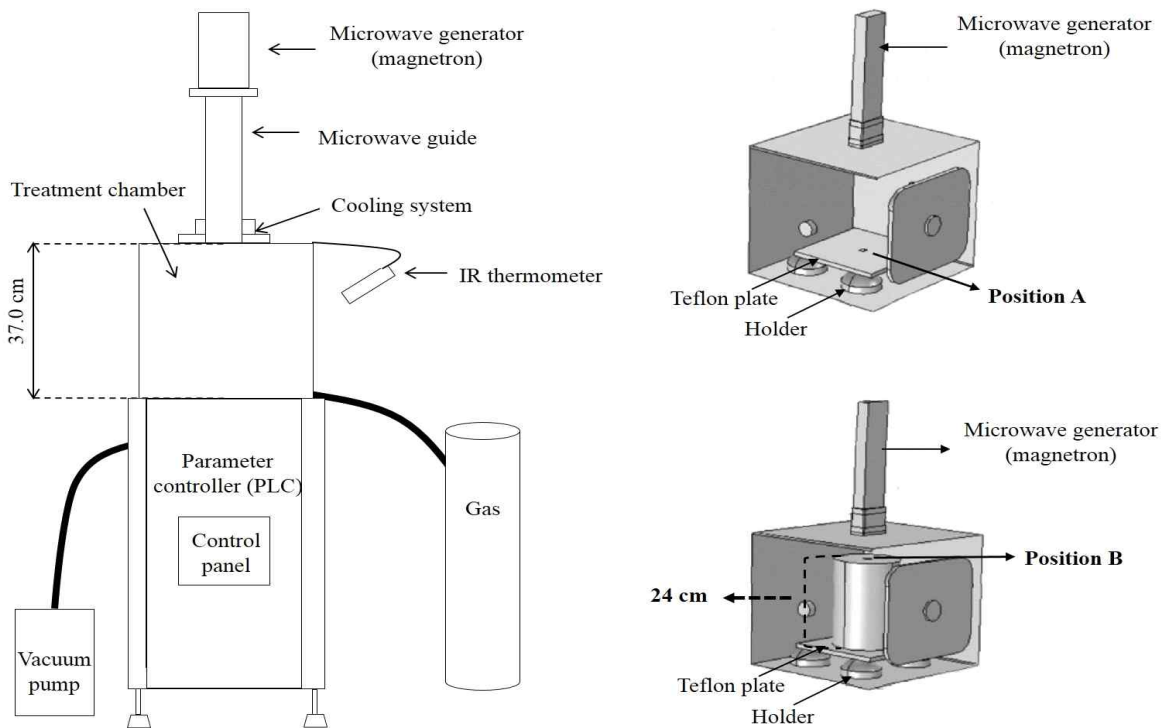


Fig. 3-1. CP treatment system (SWU-2) and positions

Table 3-2. The range of gas, power, treatment time and pressure

Plasma forming gas	Treatment power (W)	Treatment time (min)	Treatment pressure (torr)
Nitrogen			
Helium			
Nitrogen-oxygen mixture I (nitrogen:oxygen = 4:1)			
Nitrogen-oxygen mixture II (nitrogen:oxygen = 99.3:0.7)	400-900	10-40	5, 10
Helium-oxygen mixture (helium:oxygen = 99.8:0.2)			
Argon			
Oxygen			

○ 호기성 미생물에 대한 살균: 양파 분말 A을 3 g 취하여 Teflon 재질의 plate에 고르게 편 후, 처리 전력 900 W에서 20 분 동안 질소 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 헬륨 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 질소-산소 혼합가스 I (질소:산소 = 4:1, 진공도: 10 torr, flow rate: 2,500 sccm), 질소-산소 혼합가스 II (질소:산소 = 99.3:0.7, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 헬륨-산소 혼합가스(헬륨:산소 = 99.8:0.2, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm) 아르곤 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 또는 산소 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)로 LMCPT를 하였다. 처리 전후의 시료를 0.1% (w/v) peptone water로 10 배 희석하여 3 분간 blending한 후 PCA와 PDA에 배양하였다. PCA는 24 시간 동안 37°C, 그리고 PDA는 2-5 일 동안 25°C에서 배양되었다.

○ *B. cereus* spores, *A. brasiliensis* (*A. niger*), 그리고 *E. coli* O157:H7에 대한 살균: 양파 분말 A, B을 Teflon 재질의 plate에 고르게 편 후, 처리 전력 900 W에서 20 분 동안 헬륨 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)를 사용하여 LMCPT 또는 HMCPT하였다. 이 때, 양파 분말 B의 경우 분말화 전 건조방법이 CPT의 미생물저해효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 열풍 건조 또는 진공 건조된 양파로 제조하여 총 2 가지 샘플을 준비하였다.

열풍 건조는 열풍 처리기(C-DF, Chang Shin Scientific Co., Seoul, Korea)를 사용하였고, 진공 건조는 진공 건조기(OV-11, Jeio Tech Co., Ltd., Seoul, Korea)를 사용하였다. 또한, *A. brasiliensis* (*A. niger*), 그리고 *E. coli* O157:H7에 대한 CPT의 저해효과가 초기 미생물 농도의 영향을 받는지 알아보았다. 처리 전후의 시료를 0.1% (w/v) peptone water로 희석하여 3 분간 blending한 후 TSA, PDA, 그리고 MacConkey agar에 배양하였다. TSA는 37°C에서 48 시간 동안 배양되었으며, PDA는 2-5 일 동안 25°C에서, 그리고 MacConkey agar는 37°C에서 24 시간 동안 배양되었다.

○ 열처리와 CP 처리에 의한 *B. cereus* spores 살균: 접종된 양과 분말 A 3 g을 멸균백 (19 cm×30 cm, Nasco WHIRL-PAK®, Fort Atkinson, WI.)에 넣은 후, 항온수조에 침지시켜 열처리하였다. 열처리 조건 중 온도는 80°C와 90°C였고, 시간은 1, 3, 5, 10, 그리고 30 분이였다. 열처리된 양과 분말 A는 Teflon 재질의 plate에 고르게 편 후, 헬륨 가스로 LMCPT되었다. 이 때 사용된 유속, 처리 전력, 시간, 그리고 압력은 각각 1 L/min, 900 W, 0.7 kPa, 그리고 20 분이였다. 처리 전후의 시료를 0.1% (w/v) peptone water로 희석하여 3 분간 blending한 후 TSA에 배양하였다. TSA는 37°C에서 48 시간 동안 배양되었다.

라. 미생물 저해 model 구축 및 model parameter들 결정

○ 양과 분말에 접종시킨 *B. cereus* spores가 HMCPT에 의해 저해되는 현상을 잘 설명하는 모델이 무엇인지 알아보기 위해 1차 반응 속도 모델들(식 (2), (3)), Fermi 모델(식 (4)) (Peleg, 1995), 그리고 Weibull 모델(식 (5))에 미생물 저해 데이터를 피팅(fitting)시켰다. 이 때 1차 반응 속도 모델들과 Fermi 모델은 Minitab 15 (ver. 15, Minitab, Inc., State College, PA, USA) 프로그램을 이용하였고, Weibull 모델은 GInaFiT (Geeraerd and Van Impe Inactivation Model Fitting Tool) 프로그램을 이용하였다. 비열 플라즈마 처리 전과 후의 미생물 농도로 저해되지 않은 미생물 농도(RM)를 구하였다(식 (1)).

$$RM = A/A \quad \text{식 (1)}$$

A: 처리구의 미생물 농도(log CFU/cm²), A₀: 대조구의 미생물 농도(log CFU/cm²).

$$\ln(RM) = -k_n E \quad \text{식 (2)}$$

E: 처리 전력(W), k_n: 1차 반응상수.

$$\ln(RM) = -k_n t \quad \text{식 (3)}$$

t: 처리 시간(분), k_E: 1차 반응상수.

$$RM = \frac{1}{1 + e^{(-E)/a}} \quad \text{식 (4)}$$

E: 처리 전력(W), E_h: RM이 0.5가 되는 처리 전력(W),

a: E_h 주위 곡선의 기울기를 나타내는 인자.

$$\log N = \log N_0 - (t/\delta)^s \quad \text{식 (5)}$$

δ: 크기 인자, s: 모양 인자.

마. Lab scale 에서의 미생물 살균 최적조건 확립

○ 모든 실험은 2회 반복되었다. 분산분석법(analysis of variance)으로 각 표본 평균값의 차이를 분석하였고, 유의차가 있는 경우 Duncan 다범위 검증을 실시하였다. 분산분석법과 유의차 검증은 SAS 프로그램(SAS® version 9.2, SAS Institute Inc., Raleigh, NC, USA)을 이용하였다. 시료 간의 유의차는 5% 수준에서 검증되었다. *B. cereus* spores 저해, 처리 전력, 그리고 처리 시간의 상관관계는 SAS의 Pearson correlation을 이용하여 결정하였

다. 양과 분말에 접종시킨 *B. cereus* spores를 저해할 때 처리 전력과 시간이 주는 영향을 알아보기 위하여 변수가 2개인 중심합성계획법(two variable second-order center composite RSM design)으로 Minitab 프로그램을 이용하여 실험을 계획하였으며, 이때 중심점과 구간을 각각 5 개와 13개로 설정하였다(Table 3-3). 독립변수는 처리 전력(X_1 , 400, 474, 650, 828, 900 W)과 처리 시간(X_2 , 10, 14, 25, 36, 40 분)이었다. 실험결과 분석은 SAS 프로그램을 이용한 반응표면분석을 통해 이루어졌으며, 모델 식은 다음과 같이 2차 회귀모형을 사용하였다.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_{12} + b_{22}X_{22} \quad \text{식 (6)}$$

Y는 종속변수로서 *B. cereus* spores의 저해농도(log CFU/cm²)이고, b_n 는 회귀계수이며, X_1 와 X_2 는 각각 처리전력(W)과 처리 시간(분)이다. *B. cereus* spores 저해에 대한 최적 조건은 Minitab의 Response optimizer function을 사용하여 결정하였다. 분산분석법과 회귀분석을 이용하여 모델 인자들(k_n , k_E , E_b , a) 값들을 예측하였다.

Table 3-3. Experimental variables and their values for the determination of optimum CP treatment conditions for inhibiting *B. cereus* spores on onion powder

Experiment number	Explanatory variables			
	Treatment power: X_1, C_1 ; Treatment time: X_2, C_2			
	Coded value		Real value	
	X_1	X_2	C_1	C_2
1	- 1.4	0	400	25
2	- 1	1	474	36
3	- 1	- 1	474	14
4	0	0	650	25
5	0	0	650	25
6	0	0	650	25
7	0	0	650	25
8	0	0	650	25
9	0	1.4	650	40
10	0	- 1.4	650	10
11	1	- 1	828	14
12	1	1	828	36
13	1.4	0	900	25

○ 온도와 수분활성도 변화 측정: 처리 전과 후의 양과분말 표면 온도, 수분활성도, 그리고 수분함량을 측정하였다. 표면 온도는 thermocouple (Type K, 1.6-mm diameter, Fisher Scientific, Fair Lawn, NJ, USA)로 측정되었으며, 수분활성도는 water activity meter (Pawkit water activity meter, Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA)로 측정되었다. 수분함량은 수분함량 분석기를 사용하여 측정되었다.

○ 시료 표면 관찰: 열풍 건조 또는 진공 건조된 양과 분말 표면을 관찰하였다. 페트리디쉬 (10060, SPL)의 뚜껑에 각 시료들을 미생물이 접종된 표면이 위로 향하도록 접착시킨 후, 뚜껑을 덮어 접착된 시료들이 페트리디쉬 바닥과 평행이 되도록 하였다. 페트리디쉬 바닥에는 1% osmium tetroxide (19192, Electron Microscopy Sciences, PA, USA) 1 mL이 고르게 스폿팅되어 있었다. 24 시간 동안 fume hood (22±2°C)에서 건조되었다. 건조된

시료를 알루미늄 재질의 마운트(mount)에 고정시킨 뒤, 백금(Pt)으로 코팅시켜 scanning electron microscopy (Field emission-SEM, FE-SEM, S-4700, Hitachi, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다.

3. 분말 식품 살균용 lab-scale CP 살균 시스템 제작

가. 구성

○ 본 연구에서 사용한 반응기는 원형 튜브의 전극 및 유전체 장벽, 헬륨 등의 비활성기체로 구성되며 여기에 외부의 A/C 전원 및 유량조절 공급부로 구성되었다. 10~25 kHz 의 가변 주파수 영역을 갖는 고전압 전원을 이용하여 전력을 주입하며, A/C의 시그널을 펄스로 공급하는 것이 특징이다. 유량 조절기를 이용하여 헬륨을 공급하였다. Fig. 3-2는 실험 장치의 구성도이다. A/C 전원의 파형, 실제 전압변화 및 주파수 측정을 위하여 Oscilloscope (DL7100, YOKOKAWA 社)를 이용하였다. 또한, CP 반응기의 외부온도를 측정하기 위하여 비접촉식 적외선 온도측정기를 사용하여 컴퓨터에 실시간으로 온도변화를 측정 및 확인 할 수 있었다.

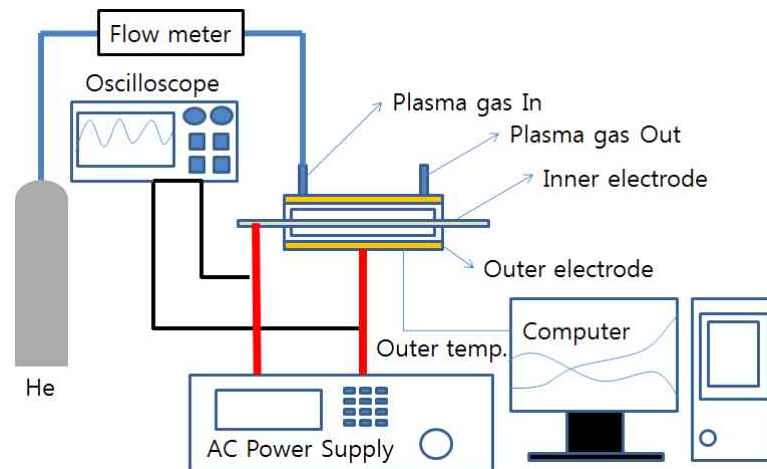
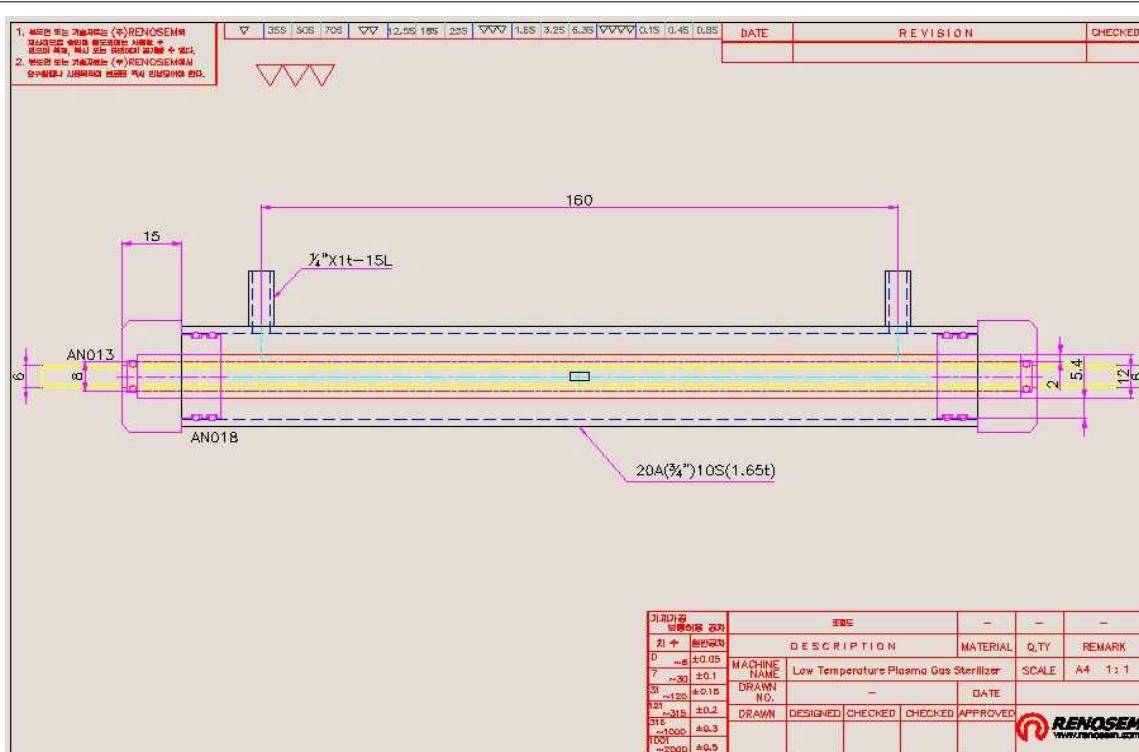


Fig. 3-2. 1차 년도 Dielectric barrier discharge (DBD) 반응기 실험 장치도

나. 반응기 종류

○ Fig. 3-3에서 보듯이 플라즈마 반응기를 2가지 타입으로 제작하였다. (A) 반응기는 전극 사이의 유전체로 내경 Ø20 , 외경 Ø22 , 길이 250 mm 파이프를 이용하였으며, 내부전극은 외경 Ø3.1×2, 길이 280 mm stainless steel (SUS)봉을 이용하였다. 유전체를 감싸는 외부전극은 전기전도도가 높고 유전체에 밀착성이 좋은 0.05 mm 얇은 구리판을 사용하였다. (B) 반응기는 외부전극으로 내경 Ø14 , 외경 Ø17.3 , 길이 200 mm SUS 관을 사용하였으며, 내부전극 또한, 외경 Ø3.8 , 길이 231 mm sus봉을 사용하였다. 유전체는 내경 Ø4 , 외경 Ø6 , 길이 215 mm의 세라믹 관을 내부전극 외부에 고정시켰다.



(A) Basic reactor diagram



(B) Pyrex reactor



(C) Stainless steel reactor

Fig. 3-3. CP reactors

4. 결론

가. 양과 분말의 잠재적 위해 세균과 부패 미생물 오염도 조사 및 오염 미생물 저감화 수준 설정

○ ‘분말 A’ 중 국내산 양과 분말에서는 총 호기성 미생물이 $4.1 \pm 0.3 \log \text{CFU/g}$ 이 존재하였다. 그 중 곰팡이 및 효모는 $3.7 \pm 0.4 \log \text{CFU/g}$ 이었고, *Bacillus* 속은 $2.5 \pm 0.3 \log \text{CFU/g}$ 가 존재하는 것으로 나타났다(Table 3-4).

Table 3-4. Microbial contamination of onion powder.

Microorganisms	Microbial concentration (log CFU/g)	
	Domestic sample	Imported sample
Total aerobic microorganisms	4.2±0.3	4.8±0.3
<i>Bacillus</i> spp.	2.5±0.3	3.6±0.1
Yeast and molds	3.7±0.4	
<i>E. coli</i> O157:H7		
<i>Salmonella</i> spp.		ND
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND	
Coliform		
<i>Clostridium</i> spp.		

ND: not detected (detection limit: 10 CFU/g)

○ 국외산 양파 분말에서는 총 호기성 미생물이 4.8±0.3 log CFU/g이 존재하였다. 그 중 *Bacillus* 속은 3.6±0.1 log CFU/g가 존재하는 것으로 나타났으며, 곰팡이 및 효모는 검출되지 않았다(Table 3-4). 이 외에 *Salmonella* 속, *E. coli* O157:H7, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringenes*, 그리고 coliform은 검출되지 않았다(detection limit: 10 CFU/g). Schweiggert 등(2007)에 따르면 양파 분말과 같은 향신료에 3-7 log CFU/g의 호기성 균이 존재하고, 2-4 log CFU/g의 곰팡이 및 효모, 그리고 2-4 log CFU/g의 coliform이 존재한다. 향신료들은 원재료를 수확하고 가공하는 동안 미생물이 오염되기 때문에(Pezzutti et al., 2005) 최종 분말 제품 내 미생물 농도가 높게 나타나고 있다.

나. 양파 분말 미생물 저감화를 위한 CP 처리 parameter 결정

○ 호기성 미생물에 대한 저해효과: 양파분말을 모든 가스를 사용하여 900 W에서 20 분 동안 LMCPT한 결과, 가스 종류에 상관없이 모든 처리에서 유의적인 저해가 나타났지만 ($p<0.05$), 그 저해 정도는 약 1 log CFU/g으로 낮게 발생되었다(Table 3-5).

Table 3-5. Effects of CP treatment on the inhibition of indigenous aerobic microorganisms in onion powder

	Reduction rate (log CFU/g)	
	Total aerobic bacteria	Yeast and molds
Untreated sample	0.0±0.0	0.0±0.0
Nitrogen	0.4±0.2	0.4±0.2
Nitrogen-oxygen (4:1)	0.5±0.1	0.5±0.2
Nitrogen-oxygen (99.3:0.7)	0.6±0.2	0.5±0.2
Gases		
Helium	0.6±0.1	0.6±0.3
Helium-oxygen (99.8:0.2)	0.6±0.2	0.4±0.0
Argon	0.6±0.2	0.5±0.2
Oxygen	0.5±0.2	0.5±0.3

- Kim 등(2014)이 고춧가루 내 호기성 미생물에 대한 LMCPT (질소, 질소와 산소 혼합가스, 헬륨, 헬륨과 산소 혼합가스, 900 W, 20 분)의 저해효과를 관찰한 결과, 고춧가루에는 호기성 미생물이 약 6 log CFU/g 존재하였는데, 그 중 *B. cereus* 포자가 3.6±0.2 log spores/g이 검출되었다. 본 연구에서 사용된 '분말 A'에서도 *Bacillus* 속이 검출되었다. 또한 '분말 A'에서 검출된 곰팡이는 검은 환 모양으로 균사체가 보여 양파의 흑균병(Black Rot disease)의 원인 미생물인 *A. brasiliensis* (*A. niger*)로 추정되었는데, 이는 UV light에 대해 저항성이 매우 높은 것으로 나타났다(Vijayanandraj et al., 2006). 따라서 LMCPT의 낮은 저해효과는 열처리, 방사선 조사, 또는 화학 물질 처리 등에 대해 높은 저항성을 가진 *B. cereus* 포자와 *A. brasiliensis* (*A. niger*) 포자가 양파분말에 존재하였기 때문이다.
- *B. cereus* spores에 대한 저해효과: '분말 A'에 접종된 *B. cereus* 포자를 헬륨 가스로 900 W에서 20 분 동안 LMCPT와 HMCPT하였을 때, 각각 0.4±0.1와 0.5±0.1 log spores/g 저해되었다($p<0.05$). 본 연구에서는 CPT 전에 *B. cereus* 포자의 저항성이 낮아지도록 80°C에서 10 분과 30 분, 그리고 90°C에서 1, 3, 5, 10, 그리고 30 분 동안 열처리하였다. 열처리 후에 나타난 발아율은 Table 3-6에 나타내었다.

Table 3-6. Germination rate of *B. cereus* spores inoculated on onion powder after heat treatments

Temp. (°C)	Time (min)	Microbial concentration (log CFU/g)		Germination rate (%)
		Spores	Germinated spores	
0	0	5.6±0.1	0.0±0.0	0
80	10	5.2±0.1	1.7±0.2	97.81
	30	5.0±0.2	2.4±0.2	99.61
90	1	5.2±0.1	2.1±0.1	99.27
	3	4.7±0.1	2.3±0.1	99.52
	5	4.5±0.1	2.6±0.1	99.75
	10	3.9±0.1	< 1 log	99.99
	30	< 1 log	< 1 log	99.99

○ 모든 온도에서 처리 시간이 길어질수록 포자의 발아율이 높아졌으며, 90°C에서는 10 분 이상 처리 시 모든 포자가 영양세포로 발아한 것으로 사료되었다. 포자의 발아수준을 고려하여 열 처리 조건을 80°C에서 5 분과 90°C에서 1 분으로 결정하였다. 열처리 직후에 LMCPT 또는 HMCPT한 결과는 Table 3-7에 나타나있다. 열처리와 CPT 또는 열처리와 HMCPT한 후에 나타난 저해효과에서 상승효과가 관찰되지 않았다. 앞서 고춧가루에 접종된 *B. cereus* 포자는 90°C에서 30 분간 열처리 한 후에 CPT하여 3.4±0.7 log spores/g 의 높은 저해가 발생되었다. 하지만, 양과분말에 접종한 경우에는 유사한 결과가 나타나지 않았다. 이는 열처리 조건과 CPT에서 사용된 가스, 그리고 *B. cereus* 포자가 접종된 식품의 특성, 즉 미생물에 영향을 주는 수분, pH, 그리고 항균 물질 등의 차이 때문인 것으로 사료되었다.

○ Mafart 그리고 Leguérinel (1997)와 Baker 그리고 Griffiths (1993)은 손상을 받은 포자가 회복하는데 있어 온도, pH 등 환경적 요인의 영향을 받는 것으로 보고하였다. 따라서 *B. cereus* 포자가 고춧가루 또는 양과 분말에 접종되어 열처리 된 후 회복하는 과정에서 저항성에 차이가 생긴다면 LMCPT 또는 HMCPT를 통해 얻을 수 있는 저해효과가 다를 것이라고 사료되었다.

Table 3-7. Concentration of *B. cereus* spores inoculated on onion powder treated by heat treatment combined with LMCPT (HT-LMCPT) and HMCPT (HT-HMCPT).

Untreated sample	LM-CPT	HM-CPT	Heat treatment (Unit: log spores/g)					
			Heat treatment (HT)		90 HT-	80 HT-	90 HT-	80 HT-
			90°C, 1 min	80°C, 5 min	LMCPTa	LMCPTb	HMCPTc	HMCPTd
5.6±0.1	5.2±0.1	5.2±0.0	5.3±0.1	5.4±0.1	4.8±0.1	4.8±0.1	4.7±0.1	4.8±0.1

ac Heat treatment (90°C, 1 min) and CPT (helium gas, 900 W, 20 min) or HMCPT (helium gas, 900 W, 20 min)

bd Heat treatment (80°C, 5 min) and CPT (helium gas, 900 W, 20 min) or HMCPT (helium gas, 900 W, 20 min)

○ 기존 양파분말 제조 공정에 따르면 열풍 건조된 양파를 사용하여 분말을 얻게 된다. CPT를 살균공정으로 적용하는데 있어 양파의 건조 방법이 CPT의 *B. cereus* 포자에 대한 저해효과에 주는 영향을 알아보하고자 하였다. 열풍 건조기와 진공 건조기를 사용하여 lab-scale로 제작된 '분말 B'에 *B. cereus* 포자를 접종한 후 각각의 LMCPT와 HMCPT의 저해효과를 알아보았다(Table 3-8).

Table 3-8. Effects of drying methods on inhibition of *B. cereus* spores on onion powder with by the LMCPT and HMCPT (helium gas, 900 W, 20 min).

(Unit: log spores/cm²)

Samples	Drying methods	
	Vacuum	Hot air
Untreated powder	4.8±0.3 a	5.1±0.1 a
LMCP treated powder	3.6±0.1 d	4.2±0.1 b
HMCP treated powder	3.3±0.2 e	4.0±0.1 c

a Mean values in columns were analyzed for significant differences (a= 0.05).

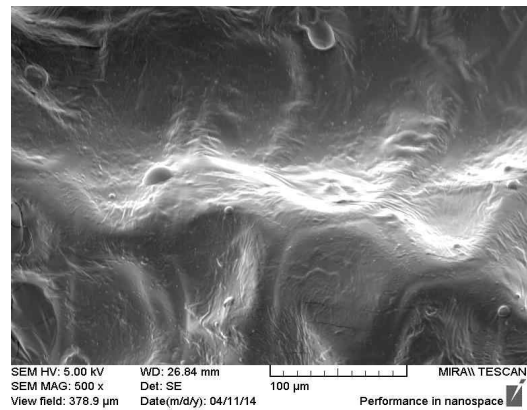
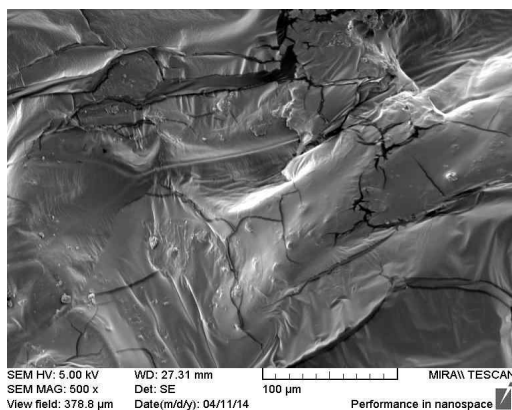


Fig. 3-4. Scanning electron micrographs of onion powder. Left, uninoculated far infrared dried onion powder; right, uninoculated vacuum dried onion powder

- 이 때 LMCPT와 HMCPT는 헬륨 가스를 사용하여 900 W에서 20 분 동안 진행되었다. 그 결과 열풍 건조된 시료에 접종된 포자 보다 진공 건조된 시료에 접종된 포자가 더욱 많이 저해되었다. SEM을 이용하여 관찰된 각 양파분말의 표면을 관찰한 결과, 열풍 건조 처리된 양파분말의 표면은 균열이 나타났고, 진공 건조된 양파분말에서는 매끄러운 표면이 관찰되었다(Fig. 3-4).
- 열풍 건조 된 시료에 오염된 미생물들은 균열이 난 틈에 존재할 가능성이 높기 때문에 plasma의 영향을 균일하게 받지 못했을 것으로 사료되었다. 열풍건조는 일반적으로 사용되는 과채류의 건조 방법으로 알려져 있지만 건조 시간이 길어 에너지 효율이 낮고, 식품의 색과 영양성분의 감소가 문제점으로 나타났다(Bazyma et al., 2006; Maskan, 2000). 이에 반해 진공건조는 식품을 산소에 노출시키지 않기 때문에 산화작용을 억제시켜주는 장점이 있다. 또한 열풍 건조에 비해 짧은 처리 시간과 낮은 온도 범위에 의해 관능적 및 영양적 성분에 영향을 주지 않는 것으로 보고되었다(Wu et al., 2007). 따라서 살균 처리에 대한 미생물 저해효과를 높이고 품질을 유지하기 위해서 양파 분말 제조 시 양파 건조 방법을 진공 건조 처리로 대체할 것을 권장하는 바이다.

Table 3-9. Effects of treatment time on inhibition *B. cereus* spores on onion powder by LMCPT and HMCPT

Treatment power (W)	Treatment time (min)	Reduction rate (log spores/cm ²)	
		LMCP treated powder	HMCPT treated powder
900	20	1.2±0.1	1.4±0.2
	30	1.1±0.1	1.5±0.1
	40	1.2±0.1	2.1±0.2

- 진공건조 된 양파로 제조된 분말에 *B. cereus* 포자를 접종한 뒤 처리 시간(20, 30, 그리고 40 분)에 따른 LMCPT와 HMCPT의 저해효과를 알아보았다(Table 3-9). LMCPT에서는 처리 시간의 증가에 따른 저해효과의 증가가 나타나지 않았고($P>0.05$), 30 분 이상 HMCPT시 저해효과가 유의적으로 증가하였다($P<0.05$). 많은 연구들에서도 plasma 처리 시간이 증가함에 따라 미생물 저해효과가 높아지는 것은 증명된바 있다(Hong et al., 2009; Roth et al., 2010). 이는 plasma 내 미생물을 사멸에 이르게 하는 주요 라디칼의 영향을 받는 시간이 증가되었기 때문으로 사료된다. 덧붙여 HMCPT가 LMCPT에 비해 높은 저해를 일으킨 것은 high microwave power density에 의한 것으로 사료되었다. Microwave power density가 높으면 헬륨 원자로부터 자유 전자의 생성량이 많아져 살균 인자인 RS도 많이 생성된다. 뿐만 아니라 high microwave power density에 의해 전자의 방출이 가속되어 *B. cereus* 포자가 더욱 많이 저해된 것으로 사료되었다.

○ Korachi 등(2009)은 물에 존재하는 *E. coli*에 대해 plasma 처리하였을 때 처리 시간이 증가함에 따라 저해가 많이 발생하였다고 보고하였고, Song 등(2009)의 연구결과에서도 슬라이스 치즈와 햄에 접종된 *Listeria monocytogenes*에 대한 저해가 plasma 처리 시간이 증가할수록 높게 나타났다. 본 연구에서 40 분 처리 시 처리 전후의 식품 표면 온도 변화는 $5.4\pm 1.2^{\circ}\text{C}$ 였고, 초기 온도는 $27.3\pm 1.2^{\circ}\text{C}$ 였다. 미생물을 저해하는데 온도의 영향이 없었으므로 HMCPT가 비열 살균 처리 공정임을 알 수 있었다. 독립 변수인 처리 전력과 처리 시간이 종속 변수인 *B. cereus* 포자의 저해(log spores/cm²)에 주는 영향을 알아보았다(Table 3-10).

Table 3-10. Experimental variables and their values for the determination of optimum CP treatment conditions for inhibiting *B. cereus* spores on onion powder

Experiment number	Explanatory variables -				Response variable
	Treatment power: X1,C1;		Treatment time: X2,C2		
	Coded value		Real value		Reduction (log spores/cm ²)
X1	X2	C1	C2		
1	- 1.4	0	400	25	1.5±0.1
2	- 1	1	474	36	2.3±0.1
3	- 1	- 1	474	14	0.5±0.1
4	0	0	650	25	1.1±0.1
5	0	0	650	25	1.1±0.1
6	0	0	650	25	1.0±0.1
7	0	0	650	25	0.9±0.1
8	0	0	650	25	1.1±0.1
9	0	1.4	650	40	1.5±0.1
10	0	- 1.4	650	10	0.9±0.1
11	1	- 1	828	14	1.2±0.1
12	1	1	828	36	1.6±0.2
13	1.4	0	900	25	1.7±0.1

○ Pearson's correlation coefficient를 통해 처리 시간과 *B. cereus* 포자의 저해가 양의 상관관계를 갖고 있음을 알 수 있었다($r=0.71, p<0.0001$). 즉 처리 시간이 *B. cereus* 포자의 저해에 유의적으로 영향을 주었다. 처리 전력은 *B. cereus* 포자의 저해에 유의적으로 영향을 주지 않았다($r=0.32, p>0.05$). 각 처리 전력에서 사용된 처리 시간이 *B. cereus* 포자의 저해에 주는 영향을 Fig. 3-5에 나타냈다.

○ Pearson's correlation coefficient를 통해 처리 시간과 *B. cereus* 포자의 저해가 양의 상관관계를 갖고 있음을 알 수 있었다($r=0.71, p<0.0001$). 즉 처리 시간이 *B. cereus* 포자의 저해에 유의적으로 영향을 주었다. 처리 전력은 *B. cereus* 포자의 저해에 유의적으로 영향을 주지 않았다($r=0.32, p>0.05$). 각 처리 전력에서 사용된 처리 시간이 *B. cereus* 포자의 저해에 주는 영향을 Fig. 3-5에 나타냈다.

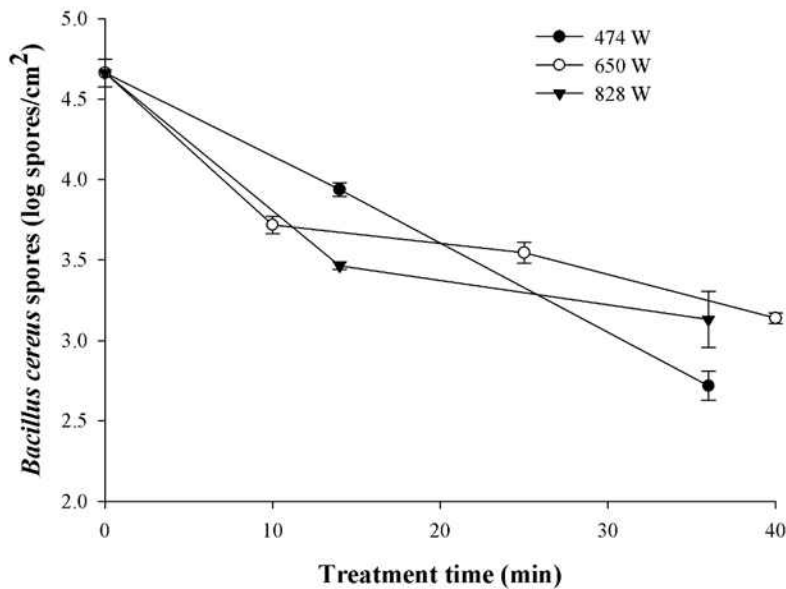


Fig. 3-5. Effect of the treatment time and power on the concentration of *B. cereus* spores with HMCPT using helium

- 처리 시간이 14 분일 경우에는 828 W에서 저해가 가장 많이 되었지만, 36 분 동안 처리 시 처리 전력이 474 W일 때 가장 높은 저해가 나타났다. 이는 식품 내 수분과 plasma의 microwave power density가 관련이 있을 것으로 사료되었다. 헬륨 가스는 에너지에 의해 이온화 되면서 UV photon을 만들고, 식품 내 수분(H₂O)과 반응하여 hydroxyl기와 hydrogen기와 같은 reactive species (RS)를 생성한다(Akitsu, 2005). UV photon의 경우에는 화학반응을 일으킬 수 있지만 낮은 침투성을 갖고 있어 미생물을 저해하는데 직접적인 영향을 주지 않는다.
- 그러나 UV photon이 포자의 coat를 구성하는 disulfide protein의 결합을 변형시키기 때문에 자유 라디칼, atoms, 또는 들뜬 분자 등은 포자의 core에 침투할 수 있다(Boucher 1980). RS의 생성에 있어 828 W, 650 W, 그리고 474 W에서 생성된 plasma의 microwave power density, 즉 수분이 이온화되는데 영향을 주는 에너지가 중요하게 작용할 것으로 사료되었다. 828 W, 650 W, 그리고 474 W에서 생성된 plasma의 microwave power density는 각각 0.23, 0.18, 그리고 0.13 W/m²이었다. 처리 전력이 828 W (0.23 W/m²)일 때 *B. cereus* 포자의 생존 곡선을 살펴보면 14 분에서 가파른 형태(1.2±0.1 log spores/cm²)로 감소되었고, 14 분과 36 분을 비교하였을 때는 농도가 완만하게(0.4±0.1 log spores/cm²)감소되었다. 처리 시간이 14 분일 때 *B. cereus* 포자 농도가 가파르게 감소된 것은 828 W의 높은 전력이 순간적으로 가해지면서 헬륨 원자의 이온화가 가속화되면서 자유전자들이 생성되고, 이들이 양과분말로부터 증발된 수분에 에너지를 전달하며 RS의 생산속도가 증가되었기 때문으로 사료되었다.

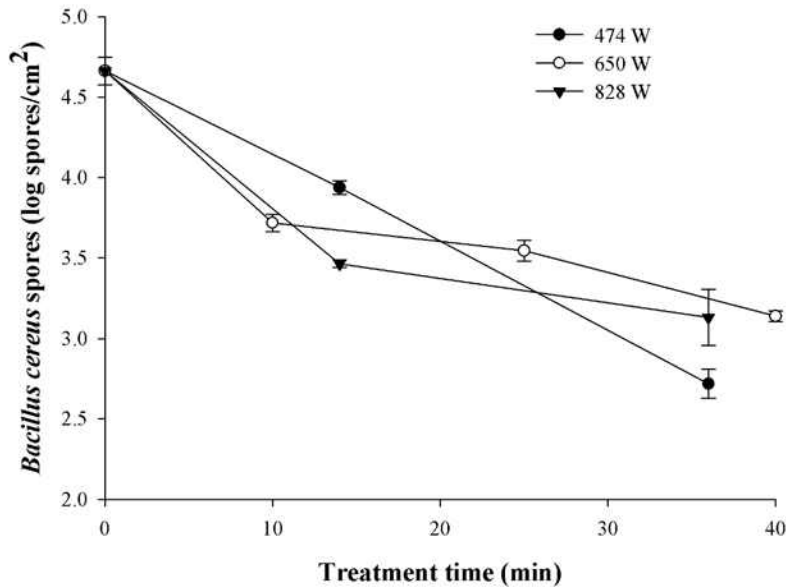


Fig. 3-5. Effect of the treatment time and power on the concentration of *B. cereus* spores with HMCPT using helium

- 처리 시간이 14 분일 경우에는 828 W에서 저해가 가장 많이 되었지만, 36 분 동안 처리 시 처리 전력이 474 W일 때 가장 높은 저해가 나타났다. 이는 식품 내 수분과 plasma의 microwave power density가 관련이 있을 것으로 사료되었다. 헬륨 가스는 에너지에 의해 이온화 되면서 UV photon을 만들고, 식품 내 수분(H₂O)과 반응하여 hydroxyl기와 hydrogen기와 같은 reactive species (RS)를 생성한다(Akitsu, 2005). UV photon의 경우에는 화학반응을 일으킬 수 있지만 낮은 침투성을 갖고 있어 미생물을 저해하는데 직접적인 영향을 주지 않는다.
- 그러나 UV photon이 포자의 coat를 구성하는 disulfide protein의 결합을 변형시키기 때문에 자유 라디칼, atoms, 또는 들뜬 분자 등은 포자의 core에 침투할 수 있다(Boucher 1980). RS의 생성에 있어 828 W, 650 W, 그리고 474 W에서 생성된 plasma의 microwave power density, 즉 수분이 이온화되는데 영향을 주는 에너지가 중요하게 작용할 것으로 사료되었다. 828 W, 650 W, 그리고 474 W에서 생성된 plasma의 microwave power density는 각각 0.23, 0.18, 그리고 0.13 W/m²이었다. 처리 전력이 828 W (0.23 W/m²)일 때 *B. cereus* 포자의 생존 곡선을 살펴보면 14 분에서 가파른 형태(1.2±0.1 log spores/cm²)로 감소되었고, 14 분과 36 분을 비교하였을 때는 농도가 완만하게(0.4±0.1 log spores/cm²)감소되었다. 처리 시간이 14 분일 때 *B. cereus* 포자 농도가 가파르게 감소된 것은 828 W의 높은 전력이 순간적으로 가해지면서 헬륨 원자의 이온화가 가속화되면서 자유전자들이 생성되고, 이들이 양과분말로부터 증발된 수분에 에너지를 전달하며 RS의 생산속도가 증가되었기 때문으로 사료되었다.

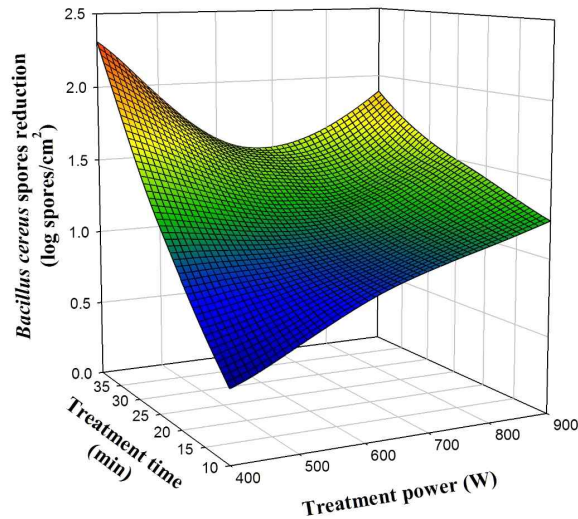
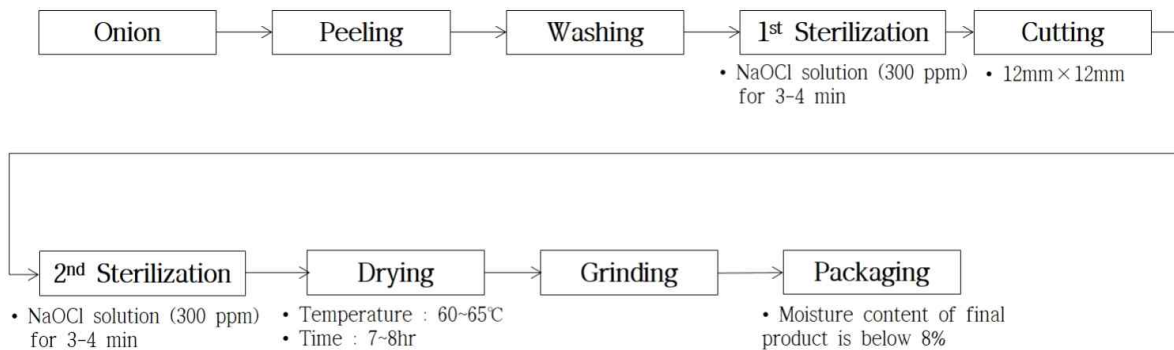


Fig. 3-7. Response surface plots generated with treatment power, time, and the reduction of *B. cereus* spores

- Fig. 3-7에 나타난 각 처리 전력에서는 처리 시간이 10 분에서 40 분으로 증가될수록 *B. cereus* 포자의 저해도 증가되었다. 그리고 처리 시간이 0-25 분 일 경우에는 처리 전력이 증가함에 따라 *B. cereus* 포자의 저해도 linear하게 증가되었지만, 25-40 분에서는 처리 전력의 영향을 받지 않는 것으로 관찰되었다. 최대 처리 시간인 36 분에서는 900 W에 비해 400 W에서 처리되었을 때 더욱 높은 미생물 저해가 관찰되었고, 이는 실제 실험을 통해 얻었던 데이터와 유사하게 나타났다. 이전 실험에서 양과 분말에 접종된 *B. cereus* 포자를 900 W에서 40 분 동안 처리하였을 때 약 2.1 log spores/cm² 저해되었고, 474 W에서 36 분 처리하였을 때는 약 2.3 log spores/cm²이 저해되었다.
- 900 W에서 진행되었을 때보다 400 W일 경우 *B. cereus* 포자의 저해가 많이 발생한 것은 plasma 내 생성된 RS의 종류와 UV photon의 파장이 *B. cereus* 포자를 저해하는데 영향을 많이 미쳤기 때문으로 사료되었다. Plasma 내 RS과 UV photon는 미생물 저해에 중요한 영향을 미치는 인자이다. 이 인자는 모든 미생물에 대해 동일한 저해 효과를 보이지 않는다. 같은 가스를 사용하여 동일한 처리 조건(power, time, flow rate, pressure)으로 CP 처리를 하였음에도 미생물 종류별 저해 효과는 다르게 나타난다. 본 연구에서 사용된 처리 챔버 내부에는 처리 가스로 사용된 헬륨과 시료로부터 증발되거나 휘발된 물 분자와 disulfide, 그리고 챔버 내부를 진공상태로 만들 때 잔류하였던 질소와 산소 등이 있을 것이다. 이들이 이온화되기 위해 요구된 에너지의 정도는 모두 다른데, *B. cereus* 포자의 저해에 영향을 주는 RS이 생성되는데 900 W가 아닌 400 W가 요구된 것으로 사료되었다. 또한, plasma 내 UV photon의 파장에 따라 미생물 저해도가 다른 것으로 나타났다.: (1) 200 nm에서 380 nm 까지의 UV, (2) 200 nm 이하의 VUV (대기 중 산소에 흡수가 되기 때문에 그렇게 불림).

- UV 영역은 UV-A, UV-B, 그리고 UV-C로 나뉠 수 있으며, 현재까지 이들과 관련된 많은 광생물학 연구들이 이루어져왔는데, 그 중 하나로 UV에 의한 DNA 손상으로 인한 세포의 돌연변이 화와 사멸에 관한 연구가 있다. 254 nm의 UV-C는 수년간 표면 살균의 용도로 사용되어왔으며 특히 식품 산업분야와 의료 기구 설비 분야에서 많이 쓰여 왔으나, 그 효과에 대해서는 의문을 가져왔었다(Lidwell et al., 1994; Shimomura et al., 1995; Taylor et al., 1995; Jay, 1997). 원자외선(100-200 nm)은 plasma로부터 방출되는 VUV의 중요한 구성 요소인데, 이러한 광자들은 유기 분자들에 존재하는 모든 화학 결합의 에너지보다 더 높은 에너지를 가지고 있기 때문에 미생물의 세포막을 보호하는 분자 결합들을 끊음으로써 미생물을 파괴시킬 수 있으며(Wertheimer et al., 1999), UV 조사는 plasma를 이용한 표면 살균에 있어서 가장 큰 살균 효과를 가지고 있다고 할 수 있다(Soloshenko et al., 1999). 따라서 400 W에서 생성되는 RS 종류와 UV photon의 파장이 *B. cereus* 포자를 효과적으로 저해시키는데 가장 적합했던 것으로 사료되었다.
- 양파 분말에 접종된 *B. cereus* 포자를 가장 많이 저해시킬 수 있는 최적 처리 조건으로 400 W와 40 분이 결정되었다. 이 때의 저해 예측 값은 2.22 log spores/cm²으로 예측되었고, 이는 실험 값(1.9±0.3 log spores/cm²)과 유사하였다. 본 연구결과를 통해 새로운 양파분말 제조 공정도를 Fig. 3-8에 제시하였다. 진공 건조된 양파를 이용하여 분말화를 한 후 HMCPT를 400 W에서 40 분 동안 진행한다면 *B. cereus* 포자에 대한 안전성이 높은 양파 분말 제품을 생산할 수 있을 것으로 사료되었다.

(A)



(B)

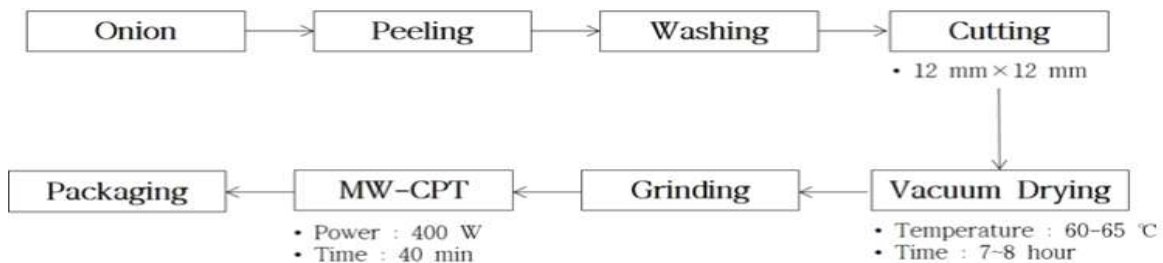


Fig. 3-8. Conventional onion powder manufacturing flow chart (A) and suggested onion powder manufacturing flow chart (B)

- *A. brasiliensis*에 대한 저해효과: *A. brasiliensis*는 검은 썩음병(Black Rot disease)을

일으키는 원인 미생물로 알려져 있으며(Brien et al. 1959; Van Konijnenburg et al., 1994), 식품의 품질에 영향을 줄 뿐만 아니라 인체에도 위해 한 것으로 나타났다. 양과 분말 제조 공정 중 살균되지 않아 최종 분말 제품에 잠재되어 있을 가능성이 있으므로 중요하게 관리되어야 하는 미생물로 사료되었다.

- ‘분말 B’에 *A. brasiliensis* 포자를 접종한 후 *B. cereus* 포자에 대한 최적 처리 조건인 400 W와 40 분을 사용하여 HMCPT하였다(Table 3-11). 이 때 ‘분말 B’는 열풍 건조 또는 진공 건조된 양과를 사용하여 2 가지 시료로 만들었다. 먼저 열풍 건조된 양과 분말에서 *A. brasiliensis* (*A. niger*)가 검출되는 농도에 따라 나타난 저해효과를 관찰하였다 (Table 3-11).

Table 3-11. Effects of the inoculum concentration of HMCPT using helium at 400 W for 40 min

Inoculum concentration	Microbial concentration (log CFU/cm ²)	
	Untreated powder	HMCP treated powder
6.5±0.1	5.5±0.1 a	4.7±0.1 b
5.5±0.1	4.7±0.1 b	3.8±0.1 c

a Mean values in columns were analyzed for significant differences (a= 0.05).

- 접종 농도가 5.5 log CFU/cm²일 경우에는 0.7±0.1 log CFU/cm²저해되었고, 4.7 log CFU/cm²일 때는 1.0±0.1 log CFU/cm²가 저해되었다. 식품에 존재하는 미생물 초기 농도가 plasma 처리의 저해효과에 영향을 줄 것으로 나타났다. 초기 미생물 농도가 높을수록 plasma 내 작용기들이 세포 당 가할 수 있는 영향이 줄어들기 때문이다(Fernandez et al., 2011). 이로 인해 CPT에 의한 미생물 저해 수준과 미생물 초기 농도간의 관계를 알아본 연구들이 보고된 바 있다(Burts et al., 2009, Deng et al., 2005, Fridman et al., 2007).
- 열풍 건조되거나 진공 건조된 양과분말에 *A. brasiliensis* 포자가 약 4.7 log CFU/cm²가 검출되도록 접종한 후 HMCPT하였다. 그 결과 각각 0.8±0.1 log CFU/cm²와 1.5±0.1 log CFU/cm²이 저해되었고, 진공 건조된 양과 분말에서 더욱 많이 저해되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 *B. cereus* 포자를 열풍 건조와 진공 건조된 고춧가루에 접종하여 HMCPT 후 나타난 저해결과와 유사하였다. 본 연구에서 *A. brasiliensis* 포자에 대한 저해효과가 *B. cereus* 포자의 저해효과(1.9±0.3 log CFU/cm²)보다 낮게 나타났다.

- 미생물 저항성은 세균 포자가 곰팡이 포자에 비해 높고, 곰팡이 포자는 영양세포에 비해 높다고 알려져 있다. 하지만 Raballand 등(2008)의 보고에 따르면 UV radiation에 대한 저항성에서 *A. niger* 포자가 *B. atrophaeus* 포자에 비해 높게 나타났다. Raballand 등(2008)은 plasma 이온 소스(plasma ion source)로부터 생성되는 UV radiation에 의해 *A. niger* 포자와 *B. atrophaeus* 포자가 각각 1.19 log spores와 4 log spores 저해되었고, 이는 *A. niger*의 포자 외피에서 UV가 흡수되기 때문으로 보고하였다. Vijayanandraj 등(2006)의 연구 결과에 따르면 양과로부터 동정된 *A. niger* 포자를 오존으로 살균처리 하였을 때, 저해효과가 나타나지 않았다고 보고하였다. 본 연구 결과를 통해 HMCPT가 양과분말에 오염된 *A. brasiliensis* 포자를 저해하는데 효과적인 살균 처리 방법임을 알 수 있었다. 또한 HMCPT는 양과분말 제조 공정 시 진공 건조 후 분말화 전에 적용된다면 *B. cereus* 포자 외에도 *A. brasiliensis* 포자에 대한 안전성이 있는 제품을 생산할 수 있을 것으로 사료되었다.
- ***S. typhimurium* 및 *E. coli* O157:H7에 대한 저해효과:** *S. typhimurium*과 *E. coli* O157:H7는 수분활성도가 낮은 식품에서도 생존이 가능하였기 때문에(Park and Beuchat, 2000), 향신료에서도 검출되고 있다(Little et al., 2003). 따라서 양과분말에 *S. typhimurium*과 *E. coli* O157:H7를 접종하여 CPT와 HMCPT의 저해효과를 알아보았다. ‘분말 A’에 접종된 *S. typhimurium*의 경우 아무 처리 하지 않았음에도 검출되지 않았다(detection limit: 10 CFU/g). Johnson 등(1969)에 따르면 양과 분말이 첨가된 배양액에서 *S. typhimurium*와 *E. coli* O157:H7를 접종하였을 때 D 값이 각각 1.8 시간과 6.8 시간으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 인위적으로 양과 분말에 *S. typhimurium*를 접종하였을 때 검출되지 않은 것은 항균 효과가 있는 양과에 *E. coli* O157:H7 보다 *S. typhimurium*가 민감한 것으로 사료되었다. 이는 직접 구매한 양과 분말 내 미생물 농도를 검출하였을 때 *S. typhimurium*과 *E. coli* O157:H7이 검출되지 않은 것을 통해서도 두 미생물의 양과 분말 내 항균물질에 대한 저항성이 낮을 것으로 생각되었다.
- 열풍 건조된 양과 분말에 초기 *E. coli* O157:H7 농도가 4.3 log CFU/cm²과 5.0 log CFU/cm²가 검출되도록 하여 HMCPT한 결과를 Table 3-12에 나타내었다. 접종 농도에 상관 없이 모두 1 log CFU/cm²의 저해가 나타났고, 유의적으로 차이가 나타나지 않았다 ($p>0.05$). 앞서 *A. brasiliensis* 포자의 경우와는 다른 경향인데, 이는 *E. coli* O157:H7이 양과 분말이 함유하고 있는 강한 항균 물질에 의해 접종된 농도와 상관없이 저항성이 낮아졌을 것으로 사료되었다.

Table 3-12. Effects of the inoculum concentration of HMCPT using helium at 400 W for 40 min

Inoculum concentration	Microbial concentration (log CFU/cm ²)	
	Untreated powder	HMCPT treated powder
6.2±0.1	5.0±0.1 a	3.7±0.1 c
5.5±0.1	4.5±0.1 b	3.3±0.1 d

- 열풍 건조와 진공 건조된 시료에 접종된 *E. coli* O157:H7 (4.8±0.1 log CFU/cm²)는 HMCPT한 후에 각각 1.1±0.1 log CFU/cm²와 약 4 log CFU/cm²이상 저해되었다. 이는 앞서 *B. cereus* 포자와 *A. brasiliensis* 포자에 대한 연구들을 통해 얻었던 결과와 같이 진공 건조된 샘플에서 저해가 더욱 많이 발생되었다. 미생물 저항성은 영양세포가 세균과 곰팡이의 포자에 비해 가장 낮은 것으로 알려져 있으며, 본 연구결과에서도 *E. coli* O157:H7이 이는 앞서 관찰한 *B. cereus* 포자와 *A. brasiliensis* 포자에 비해 높은 수준으로 저해되었다. Kim 등(2012)은 RF (radio-frequency) heating을 사용하여 후추와 고춧가루에 접종된 *E. coli* O157:H7에 대한 저해효과를 관찰하였다. 이 때 처리 시간이 40-50 초였으며, 저해효과는 약 4 log CFU/g 이상이었는데, 처리 중 표면의 온도를 측정한 결과 후추의 경우 최대 67°C, 고춧가루는 최대 79°C까지 도달하였다. 본 연구에서 사용된 HMCPT에서도 진공 건조된 양파 분말에서 유사한 수준의 저해효과(> 4 log CFU/cm²)가 관찰되었지만, 처리 중 최대 온도는 35°C이었다. 따라서 HMCPT는 식품에 유입되는 열을 최소화 하여 열에 의해 발생될 수 있는 품질 변화를 최소화할 수 있기 때문에 분말 제품 외에도 *E. coli* O157:H7의 오염이 빈번하게 발생하는 과채류, 즉 샐러드용 채소 등에도 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

다. Pyrex 반응기를 이용하여 생성된 CP의 양과 분말에 접종된 미생물의 저해에 대한 영향

- 향후 양산화를 위해 유리반응기 보다 내구성 및 강도를 높인 스테인레스 반응기를 적용하여 검증 하였다.
- 양과 분말에 접종된 *B. cereus* spore가 헬륨 가스(15 L/min)로 3 kV에서 2, 5, 10, 20, 그리고 60 초 동안 CP처리 되었을 때 CP처리에 의한 *B. cereus* spore의 저해 농도는 0.0-0.2 log spores/cm²로 저해 효과는 보이지 않았고, 처리 시간의 증가에 따른 *B. cereus* spore의 저해 효과에 차이를 보이지 않았다(Table 3-13)
- *B. cereus* spore가 헬륨 가스(15 L/min)로 3 kV와 5 kV에서 20 초 동안 CP처리 되었을 때 *B. cereus* spore의 저해 농도는 각각 0.1±0.1과 0.2±0.1 log spores/cm²로, 처리 전압의 증가에 따른 *B. cereus* spore의 저해 효과 차이는 없었다(Table 3-13). *E. coli* O157:H7이 헬륨 가스(15 L/min)로 3 kV에서 5, 10, 20, 그리고 60 초 동안 CP처리 되었을 때 *E. coli* O157:H7의 저해 농도는 각각 0.4±0.1, 0.3±0.1, 0.4±0.1, 그리고 0.9±0.1 log CFU/cm²로, 5-20 초 동안 CP처리되었을 때보다 60 초 동안 처리되었을 때 더 큰 *E. coli* O157:H7의 저해 효과를 보여주었다(Table 3-13).
- *E. coli* O157:H7이 헬륨 가스로 3 kV에서 60 초 동안 10 또는 15 L/min의 가스 유속으로 CP처리 되었을 때 *E. coli* O157:H7의 저해 농도는 0.9-1.0 log CFU/cm²로, 가스 유속 차이에 의한 *E. coli* O157:H7의 저해 효과의 차이는 없었다(Table 3-13). *E. coli* O157:H7이 헬륨 가스(15 L/min)로 3 kV와 5 kV에서 20 초 동안 CP처리 되었을 때 *E. coli* O157:H7의 저해 농도는 각각 0.4±0.1과 1.2±0.1 log CFU/cm²로 처리 전압이 커질수록 CP처리에 의한 *E. coli* O157:H7의 저해 효과가 커지는 것을 확인하였다(Table 3-13). *E. coli* O157:H7이 질소 가스(15 L/min)로 7 kV에서 2, 5, 10, 그리고 20 초 동안 CP처리 되었을 때 *E. coli* O157:H7의 저해 농도는 각각 0.2±0.2, -0.2±0.1, 0.0±0.2, 그리고 0.4±0.1 log CFU/cm²로 CP처리 시간이 증가됨에 따라 *E. coli* O157:H7의 저해 효과가 커지는 경향을 관찰할 수는 없었다(Table 3-13).
- 그러나 선택배지인 MacConkey agar에서 배양시켰을 때의 미생물 감소 농도는 각각 0.7±0.1, 0.6±0.0, 1.2±0.2, 그리고 2.5±0.0 log CFU/cm²로 CP처리에 의해 *E. coli* O157:H7이 손상이 되는 결과를 확인할 수 있었고, 처리 시간의 증가에 따라 *E. coli* O157:H7의 손상도도 증가되는 것을 알 수 있었다(Table 3-13). 많은 연구들에서도 plasma 처리 시간이 증가함에 따라 미생물 저해효과가 높아지는 것은 증명된바 있다. Hong 등(2009)의 연구에 따르면 *E. coli*를 RF를 이용해 헬륨-산소 혼합가스로 생성된 electrical discharge plasma로 처리하였을 때 처리 시간이 증가함에 따라 *E. coli*의 저해도가 증가하였다. Korachi 등(2010)의 연구에서도 물에 존재하는 *E. coli*에 대해 DC (12 그리고 20 kV) 또는 AC (12 kV) 고전압을 이용한 atmospheric corona discharge plasma 처리를 하였을 때 처리 시간이 증가함에 따라 저해가 많이 발생하였다고 보고하였다. 이는 plasma 내

미생물을 사멸에 이르게 하는 주요 라디칼의 영향을 받는 시간이 증가되었기 때문으로 사료된다.

Table 3-13. Effect of different types of CP reactors on microbial inhibition

반응기 종류	미생물 종류 (집중 농도)	가스 종류	전압 (kV)	시간 (초)	유속 (L/min)	저해 농도 (log spores or CFU/cm ²)		온도 (°C)					
						TSA agar	MacConkey agar						
Pyrex	<i>B. cereus</i> spore (6 log spores/m L)	헬륨	3	2	15	0.1±0.1	-	27.3					
				5		0.0±0.0		28.0					
				10		0.0±0.1		36.2					
				20		0.1±0.1		37.7					
				60		0.1±0.0		53.4					
			5	20	0.2±0.1	52.2							
		<i>E. coli</i> O157:H7 (6 log CFU/mL)	헬륨	3	5	15	0.4±0.1	-	27.5				
					10		0.3±0.1		30.1				
					20		0.4±0.1		35.9				
				60	10	1.0±0.1	49.8						
						15	0.9±0.1		53.4				
				5	20		1.2±0.1		53.5				
					질소	7			2	15	0.2±0.2	0.7±0.1	26.9
									5		-0.2±0.1	0.6±0.0	33.0
10	0.0±0.2	1.2±0.2	36.7										
20	0.4±0.1	2.5±0.0	39.4										
SUS	헬륨	2		30	15	0.2±0.1	-	28.0					
				60		-0.2±0.1		30.9					
				90		-0.4±0.1		37.7					
				120		0.5±0.3		44.2					
				180		-0.4±0.0		46.8					
SUS (Coolig system)	헬륨	7		30	15	0.3±0.2	1.3±0.3	28.6					
				60		0.6±0.2	2.2±0.2	44.6					
				90		0.3±0.2	1.9±0.6	62.6					
				120		1.7±0.6	ND	71.4					

(ND ; Not detection)

- 본 연구 결과를 통하여 pyrex 반응기를 이용하여 양과 분말에 접종된 *E. coli* O157:H7을 헬륨 가스로 3 kV에서 60 초, 5 kV에서 20 초 동안 CP처리하였을 때 *E. coli* O157:H7이 90% 이상 저해되는 것을 알 수 있었다.

. SUS 반응기를 이용하여 생성된 CP의 양과 분말에 접종된 미생물의 저해에 대한 영향

- 향후 양산화를 위해 유리반응기 보다 내구성 및 강도를 높은 스테인레스 반응기를 적용하여 검증 하였다.
- *E. coli* O157:H7이 헬륨 가스(15 L/min)로 2 kV에서 30, 60, 90, 120, 그리고 180 초 동안 CP처리 되었을 때에는 *E. coli* O157:H7가 CP 처리에 의해 저해되는 결과를 확인할 수 없었다(Table 3-13).
- *E. coli* O157:H7이 헬륨 가스(15 L/min)로 7 kV에서 30, 60, 90, 그리고 120 초 동안 CP처리 되었을 때에는 *E. coli* O157:H7의 저해 농도는 각각 0.3 ± 0.2 , 0.6 ± 0.2 , 0.3 ± 0.2 , 그리고 $1.7 \pm 0.6 \log \text{CFU/cm}^2$ 였음. 30, 60, 그리고 90 초 동안 CP처리되었을 때보다 120 초 동안 처리되었을 때 더 큰 *E. coli* O157:H7의 저해 효과를 보여 주었다(Table 3-13).
- 선택배지인 MacConkey agar에서 배양시켰을 때의 저해 농도는 30, 60, 그리고 90 초의 CP 처리 시간에 따라 각각 1.3 ± 0.3 , 2.2 ± 0.2 , $1.9 \pm 0.6 \log \text{CFU/cm}^2$ 였고, 120 초 동안 처리했을 때는 미생물이 검출되지 않았다(detection limit: $4 \log \text{CFU/cm}^2$)
- Fig. 3-9는 Cooling system이 적용된 스테인레스 재질로 만들어진 반응기를 이용해 헬륨 가스(15 L/min) 로 7 kV에서 120 초 동안 *E. coli* O157:H7가 접종된 양과분말에 CP처리 하였을 때 *E. coli* O157:H7의 저해 농도는 $1.7 \pm 0.6 \log \text{CFU/cm}^2$ 로 90%가 저해됨을 확인하였다. 이는 plasma 내 미생물을 사멸에 이르게 하는 주요 라디칼의 영향을 받는 밀도가 증가되었기 때문으로 사료된다. Fig. 3-9와 같이 내부와 외부전극에 냉각 시키는 장치를 투입하여 전극에서 발생하는 열에 의하여 전압을 증가 시킬 수 없었던 단점을 극복하여 전압을 증가 시켜 *E. coli* O157:H7 사멸 효율을 보다 더 높인 것으로 사료되었다.

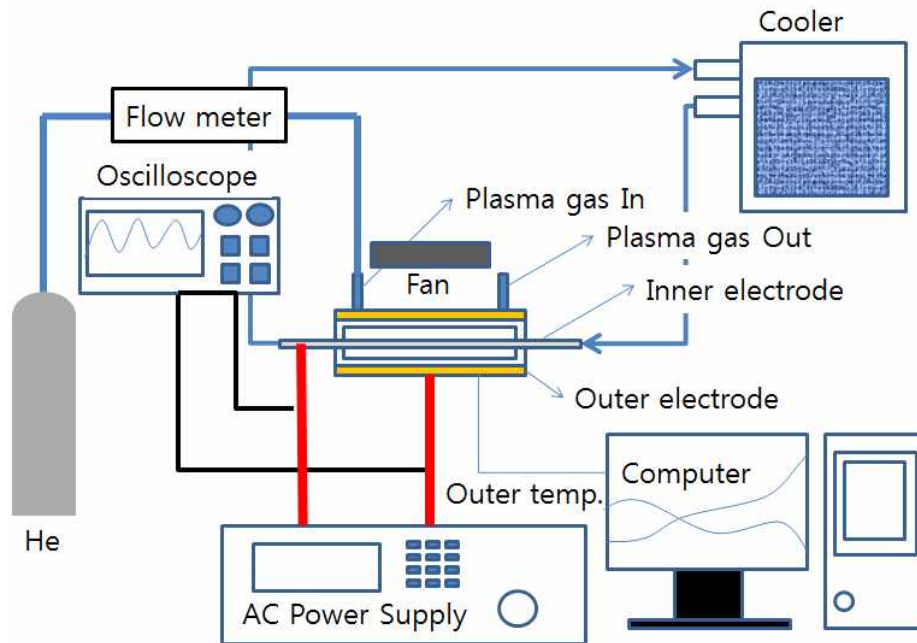


Fig. 3-9. Configuration of experimental apparatus including cooling system

마. CP에 의한 온도 변화

- 반응기의 종류, 플라즈마 형성 가스, 처리 전압과 처리 시간에 따른 플라즈마 처리에 의한 반응기 표면의 온도를 측정하였다. 외부온도는 infrared radiation 온도계를 이용하여 실시간으로 컴퓨터에서 모니터링 할 수 있도록 측정하였다. Pyrex 반응기의 경우, 플라즈마 반응기의 외부 온도는 처리 전압과 처리 시간이 증가될수록 상승하였다(Table 3-13). 헬륨으로 플라즈마를 형성 시켰을 때, 3 kV의 전압으로 60 초 동안 처리하거나 5 kV의 전압으로 20 초 동안 처리하였을 때에 50°C 이상으로 증가되었고, 질소로 플라즈마를 형성 시켰을 때에는 7 kV의 전압으로 20 초 동안 플라즈마 처리를 하여도 39.4°C 이하의 온도를 유지하였다(Table 3-13). SUS 반응기의 경우, 헬륨으로 플라즈마를 형성 시켰을 때에 2 kV의 전압으로 180 초 동안 플라즈마 처리를 하여도 46.8°C 이하의 온도로 측정되었다(Table 3-13).
- 플라즈마 처리에 의하여 온도가 50°C 이상이 된 CP 처리 조건은 앞서 설명한 것과 같이 Pyrex 반응기와 헬륨을 이용하였으며 전압은 사태전압(breakdown voltage)인 3 kV, 진동수(frequency)는 20 kHz, 펄스폭(pulse width)는 2 μ s였다.
- Fig. 3-10은 처리 시간에 따른 반응기의 외부온도 변화에 대해서 나타낸 것이다. 플라즈마 반응기의 외부 온도는 플라즈마 처리 시간이 길어질수록 증가하였으며, 처리 시간이 60 초가 지나면서 외부 온도가 증가하여 CP 처리 시 스트리머가 불안정한 것을 확인하

였다.

- 이를 해소하고자 안정적인 플라즈마 CP 처리를 위해 전극 온도를 낮추는 시스템(Cooling system)을 적용하여 실험을 하였다. 쿨링시스템(Fig. 3-9)은 전극 내부에 물을 회전시켜 CP처리 시 최대한 온도를 낮추어 안정적인 플라즈마를 구현하기 위해서 설치하였다. 이를 통해 전극에서 발생하는 열에 의하여 전압을 증가 시킬 수 없었던, 단점을 극복하여 전압을 증가 시켜 *E. coli* O157:H7 사멸 효율을 확인하였으며, 반응기 온도 증가가 플라즈마의 안정도에 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 향후 CP 처리시간 동안 전극 내부 온도를 낮추어 처리 시간을 충분히 가져갈 수 있는 프로세스를 수립할 계획이다.

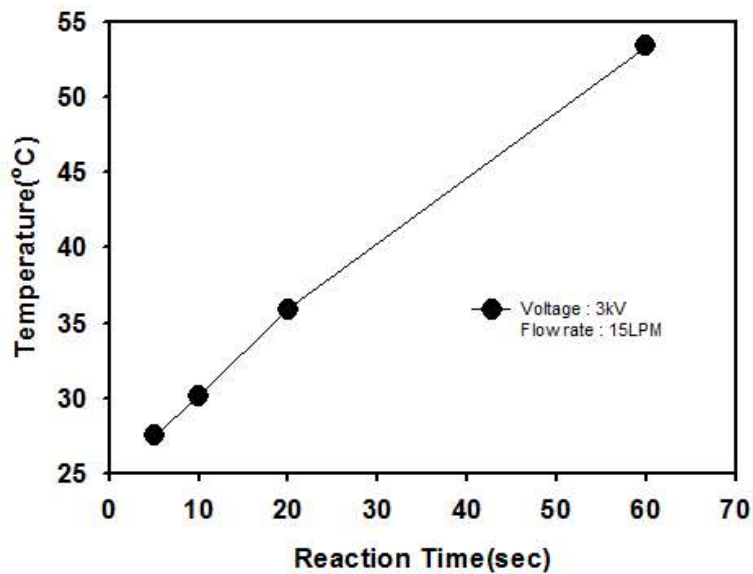


Fig. 3-10. Temperature profiles at the outer surface of the treatment reactor

제 2 절. CP 살균 처리 조건 최적화

1. Lab-scale의 CP 살균 시스템을 이용한 살균조건 확립 및 살균효과 검증

가. 1차 년도에 제작된 분말 살균 용 CP 처리 장치의 처리 parameter들이 미생물 저해 효과에 미치는 영향 분석

- 시료 준비: 양파(*Allium cepa* L.)를 구매하여 탈피하고 수돗물로 세척하여 12 mm × 12 mm 크기로 절단한 후 알루미늄 트레이에 고르게 펴 수분함량이 8% 이하가 될 때까지 진공 건조기를 이용하여 건조시켰다. 진공 건조는 진공 건조기(OV-11, Jeio Tech Co., Ltd., Seoul, Korea)를 사용하였다.
- 미생물 분석: 10개의 양파 분말을 취하여 1.5 mL의 0.1% (w/v) peptone water가 들어있는 멸균백에 넣어 스토마커(Stomacher Lab Blender Model 400)로 3 분 동안 blending시켰다. 희석액을 10 배수로 희석 한 후에 100 μ L, 250 μ L 또는 1 mL 취하여 Xylose lysine desoxycholate agar (XLD, Difco), MacConkey agar (Difco), 그리고 TSA (Difco)에 배양 하였다. 각 미생물의 선택배지와 배양조건은 Table 3-14에 나타내었다.

Table 3-14. Selective agar media and their incubation conditions used for the microbial analysis of different microorganisms.

Microorganisms	Selective agar	Incubation condition
<i>S. enteritidis</i>	Xylose lysine desoxycholate agar (XLD) agar	37°C, 48 hours
<i>E. coli</i> O157:H7	MacConkey agar	37°C, 24 hours
<i>L. monocytogenes</i>	BHI	37°C, 24 hours

- **접종원 준비:** *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7 ATCC 35150, 그리고 *L. monocytogenes* 19115는 서울대학교 농업생명공학부 식품생명공학 실험실(Agricultural Biotechnology Culture Collection, Seoul, Korea)에서 분양 받았다. *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes*가 37°C에서 24 시간 동안 배양된 TSB를 centrifugal tube에 취하여 원심분리(10,000 rpm, 2 분)하였다. 원심분리 된 후 상등액을 버리고 침전물이 있는 centrifugal tube에 0.1%(w/v) peptone water를 첨가하여 원심분리(10,000 rpm, 2 분)하여 세척하였다. 이 과정을 2 회 반복하였으며, 최종적으로 생성된 미생물 현탁액을 접종 농도로 희석하여 접종원으로 준비하였다. *S. enteritidis*, *L. monocytogenes* 접종원의 농도는 7-9 log CFU/g였고, *E. coli* O157:H7은 약 8 log CFU/g이었다.
- **접종:** 양과 분말 10개에 1000 μ L의 접종원을 1분간 침지 접종하였다. 접종 후 각 시료들은 laminar flow biohazard hood (22 \pm 2°C)에서 1 시간 동안 건조되었다.
- **Cold plasma (CP) 처리:** *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7 그리고 *L. monocytogenes*가 접종된 양과 분말을 2차 년도에 새롭게 제작된 DBD CP treatment system (SWU-4) (Fig. 3-11)에서 플라즈마 형성 가스로 유속을 조정하여 SWU-4의 chamber 안에 유입시켰다. AC power supply의 전압을 설정한 뒤 반응기에 전압을 걸어주면 반응기 내부에 플라즈마가 형성되는데, 이 플라즈마를 이용하여 일정 시간동안 양과 분말 시료를 CP 처리하였다. 처리 전후의 시료를 0.1% (w/v) peptone water로 희석하여 3 분간 blending한 후 XLD, MacConkey agar, 그리고 TSA에 배양하였다. XLD는 37°C에서 48 시간 동안 배양되었으며 MacConkey agar와 TSA는 37°C에서 24 시간 동안 배양되었다. CP 처리가 되는 동안 infrared radiation 온도계를 이용하여 chamber 표면의 온도 상승도를 확인하였다. 또한, 시료의 처리 전 후의 표면 온도를 측정하였다.

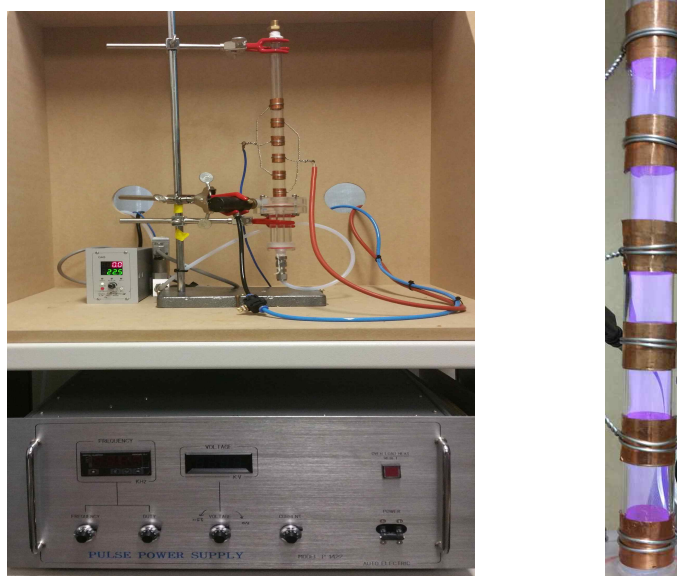


Fig. 3-11. Dielectric Barrier Discharge (DBD) CP treatment system (SWU-4), developed in the second year of research

○ CP 전압은 Fig. 3-12와 같이 6-10 kV 전압으로 실험 하였으며, 주파수는 25 kHz, duty width 2-5 μ s, 전류는 max. 0.2 A 제너레이터로 하였다. He 유량은 20-30 l/m에서 실험을 하였으나, 부양 조건에 맞는 시료 부유를 육안으로 측정해 본 결과, 30 l/m 일 때 가장 안정적인 부유를 보였다. Table 3-15와 같이 표시 제어 전압과 부하 실 측정값은 약 200-300 V 정도 전압강하가 일어나는 것을 확인하였다. 전압 피크에 따른 전류 부하 상승도 확인할 수 있었다. 외부 전극 구조에서는 전류 부하가 상승되어도 CP 처리 존의 열손실은 크게 나타나지 않았다.

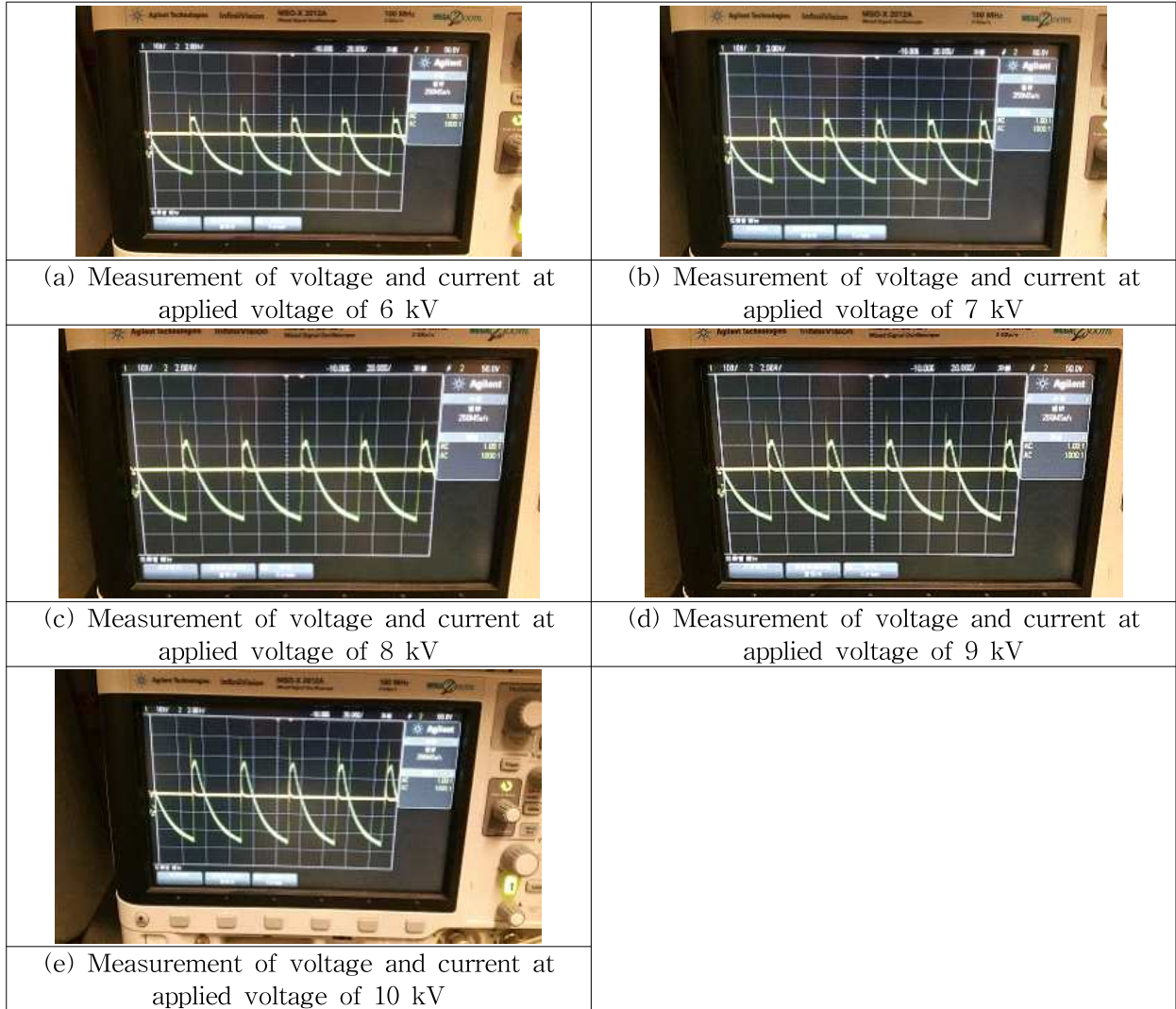


Fig. 3-12. Measurement of actual voltage and current using an oscilloscope

Table 3-15. Actual values for measured voltage and current from oscilloscops at various applied voltages

제어전압	6 kV	7 kV	8 kV	9 kV	10 kV
부하전압	5.8 kV	6.8 kV	7.6 kV	8.7 kV	9.7 kV
Current	12 mA	15 mA	20 mA	30 mA	32 mA

- 수분활성도가 CP 처리에 의한 양파 분말에 접종된 미생물 저해 효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 water activity meter (Pawkit water activity meter, Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA)를 이용하여 양파 분말의 초기 수분활성도를 측정하고 양파 분말을 Ammonium sulfate (RH 80%)가 과포화된 용액을 담은 데시케이터에 24시간 저장하여 0.8의 수분활성도를 갖는 양파 분말을 제조하여 수분활성도가 다른 2가지 샘플을 준비하였다.
- 양파 분말의 입자 크기에 따른 CP 처리의 미생물 저해 효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 건조된 양파를 펀칭기를 이용하여 입자당 0.5 cm × 0.5 cm 그리고 1 cm × 1 cm 크기로 분말화 하였다.
- 식중독균 저해 예측에 적합한 model 및 model parameter 값들의 결정: 양파 분말에 접종시킨 *S. enteritidis*가 CP 처리에 의해 저해되는 현상을 잘 설명하는 모델이 무엇인지 알아보기 위해 1차 반응 속도 모델들(식 (2), (3)), Fermi 모델(식 (4))(Peleg, 1995), 그리고 Weibull 모델(식 (5))에 미생물 저해 데이터를 피팅(fitting) 시켰다. 이 때 1 차 반응 속도 모델들과 Fermi 모델은 Minitab 15 (ver. 15, Minitab, Inc., State College, PA, USA) 프로그램을 이용하였고, Weibull 모델은 GInaFiT (Geeraerd and Van Impe Inactivation Model Fitting Tool) 프로그램을 이용하였다. 비열 플라즈마 처리 전과 후의 미생물 농도로 저해되지 않은 미생물 농도(RM)를 구하였다(식 (1)).

$$RM = A/A_0 \quad \text{식 (1)}$$

A : 처리구의 미생물 농도(log CFU/cm³), A_0 : 대조구의 미생물 농도(log CFU/cm³)

$$\ln(RM) = -k_n E \quad \text{식 (2)}$$

E : 처리 전력(W), k_n : 1 차 반응상수

$$\ln(RM) = -k_n t \quad \text{식 (3)}$$

t : 처리 시간(분), k_E : 1 차 반응상수

$$RM = \frac{1}{1 + e^{(-E)/a}} \quad \text{식 (4)}$$

E : 처리 전력(W), E_h : RM 이 0.5가 되는 처리 전력

a : E_h 주위 곡선의 기울기를 나타내는 인자

$$\log N = \log N_0 - (t/\delta)^s \quad \text{식 (5)}$$

δ : 크기 인자, s : 모양 인자

나. CP 처리에 의한 양파분말의 이화학적 특성의 분석

- **비타민 C**: CP 처리 전후의 양파 분말의 비타민 C 함량은 Kim 등(2009)의 방법을 활용하였다. 비타민 C 검출용 시료는 처리 전후의 각 분말 양파 분말(0.5 g)에 15 mL의 증류수를 첨가한 후 100°C에서 30 분간 시료를 흔들며 주며 추출하였다. 그 후 추출물을 원심분리(15,000 rpm, 15 분)하였다. 원심분리 된 후 상등액을 Syringe를 사용하여 추출물을 취한 뒤, syringe filter (DISMIC-25CP, cellulose acetate, pore size: 0.45 μ m,

ADVANTEC MFS, Inc., CA, USA)로 여과하였다. HPLC 분석 조건은 column으로 Symmetry C18 (5 μ m, 4.6 mm \times 250 mm I.D., Waters Co., MA, USA)을 사용하였고 유속은 0.6 mL/min이었으며 이동상은 0.1% trifluoroacetic acid를 사용하였다. 시료의 주입량은 20 μ L로 SPC-10Avp (UV-Vis detector, Shimadzu Co., Kyoto, Japan) detector로 254 nm의 파장에서 비타민 C를 검출하였다. Vitamin C (L-ascorbic acid)의 표준물질은 Sigma Chemical Co. (St Louis, Mo., USA)에서 구매하였다.

- **색도:** CP 처리 전후의 양과 분말의 표면의 색도를 알아보기 위하여 CIELab 값으로 colorimeter (Minolta Chroma Meter CR-400)를 사용하여 L* (lightness), a* (redness), b* (yellowness) 값을 측정하였다.
- **향기 성분:** CP 처리 후 양과분말의 향기성분 분석을 위하여 양과분말 시료 0.1 g을 10 mL vial에 넣은 다음 90°C에서 10 분간 350 rpm으로 교반하고 90 °C의 주입구 온도를 유지한 가운데 주입하였다. Headspace 분석 시 syringe purge는 9.9 초를 유지한 후 thermostatted tray holder에 놓은 후 2.5 mL를 취하여 시료로 사용하였으며 headspace system을 이용하여 시료의 기체성분을 분석하였다. 시료의 향기성분의 분석은 Hong 등 (2011)의 방법에 의해 분석되었다. 취해진 시료는 자동시료채취기가 연결된 전자코 (SMart Nose 300, SMart Nose, Balzers Instruments, Marin-Epagnier, Switzerland)로 분석하였다.
- 분석에 사용된 전자코는 질량분석기(Quadrupole Mass Spectrometer, Balzers Instruments)가 연결되어 있으며 휘발성 물질들은 70 eV에서 이온화시켜 180 초 동안 생성된 이온물질을 사중극자(quadrupole) 질량 필터를 거친 후 특정 질량 범위(10-200 amu)에 속하는 물질을 정수단위로 측정하여 channel수로 사용하였다. 통계 처리는 각기 다른 channel의 intensity는 matrix형태(20 \times 20-30 \times 30)로 기록되었으며 이온화되어 얻어진 분자들의 질량별 검출량을 선택하되 가장 차별성을 높게 표현하는 분자량(m/z)을 갖는 variables 그룹을 20-30개 선정하여 판별함수분석(discriminantfunction analysis)을 실시하였다. 이때 사용된 소프트웨어는 SMart Nose® statistical analysis software를 사용하였다.
- Discriminant Function Analysis (DFA)는 판별함수 분석으로서 휘발성 향기성분으로부터 생성되는 10에서 200 amu의 ion fragment 중 각 시료 간에 차별성이 높은 5-20여 개의 fragment(m/z)를 독립 변수로 선택하였다. 선택된 독립변수의 해당 감응도 값을 이용하여 다음 식에 따라 판별함수분석(DFA)를 실시하였으며 종속변수에 영향을 주는 독립변수를 검정하였다.

$$DFA=B_0+B_1X_1+B_2X_2+B_3X_3\cdots\cdots\cdots+B_nX_n$$

- B₀는 constant값이고 B₁는 coefficients를, x는 각각의 amu값에서의 감응도를 나타낸다. 이들 독립변수 중에서 종속변수를 예측할 수 있는 판별함수 값은 DF1, DF2, DF3

.....DFn으로 나타냈다. 여러 독립변수들 중에서 종속변수에 영향력을 주는 순서를 기준으로 DF1과 DF2를 비교하여 각 시료 간의 휘발성분의 차이를 전체적인 패턴으로 나타내었다.

- 살균 효과 검증: CP에 의한 양파 분말의 살균 처리 실험을 토대로 대상 식중독균에 대한 저해도를 관찰한 후 살균 효과를 검증하였다.

2. 결론

가. Lab-scale의 CP 살균 시스템을 이용한 살균조건 확립 및 살균효과 검증

(1) 양파분말의 잠재적 위해 세균의 오염도 모니터링

- 국내산 양파 분말에 총 호기성 미생물이 $4.1 \pm 0.3 \log \text{CFU/g}$ 이 존재하였다. 그 중 곰팡이 및 효모는 $3.7 \pm 0.4 \log \text{CFU/g}$ 이었고, *Bacillus* 속은 $2.5 \pm 0.3 \log \text{CFU/g}$ 가 존재하는 것으로 나타났다(Table 3-16). 국외산 양파 분말에서는 총 호기성 미생물이 $4.8 \pm 0.3 \log \text{CFU/g}$ 이 존재하였다. *Bacillus* 속은 $3.6 \pm 0.1 \log \text{CFU/g}$ 가 존재하는 것으로 나타났으며, 곰팡이 및 효모는 검출되지 않았다. *Salmonella* 속, *E. coli* O157:H7, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringenes*, 그리고 coliform은 검출되지 않았다(detection limit: 10 CFU/g). Schweiggert 등(2007)에 따르면 양파 분말과 같은 향신료에 3-7 log CFU/g의 호기성균이 존재하고, 2-4 log CFU/g의 곰팡이 및 효모, 그리고 2-4 log CFU/g의 coliform이 존재한다. 향신료들은 원재료를 수확하고 가공하는 동안 미생물이 오염되기 때문에(Pezzutti et al., 2005) 최종 분말 제품 내 미생물 농도가 높게 나타나고 있다.
- 기존에 발표된 선행 연구 자료 및 문헌을 통하여 시중에서 유통되고 있는 양파분말의 잠재적 식중독 및 부패 원인균을 조사 분석하여 대상 식중독균은 *Salmonella* 속, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes*로 선정하였다.

Table 3-16. Microbial contamination of onion powder

Microorganisms	Microbial concentration (log CFU/g)	
	Domestic sample	Imported sample
Total aerobic microorganisms	4.2±0.3	4.8±0.3
<i>Bacillus</i> spp.	2.5±0.3	3.6±0.1
Yeast and molds	3.7±0.4	
<i>E. coli</i> O157:H7		
<i>Salmonella</i> spp.		ND
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND	
Coliform		
<i>Clostridium</i> spp.		

ND: not detected

(2) CP parameter들과 최적 살균 조건 결정

- CP 처리 전 후의 양파 분말 표면 온도 측정: CP 처리 중의 양파 분말 시료 표면의 온도를 측정하여 CP 처리 전압, 시간 등의 parameter를 결정하였다.
- CP 처리 시간이 10분 일 때 양파 분말 시료 표면의 온도는 27.5-37.8°C였고, 20분 일 때, 양파 분말 시료 표면의 온도 역시 30.5-37.8°C였다. 또한 CP 처리 중의 chamber는 chamber 내 구간마다 온도가 달랐는데 최대 온도는 57.1°C였다.

(3) CP 처리에 의한 양파 분말의 미생물 저해 효과

- *S. enteritidis*(접종 농도: 5 log CFU/mL)이 9 kV에서 처리 시간(0, 5, 10, 12, 15, 그리고 20 분) 동안 CP 처리되었을 때 저해 농도는 0.00-2.30 log CFU/cm²로 처리 시간이 증가됨에 따라 미생물 저해 효과가 높아지는 것을 관찰하였다. 하지만 처리 전압의 증가에 따른 미생물 저해 효과가 높아지는 현상은 관찰할 수 없었다(Table 3-17).
- *E. coli* O157:H7(접종 농도: 5 log CFU/mL)이 처리 전압(4, 5, 6, 7, 8, 그리고 9 kV)에 따른 CP 처리의 저해효과를 알아보았다. 모든 처리 전압 조건에서 10 분 처리되었을 때 저해 농도는 0.40-0.85 log CFU/cm²로 모든 처리군에서 저해 농도는 1 log CFU/cm² 이하로 저해 효과는 없었지만 처리 시간이 증가됨에 따라 미생물 저해 효과가 높아지는 것을 관찰하였다. Hong 등(2009)의 연구에 따르면 *E. coli*를 RF를 이용해 헬륨-산소 혼합 가스로 생성된 electrical discharge plasma로 처리하였을 때 처리 시간이 증가함에 따라 *E. coli*의 저해도가 증가하였다. Korachi 등(2010)의 연구에서도 물에 존재하는 *E. coli*에 대해 DC (12 그리고 20 kV) 또는 AC (12 kV) 고전압을 이용한 atmospheric corona discharge plasma 처리를 하였을 때 처리 시간이 증가함에 따라 저해가 많이 발생하였다고 보고하였다. 이는 plasma 내 미생물을 사멸에 이르게 하는 주요 라디칼의 영향을 받

는 시간이 증가되었기 때문으로 사료되었다.

- *L. monocytogenes* (접종 농도: 5 log CFU/mL)의 경우 9 kV에서 20분 처리되었을 때 0.70 log CFU/cm²로 최대 저해 농도를 보였지만 모든 처리 군에서 저해 농도가 1 log CFU/cm²이하로 저해되어 저해 효과가 없었다(Table 3-17).

Table 3-17. Effects of CP treatment on inhibition microorganisms of the onion powder

Plasma forming gas	Flow rate (L/min)	Microorganisms	Treatment voltage (kV)	Treatment time (min)	Reduction rate (log CFU/cm ²)	Surface temp. (°C)
Helium	30	<i>S. enteritidis</i>	4	10	0.61	31.5
			5		0.70	33.1
			6		0.59	34.5
			7		1.21	35.1
			8		1.00	33.7
					0.85	32.8
			9	0	0.00	-
				5	0.23	34.8
				12	1.02	31.8
				15	1.57	32.5
				20	2.30	31.0
		<i>E. coli</i> O157:H7	10	4	0.40	30.0
				5	0.65	30.0
				6	0.83	34.1
				7	0.74	33.1
				8	0.87	35.0
					0.85	27.1
			9	0	0.00	-
				5	0.00	32.9
				12	0.67	29.5
				15	1.13	31.9
				20	1.38	32.0
		9				

			0	0.00	-
			5	0.00	28.4
		<i>L. monocytogenes</i>	10	0.03	33.6
			12	0.00	34.2
			15	0.53	36.8
			20	0.70	35.2

○ 양파 분말의 수분활성도(Fig. 3-13)가 0.4, 0.6, 그리고 0.8이었을 때, *E. coli* O157:H7의 저해율은 각각 1.4 ± 0.2 , 1.7 ± 0.3 , 그리고 2.2 ± 0.1 log CFU/cm²이었고($p < 0.05$), *S. enteritidis*의 저해율은 2.2 ± 0.1 , 2.6 ± 0.3 , 그리고 2.5 ± 0.1 log CFU/cm²이었다($p > 0.05$). 또한, *L. monocytogenes*도 수분활성도가 0.4에서 0.6, 그리고 0.8로 증가했을 때 0.7 ± 0.2 에서 1.5 ± 0.6 , 그리고 1.9 ± 0.3 log CFU/cm²의 저해율을 보여 양파 분말의 수분활성도 증가가 미생물 억제 향상에 도움이 되는 것을 알 수 있었다. CP 처리에 의한 미생물 억제 정도는 식품 시료의 수분활성도, pH, 구성 성분(예, 지방 함량), 그리고 표면 구조 등에 영향을 받는다. 미생물 세포벽은 수분활성도가 0.2-0.6으로 낮을 때 단백질 상호 결합이 안정화되어 CP 처리에 대해 저항성이 생길 수 있다. Lee 등도 건무화과의 수분활성도가 0.7에서 0.9로 증가할 때 CP 처리에 의한 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes* 저해율이 각각 0.5에서 1.3 log CFU/g으로 그리고 1.0에서 1.6 log CFU/g으로 증가하여 처리 시료의 수분활성도가 높을 때 억제 정도도 증가한다는 결과를 보고하였다.

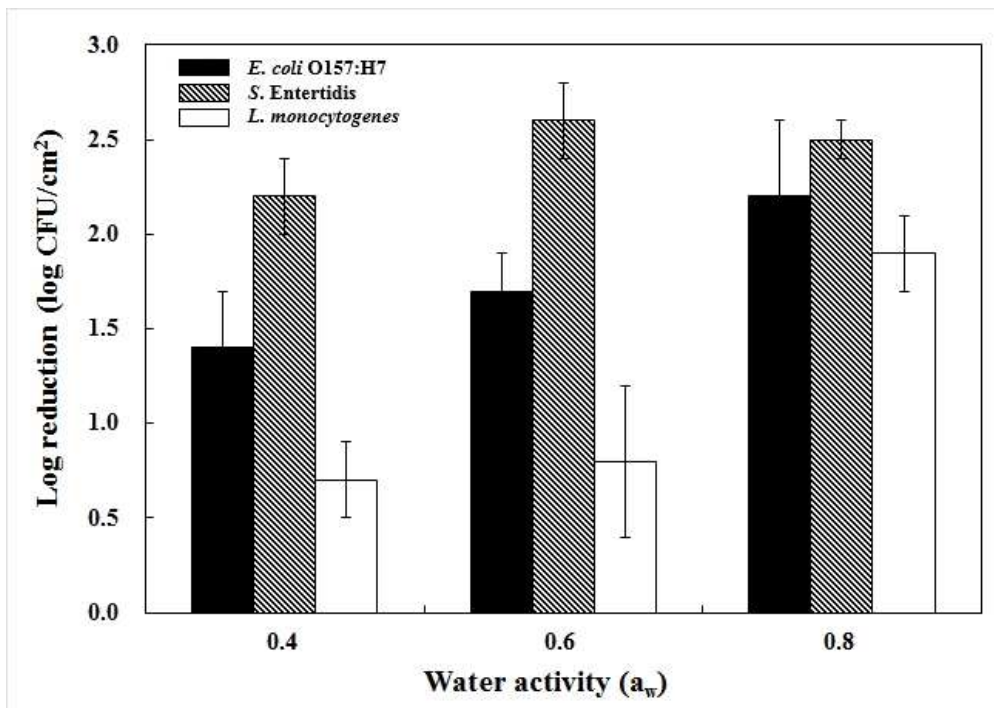


Fig. 3-13. Effects of water activity on the inhibition of microorganisms on onion powder by helium cold plasma treatment at 9 kV for 10 min

○ 양파 분말의 입자 크기가 0.3 cm²에서 0.6 cm², 그리고 1.0 cm²로 증가하였을 때, *E. coli* O157:H7의 저해율도 1.2±0.3 log CFU/cm²에서 1.6±0.2 log CFU/cm², 그리고 2.3±0.4 log CFU/cm²로 증가하는 경향을 보였다($p < 0.05$) (Fig. 3-14). 양파 분말의 입자 크기가 0.3 cm²에서 0.6 cm², 그리고 1.0 cm²로 증가하였을 때 *S. enteritidis*와 *L. monocytogenes*의 저해율은 각각 1.5±0.2 log CFU/cm², 1.9±0.2 log CFU/cm², 그리고 2.1±0.1 log CFU/cm²의 저해율과 0.5±0.1, 1.3±0.2, 그리고 1.6±0.1 log CFU/cm²의 저해율을 보여 양파 분말의 크기가 클수록 억제가 잘 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

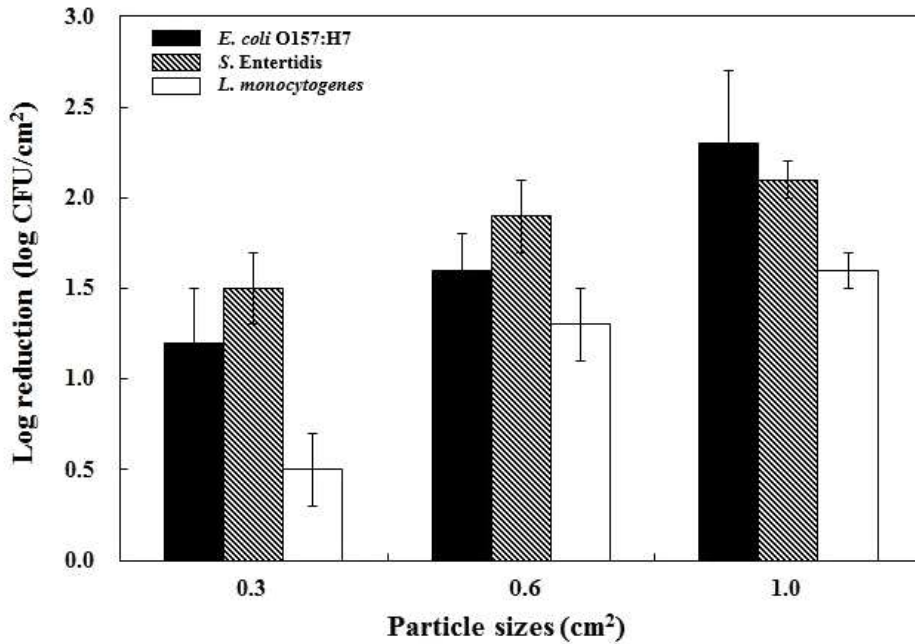


Fig. 3-14. Effects of particle sizes of onion powder on the inhibition of microorganisms by helium cold plasma treatment at 9 kV for 10 min.

(4) 식중독균 저해 예측에 적합한 model 및 model parameter 값들의 결정

○ 새로운 살균 방법을 상업적으로 적용하기 위해서는 미생물 저해를 예측하는 모델을 결정하는 것이 필수적이다(Fröhling et al., 2012). 저해 예측 모델들의 적합성은 각 모델들의 R²값을 비교함으로써 판단되었다. 처리 시간을 변수로 한 일차반응속도모델(first-order model)(식 (2), (3)), Fermi's model (식 (4))의 R²값은 각각 81.44, 81.53, 그리고 91.23이었다. 사용된 모든 모델 식에서 R²값이 0.7 이상으로 높게 나타났고, Fermi's model이 CP에 의한 양파 분말에 접종된 *S. enteritidis*의 저해를 가장 적절히 예측해주었다. 따라서 R²값이 0.8 이상인 처리 시간이 변수인 일차반응속도 모델과 Fermi's model은 CP에 의한 양파분말에 접종된 *S. enteritidis*의 저해를 잘 성립시키는 것으로 나타났다.

○ CP 살균 시스템의 최적 살균조건 및 scale-up, 실용화에 필요한 자료 데이터베이스화: 처리 전압이 7, 8, 9, 그리고 10 kV였을 때 양파 분말의 *E. coli* O157:H7 수는 7.3±0.1 log CFU/cm²에서 각각 1.0±0.4, 0.8±0.3, 0.9±0.1, 그리고 1.4±0.5 log CFU/cm²만큼 감소되

었다 (Fig. 3-15). 모든 처리 전압에서 *E. coli* O157:H7은 유의적으로 억제되었으나 ($p>0.05$), 콜드 플라즈마 전압과 *E. coli* O157:H7 억제 간 뚜렷한 비례관계는 보이지 않았다. *S. enteritidis* (초기 수: 5.1 ± 0.4 log CFU/cm²)의 경우에는 처리 전압이 7, 8, 9, 그리고 10 kV으로 증가했을 때 그 수가 각각 0.7 ± 0.4 , 1.1 ± 0.2 , 1.2 ± 0.3 , 그리고 1.4 ± 0.3 log CFU/cm²만큼 감소하여($p>0.05$) 전압 증가에 따른 억제 증가 경향이 나타났다. *L. monocytogenes*은 7, 8, 9, 그리고 10 kV 전압의 콜드 플라즈마 처리에 의하여 0.9 ± 0.0 , 0.5 ± 0.1 , 0.9 ± 0.3 , 그리고 0.6 ± 0.3 log CFU/cm²만큼 억제되어($p<0.05$), 모든 처리 전압에서 1 log CFU/cm²미만의 억제 효과를 보였다(초기 농도: 7.4 ± 0.2 log CFU/cm²).

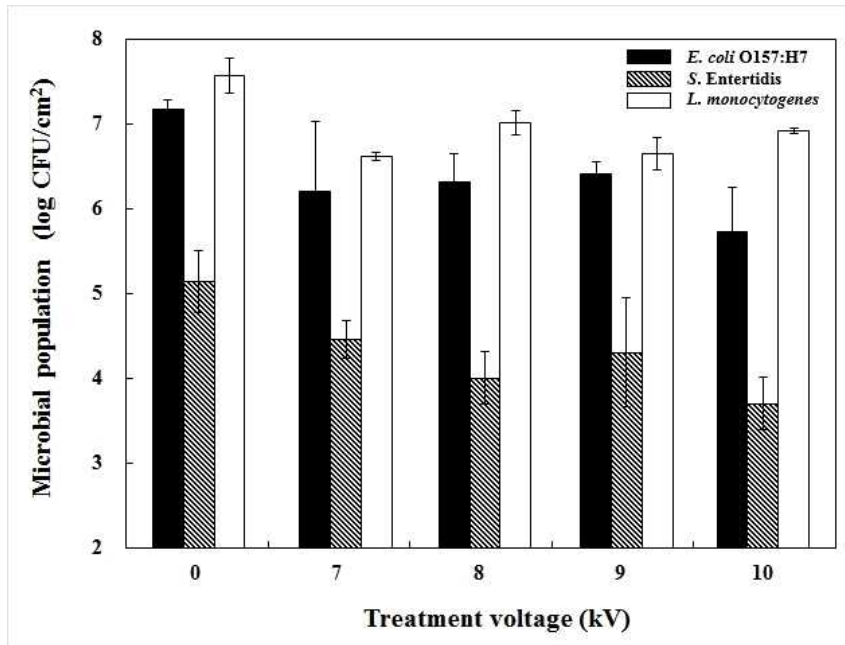


Fig. 3-15. Effects of treatment voltage on the inhibition of microorganisms on onion powder by helium cold plasma treatment for 10 min

- 플라즈마 처리 시간에 따른 미생물 억제 효과를 알아보기 위해 5-20 분간 콜드 플라즈마 처리하였다(Fig. 3-16). *E. coli* O157:H7가 접종된 양파 분말을 5, 10, 15, 그리고 20 분간 처리하였을 때 각각 0.4 ± 0.1 , 0.8 ± 0.3 , 0.9 ± 0.1 , 그리고 1.4 ± 0.5 log CFU/cm²만큼 억제되었고, 15 분 이상 처리에서 유의적으로 억제가 이루어졌다($p>0.05$). *S. enteritidis*의 경우에는 10 분 이상의 처리를 통해 유의적인 억제 효과를 얻을 수 있었다($p>0.05$). *L. monocytogenes*의 경우에는 20 분 처리에서만 유의적인 억제를 확인할 수 있었다

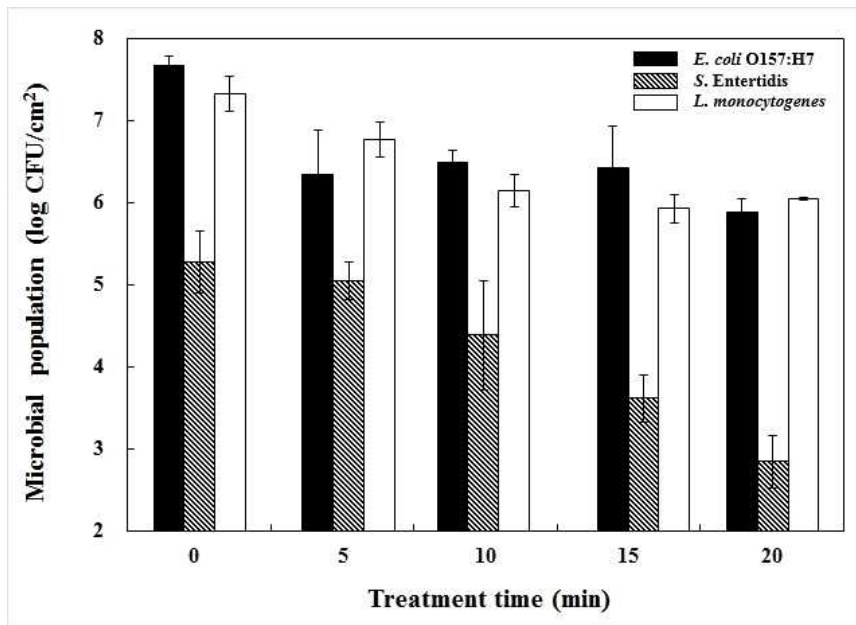


Fig. 3-16. Effects of treatment time on the inhibition of microorganisms on onion powder by helium cold plasma treatment at 9 kV

(5) CP 처리에 의한 양파분말의 이화학적 특성의 분석

(가) 비타민 C

○ CP 처리 후 양파 분말 내 비타민 C의 함량에 대한 결과를 Table 3-18에 나타내었다. CP 처리된 직후에 측정된 비타민 C의 경우 처리되지 않은 양파 분말의 비타민 C에 비해 낮은 농도로 검출되었는데, 이는 CP 처리 시 생성되는 플라즈마 내 reactive species와 자유 라디칼 등의 활동성이 높아 자유 라디칼 등과 강한 환원성을 가진 비타민 C는 산화 환원 작용을 하여 비타민 C가 산화되어 CP 처리에 의해 비타민 C의 함량이 감소되었을 것으로 사료되었다.

Table 3-18. Effects of CP treatment (helium gas, 9 kV, 20 min) on the concentrations of vitamin C of the onion powder.

Vitamin C (mg/10g)	
Untreated sample	CP treated sample
6.20±0.02	5.80±0.04

(나) 색도

○ CP 처리 후 양파 분말 내 색도에 대한 결과를 Table 3-19에 나타내었다. Rico (2010)은 양파 분말을 살균하는데 있어 높은 온도의 살균 처리는 양파 분말의 색도를 감퇴시켜 품질에 영향을 준다고 하였다. CP 처리 직후 양파 분말의 표면의 온도는 27.1-36.8°C로 처리 후의 시료 표면의 L*, a* 그리고 b* 값이 증가되는 현상은 보이지 않았다.

Table 3-19. Effects of dielectric barrier discharge cold plasma treatments (helium gas, 9 kV) on the color (CIE Lab) of the onion powder

Treatment time (min)	Color (CIE Lab)		
	L*	a*	b*
0	65.4±2.5 a	5.6±0.8 a	23.8±1.3 a
5	61.7±3.2 a	5.4±1.1 a	21.0±1.7 a
12	65.7±1.1 a	5.0±0.1 a	22.0±1.6 a
20	64.0±5.0 a	5.0±0.7 a	19.6±1.8a

1) Different letter within a row are significantly different ($p < 0.05$).

(다) 향기 성분

○ CP 처리 후 양파 분말의 향기성분에 대한 결과를 Fig. 3-17에 나타내었다. DF1과 DF2를 비교하여 볼 때, DF1의 F값은 289.48, DF2의 F값은 100.03로 약 3배에 해당하는 차이가 나타나는 것으로 보아 주로 DF1에 의한 영향력을 받는 것을 알 수 있다. 냄새를 갖지 않은 공기를 대조구로 보았을 때 공기가 양의 방향에 위치하였고, 양파 시료가 음의 방향에 위치하는 것으로 볼 수 있다. 때문에 DF1의 음의 방향으로 이동할수록 향기성분이 증가한다고 볼 수 있다. DF1 기준으로 CP처리한 양파 시료는 control 시료와 DF1의 방향으로 비교적 가까운 거리차를 가지고 있어서 휘발 성분의 양이 비슷한 것으로 사료된다. 즉, CP처리한 양파 시료는 CP 처리하지 않은 시료(control sample)와 DF1의 방향으로 비교적 가까운 거리차를 가지고 있어서 휘발 성분의 양이 비슷한 것으로 사료되어 CP 처리는 양파 분말의 향기 성분에 큰 영향을 미치지 않았다.

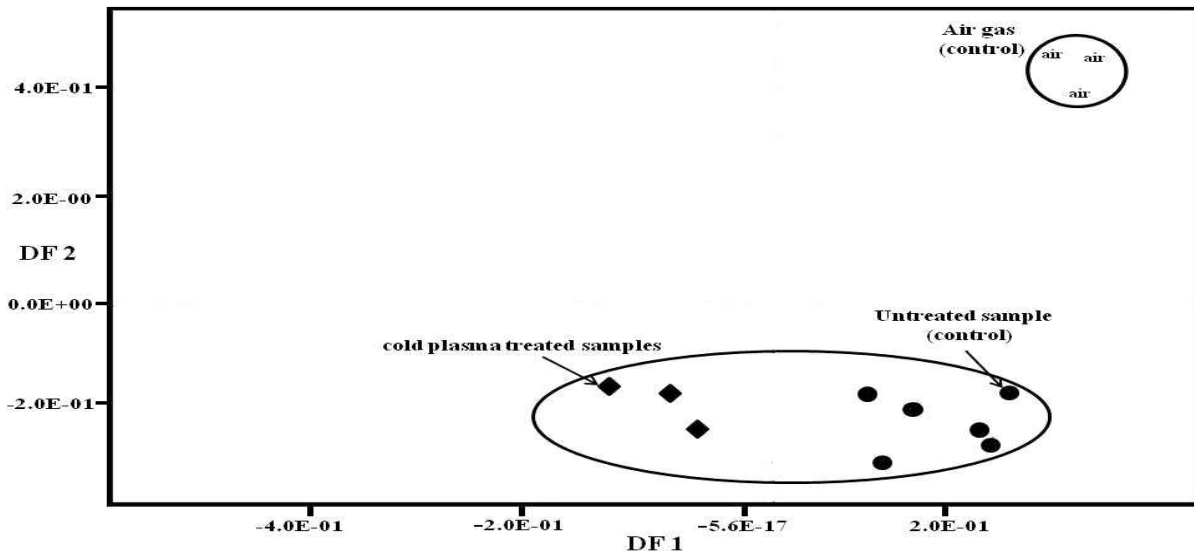


Fig. 3-17. Discriminant Function Analysis (DFA) plots of the results from the analysis of onion samples; air gas (control), untreated sample (control), CP treated sample.

(라) 살균 효과 검증

○ 처리 시간, 처리 전력을 변수로 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes*를 양과 분말에 접종하여 CP 처리 하였을 때, 처리 전압에 따른 미생물 저해 효과의 차이는 없었고 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7의 경우 처리 시간이 길어질수록 미생물 저해 효과가 커지는 것을 관찰하였다. 또한 *S. enteritidis*를 접종한 양과 분말은 처리 전압이 가장 높았던 9 kV에서 최대 처리 시간인 20분 CP 처리 하였을 때 미생물 저해 효과가 높았다. 본 연구 결과를 통해 진공 건조 된 양파를 시료화 한 후 SWU-4 system에서 9 kV에서 20 분간 CP 처리 한다면 *S. enteritidis*에 대한 안전성이 높은 양과 분말 제품을 생산할 수 있을 것으로 보인다.

(마) 전극 구조 설계

○ 1차년도 본 연구를 수행결과, 콜드 플라즈마의 미생물 저해효과를 확인하였다. *E. coli* O157 CP(CP)처리 후 1.2 log spores/cm² 저해율을 확인하였지만, 저해 수율이 크게 늘어나지 않는 결과를 확인하였다. 따라서, 플라즈마 반응기의 구조를 변경하고 장시간 플라즈마 반응을 유지시키기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하였다. Fig. 3-18 (a)반응기는 전극사이에 유전체를 삽입시켜 글로우한 플라즈마를 형성시킬 수 있는 장점이 있으나, 전극의 온도가 너무 높게 올라가서 긴 시간의 실험을 하기 힘들다. 이같이 내부 전극 구조 방식의 단점으로는 급격한 온도상승, 연속식을 위한 시료 배치가 까다로우며, 전극과 시료 협착으로 전극의 오염을 들 수 있다. 이를 개선하고자 2차 년도에는 외부에 전극을 구성하여 연속식 공정을 위한 실험을 진행하였다. 주요 지배변수로는 전력별 재처리 시, 반응기 내부 최대온도 70°C 미만임을 검증하고, CP 처리 시, 시료 부유를 유도하여 분말시

료의 플라즈마 노출 면적 및 시간을 단축시킬 수 있는 방법을 알아보게 되었다.

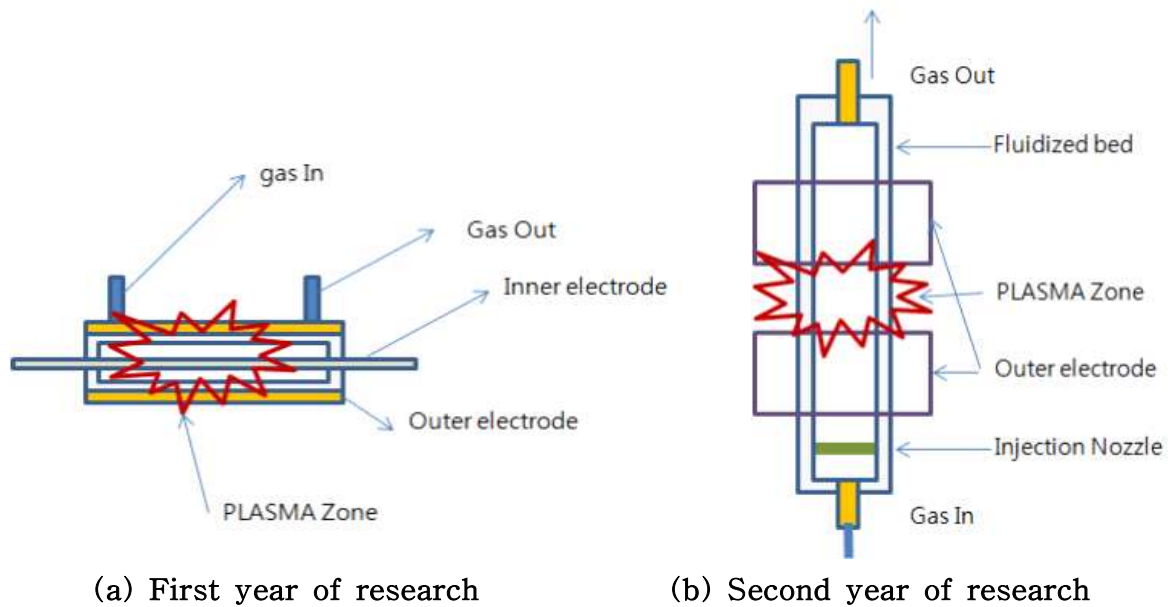


Fig. 3-18. Electrode configurations

○ 유전체 장벽은 대기압에서 아주 큰 비 평형 조건에서 동작하고 고출력 방전을 할 수 있으며 복잡한 펄스 전력 공급기가 없어도 되기 때문에 전극에 대한 구조가 상당히 중요하다. 또한 절연체를 사용하게 되면 직류 전력의 경우 전극을 통한 전류의 흐름이 불가능하므로 교류 전력을 이용(AC)하여 플라즈마를 발생을 해야 한다. 1차 년도에 보았던, SUS 재질은 강도나 가공에 유리하지만 전도성 물질이므로 외부전극 배치에 사용할 수가 없어 배제 하였다. 그리고 유전체로는 Pyrex, quartz, glass, ceramic 등의 종류가 있으며, 그 중, 가격이 낮고 비교적 강도가 높은 Pyrex를 이용하여 반응기를 구성하여 실험하였다. 외부전극 타입의 설계 조건은 전기 전도성이 좋고, 다루기 쉬운 20*60 mm 얇은 동판을 여러 층을 쌓고 AC 전극을 병렬로 연결하여 전원을 공급하였다. 전극 간격은 외부아크발생을 줄이기 위하여 전극간격을 15 mm를 유지하여 병렬로 AC교류 전압을 인가하여 실험하였다. Fig. 3-19와 같이 Quartz 재질에 얇은 동판을 이용하여 플라즈마 형성 기초 실험

험을 준비하였다.



Fig. 3-19. Quarts-copper electrodes used in a preliminary study

(바) 유동층 및 부유 시스템 설계

- 전압별 콜드 플라즈마를 이용한 전극구조를 형상화하고 설계하는 것만큼, 시료의 cp 처리 중 발생하는 분말제품의 처리 노출 배치 또한 중요한 일이다. 이를 해결하고자 유동층 부양 시스템 설계를 계획하고 설계 실험을 구성하였다(Fig. 3-20). 먼저 설계 유체는 플라즈마 Breakdown 전압이 낮고 안정적인 플라즈마를 구현할 수 있는 He (99.999%)를 이용하였다. 시료를 배치하고 안정적인 가스 분사를 위하여 유체 소결 타입의 황동 재질을 이용하여 부유 실험을 진행하였다. 황동 재질의 유동층 망(mesh)크기는 10-50 μm 를 선정하여 실험하였으며, Fig. 3-21과 같이 안정적인 부유 실험을 위하여 초당 10회 상하운동을 하는 공압용 피스톤 타입의 바이브레이터를 이용하여 시료 부유를 하였다. 그리고 Pyrex와 acrylic를 병합하여 플라즈마 챔버 및 가스 투입구를 설계 제작하였으며, 챔버 구조에 따른 실험을 위하여 ID $\Phi 9.5$ mm, 11.5 mm, 13.5 mm를 이용하여 설계 하였다.
- 실험 결과, ID $\Phi 9.5$ mm, 11.5 mm, 13.5 mm 전압과 전류의 상관 곡선은 보이나, 큰 차이를 보이지 않았다. 향후 pilot scale을 고려하여 내경 13.5 mm 챔버를 이용하여 미생물 저감률을 확인하였다.

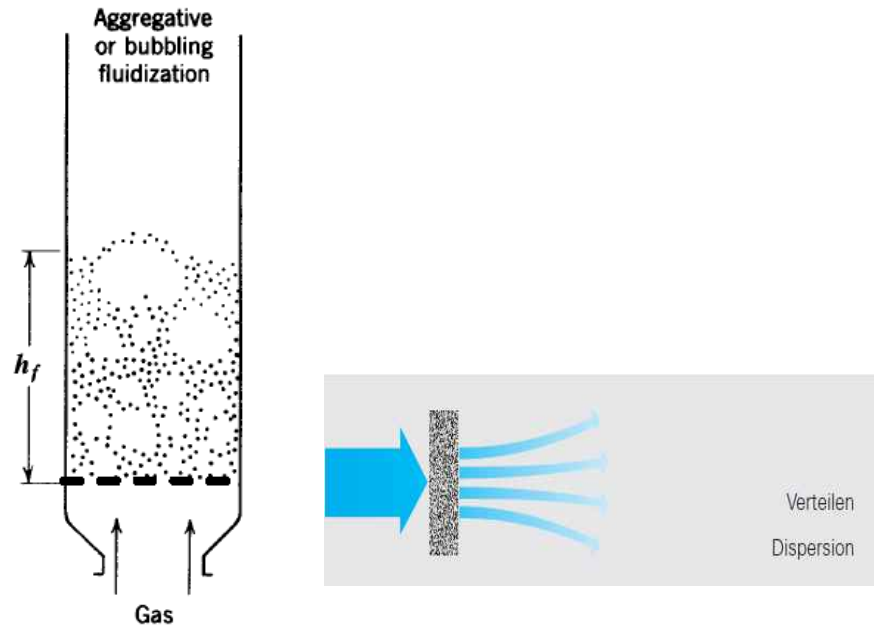


Fig. 3-20. Fluidized bed system and fluid mesh matrix



Fig. 3-21. Vibrator in the fluidized bed system

- Fig. 3-22와 같이 가스 투입부에 glass bead를 사용하여 플라즈마 처리 존 위치를 선정하였다. 이는 시료배치와 유체 흐름을 원활하게 하여 안정적인 CP처리를 할 수 있도록 배치하였다. 또한 처리하는 과정에서 황동 재질에 오염 발생을 최소화하기 위해 적층으로 구성 배치하였다.

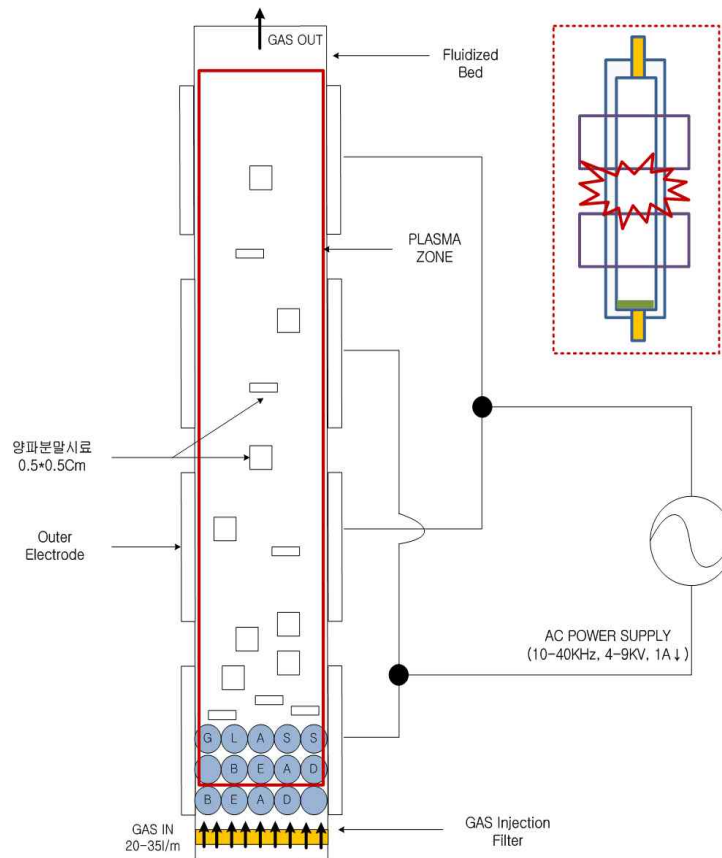
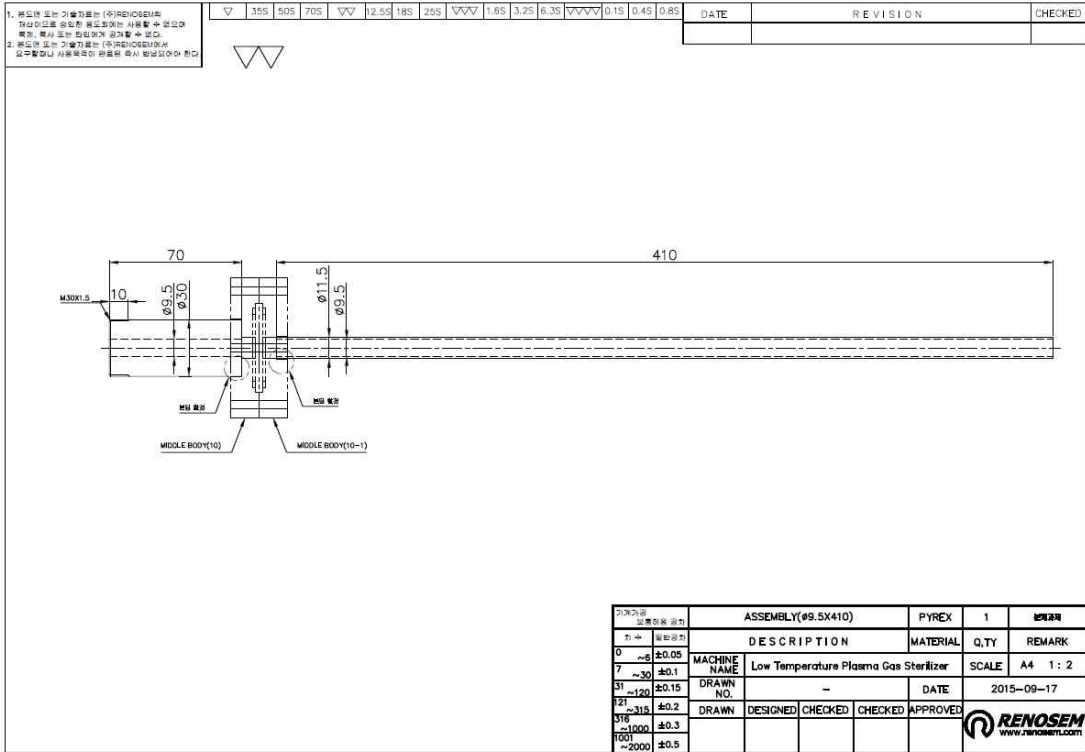
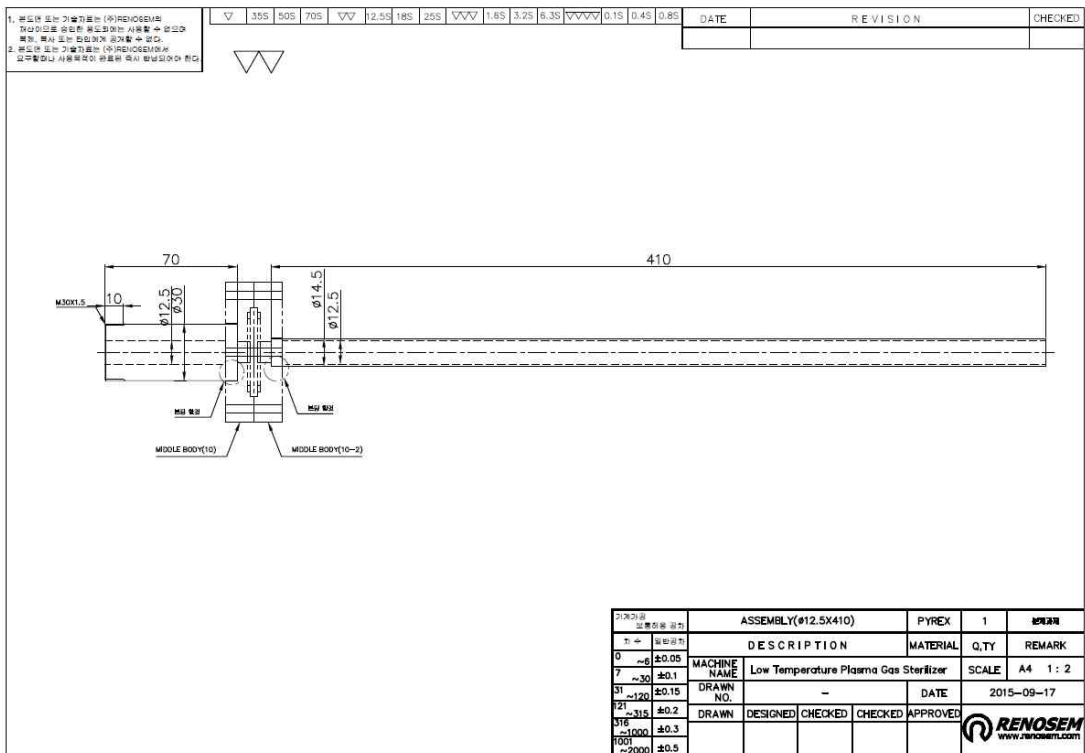


Fig. 3-22. CP reactor (DBD Outer Electrode) used in the second year of research

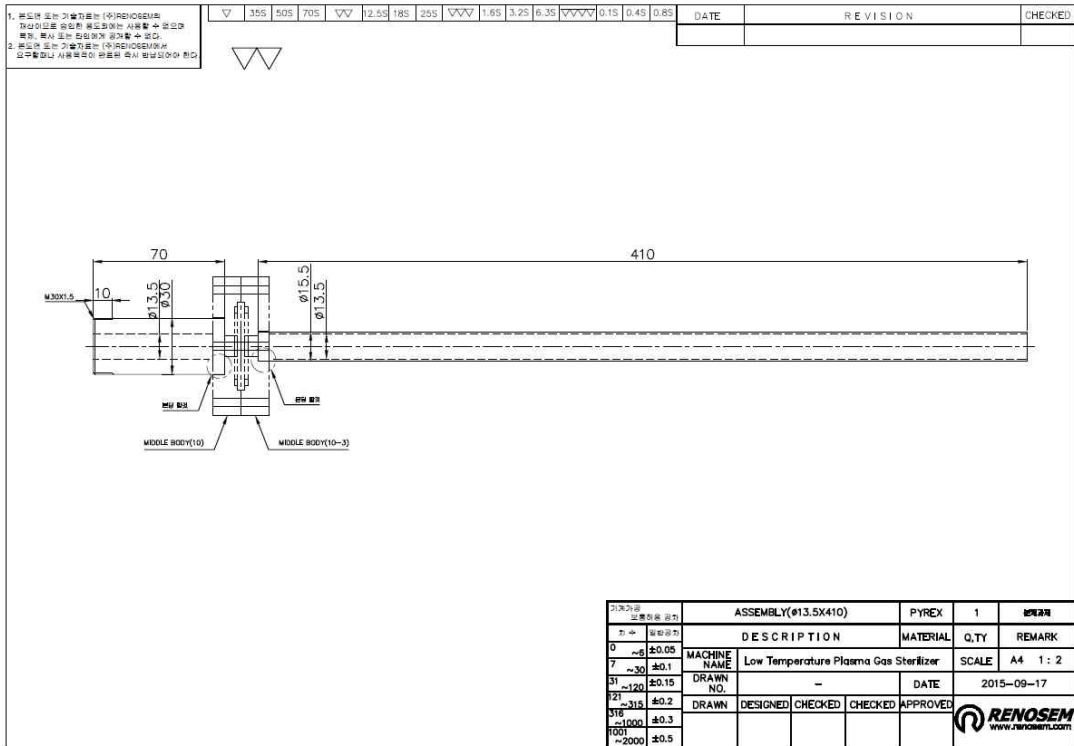
○ CP 살균 시스템의 최적 살균조건 및 scale-up, 실용화에 필요한 자료 데이터베이스화 처리 시간, 처리 전력을 변수로 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes* 를 양파 분말에 접종하여 CP 처리 하였을 때, 처리 전압에 따른 미생물 저해 효과의 차이는 없었고 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7의 경우 처리 시간이 길어질수록 미생물 저해 효과가 커지는 것을 관찰하였다. 이를 토대로 CP system의 scale-up과 실용화를 위하여 처리 시간 증가에 따른 CP system의 플라즈마 형성 안정화를 위한 온도 조절 시스템 등이 필요할 것으로 보인다. 또한 *S. enteritidis*를 접종한 양파 분말은 처리 전압이 가장 높았던 9 kV에서 최대 처리 시간인 20 분 CP 처리 하였을 때 미생물 저해 효과가 높았다. 본 연구 결과를 통해 진공 건조 된 양파를 시료화 한 후 SWU-4 system에서 9 kV에서 20 분간 CP 처리 한다면 *S. enteritidis*에 대한 안전성이 높은 양파 분말 제품을 생산할 수 있을 것으로 보인다.



(ㄱ) Φ 9.5* 410mm



(ㄴ) Φ 11.5* 410mm



(ㄷ) Φ 13.5* 410mm

Fig. 3-23. CP reactor and gas inlet system

○ Fig. 3-23와 같이 시료 저해 검증을 위한 시제품을 구성하였으며, Pyrex 반응 존, 거치대, 유량조절기 및 트랜스미터, 헬륨 및 질소 펌프 모듈, AC 파워 서플라이, 오실로스코프 전압 전류 측정 모듈을 이용하여 구성하였다. 오실로스코프를 이용하여 저해실험별 전압 및 전류값을 실시간으로 측정 하였다. 최종 실험 장치 구성은 Fig. 3- 24와 같다.

(사) 2차년도 최종 실험 장치 구성

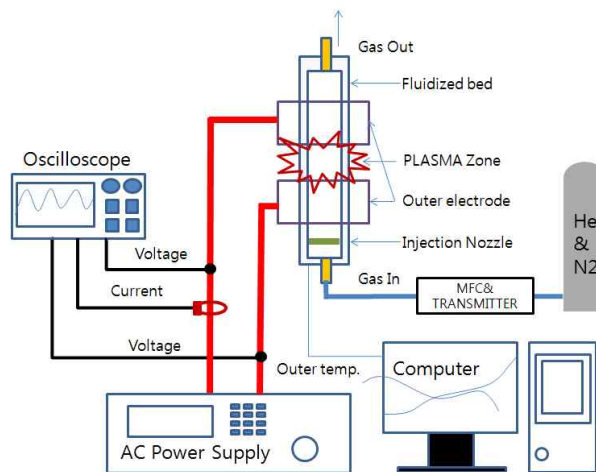


Fig. 3-24. DBD CP system

제 3 절. 양파 분말 살균을 위한 pilot-scale의 CP 살균 시스템 설계

1. CP 살균 시스템의 scale-up에 요구되는 주요 장비필요사항 결정

가. 처리량, 소요 전력 등 주요 장비필요사항을 1-2차 년도에 연구 및 개발된 lab-scale에 대한 연구 결과들을 분석하여 결정

대량 생산 장비를 설계하기 위해 2차 년도까지의 연구 결과를 분석하여 결정하였다.

- 파워(주파수, 전압, 시간) 결정 및 온도 검증: 15, 25, 35 kHz 주파수별 9 kV 전압측정을 통하여 고전압발생기 실 측정치를 확인하였으며 오차율은 10-30 V 정도의 차이를 보임을 확인하였다.
- 고전압발생기와 CP 전극 장치 실제 전압 인가와 부하 사이의 전압값을 검증하였다. 이를 바탕으로 실제 CP 처리 시 오차율을 감안하여 실제 측정치를 보정하여 실험을 진행하였다(Fig. 3-25)

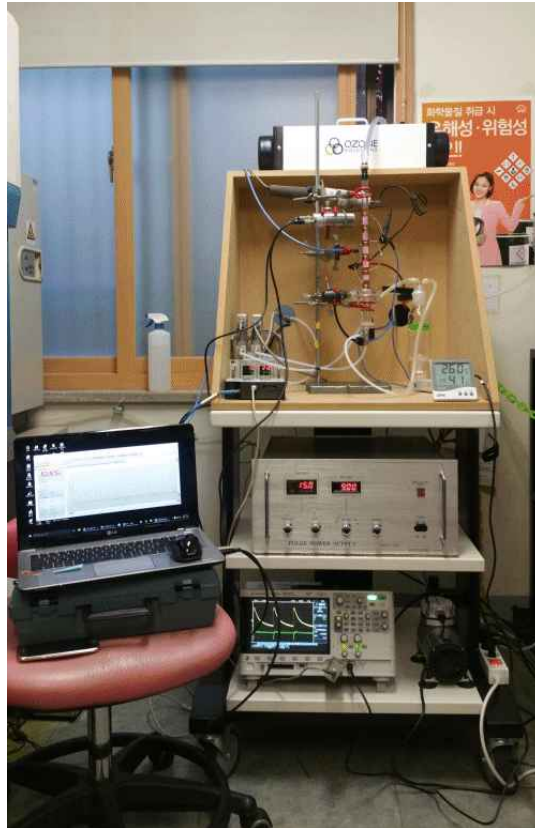


Fig. 3-25. Treatment power decision experiment

2. 식품산업체에 적용 가능한 pilot-scale의 CP 살균 시스템 설계

가. CP 살균시스템의 플라즈마 입력 변수(전력, Frequency, 가스의 종류 및 유량 등)에 따른 멸균효과 분석

- **시료:** 신선한 양파(*Allium cepa* L.)는 수돗물로 깨끗이 세척하여 12 × 12 cm 크기로 절단한 후, 진공 건조기(Fisher Isotemp Vacuum Oven Morel 281, Fisher Scientific, Pittsburgh, PA, USA)를 이용하여 진공 건조(28 kPa, 60-65°C, 8-10 시간)하였다. 건조된 양파는 0.5 × 0.5 cm (0.3 cm²)의 크기로 분말화한 후 desicator에 저장하여 상대습도 (relative humidity, RH)를 13±3.0%로 조절해 주었다.
- **접종원 준비:** *Salmonella Enteritidis* (CCARM 8040), *E. coli* O157:H7 (ATCC 43890), *Listeria monocytogenes* (KCTC 3569)는 tryptic soy agar (TSA; Difco., Sparks, MD, USA)와 tryptic soy broth (TSB; Difco.)에 37°C에서 24시간 동안 계대 배양하였다. TSB에 배양시킨 각각의 미생물을 원심분리(4,000 ×g, 15 분, 22°C)한 후 0.1% (w/v) 펩톤수(Difco.)로 세 번 세척하였다. 세척된 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes* (약 9 log CFU/mL)를 0.1% 펩톤수(Difco.)로 6 log CFU/mL만큼 희석하여 접종원으로 사용하였다. *Aspergillus brasiliensis* (KCCM 160404)와 *Bacillus cereus* 혼합 균주(ATCC 10876, ATCC 13061, W-1)는 tryptic soy agar (TSA; Difco., Sparks, MD, USA)와 tryptic soy broth (TSB; Difco.)에 37°C에서 24시간 동안 계대 배양하였다. TSB에 배양시킨 각각의 미생물을 원심분리(4,000 ×g, 15 분, 22°C) 후 0.1% (w/v) 펩톤수(Difco.)로 3 회 세척하였다. 세척된 *A. brasiliensis*와 *B. cereus* (약 9 log CFU/mL)를 0.1% 펩톤수(Difco.)로 6 log CFU/mL만큼 희석하여 접종원으로 사용하였다.
- **미생물 접종:** 접종 전, 양파 분말(10 개, 2.5 cm²)의 양면을 각각 30 분 동안(총 1시간) ultra-violet (UV) 살균하였다. 살균된 양파에 1 mL의 접종원(약 6 log CFU/mL)을 1분 동안 침지 접종하였다. 접종된 양파 분말 시료는 25±2°C에서 1시간 동안 건조시켰다.
- **유전체 장벽 (dielectric barrier discharge) CP (CP) 처리:** 본 연구에서 사용한 CP 처리 시스템은 3차년도에 개발된 pilot scale의 반응기였다(Fig. 3-26). 플라즈마 형성 가스는 헬륨(helium, He)이었으며 He과 humidified He이 plasma reactor으로 유입되는 속도는 각각 23.5와 1.5 L/min이었음. 처리 전압은 2차 년도에서 최적화된 9 kV를 사용하였다. CP 처리 공정 파라미터의 영향을 관찰하기 위해 사용한 처리 frequency는 15, 25, 그리고 35 kHz이었고, 처리 시간은 2, 5, 10, 그리고 20분이었다.
- **표면 온도:** CP 처리 전후의 양파 분말의 표면 온도는 infrared thermometer (DT 44L, DIAS Infrared GmbH, Dresden, Germany)를 이용하여 측정하였다.
- **미생물 분석:** CP 처리 전후의 양파 분말을 test tube에 옮기고 2 mL의 0.1% 펩톤수(Difco.)를 가하여 3분 동안 blending하였다. 0.1% 펩톤수(Difco.)를 이용하여 균체를 희석

시킨 후 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes*를 검출하기 위해서 각각 xylose lysine deoxycholate agar (XLD; Difco.), Sorbitol MacConkey agar (SMAC, Difco.), 그리고 TSA에 도말하였다. 각각의 플레이트는 37°C에서 24-36시간 동안 배양하였다. *A. brasiliensis*와 *B. cereus*의 포자를 검출하기 위해서 각각 potato dextrose agar (PDA; Difco.)와 TSA (Difco.)에 도말하였다. TSA의 플레이트는 37°C에서 24-36시간 동안 배양하였고, PDA의 플레이트는 25°C에서 5-7일 동안 배양하였다.

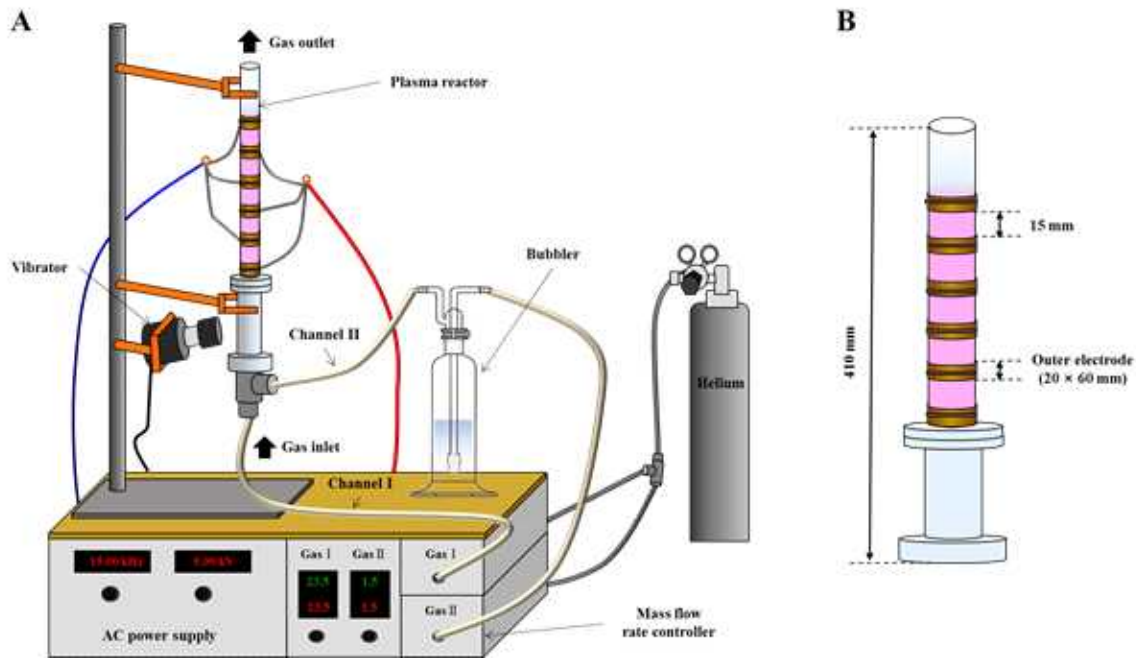


Fig. 3-26. Illustration of the dielectric discharge CP treatments system used in the current study (A) and CP formation in the plasma reactor (B)

○ **미생물 저해 모델링:** 식중독균 저해에 대한 CP 처리 시간의 영향을 미생물 저해량을 통해 알아보았음. 모델 미생물은 식중독균인 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*이었고, parameter는 처리 시간(2, 5, 10, 20 분)이었고, 처리 전압과 frequency는 각각 9 kV와 15 kHz로 고정하였음. CP 처리 전 후의 미생물의 농도를 가지고 Eq. 1을 이용해 residual microbial concentration (RM)을 구하였음. 미생물 저해 실험 데이터들은 first-order kinetics model (Eq. 2), Fermi's model (Eq. 3), 그리고 Weibull model (Eq. 4)에 적용하였다.

$$RM = N / N_0 \quad \text{Eq. 1}$$

N: microbial concentration after CPT, N_0 : microbial concentration without CPT

$$\ln (RM) = -kt \quad \text{Eq. 2}$$

t: treatment time (min), k: first-order kinetic constant

$$RM = 1/1+\exp (t-t_h/a) \quad \text{Eq. 3}$$

t_h : treatment time (min) when RM is 0.5,

a : the parameter indicating the slope of the curve around t_h

$$\log N = \log N_0 - (t / \delta) s \quad \text{Eq. 4}$$

δ : scale parameter, s : shape parameter

- **Optical emission spectroscopy (OES):** 수증기 유입 여부에 따른 플라즈마 내 excited species는 optical emission spectrometer (Ocean optics spectrometer, HR4000CG-UV-NIR, Ocean Optics, FL, USA)를 이용해 측정하였다.
- **수분 함량:** CP 처리 전후의 양과 시료(3.5 g)를 수분 함량 측정기(i-Thermo 163 L, Bel Engineering Inc., Milan, Italy)를 이용하여 105°C까지 건조시켜 수분 함량을 측정하였다.
- **색도:** CP 처리에 의한 색도 변화는 색도계(Minolta Chroma Meter, model CR-400, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였다. 시료(3 g)를 가득 채운 Petri dish (지름: 35 mm)를 표준 백색판(Calibration Plate CR-400)에 올려 양과 분말 표면의 명도(lightness, L^*), 적색도(redness, a^*), 황색도(yellowness, b^*) 값을 측정하였다.
- **Ascorbic acid:** 양과 시료 내 ascorbic acid는 다음과 같이 분석하였다. 양과 시료 0.3 g 을 100% methanol 3 mL에 넣어 30 분 동안 진탕하여 ascorbic acid를 추출하고 원심분리(1,000 ×g, 20 분) 한 후 상층액을 0.45 μ m nylon syringe filter (Whatman 6750-2504 syringe filter, Picataway, NJ, USA)로 여과하였다. 양과에서 추출한 ascorbic acid 시료는 1.0 mL/min의 유속으로 흐르는 100% methanol에 20 μ L만큼 주입하여 high performance liquid chromatography (HPLC, Agilent 1100 series, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)와 UV-vis detector (SPC-10Avp, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 254 nm의 파장에서 분석하였다. 컬럼(Symmetry® C18, 5 μ m, 4.6 × 250 mm I.D., Waters Co., Milford, MA, USA)의 온도는 컬럼 오븐(G1316A, Agilent Technologies)을 이용하여 23±2°C로 유지시켰다.
- **Quercetin:** 양과 내 quercetin은 다음과 같이 분석하였다. 양과 분말(0.5 g)을 각각 5 mL의 3차 증류수와 acetonitrile(Samchun Chemical Co., Ltd., Seoul, Korea)에 순서대로 넣고 30 분 동안 진탕 배양하여 quercetin을 추출하였다. 추출물을 Whatman filter paper (No. 2; Whatman Ltd.)로 여과시킨 후 0.45 μ m nylon syringe (Whatman Ltd.)로 한 번 더 여과하였고 HPLC (Agilent Technologies)를 사용하여 분석하였다. 1.0 mL/min 유속으로 흐르는 1% trifluoroacetic acid가 첨가된 50% acetonitrile/deionized water (1:1, v/v)에 20 μ L의 시료를 주입하여 370 nm의 파장에서 시료 내 quercetin을 분석하였음. 컬럼(Waters Co.)의 온도는 40±2°C로 유지시켰다.

- **표면 미세 구조:** 양파 분말의 표면 미세 구조는 다음과 같은 방법으로 관찰하였다. Petri dish안에 양파 분말을 넣고 1 mL의 1% (w/v) osmium tetroxide (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 분주한 후, osmium tetroxide의 증기를 이용하여 하루 동안 시료를 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 고정시켰다. 양파 분말의 표면 미세 구조를 관찰하기 위한 field emission-scanning electron microscopy (FE-SEM; S-4700, Hitachi, Tokyo, Japan)의 측정 조건은 5 kV와 300 ×배율이었다.
- **통계 분석:** CP 처리의 미생물 저해 효과를 보기 위한 실험은 3 회 반복하였고, 측정의 반복은 3 회였다(n=9). CP 처리에 의한 양파 분말의 수분 함량, 색도, 그리고 ascorbic acid와 quercetin 함량의 변화를 알아보기 위한 실험은 2 회 반복하였고, 측정의 반복은 3 회 이루어졌다(n=6). 평균값의 차이를 SPSS (ver. 23.0.0; IBM SPSS Inc., New York, NY, USA)의 일원 배치 분산 분석법(one-way analysis of variance, ANOVA)을 사용하여 분석하였고, 유의차가 있는 경우는 Tukey 다중 범위 검증(Tukey's multiple range test)를 실시하였다($\alpha=0.05$).

나. Pilot-scale의 plasma reactor 제작

1, 2 차 년도 수행된 내용을 토대로 CP 살균 시스템의 최적 살균조건 및 scale-up, 실용화에 필요한 자료의 데이터베이스화, 처리 시간, 처리 전력을 변수로 pilot scale의 DBD CP 처리 하였을 때, 처리 전압에 따른 미생물 저해 효과의 차이는 없었고 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7의 경우 처리 시간이 길어질수록 미생물 저해 효과가 커지는 것을 관찰하였다. 이를 토대로 scale-up과 실용화를 위하여 처리 시간 증가에 따른 CP system의 플라즈마 형성 안정화를 위해 온도 조절 시스템을 도입하였다. pilot scale의 DBD CP system은 다음 Fig. 3-27. 과 같다.

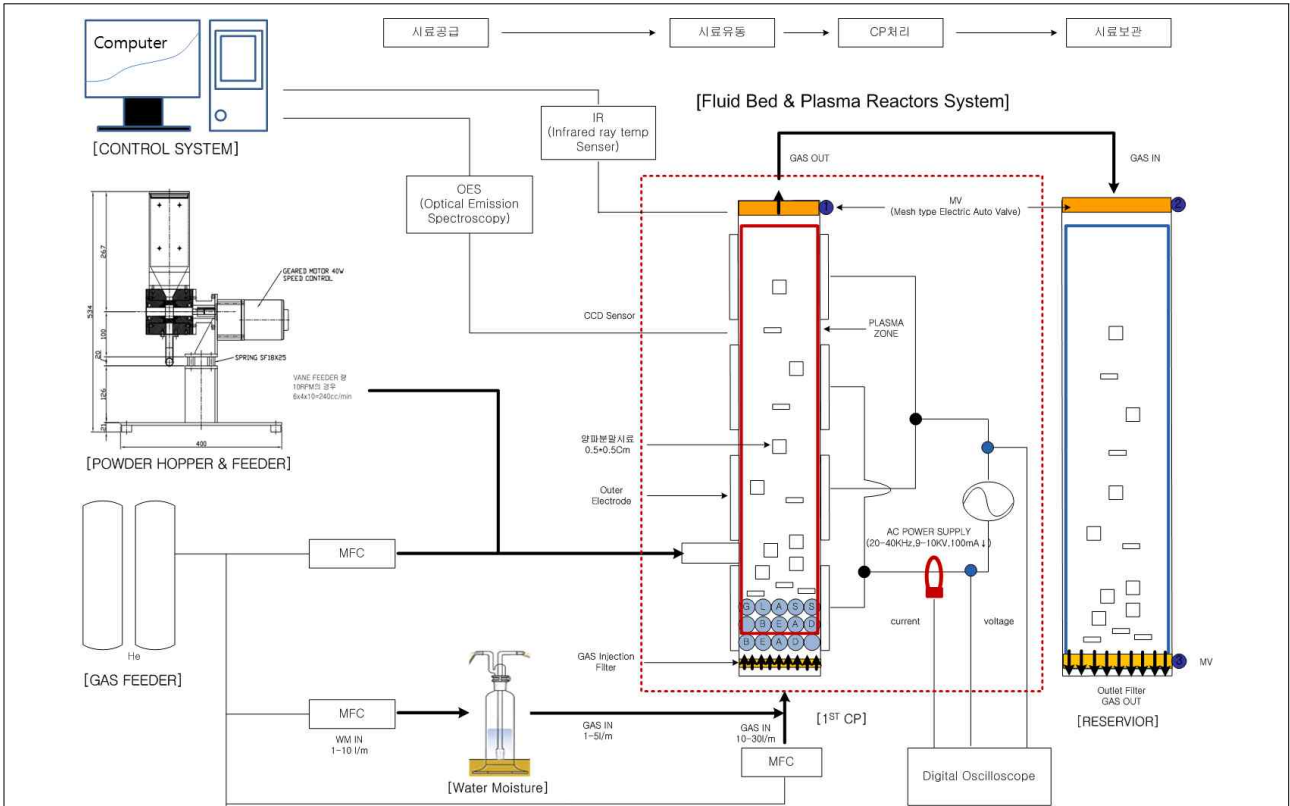


Fig. 3-27. Diagram of the pilot scale system developed in the third year of research

3. 식품제조공정의 CP 살균 가이드라인 확립

가. 연구 결과를 종합하여 CP 살균 시스템의 산업적 적용에 요구되는 분말 살균 가이드라인 확립

- 식품에서의 CP 살균 연구와 분체식품에서의 적용 가능성을 알아보았고, 식품 적용을 위한 현 대응방안과 관련 정부 규제, 국내외 동향 등을 조사하여 CP 살균 시스템을 분체식품 등 다양한 식품에 적용하기에 앞서 정부와 기업에서의 규제방안과 기준을 제시하였다.
- 1차 년도부터 3차 년도까지의 연구결과를 바탕으로 분체 식품에 적용 가능한 파일럿 장비의 설계요소와 식품가공 단계에서의 제조 공정을 제안하였다.

4. 결론

가. CP 살균 시스템의 scale-up에 요구되는 주요 장비필요사항 결정

- (1) 처리량, 소요 전력 등 주요 장비필요사항을 1-2차 년도에 연구 및 개발된 lab-scale에 대한 연구 결과들을 분석하여 결정

대량 생산 장비의 주파수별 최대전압 파워를 측정하고 전압에 따른 안정적인 플라즈마 발생 범위를 탐색하여 결정하였다(Fig. 3-28)



(a) 15 kHz, 9 kV



(b) 25 kHz, 9 kV



(c) 35 kHz, 9 kV

Fig. 3-28. Determination of maximum power at various frequencies

- 최적 조건에서 처리시간에 따른 플라즈마 발생 온도를 각 차 년도 별로 비교하였다(Table 3-20)

Table 3-20. Temperatures at the electrodes of the CP treatment systems, determined in each year of research

1차년도 내부전극 (25 kHz, 9 kV, 30 min)		2차년도 외부전극 (25 kHz, 9 kV, 20 min)		3차년도 외부전극 (15 kHz, 9 kV, 20 min)	
처리시간 (min)	처리온도 (C)	처리시간 (min)	처리온도 (C)	처리시간 (min)	처리온도 (C)
2	28.9	5	28.9	5	29.1
5	32.1	10	33.4	10	35.8
10	44.4	15	35.4	15	41
30	62.4	20	38.1	20	44.5
-	-	30	42.8	30	44.4

나. 식품산업체에 적용 가능한 pilot-scale의 CP 살균 시스템 설계

(1) Pilot-scale cold plasma reactor를 이용한 양파 분말 식중독균 저해

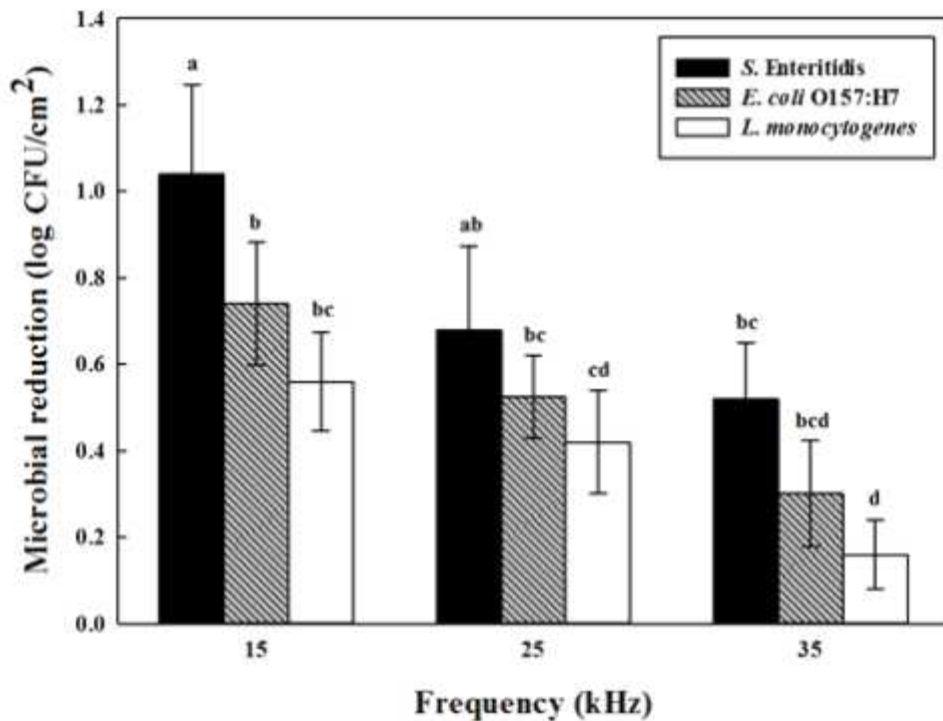


Fig. 3-29. Effects of treatment frequency on the inactivation of *Salmonella* *Enteritidis*, *E. coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* on onion powder by water vaporization-combined helium dielectric discharge barrier CP treatment at 9 kV for 5 min. Error bars denote standard deviation (n=9). Different letters refer to significance among the levels of treatment frequency and the types of microorganisms.

○ 처리 frequency에 따른 미생물 저감 효과: CP 처리(9 kV, 5분)의 frequency (15, 25, 35 kHz)에 따른 미생물 저해 효과를 Fig. 3-29에 나타내었다. 모든 미생물에서 처리

frequency가 낮아질수록 미생물 저해 효과가 증가하였다(Fig. 3-29)

- *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*의 저해율은 모든 처리 frequency에서 1 log CFU/cm²이하로 CP 처리(9 kV, 5 min)에 의한 유의적인 저해 효과가 없었다(Fig. 3-29).
- *S. enteritidis*의 경우에는 15 kHz에서 처리하였을 때 90% 이상 유의적으로 저해하였고, CP 처리에 의한 미생물 저해 효과는 *S. enteritidis* > *E. coli* O157:H7 > *L. monocytogenes* 순서대로 높은 결과를 보였다. 이는 *S. enteritidis*와 *E. coli* O157:H7은 세포벽이 두꺼운 그람 양성균인 *L. monocytogenes*와 달리 CP에 대한 민감성이 비교적 큰 것이라고 판단되었다.
- 처리 frequency가 높아질수록 미생물 저해 효과가 감소하였는데 이는 고주파 영역에서는 오히려 주파수가 증가할수록 와전류 손실(Eddy current loss)이 증가하여 전류가 흐를 가능성이 낮기 때문에 미생물 저해 효과가 감소하는 것으로 판단되었다. 미생물을 효과적으로 저해시키기 위한 최적 CP 처리 frequency 조건은 15 kHz로 결정하였다.
- 처리 시간에 따른 미생물 저감 효과: CP (9 kV, 15 kHz) 처리 시간(2, 5, 10, 20 분)에 따른 미생물 저해 효과를 Fig. 3-30에 나타내었다.

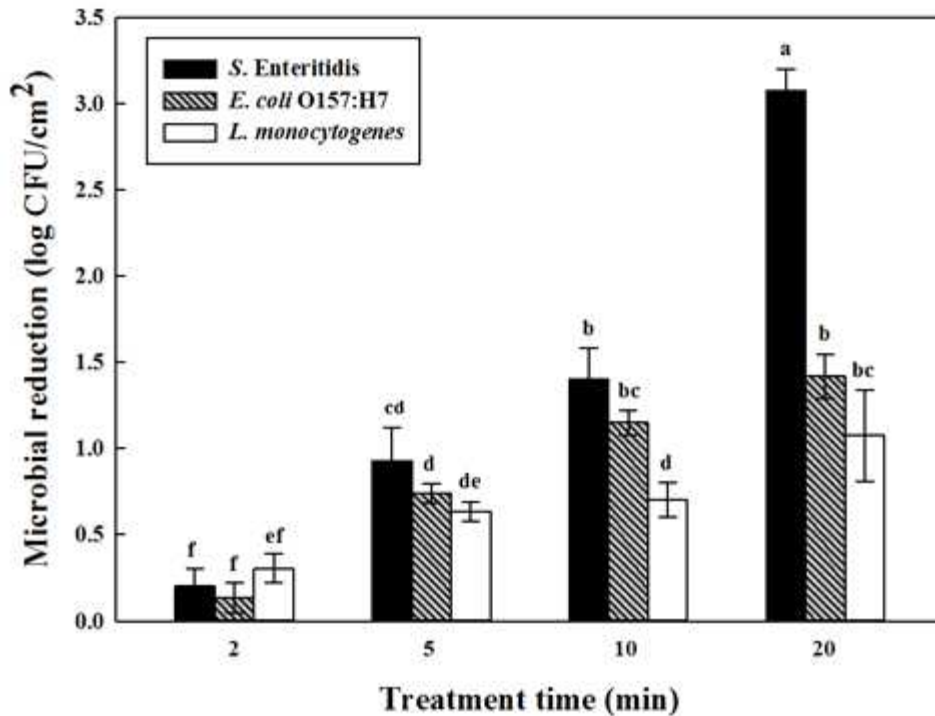


Fig. 3-30. Effects of treatment time on the inactivation of *Salmonella enteritidis*, *Escherchia coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* on onion powder by water vaporization-combined helium dielectric discharge barrier CP treatment with 15 kHz at 9 kV. Error bars denote standard deviation (n=9). Different letters refer to significance between the levels of treatment frequency and the types of microorganisms.

- 미생물 저해율은 처리 시간이 길어짐에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 10 분 동안 CP 처리하였을 때 *S. enteritidis*와 *E. coli* O157:H7를 90% 이상 저해시켰다. 20 분 동안 CP 처리에 의해 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes*를 각각 3.1 ± 0.1 , 1.4 ± 0.1 , 그리고, 1.1 ± 0.3 log CFU/cm²만큼 저해시켰다(Fig. 3-30)
- 세 가지 식중독균의 미생물 저해율은 20 분 동안의 CP 처리조건에서 최대였으며, *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*는 90% 이상 저해되었고, *S. enteritidis* 같은 경우에는 3 log 이상의 높은 저해율을 보였다. 따라서, 미생물을 효과적으로 저해시키기 위한 최적의 CP 처리 시간은 20 분으로 결정하였다.
- CP 처리 시간을 변수로 한 미생물 저해 결과는 처리 frequency를 변수로 하였을 때와 마찬가지로 CP 처리에 대한 민감성은 *S. enteritidis* > *E. coli* O157:H7 > *L. monocytogenes* 순서로 높은 것을 확인하였다.
- 최적 CP 처리 조건(9 kV, 15 kHz, 20분)은 양파 분말에 접종된 *A. brasiliensis*와 *B. cereus*의 포자를 모두 0.2 ± 0.1 log spores/cm²만큼 저해하여 유의적인 저해 효과를 확인하지 못했다.
- **표면 온도 변화:** *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*을 가장 효과적으로 처리하기 위한 수증기 유입식 CP 처리의 최적 조건은 9 kV, 15 kHz, 그리고 20 분이었다. 최적 조건(9 kV, 15 kHz, 20 분)의 CP 처리 전 후의 양파 분말의 표면 온도는 $25.0 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 에서 $39.6 \pm 0.8^\circ\text{C}$ 까지 상승하여 15°C 내외의 온도 상승을 보였다.
- CP 처리에 의한 양파 분말의 온도 상승은 전류가 전극에 흐르는 동안 전극의 온도 상승으로 인한 것으로 사료되었다. CP 처리에 의한 온도 상승은 그 자체로서 미생물 저해 병합 처리로서 작용하거나 CP 내 excited species들의 분해를 촉진하여 CP 처리 효율을 높였을 가능성이 있다.
- 본 연구에서 구축된 최적 CP 처리 조건은 양파 분말의 비가열 살균 처리로서 적용할 수 있는 가능성을 보여주었다.
- **미생물 저해 모델링:** 살균 처리 기술을 상업적으로 적용하기 위해서는 저해 대상 미생물의 저해 효과를 예측할 수 있는 미생물 저해 모델을 제시하는 것이 반드시 필요하다.

Table 3-21. Fit between mathematical models and inactivation data for *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, and *L. monocytogenes* assessed using correlation coefficients (R^2) and p-Value

Models	Strains					
	<i>S. enteritidis</i>		<i>E. coli</i> O157:H7		<i>L. monocytogenes</i>	
	p-Value	R^2	p-Value	R^2	p-Value	R^2
First model	0.000	0.96	0.000	0.85	0.014	0.32
Fermi's model	0.000	0.94	0.000	0.86	0.000	0.84
Weibull model	NA ^a	0.82	NA	0.80	NA	0.34

- 모든 식중독균에 대한 first-order kinetics model과 Fermi's model은 변수들의 관계를 적절하게 설명할 수 있었다(Table 3-21). CP 처리에 의한 *S. enteritidis*의 저해 효과는 first-order model, Fermi's model ($t_h=0.26$, $a=2.82$), 그리고 Weibull model ($\delta=9.25$, $s=1.29$)에 의해서 적절하게 설명되었다(Table 3-21). *E. coli* O157:H7의 CP 처리에 의한 저해 효과는 first-order model, Fermi's model ($t_h=1.03$, $a=6.52$), 그리고 Weibull model ($\delta=11.73$, $s=0.69$)에 의해서 적절하게 설명되었다(Table 3-21).
- *L. monocytogenes*의 저해 효과의 경우에는 first-order model과 Weibull model ($\delta=102.40$, $s=0.29$)에 의해서 잘 설명되지 않았으나 Fermi's model ($t_h=0.55$, $a=3.09$)에 의해서 적절하게 설명되었음(Table 3-21).
- Fermi's model은 미생물 종류와 상관없이 CP 처리 시간에 따른 미생물 저해 효과를 예측하기에 가장 적절한 저해 모델이었다. 향후 세 가지 미생물의 저해 효과는 본 연구를 통해 구축된 미생물 저해 모델을 적용하여 예측 가능할 것으로 사료되었다.
- OES 분석: He-CP 내에서 He과 H₂O외에 N, N₂O, O₂, O₃, OH, 그리고 H₂등이 검출되었고(Fig. 3-31), 질소는 상압 CP 처리 중 대기압에서 유입되었을 것으로 판단되었다.
- 수증기를 유입시킨 He-CP내에는 O, O₃, OH등의 reactive oxygen species (ROS)와 H₂의 양이 증가한 것을 확인하였다(Fig. 3-31).

○ 수증기 유입에 의해서 He-CP 내 증가한 ROS에 의해서 미생물 저해 효과가 향상된 것으로 사료되었다.

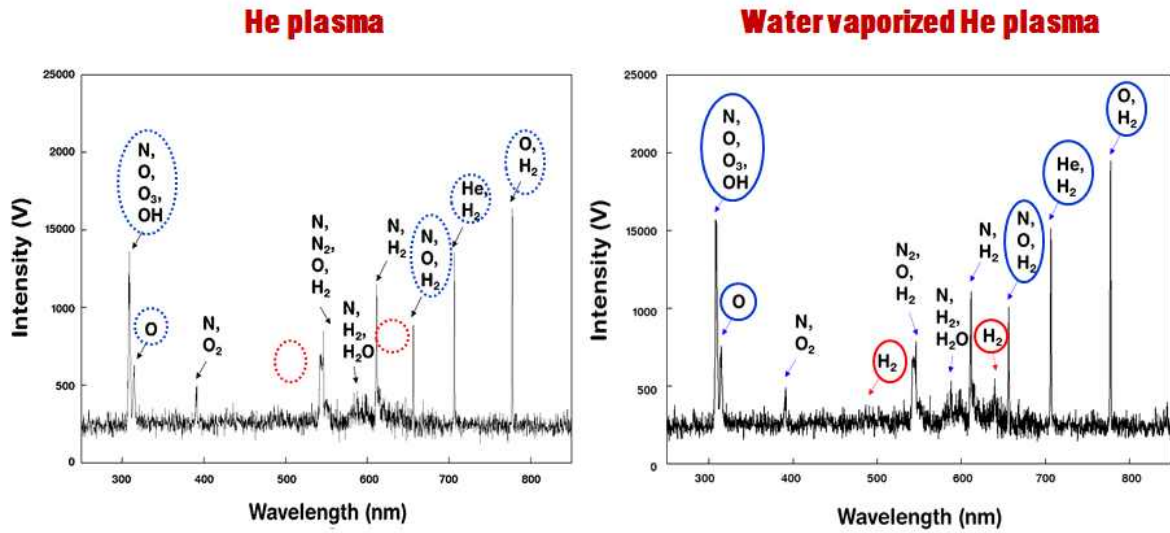


Fig. 3-31. Optical emission spectra during the helium dielectric discharge barrier CP treatment without (A) and without (B) water vaporization after 20 min exposure (250–850 nm).

(2) 이화학적 특성

CP 처리는 식품의 표면에 존재하는 비타민, 기능성 물질, 또는 영양 성분과 반응할 가능성이 있으므로 식품의 이화학적 특성에 대한 CP의 영향을 분석할 필요가 있다. 그러므로 본 연구에서는 양파 분말의 수분 함량, 색도 및 외관, ascorbic acid와 quercetin 함량, 그리고 표면 미세 구조와 같은 이화학적 특성에 대한 최적 He-CP 처리(9 kV, 15 kHz, 20 분)의 영향을 관찰하였다.

Table 3-22. Effects of the water vaporization-combined dielectric barrier discharge helium CP (CP) treatment on the moisture content, color, ascorbic acid, and quercetin of onion powder

Treatment	Moisture content (%)	CIE color value			Ascorbic acid concentration (mg/g)	Quercetin concentration (mg/100 g)
		Parameter ^a				
		L*	a*	b*		
Untreated	4.01±0.48 ^a	42.6±1.9 ^a	11.6±0.7 ^a	26.8±1.4 ^a	1.3±0.2 ^a	35.8±1.1 ^a
CP-treated ^b	4.30±0.45 ^a	42.8±3.1 ^a	11.7±0.3 ^a	26.6±1.2 ^a	1.3±0.4 a	36.3±1.6 ^a

^a Means±standard deviations from replication (n=6). Values with the same letter in the same column are not significantly different (p>0.05).

^b CP-forming gas, treatment voltage, frequency, and time were helium, 9 kV, 15 kHz, and 20 min, respectively.

○ **수분 함량:** 대조군과 CP 처리군 시료의 3.01-4.39 범위에서 측정되었고, CP 처리 여부에 따른 유의적인 차이는 없었다($p>0.05$; Table 3-22). SWU-3 시스템은 수증기 유입이 water bubbler를 이용하여 간접적으로 이루어졌는데, 이와 같은 수증기 주입 방식은 양파 분말의 수분 함량에 유의인 영향을 끼치지 않았다. 본 연구에서 수증기 유입식 CP 처리는 양파 분말의 수분 함량을 증가시키지 않는 분체 식품의 품질 저하를 유도하지 않는 살균 공정으로서의 가능성을 보여주었다.

○ **색도:** 대조군과 CP 처리군 양파 분말의 외관은 육안으로 보았을 때 다르지 않았다(Fig. 3-32). 양파 분말의 명도, 적색도, 그리고 황색도의 값은 각각 42.6-42.8, 11.6-11.7, 그리고 26.6-26.8으로 CP 처리 유무에 따른 유의적인 차이는 관찰되지 않았다($p>0.05$; Table 3-22). CP 처리가 가열 살균을 대체하게 된다면 분말 살균을 위한 가열 살균 공정 시 일어나는 분체 식품의 색도 변화로 인한 품질 저하를 해결할 수 있을 것이라고 기대되었다.



Fig. 3-32. Effects of water vaporization-combined CP treatment on the appearance of onion powder. Representative images of untreated onion powder (left) and treated onion powder (right) are shown. The plasma-forming gas, treatment voltage, frequency, and time were helium, 9 kV, 15 kHz, and 20 min, respectively.

○ **Ascorbic acid:** 대조군과 CP 처리한 양파 분말 내 ascorbic acid 함량은 유의적인 차이가 없었다($p>0.05$; Table 3-22). He-CP 내 존재하는 오존이 ascorbic acid의 파괴가 유도될 만큼 충분하지 않았기 때문에 ascorbic acid의 함량의 변화가 없는 것으로 판단되었다. 본 결과를 통해서 He-CP 처리가 양파 분말의 영양 성분을 파괴하지 않는 것을 증명하였다.

○ **Quercetin:** CP 처리 유무에 따른 양파 분말의 quercetin 함량은 유의적으로 다르지 않았다($p>0.05$; Table 3-22). He-CP 내 UV-B가 quercetin 함량에 영향을 줄만큼 충분하지 않았기 때문이라고 추측되었다. 본 결과를 통해 He-CP 처리가 양파 분말 내 유용한 기능성 물질인 quercetin의 함량에 유의적인 영향을 주지 않는 것을 확인하였다.

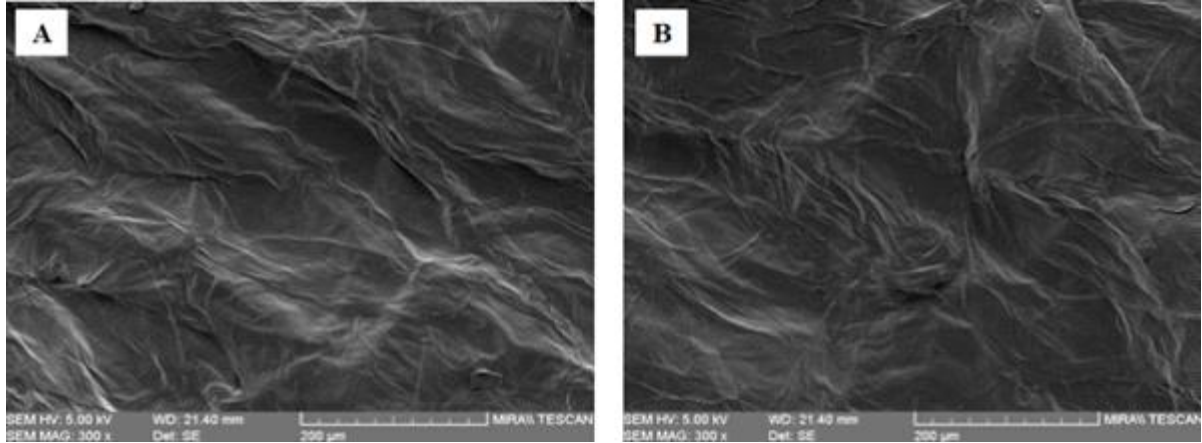


Fig. 3-33. Effects of the water vaporization-combined CP treatment on onion powder surface SEM. Representative FE-SEM micrographs of untreated onion powder (A) and treated onion powder (B) are shown. The plasma-forming gas, treatment voltage, frequency, and time were helium, 9 kV, 15 kHz, and 20 min, respectively.

○ 대조군과 CP 처리군의 양파 분말의 표면 미세 구조는 주사전자현미경 관찰 결과 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 3-33). CP 처리에 의한 양파 분말의 표면 거칠기 현상, crack 또는 구멍이 관찰되지 않은 이유는 He-CP 내 존재하는 ROS가 etching의 효과를 유도하기에 부족하였기 때문이라고 판단되었다. 본 결과를 통해 He-CP 처리는 양파 분말의 표면 미세 구조에 영향을 끼치지 않는 살균 공정이라는 것을 확인하였다.

(3) Pilot-scale의 plasma reactor 제작

○ 시스템 구성 및 설계도: 3차 년도 최종 시제품 장치의 설계도는 Fig. 3-34과 같다.

- 제품 설치용 프레임 제작(Fig. 3-35)
- 콜드 플라즈마 전극을 포함한 CP 반응관 제작(Fig. 3-36)
- 시료 부양을 위한 유동층 시스템 제작(Fig. 3-36)
- 파워 시스템 및 전극 형태 제작(Fig. 3-36)
- Auto system program 개발, 연동 통신을 위한 인터페이스 개발 및 하드웨어 제작 (Fig. 3-36)
- 시료 공급을 위한 feeder 제작(Fig. 3-37)
- 시료 보관을 위한 reservoir 탱크 제작(Fig. 3-39)
- 시료 이동과 유동층이 가능한 밸브 제작(Fig. 3-38)

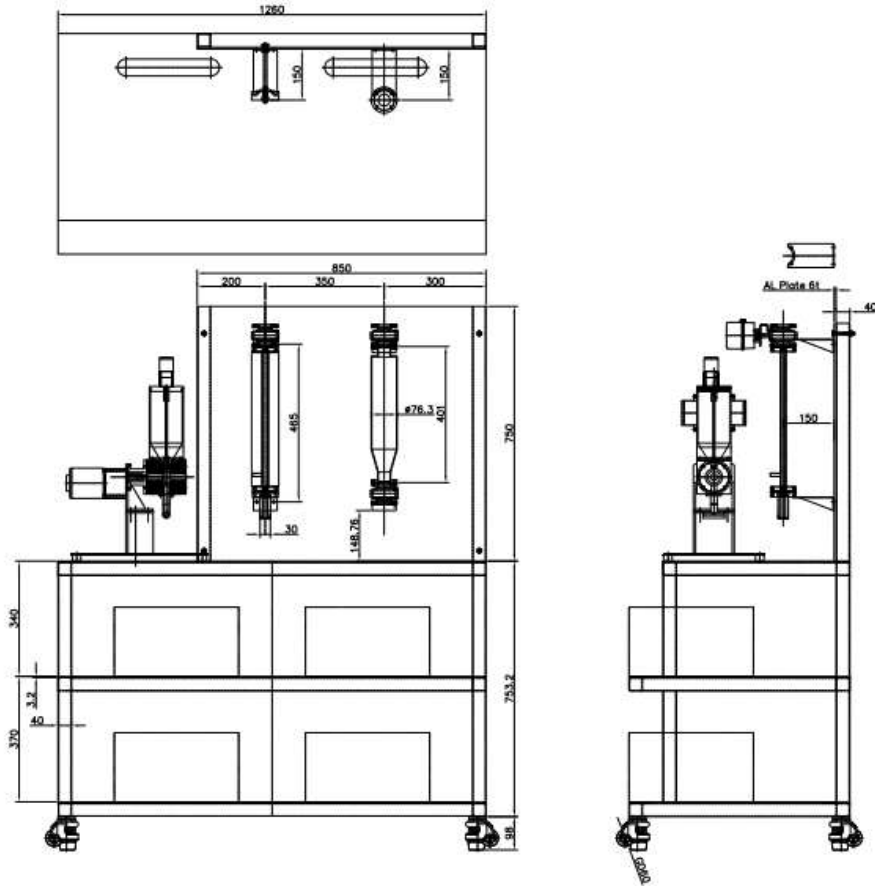
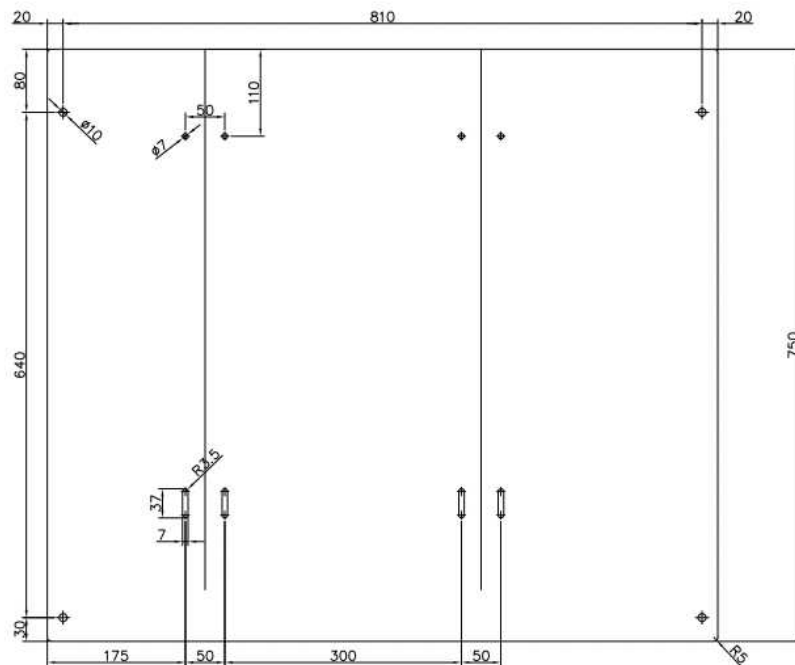


Fig. 3-34. Prototypes at the pilot scale

○ DBD 플라즈마를 이용한 분체식품의 미생물 저감화를 위한 이동 설치가 용이하도록 프레임 구성하였다(Fig. 3-34).



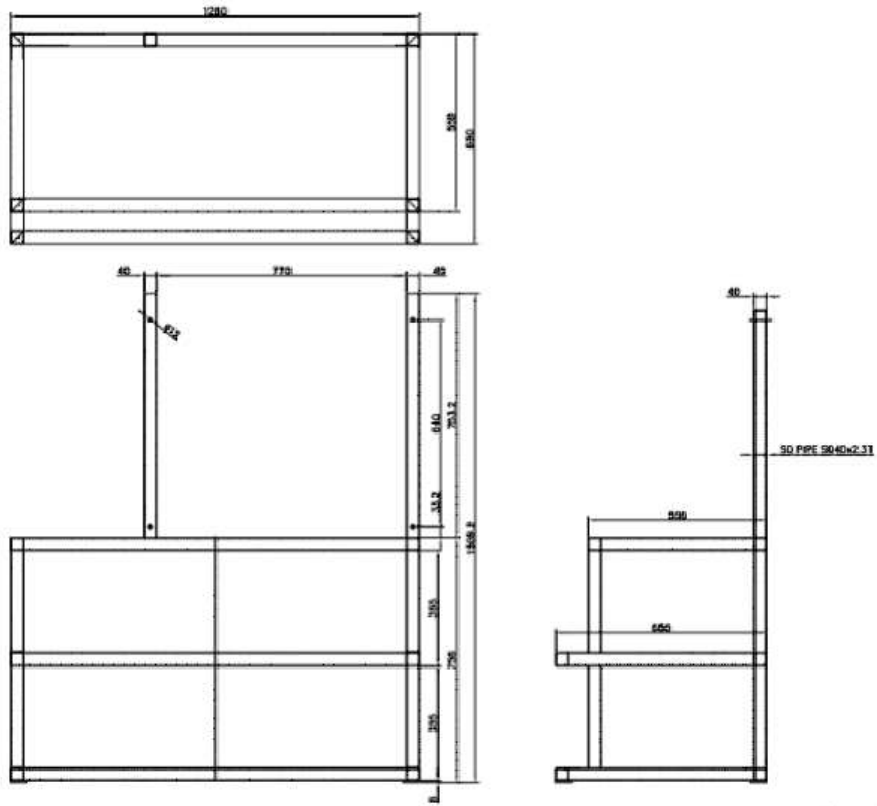


Fig. 3-35. Frame

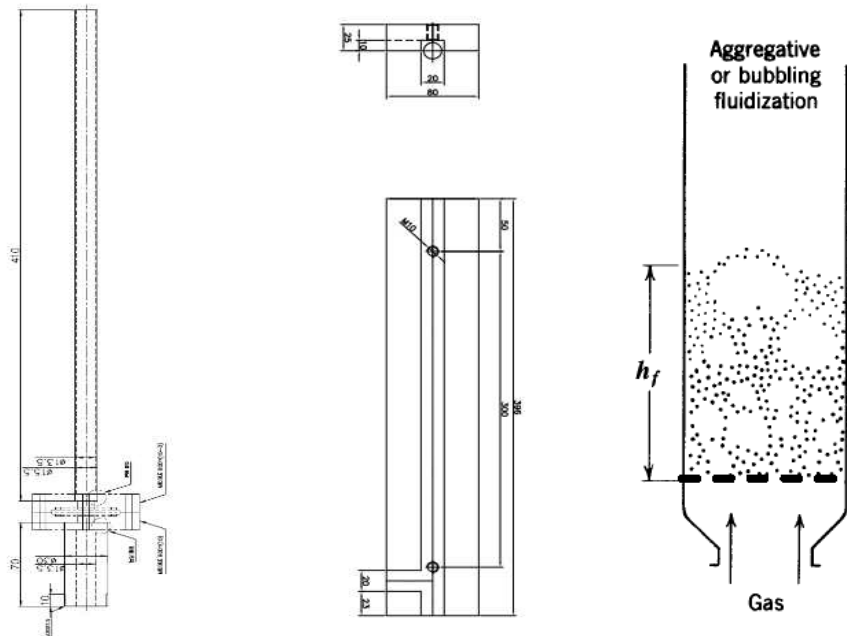


Fig. 3-36. CP reactor and gas inlet

- CP 처리 시 온도 압력이 상승하지 않도록 CP 반응기를 구성하였으며, 시료의 살균 메카니즘이 최적화될 수 있도록 2차 년도에 연구개발 된 유동층 시스템을 적용하였다. 또한 시료를 반응기 내로 원활하게 이동 시킬 수 있는 형상으로 제작 되었다. 시료의 CP 처리 시간은 20 분이며, 온도와 압력이 50도 이상과 대기압을 넘지 말아야 한다(Fig. 3-36).

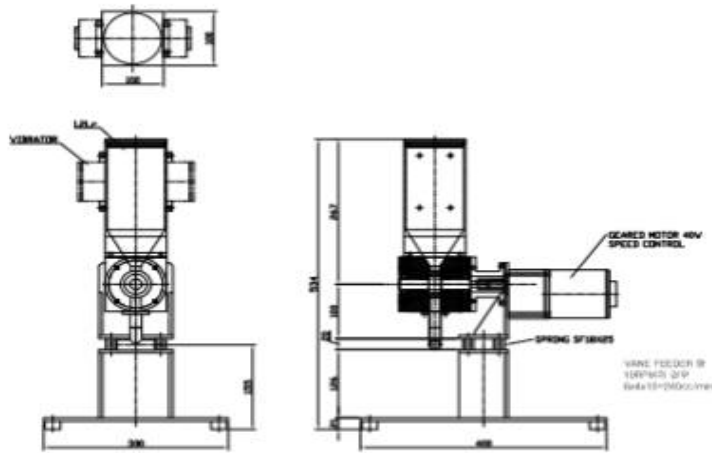


Fig. 3-37. Feeder

- 식품 분체의 미생물 저감화를 위한 시료 적정 공급 및 자동화를 위해 제작 되었으며, 시료 공급 타임은 최소 5 sec에 한번 씩 CP처리 반응기로 이동이 가능하다(Fig. 3-37).

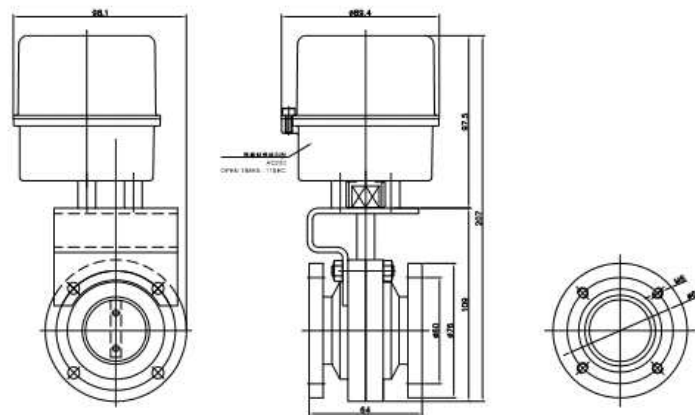


Fig. 3-38. Mesh type of automatic plunger valve

- CP처리 반응기로 시료가 이동이 되면, 원활한 시료의 미생물 저감화를 위한 시료 부양이 핵심이며, CP처리가 완료되면 개폐되어 저장 탱크로 이동 시키는 밸브를 제작하였다(Fig. 3-38).

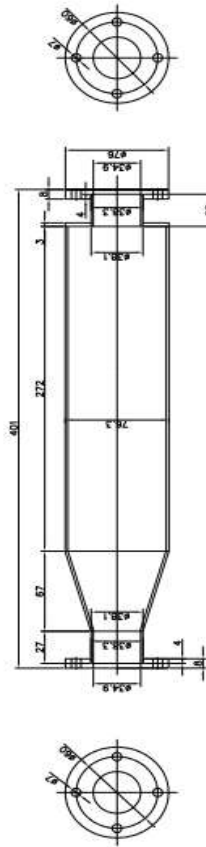
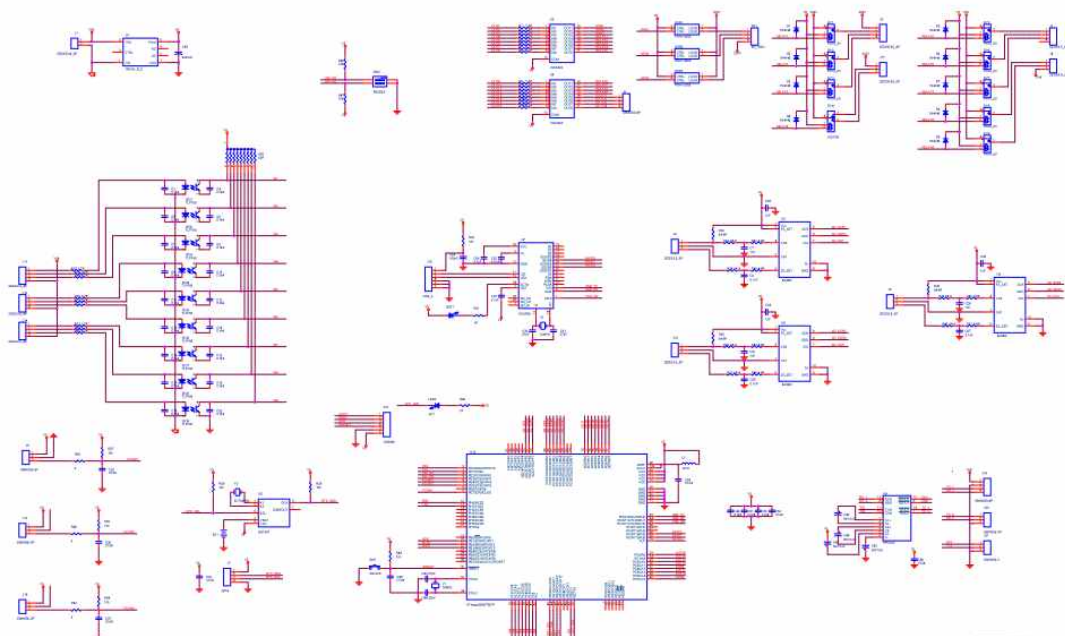


Fig. 3-39. Reservoir



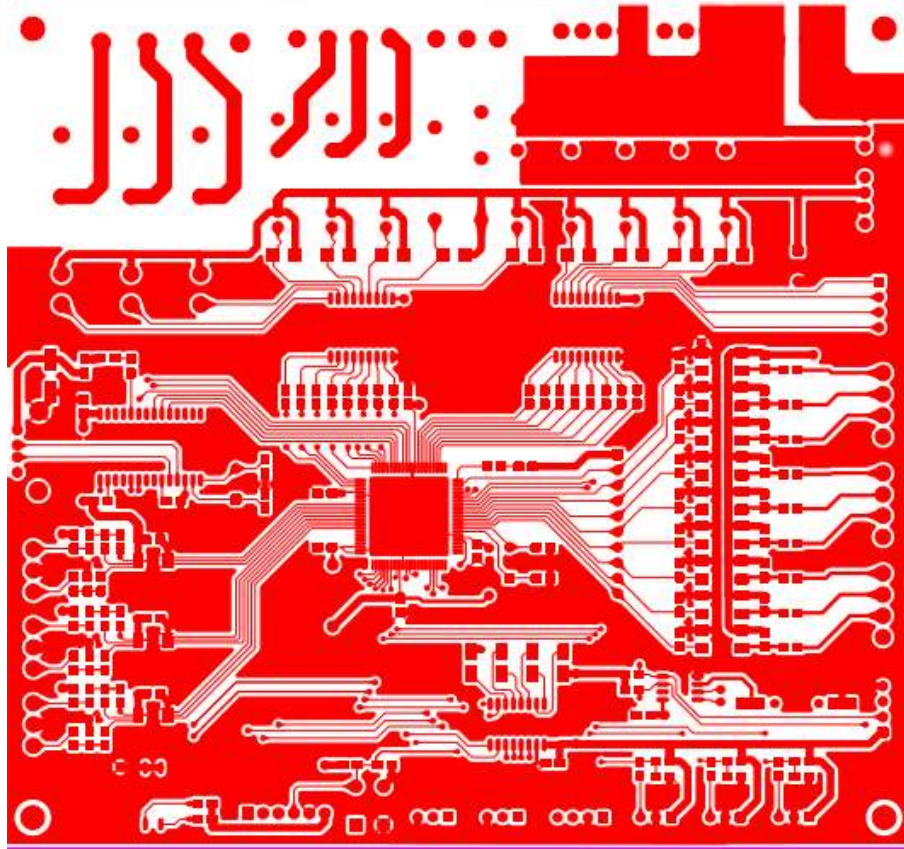


Fig. 3-40. Schematic and artwork of automatic interface module

- 미생물 저감화 자동화를 위하여 프로그램 개발과 하드웨어 두 가지로 구성 제작 되었다 (Fig. 3-40)
- 시제품 가이드라인 구성: 양과분말의 CP처리를 위한 시제품의 운영 순서배치(Fig. 3-41)와 각각의 구성요소(Fig. 3-42)는 다음과 같다.



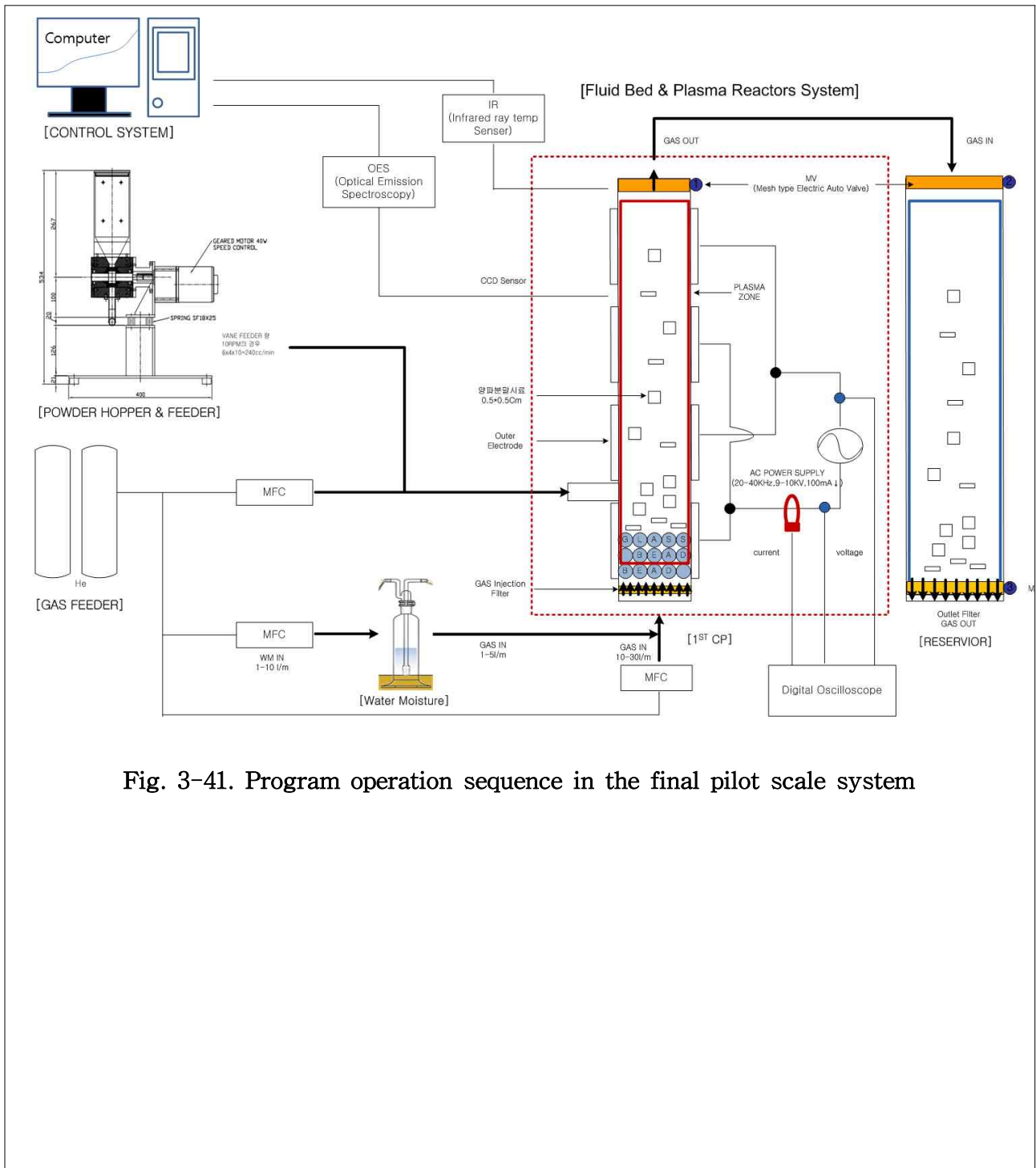


Fig. 3-41. Program operation sequence in the final pilot scale system

순번	명칭	설명
1	He_Bombe	헬륨 가스
2	Material_Feeder	식품 분체 공급기
3	CP_Plasma system	식품 살균 처리장치
4	RESERVIOR	살균된 식품 저장장치
5	Mesh_Valve	시료 유동용 밸브
6	MFC	CP, 버블러, 시료공급 헬륨 제어기기
7	MFC_Trاندucer	CP, 버블러, 시료공급용 헬륨 제어 조절장치
8	AUTO SYSTEM _INFOUR	살균 자동화 시스템 프로그램
9	High voltage Generator	고전압 발생기
10	Interface Module	프로그램 연동 인터페이스 장치
11	Vibrator Air Pump	유동층용 바이브레이터 공기압 펌프
12	Oscilloscope	전압전류 특성 분석용
13	OES	살균 요소 분석 장치
14	Feeder_Controller	시료공급 조절 장치
15	살균처리 시료	살균 처리된 시료모습

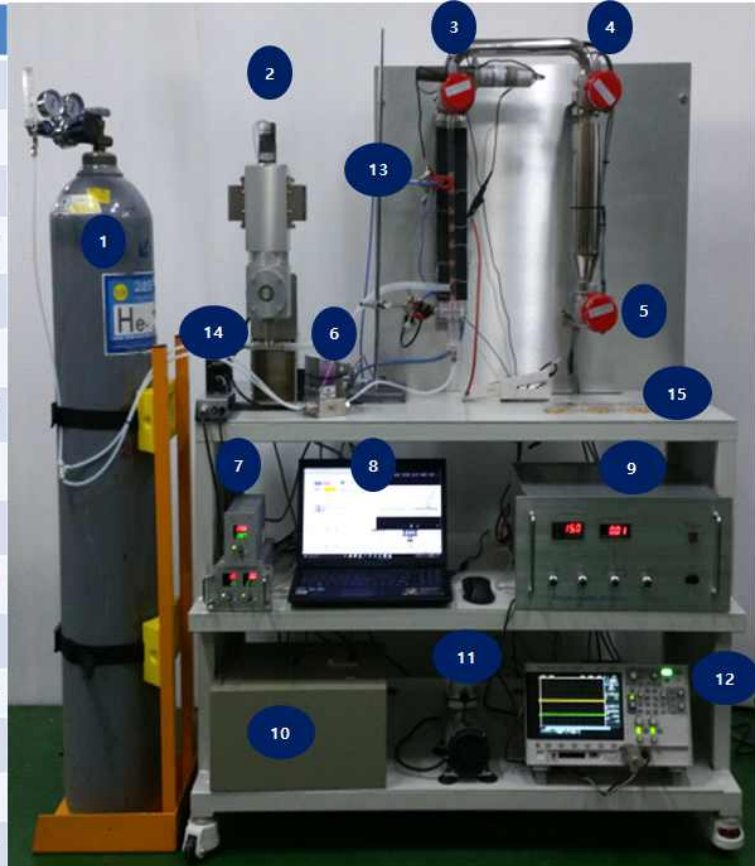


Fig. 3-42. Pilot scale components

- ① HE_Bombe: 외부 전극을 이용한 플라즈마 활성화를 위한 가스 공급부
- ② Material_Feeder: 식품 분체 살균을 위한 시료 공급 및 정량 공급 장치
- ③ Cold plasma treatment system: 시료 유동층 시스템을 포함한 플라즈마 처리 장치
- ④ Reservoir tank: 시료 살균 처리 후 보관 및 배출 장치
- ⑤ Mesh type Valve: 시료 유동층 및 시료 이동용 밸브
- ⑥ MFC*3 ea: 시료공급 및 쿨드 플라즈마 처리, H₂O 가스 유량 조절 기기
- ⑦ MFC_Trاندucer: 시료공급 및 쿨드 플라즈마 처리, H₂O 가스 유량 조절 장치
- ⑧ Auto program_ infour: 유전체 장벽 방전 플라즈마 살균장치 프로그램 및 App
- ⑨ High voltage generator: 주파수 및 고전압 발생기(Max. 40 kHz/ Max. 10 kV)
- ⑩ Interface Module: INFOU 프로그램 연동 인터페이스 장치
- ⑪ Vibrator air pump: 시료 부양용 유동층 시스템 바이브레이터 에어 공급용 펌프
- ⑫ Oscilloscope: 살균 처리에 대한 전압전류 모니터링 측정 장치
- ⑬ OES(Optical emission spectroscopy):식품 미생물 저감화를 위한 살균 요소 검출 장치
- ⑭ Feeder_Controller: 시료 공급 정량 시스템 지배변수 조절 장치
- ⑮ 살균처리가 완료 된 시료: 쿨드 플라즈마 처리 후 배출된 시료

○ 프로그램 구성

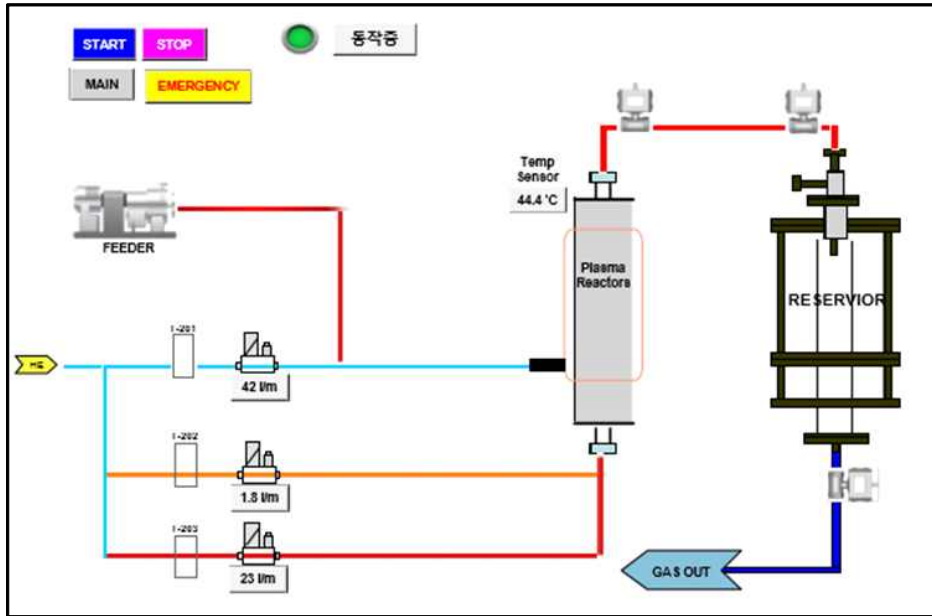


Fig. 3-43. INFOUR program screen configuration

○ INFOUR 프로그램(Fig. 3-43)과 하드웨어 인터페이스 모듈 그리고 메카니즘을 결합하여 자동화 장치를 구현하였다(Fig. 3-44). INFOUR 프로그램과 연동 된 인터페이스 모듈은 다음과 같다(Fig. 3-45).

PIN	LABEL	WIRE COLOR
A	P5	백
B	N5	흑
C	P24	적
D	N24	녹
E	PG+	주
F	PG-	황
G	PT+	파
H	PT-	보
J	START ON	갈
K	START OFF	회
L	MFC RI	백청
M	MFC RO	흑백
N	MFC RI	적노
P	MFC RO	녹파
Q	MFC RI	주검
R	MFC RO	황녹
S	MOTOR RI1	파백
T	MOTOR RI2	보갈
U	VALVE RI1	갈적
V	VALVE RI2	회백
W	VALVE RI3	백노
X	COMMON	흑파
Y	-	-
Z	-	-

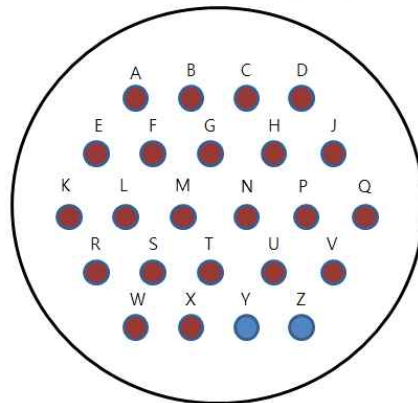


Fig. 3-44. Pin layout of interface hardware module in/outputs

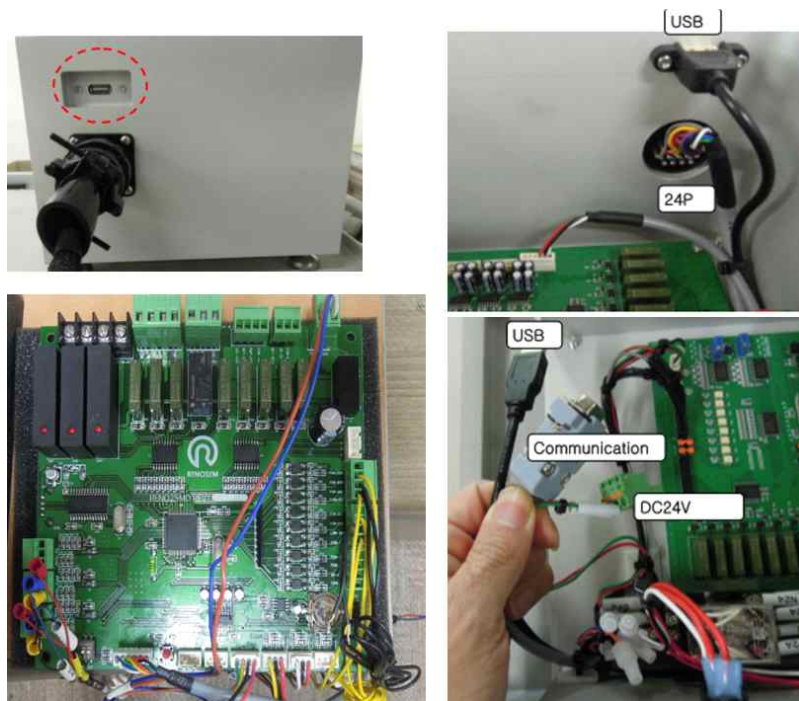


Fig. 3-45. Interface board and hardware components



Fig. 3-46. K-HOSPITAL Exhibition

다. 식품제조공정의 CP 살균 가이드라인 확립: <별첨-가이드라인확립 > 참고

- 1차 년도부터 3차 년도까지의 연구결과를 바탕으로 CP 살균 시스템의 분체 식품 적용에 있어 파일럿 장비 설계요소와 분체 가공 공정 중 CP 적용 방법을 제안하였다.
- CP 기술의 개요 및 특징, 그리고 식품 살균에의 적용 연구 등을 알아보았고 특히, 분체 식품의 살균 연구와 응용분야 및 파급효과에 대하여 조사하였다.
- CP 식품과 관련된 정부 규제와 국내외 동향을 파악하였고, CP 살균 시스템을 분체식품에 적용할 때 살균 처리된 식품과 관련된 규제안 및 기준 방안을 제시하였다.

제 4 절. 분체식품(향신료)의 오염도 조사 및 lab-scale의 광펄스 살균 시스템 set-up

1. 시중 판매 향신료의 미생물 오염도 조사

가. 후추의 미생물 오염도

(1) 실험 재료

- 본 실험에서는 우선적으로 우리나라에서 가장 널리 사용하는 후추를 대상으로 미생물학적 오염도를 측정하였으며, 실험에 사용한 후추는 전주지역의 재래시장(한약방 포함), 유기농 시장, 그리고 대형할인 마트에서 판매되고 있는 29종의 후추를 구매하여 분석에 사용하였음.
- 후추의 종류는 색상에 따라 흑후추, 백후추 2종과, 형태에 따라 통후추, 가루후추의 2종류를 수거하였으며, 판매하는 장소에 따라 3군으로 나누었음.
- A군은 전통시장에서 판매하는 후추로 10종, B군은 대형마트에서 판매하는 후추로 16종, C군은 유기농매장에서 판매하는 3종의 후추를 분석에 사용하였음.
- 총 29종의 후추는 시료번호, 구매한 곳, 후추의 종류, 원산지에 따라 다음 표에 분류하였음.

표 4-13. 후추 29종에 대한 분류 (시료번호, 구매한 곳, 후추의 종류, 원산지)

	구매한 장소	후추의 종류	후추의 형태	원산지
A1	남부시장, 원광약초 상회	흑후추	통후추	베트남
A2	남부시장, 남부식품	흑후추	통후추	말레이시아
A3	남부시장, 제일상회	흑후추	통후추	중국산
A4	남부시장, 영신당 한의원	흑후추	통후추	베트남
A5	모래네 시장, 큰집종합약초	흑후추	통후추	중국산
A6	남부시장, 보화당 한의원	흑후추	통후추	인도네시아
A7	남부시장, 모범약초	흑후추	통후추	말레이시아
A8	남부시장, 금산약초	흑후추	통후추	중국산
A9	중앙시장, 지정약초	흑후추	통후추	중국산
A10	중앙시장, 여수상회	흑후추	통후추	말레이시아
B1	청정원, 요리 통흑후추	흑후추	통후추	베트남
B2	오뚜기, 통흑후추	흑후추	통후추	인도네시아
B3	TESCO, grainder black pepper corn	흑후추	통후추	인도네시아
B4	TESCO, black pepper whole	흑후추	통후추	베트남
B5	TESCO, black pepper	흑후추	통후추	베트남
B6	이마트, 통백후추	백후추	통후추	베트남
B7	전원식품, 백후추	백후추	통후추	말레이시아
B8	이마트, 백후추가루	백후추	가루후추	베트남
B9	윽트리, 통흑후추	흑후추	통후추	말레이시아
B10	맷돌표, 통흑후추	흑후추	통후추	베트남
B11	청은, 흑후추가루	흑후추	가루후추	말레이시아
B12	맷돌표, 순흑후추가루	흑후추	가루후추	베트남
B13	윽트리, 흑후추가루	흑후추	가루후추	말레이시아
B14	청은, 백후추가루	백후추	가루후추	말레이시아
B15	맷돌표, 백후추가루	백후추	가루후추	베트남
B16	윽트리, 백후추가루	백후추	가루후추	말레이시아
C1	TESCO, organic black pepper	흑후추	통후추	인도
C2	자연드림마트, 통흑후추	흑후추	통후추	인도
C3	자연드림마트, 가루흑후추	흑후추	가루후추	인도

(2) 실험 방법

- 재래시장, 대형마트, 유기농 마트에서 수거한 후추 시료에 존재하는 일반세균(Total aerobic bacteria), 효모 및 곰팡이(Yeast & Molds), 바실러스(*Bacillus*) 속 총 3가지 균에 대한 오염도를 검사하였음.
- 미생물 분석에 사용한 통후추는 분쇄기(H3060-MSS-1B, HARIO, China)로 분쇄하여 사용하였음.
- 일반세균 검사는 시료 1g에 생리식염수(0.85% NaCl) 9 mL를 넣어 혼합한 후 단계적으로 희석한 뒤 임의의 희석 배수의 시료 1mL을 멸균 페트리접시에 무균적으로 취하여 43-45°C의 plate count agar (PCA, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 약 15ml 분주하고 검체와 배지를 잘 혼합하여 응고시키는 puring method를 사용하였으며, 이 후 36°C에서 24시간동안 평판 배양한 다음 생성된 colony를 계수하여 생균수를 측정하였음.

- 효모 및 곰팡이는 시료 1g에 생리식염수(0.85% NaCl) 9 mL를 넣어 혼합한 후 단계적으로 희석한 뒤 임의의 희석 배수의 시료 1mL씩을 멸균 페트리접시 무균적으로 취하여 43-45°C의 potato dextrose agar (PDA, Difco Laboratories)를 약 15ml 분주하고 검체와 배지를 잘 혼합하여 응고시킨 뒤 30°C에서 72시간 동안 배양 후 생성된 colony를 계수하여 생균수를 측정하였음.
- *Bacillus*는 시료 1g에 생리식염수(0.85% NaCl) 9mL를 넣어 혼합한 후 단계적으로 희석한 뒤 임의의 희석 배수의 시료 1mL씩을 mannitol-egg yolk polymyxin agar (MYP, Difo Laboratories) 위에 도말한 후 37°C에서 24시간 배양한 후 집락수를 계수하였음.
- 모든 생균수는 평판위에 형성된 균락의 수가 30-300개 범위에 형성된 것만을 계수하여 표시하였음.

(3) 실험 결과

- 전통시장 판매 후추의 일반세균, 효모 및 곰팡이 오염도 검사

표 4-14. 전통시장에서 판매하는 후추의 미생물 오염도

(unit: CFU/g)

시료번호	Total aerobic bacteria		Yeast&Molds	
	range	Average	range	Average
A1	8.30 - 8.50×10 ⁵	4.55×10 ⁶	≤10	3.63×10 ¹
A2	1.67 - 1.85×10 ⁶		≤10	
A3	1.47 - 1.67×10 ⁷		ND	
A4	1.13 - 1.41×10 ⁶		≤10	
A5	6.00 - 8.50×10 ⁶		10 - 20	
A6	1.08 - 2.16×10 ⁶		ND	
A7	5.20 - 7.00×10 ⁶		≤10	
A8	4.25 - 6.50×10 ⁶		10 - 30	
A9	4.90 - 6.70×10 ⁵		≤20	
A10	5.20 - 7.00×10 ⁶		1.50 - 2.10×10 ²	

- 시료 A1은 일반세균이 8.30 - 8.50×10⁵, 효모 및 곰팡이는 ≤10 정도의 오염도를 보였으며 A2는 일반세균이 1.67 - 1.85×10⁶, 효모 및 곰팡이는 ≤10 오염도를 나타냈음.
- 시료 A3은 일반세균이 1.47 - 1.67×10⁷로 시료 A중에서 가장 높은 오염도를 보였으며 효모 및 곰팡이는 검출되지 않았음.
- 일반세균에서 시료 A4에서 A10까지는 대부분의 오염도가 10⁶정도 였으며 A9는 4.90 - 6.70×10⁵정도의 오염도를 보였음.

- 효모 및 곰팡이는 A4과 A7은 ≤ 10 , A5는 10 - 20, A6에서는 검출되지 않았으며 A8은 10-30 ,A9는 ≤ 20 정도였음.
- A10는 $1.50 - 2.10 \times 10^2$ 의 오염도를 보였음.
- 평균적으로 시장에서 판매하는 후추의 오염도는 일반세균이 4.55×10^6 , 효모 및 곰팡이는 3.63×10^1 정도의 오염도를 알 수 있음.

○ 대형마트 판매 후추의 일반세균, 효모 및 곰팡이 오염도 검사

표 4-15. 대형마트에서 판매하는 후추의 미생물 오염도

(unit: CFU/g)

시료번호	Total aerobic bacteria		Yeast&Molds	
	range	Average	range	Average
B1	$8.00 \times 10^1 - 1.30 \times 10^2$	9.50×10^2	ND	4.1×10^3
B2	≤ 10		$4.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^3$	
B3	6.0×10^1		ND	
B4	$1.00 - 2.00 \times 10^1$		≤ 10	
B5	$2.40 - 3.70 \times 10^2$		$9.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^2$	
B6	$3.00 - 5.00 \times 10^1$		$3.90 - 4.00 \times 10^4$	
B7	$6.00 \times 10^2 - 1.24 \times 10^3$		$1.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^2$	
B8	$2.20 - 2.30 \times 10^2$		ND	
B9	$2.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^2$		ND	
B10	$2.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^3$		ND	
B11	$6.50 - 7.00 \times 10^3$		$3.00 \times 10^1 - 1.20 \times 10^2$	
B12	2.6×10^2		$1.40 \times 10^2 - 4.00 \times 10^2$	
B13	≤ 10		ND	
B14	$4.50 - 4.60 \times 10^3$		$4.50 - 4.60 \times 10^2$	
B15	$5.00 - 1.56 \times 10^3$		ND	
B16	$1.00 \times 10^1 - 2.00 \times 10^2$		≤ 10	

- 대형마트에서 판매하는 후추는 총 16종으로 일반세균의 오염도를 보면 시료 B1는 $8.00 \times 10^1 - 1.30 \times 10^2$, B2는 ≤ 10 , B3는 6.0×10^1 , B4는 $1.00 - 2.00 \times 10^1$ 정도의 오염도를 보였으며 효모 및 곰팡이는 B1과 B3에서는 검출되지 않았으며 B2는 $4.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^3$, B4는 ≤ 10 정도의 오염도를 보였음.
- B5는 일반세균이 $2.40 - 3.70 \times 10^2$, B6는 $3.00 - 5.00 \times 10^1$, B7 $6.00 \times 10^2 - 1.24 \times 10^3$, B8 $2.20 - 2.30 \times 10^2$, B9는 $2.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^2$, B10에서는 $2.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^3$ 정도가 검출되었으며 효모 및 곰팡이는 B5가 $9.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^2$, B6는 $3.90 - 4.00 \times 10^4$ 시료 중 가장 높은 오염도를 나타냈으며 B7은 $1.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^2$, B8, B9, B10에서는 효모 및 곰팡이가 검출되지 않았음.

- 전통시장 보다 마트에서 판매하는 후추의 경우 가공제품으로 제조 중 세척 및 살균공정이 포함되기 때문에 사료됨 (Mok & Jeon, 2012).

○ 유기농 마트 판매 후추의 일반세균, 효모 및 곰팡이 오염도 검사

표 4-16. 유기농 마트에서 판매하는 후추의 미생물 오염도

(unit: CFU/g)

시료번호	Total aerobic bacteria		Yeast&Molds	
	range	Average	range	Average
C1	5.60 - 6.30×10 ⁴	4.47×10 ⁴	ND	1.0×10 ¹
C2	1.40 - 3.30×10 ⁴		≤10	
C3	1.38 - 1.44×10 ⁴		≤10	

- 유기농 마트에서 판매하는 시료는 총 3종으로 일반세균의 미생물 오염도는 평균 4.47×10⁴ CFU/g 수준의 오염도를 나타냈음.
- C1-C3까지 일반세균은 미생물의 오염도는 모두 10⁴ 정도 였으며 효모 및 곰팡이는 C1은 검출되지 않았고 나머지 C2, C3 ≤10 검출되었음.

○ 시중에서 판매하는 후추의 *Bacillus* 오염도 검사

표 4-17. 오염도가 높은 후추의 *Bacillus* 오염도 검사

(unit: CFU/g)

	<i>Bacillus</i>	SD	range
A2	4.0×10 ⁶	±4.0×10 ⁶	10 ³ - 10 ⁶
A6	5.2×10 ⁶	±4.9×10 ⁶	
B15	9.2×10 ³	±2.0×10 ²	
C3	1.6×10 ⁴	±2.0×10 ⁴	

- *Bacillus*에 대한 실험은 각 판매군 A, B, C 중에 미생물 오염도가 가장 높은 시료를 선택하여 실험하였음.
- 시장에서 판매하는 후추인 A2, A6의 오염도는 4.0×10⁶, 5.2×10⁶ CUF/g의 높은 오염도를 나타냈으며 시료 사이의 편차는 4.0×10⁶±4.0×10⁶, 5.2×10⁶±4.9×10⁶ CUF/g로 나타났음.
- 마트에서 판매하는 후추인 B15의 오염도는 9.2×10³ CUF/g 정도 였으며, 각 시료 사이의 표준 편차는 9.2×10³±2.0×10²CFU/g 였음.
- 유기농 마트에서 판매하는 후추 C3의 오염도는 1.6×10⁴ CUF/g 였으며, 시료 사이의 표준 편차는 1.6×10⁴±2.0×10⁴ CFU/g로 나타남.

- *Bacillus*의 미생물 오염도 범위는 10^3 - 10^6 CFU/g 으로 나타났음.

○ 후추의 대장균군 오염도 검사

- 재래시장, 대형마트 유기농 마트에서 구입한 모든 시료에서 대장균은 유효치 이하로 검출되어 대장균군은 검출되지 않은 것으로 나타남.

나. 향신료 4종 (생강, 계피, 산초, 울금)의 미생물 오염도 검사

(1) 실험 재료

- 미생물 오염도 분석에 사용한 향신료는 생강, 계피, 산초, 울금으로 4종이며, 전통시장, 대형마트에서 총 24종의 향신료를 구매 수거하였음.
- 판매하는 장소에 따라 전통 시장에서 구매한 시료는 a, b, c, d 이며 대형마트에서 구매한 시료는 a', b', c', d'으로 나누었음.
- 전통시장에서 구매한 시료는 14종으로 생강 4종, 계피 4종, 산초 3종, 강황 3종이며 대형마트에서 구매한 시료는 9종의 생강 1종, 계피 4종, 산초 2종, 강황 2종을 사용하였음.
- 총 24종의 후추는 시료번호, 구매한 곳, 시료의 종류, 원산지에 따라 분류하였음.

표 4-18. 생강, 계피, 산초, 강황 24종에 대한 분류
(시료번호, 구매한 곳, 시료의 종류, 시료의 형태, 원산지)

	구매한 장소	시료의 종류	시료의 형태	원산지
a1	남부시장, 모범약초	생강	건강	중국산
a2	남부시장, 해민당한약국	생강	건강	중국산
a3	남부시장, 해민당한약국	생강	건강	국내산
a4	남부시장, 민속피부사랑	생강	생강분말	국내산
b1	남부시장, 해민당한약국	계피	통계피	베트남산
b2	남부시장, 약초상회	계피	통계피	중국산
b3	남부시장, 남부식품	계피	통계피	중국산
b4	남부시장, 민속피부사랑	계피	통계피	베트남산
c1	남부시장, 민속떡집방앗간	산초	산초분말	중국산
c2	남부시장, 모범약초	산초	산초분말	중국산
c3	남부시장, 우리약초건강원	산초	산초	중국산
d1	남부시장, 해민당한약국	강황	강황절편	중국산
d2	남부시장, 우리약초건강원	강황	강황절편	중국산
d3	남부시장, 우리약초건강원	강황	강황절편	국내산
a'1	전주홈플러스(전원식품), 생강분말	생강	생강분말	국내산
b'1	전주홈플러스(전원식품), 계피분말	계피	계피분말	베트남
b'2	전주이마트(㈜M&F), 아이에스에프 시나몬 파우더	계피	계피분말	인도네시아
b'3	전주이마트(CANNAMELA), 시나몬 분말	계피	계피분말	이탈리아
b'4	수원홈플러스(㈜티알아이), 계피분말	계피	계피분말	베트남
c'1	전주홈플러스(전원식품), 산초분말	산초	산초분말	중국산
c'2	전주필하우스(움트리), 산초분말	산초	산초분말	중국산
d'1	전주이마트(이마트), 강황	강황	강황분말	인도산
d'2	수원홈플러스(㈜티알아이), 강황분말	강황	강황분말	인도

(2) 실험 결과

○ 전통시장 판매 향신료의 일반세균 오염도 검사

표 4-19. 전통시장에서 판매하는 향신료의 일반세균 검사

(unit: CFU/g)

Total aerobic bacteria			
	samples	range	Average
ginger	a1	$\leq 7.0 \times 10^1$	1.60×10^7 CFU/g
	a2	$5.3 - 7.1 \times 10^7$	
	a3	$3.00 - 3.20 \times 10^2$	
	a4	$6.30 - 7.10 \times 10^4$	
cinnamon	b1	$2.79 \times 10^3 - 1.19 \times 10^4$	6.50×10^3 CFU/ml
	b2	$6.20 - 7.20 \times 10^3$	
	b3	$5.10 \times 10^2 - 3.70 \times 10^3$	
	b4	$9.60 \times 10^2 - 4.80 \times 10^3$	
chinese pepper	c1	$1.05 - 7.70 \times 10^3$	2.56×10^4 CFU/ml
	c2	$1.33 - 7.20 \times 10^3$	
	c3	$2.25 - 9.50 \times 10^3$	
turmeric	d1	$1.97 - 3.60 \times 10^6$	2.56×10^6 CFU/ml
	d2	$2.59 - 3.10 \times 10^5$	
	d3	$1.47 - 1.50 \times 10^6$	

- 시장에서 판매하는 향신료의 일반세균의 생균수는 $10^1 - 10^7$ CFU/g 정도였으며, 평균적으로 생강이 1.60×10^7 , 계피가 6.50×10^3 , 산초는 2.56×10^4 , 강황은 2.56×10^6 의 오염도를 나타냈다.
- 4가지 시료 중에 생강이 가장 오염도가 높았으며, 다음은 생강, 산초, 계피의 오염도가 순서로 오염도가 낮았다.
- 생강 시료에서 a1은 $\leq 7.0 \times 10^1$ 정도로 시장에서 구매한 시료임에도 미생물 오염도가 낮았으며 a2는 $5.3 - 7.1 \times 10^7$, a3은 $3.00 - 3.20 \times 10^2$, a4는 $6.30 - 7.10 \times 10^4$ 정도의 오염도를 나타냈다.
- 계피는 b1이 $2.79 \times 10^3 - 1.19 \times 10^4$, b2가 $6.20 - 7.20 \times 10^3$, b3은 $5.10 \times 10^2 - 3.70 \times 10^3$, b4가 $9.60 \times 10^2 - 4.80 \times 10^3$ 오염도를 보였으며 대부분의 시료가 10^3 의 오염도를 나타냈다.
- 강황의 오염도는 d1이 $1.97 - 3.60 \times 10^6$, d2가 $2.59 - 3.10 \times 10^5$, d3이 $1.47 - 1.50 \times 10^6$ 정도로 높은 오염도를 보였다.

○ 전통시장 판매 향신료의 효모 및 곰팡이 오염도 검사

표 4-20. 전통시장에서 판매하는 향신료의 효모 및 곰팡이 검사

(unit: CFU/g)

Yeast&Molds			
	samples	range	Average
ginger	a1	ND	1.95×10 ²
	a2	ND	
	a3	ND	
	a4	1.10×10 ² -1.00×10 ³	
cinnamon	b1	ND	7.75×10 ¹
	b2	ND	
	b3	7.00-8.00×10 ¹	
	b4	5.00×10 ¹ -1.10×10 ²	
chinese pepper	c1	2.60×10 ² -1.90×10 ³	2.52×10 ²
	c2	2.90×10 ² -1.30×10 ³	
	c3	1.50-2.00×10 ²	
turmeric	d1	ND	1.15×10 ²
	d2	ND	
	d3	9.00×10 ¹ -1.40×10 ²	

- 효모 및 곰팡이는 생강에서 10¹-10³ CFU/g 정도가 오염되어 있으며 평균적으로 생강이 1.95×10², 계피는 7.75×10¹, 산초는 2.52×10², 강황은 1.15×10² 정도의 오염도를 나타냈음.
- 생강은 a1-a3까지는 검출되지 않았으며 a4에서 1.10×10²-1.00×10³ 정도의 오염도를 나타냄.
- 계피는 시료 b1, b2는 검출 되지 않았으며 b3은 7.00-8.00×10¹, b4는 5.00×10¹-1.10×10² 정도의 오염도를 나타냈음.
- 산초는 c1, c2, c3가 각각 2.60×10²-1.90×10³, 2.90×10²-1.30×10³, 1.50-2.00×10²의 오염도를 나타냈음.
- 강황은 d1, d2에서는 검출되지 않았으며 d3에서는 9.00×10¹-1.40×10²가 검출되었음.

○ 전통시장 판매 향신료의 대장균군 검사

표 4-21. 전통시장에서 판매하는 향신료의 대장균군 검사

(unit: CFU/g)

Coliforms			
	samples	range	Average
ginger	a1	ND	7.50×10 ¹
	a2	ND	
	a3	ND	
	a4	1.10×10 ² -1.00×10 ³	
cinnamon	b1	ND	ND
	b2	ND	
	b3	ND	
	b4	ND	
chinese pepper	c1	2.60×10 ² -1.90×10 ³	4.56×10 ³
	c2	2.90×10 ² -1.30×10 ³	
	c3	9.00×10 ² -1.90×10 ³	
turmeric	d1	ND	2.45×10 ⁴
	d2	1.84-3.40×10 ⁴	
	d3	3.50×10 ² -1.40×10 ³	

- 평균적으로 생강에서는 7.50×10¹, 계피에서는 검출되지 않았으며 산초는 4.56×10³, 강황은 2.45×10⁴ 정도의 오염도를 보였음.
- 생강에서 a1-a3까지는 검출되지 않았으며 a4에서는 1.10×10²-1.00×10³ 정도가 검출되었음.
- 계피는 b1-b4까지 모두 검출되지 않았음.
- 산초는 c1, c2, c3이 각각 2.60×10²-1.90×10³, 2.90×10²-1.30×10³, 9.00×10²-1.90×10³으로 대부분 10³의 오염도를 나타냈음.
- 강황은 d1에서는 검출되지 않았으며 d2는 1.84-3.40×10⁴ 로 시료 중 가장 오염도가 높았으며 d3은 3.50×10²-1.40×10³ 정도의 오염도를 보였음.

○ 대형 마트 및 유기농 마트에서 판매하는 향신료의 일반세균 검사

표 4-22. 대형마트에서 판매하는 향신료의 일반세균 검사

(unit: CFU/g)

Total aerobic bacteria			
	samples	range	Average
ginger	a1	$\leq 7.0 \times 10^1$	1.60×10^7 CFU/g
	a2	$5.3 - 7.1 \times 10^7$	
	a3	$3.00 - 3.20 \times 10^2$	
	a4	$6.30 - 7.10 \times 10^4$	
cinnamon	b1	$2.79 \times 10^3 - 1.19 \times 10^4$	6.50×10^3 CFU/ml
	b2	$6.20 - 7.20 \times 10^3$	
	b3	$5.10 \times 10^2 - 3.70 \times 10^3$	
	b4	$9.60 \times 10^2 - 4.80 \times 10^3$	
chinese pepper	c1	$1.05 - 7.70 \times 10^3$	2.56×10^4 CFU/ml
	c2	$1.33 - 7.20 \times 10^3$	
	c3	$2.25 - 9.50 \times 10^3$	
turmeric	d1	$1.97 - 3.60 \times 10^6$	2.56×10^6 CFU/ml
	d2	$2.59 - 3.10 \times 10^5$	
	d3	$1.47 - 1.50 \times 10^6$	

- 평균적으로 생강에서는 효모 및 곰팡이가 검출되지 않았으며 계피는 9.00×10^1 , 산초는 4.33×10^2 , 강황은 6.20×10^2 의 오염도를 나타냈음.
- 생강에서 시료 a'1에서는 효모 및 곰팡이가 검출되지 않았음.
- 계피는 b'1, b'2, b'4에서는 검출되지 않았으며 b'3에서는 $6.00 \times 10^1 - 1.20 \times 10^2$ 정도가 검출되었음.
- 산초에서 c'1, c'2는 각각 $3.20 - 6.00 \times 10^2$, $4.80 - 6.00 \times 10^2$ 의 오염도를 나타냈음.
- 강황에서는 d'1, d'1가 각각 $5.40 \times 10^2 - 5.00 \times 10^3$, $6.40 \times 10^2 - 9.00 \times 10^3$ 정도의 오염도를 나타냈음.

○ 대형 마트 및 유기농 마트에서 판매하는 향신료의 효모 및 곰팡이 검사

표 4-23. 대형마트에서 판매하는 향신료의 효모 및 곰팡이 검사

(unit: CFU/g)

Yeast & Molds			
	samples	range	Average
ginger	a'1	ND	ND
cinnamon	b'1	ND	9.00×10 ¹
	b'2	ND	
	b'3	6.00×10 ¹ -1.20×10 ²	
	b'4	ND	
chinese pepper	c'1	3.20-6.00×10 ²	4.33×10 ²
	c'2	4.80-6.00×10 ²	
turmeric	d'1	5.40×10 ² -5.00×10 ³	6.20×10 ²
	d'2	6.40×10 ² -9.00×10 ³	

- 생강은 <10¹ CFU/g 비교적 오염도가 낮았으며 평균 1.5×10¹ CFU/g로 나타났음.
- 계피는 <10¹ CFU/g 생강과 마찬가지로 오염도가 낮았으며 평균적으로 4.3×10¹ CFU/g의 오염 수준을 보였음.
- 산초는 오염도 범위는 <10² CFU/g 이며 평균적인 오염도는 4.3×10² CFU/g 정도였음.
- 강황은 <10² CFU/g 다른 향신료에 비해 오염도가 높았으며 평균 6.2×10² CFU/g를 나타냄.

○ 대형 마트 및 유기농 마트에서 판매하는 향신료의 대장균군 검사

표 4-24. 대형마트에서 판매하는 향신료의 대장균군 검사

(unit: CFU/g)

Coliforms			
	samples	range	Average
ginger	a'1	6.60-6.70×10 ⁵	6.65×10 ⁵
cinnamon	b'1	ND	8.50×10 ¹
	b'2	ND	
	b'3	9.00×10 ¹ -1.30×10 ²	
	b'4	4.00-8.00×10 ¹	
chinese pepper	c'1	1.10-1.90×10 ³	1.33×10 ³
	c'2	7.00×10 ² -1.03×10 ³	
turmeric	d'1	9.00×10 ¹ -1.00×10 ²	9.50×10 ¹
	d'2	ND	

- 대형마트에서 판매하는 생강, 계피, 산초, 강황의 평균적인 오염도는 6.65×10^5 , 8.50×10^4 , 1.33×10^3 , 9.50×10^4 정도의 오염도를 나타냈음.
- 생강에서 시료 a'1은 $6.60-6.70 \times 10^5$ 정도로 비교적 높은 오염도를 나타냈음.
- 계피는 b'1, b'2에서는 검출되지 않았으며 b'3, b'4에서는 각각 $9.00 \times 10^4-1.30 \times 10^2$, $4.00-8.00 \times 10^4$ 이 검출되었음.
- 산초는 c'1, c'2가 $1.10-1.90 \times 10^3$, $7.00 \times 10^2-1.03 \times 10^3$ 오염도를 나타냈음.
- 강황에서는 d'1에서는 $9.00 \times 10^4-1.00 \times 10^2$, d'2에서는 균이 검출되지 않았음.
- 그러나 일부의 시료를 제외하고는 일반세균, 효모 및 곰팡이, 대장균군 모두 전통시장에서 판매하는 시료의 오염도가 마트나 유기농 마트에서 판매하는 시료보다 오염도가 높았음.
- 이는 가공과정 중에 살균공정, 세척에 의해 미생물이 제거 되었을 것으로 사료됨.

2. Lab-Scale 광펄스 살균 시스템 및 분체시료 살균을 위한 시료 처리 용기의 설계 및 제작

- Lab-Scale의 광펄스 살균 시스템 set-up 및 분체 시료의 비연속식, 연속식 처리 용기를 제작하여 예비 테스트를 진행하였음.
- 제작된 처리 용기는 회분식 평판형 처리용기, 회분식 원통형 처리용기, 연속식 유동층 처리 용기 2종을 설계 및 제작하여 테스트하였으며, 문제점을 지속 보완하여 추가 설계 및 제작할 예정임.

가. 회분식 평판형 처리용기

- 기존의 실험의 회분식 처리 용기는 빛의 통과를 방해하지 않게 하기 위해 투명한 재질의 낮은 높이의 plate형의 처리 용기(대부분 petri-dish를 활용, 그림 4-1)를 사용하여 왔음.

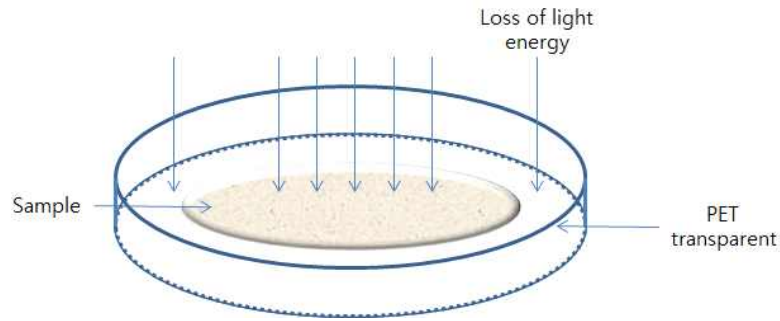


그림 4-1. 기존 회분식 평판형 처리 용기

- 이러한 plate형 회분식 처리 용기는 일반적으로 판매되고 있는 상용제품을 활용하기 때문에 일정한 규격을 갖고 있으며 실험에 있어 사용이 편리하다는 장점을 가지고 있으나 광펄스 처리시 램프의 빛이 시료에 조사되는 것을 제외한 나머지 빛들이 그대로 투과되고 시료의 층이 두꺼울 경우 아래 부분에 있는 시료에는 빛이 조사되지 못해 고른 살균을 달성하지 못하는 단점이 있음.
- 이러한 단점을 극복하기 위하여 기존의 회분식 평판형 처리 용기의 외부에 mirror (반사판)을 설치하여 시료를 비추지 않고 통과하는 빛이 반사되어 시료에 전달되는 빛에너지의 손실을 최소화하도록 하여 설계하였으며, 또한 외부로 투과되는 빛이 없이 빛이 내부에서 재순환할 수 있도록 회분식 용기를 제작하였음.

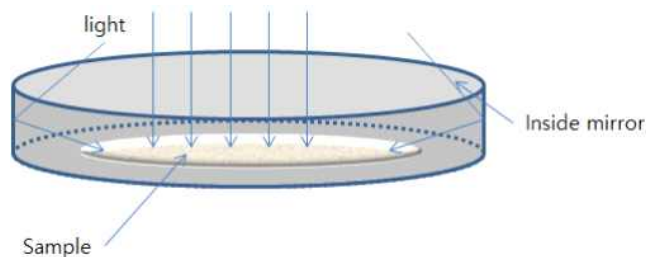


그림 4-2. 회분식 mirror 평판형 처리 용기

- 회분식 mirror 평판형 처리 용기를 이용하여 후추를 광펄스 처리하였을 경우 일반세균의 경우 초기 균수 5.95×10^7 CFU/g에서 광펄스 처리 후 1.67×10^7 CFU/g으로 감소하여 최대 약 72% 정도의 사멸 효과를 나타냈음.
- Mirror를 설치한 처리용기를 이용하여 처리를 하였음에도 72% 정도의 사멸효과만을 나타낸 것은 여전히 시료 전체에 고르게 빛이 조사되지 않아 shadow effect에 의해 균이 사멸되지 않는 것으로 판단됨.
- 실제 shadow effect가 있는지 알아보기 위해 전체 처리 시간동안 3분 간격으로 시료를 흔들어 섞어서 실험을 한 결과 초기 균수 1.10×10^8 CFU/g에서 광펄스 6분 처리 후

8.28×10⁶ CFU/g으로 감소하여 최대 92%의 사멸효과를 보였음.

- *Bacillus*균의 경우 대부분 포자를 형성하고 외부 처리에 강한 성질을 가지고 있는 회분식 평판형 처리용기를 이용하여 처리하였을 경우 초기 균수 4.60×10⁷ CFU/g에서 15분 처리 후에 4.45×10⁶ CFU/g로 90%의 사멸효과를 나타내었음.
- 그러나 회분식 평판형 처리용기를 이용하여 시료를 살균하였을 경우 처리 조건에 따른 균체량의 변화보다 시료에 의한 균체량의 변화가 더욱 크게 나타나고 처리를 받지 않은 부분과 처리를 받은 부분에 있어서 살균율에 큰 차이가 생겨 data에 큰 오차가 발생하는 단점이 있음.
- 이러한 실험 결과를 바탕으로 시료를 정치하여 빛을 조사하는 것보다는 시료를 유동시켜 처리하는 것이 보다 고른 살균과 함께 살균 효과가 큰 것으로 판단되어 다음 처리 용기 설계시 참조하였음.

나. 회분식 원통형 처리용기

- 회분식 평판형 처리용기에서 실시한 실험 결과에서 나타난 문제점을 가지고 연속식을 처리 용기를 만들기 전에 회분식 원통형 처리 용기를 설계, 제작하여 실험하였음.
- 회분식 원통형 처리용기는 투명한 아크릴 재질을 이용하여 원통 형태로 설계되었음.
- 원통 형태의 처리 용기에 시료를 나선형으로 회전시켜 고르게 섞이면서 시료 전체가 고른 처리를 받을 수 있도록 처리용기 아래 쪽에 wind guide를 설치하였으며, 외부에서 air pump를 이용하여 10 L/min-50 L/min의 유량으로 air를 공급하여 시료를 유동시킬 수 있도록 하였음.

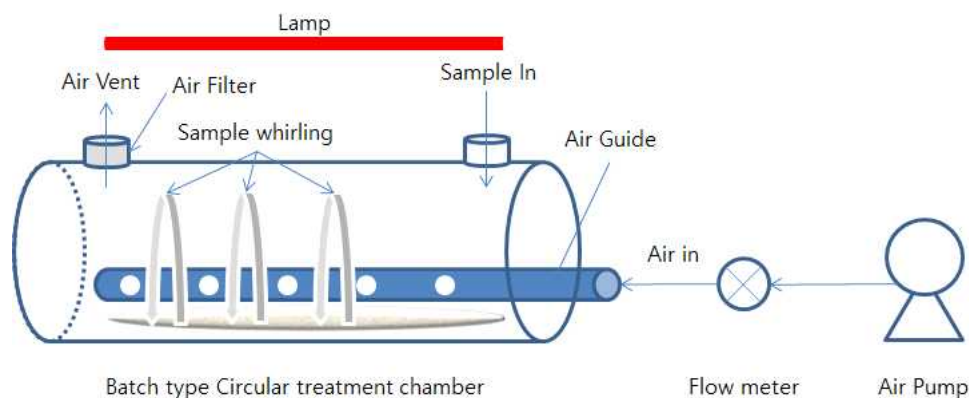


그림 4-3. 회분식 원통형 처리용기 및 시스템 구성

- 시료를 시료 투입구를 통해 넣은 후 마개를 막고 air pump를 작동시키고 flow meter로 공기의 양을 조절하여 처리 용기 내에 공기를 공급하게 됨.
- Flow meter에서 나온 공기는 air guide를 통해 처리 용기 내에 공급되고 air guide에 있는 holes을 통해서 공급되는 강한 air에 의해 처리 용기 아랫부분에 위치한 시료가 원통 내부를 회전하면서 전체적으로 잘 섞이게 됨.
- 원통형으로 제작된 처리 용기를 이용하여 후추를 처리하였을 경우 일반 세균의 경우 초기 균수가 4.41×10^7 CFU/g에서 광펄스를 9분간 처리한 후에 3.25×10^6 으로 감소하여 93%의 사멸효과를 보였으며, 특히 모든 시료에 있어서 고른 살균정도를 나타내어 시료에 따른 오차를 줄이면서 살균 효과를 관찰할 수 있음을 확인하였음.
- 이러한 실험 결과를 통해 분체 시료의 효과적인 살균을 위해서는 시료를 정지 또는 진동에 의한 섞임보다는 전체적인 유동을 일으켜 빛에 의한 처리를 고르게 받도록 하는 것이 효과적이라는 결론을 얻음.
- 따라서 이러한 실험 결과를 바탕으로 보다 많은 양의 분체 식품을 처리하기 위해서는 연속식의 유동층 처리 용기를 설계 제작하는 것을 좋을 것으로 판단함.

다. 반연속식 유동층 처리 용기 및 반연속식 spiral 처리 용기의 설계 및 제작

- 회분식 평판형 처리 용기 및 회분식 원통형 처리 용기를 이용한 실험 결과를 바탕으로 두 가지 type의 semi-continuous식 처리 용기를 설계하였음.
- 반연속식 유동층 처리 용기는 다음 그림과 같음.

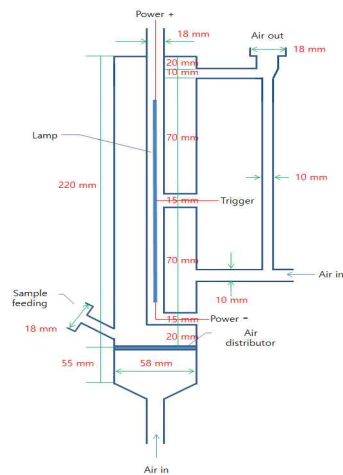


그림 4-4. 반연속식 유동층 처리 용기

- 반연속식 유동층 처리 용기는 시료 주입구, air in, air vent, 시료 유동형 원통, 순환을 위한 circulating line, 그리고 inside lamp guide등으로 구성되어 있음.
- 시료 주입구를 통해 공급된 시료는 처리 용기 아래 부분에서 주입된 공기에 의해 위로 부유하면서 분산되게 되고 내부에 설치된 inside lamp의 빛을 고르게 받도록 설계하였음.
- 처리용기 상부까지 올라간 시료는 circulating line을 통해 다시 처리 용기 내로 재투입되고 air는 air vent를 통해 외부로 빠져 나가 처리 용기내의 압력이 차지 않도록 설계하였음.
- 또한 공급되는 공기의 경우에는 고르게 넓게 공급될 수 있도록 pore size 2 μ m의 glass filter를 air distributor로 사용하여 처리 용기 내부에 설치하였음.
- 공급되는 공기의 양은 20 L/min - 50 L/min으로 조절하여 공급하도록 하였음.
- 그러나 실제 test의 결과 시료의 유동에는 큰 문제가 없었으나 상부까지 올라가서 circulating line을 통해 흐르는 미세한 시료가 air vent 부분에 설치된 air filter에 흡착되면서 air vent를 막게 되고 결국 처리 용기 내부에 지속적으로 압력이 가해지면서 시료의 순환이 제대로 이루어지지 않는 현상을 보여 재설계를 하였음.
- 반연속식 spiral 처리 용기는 다음 그림과 같음(그림 4-5).
- 처리 용기를 spiral 형태로 설계하여 제작한 이유는 시료 투입구를 통해 공급된 시료가 아래에서 올라오는 강한 air에 의해 부상하면서 얇은 관으로 된 spiral 관을 얇게 통과하게 되고 spiral 내부의 빈 공간에 설치된 lamp의 빛을 보다 고르게 받을 것으로 판단하여 설계하였음.
- 반연속식 spiral 처리 용기의 경우 반연속식 유동층 처리 용기에 비해 시료의 유동이 훨씬 빠르게 일어나 적은 공기 주입량을 가지고도 쉽게 상부까지 시료가 이동되었으나, 반연속식 유동층 처리용기와 마찬가지로 상부까지 상승한 시료가 air vent의 filter에 흡착하면서 air venting이 이루어지지 않으면서 내부의 압력이 상승하여 나중에는 시료의 원활한 순환이 이루어지지 않았음.

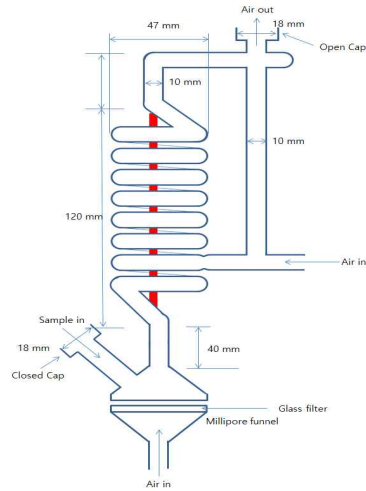


그림 4-5. 반연속식 spiral 처리 용기

라. 집진기(Cyclone)이 부착된 반연속 처리 용기의 설계 및 제작

- 위에서 설계, 제작한 반연속식 처리 용기의 air venting의 문제점을 해결하기 위하여 기존의 설계에 cyclone을 추가하여 재설계하여 제작하였음.
- 새롭게 설계된 집진형 반연속식 처리용기(Semi-continuous treatment chamber with cyclone)은 다음 그림과 같음(그림 4-6).
- 집진기를 설치한 spiral 처리용기의 경우 air vent의 막힘 현상이 확연히 줄어들었으며, 또한 시료의 유동 및 순환에도 큰 문제를 나타나지 않았으나 집진기에서 모인 시료를 다시 spiral 부분에 공급하기 위해 외부에서 공기를 임의로 주입하는 형태를 취하거나 아니면 바로 내부로 순환할 수 있도록 설계를 하였으나, 일정시간이 지난 후에 처리용기의 아래에서 공급되는 공기와 집진기에서 시료를 순환시키기 위해 연결한 부분에서 공기의 흐름이 충돌이 생겨 시료의 순환이 정체가 되는 현상이 발생하였음.

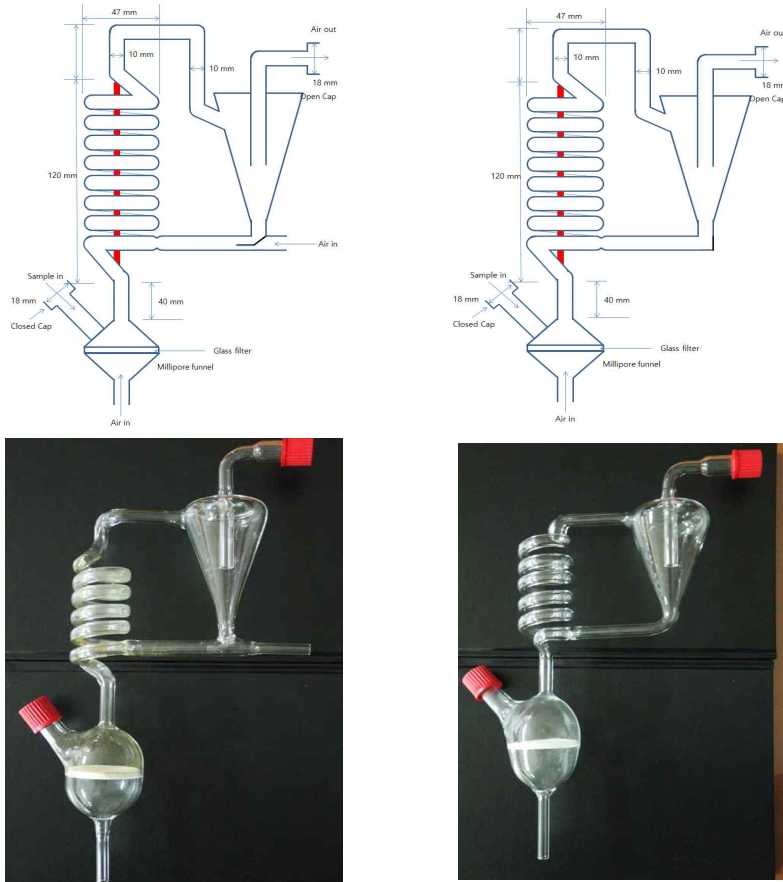


그림 4-6. Semi-continuous Spiral treatment chamber with Cyclone

3. 광펄스 처리에 의한 후추의 미생물 저감 효과

○ 앞서 설계, 제작한 처리용기를 이용하여 후추의 미생물 저감 효과를 살펴보았음.

가. 회분식 mirror 평판형 처리용기를 이용한 후추의 광펄스 처리 살균 효과

(1) 실험 재료

○ 본 실험에 사용된 시료는 앞선 후추의 미생물 오염도 분석 자료를 기준으로 하여 가장 오염도가 높은 것 중 재래시장 2종, 대형마트 1종, 유기농마트 1종, 총 4종의 후추를 선정하여 분석하였음.

○ 통후추와 분말 제품에 대한 미생물 저감 효과를 구분하여 실험하였으며, 시료 중 재래시장에서 구입한 A2, A6는 통후추의 형태로 분말 시료 실험 시에는 분쇄기 (H3060-MSS-1B, Harion, China)로 분쇄한 후 사용하였음.

(2) 광펄스 처리 조건

- 회분식 mirror 평판형 처리 용기에 시료별 후추를 1g씩 칭량하여 고르게 펼친 후 빛의 세기 1,000V, pulse number 5 pps, 처리 용기과 램프간의 거리 4.5 cm의 조건에서 0, 3, 6, 9, 12, 15분간 처리하였음.
- 실험은 통후추와 분말후추로 나누어 실험을 실시하였음.
- 시료의 혼합에 따른 살균 효과의 차이를 알아보기 위하여 정치식 실험을 시료를 처리 용기에 넣은 후 처리시간동안 추가적인 혼합없이 연속적으로 광펄스 처리를 하였으며, 또 다른 실험군은 광펄스 처리 3분마다 처리 용기에 들어 있는 시료를 다시 흔들어 고르게 섞이게 한 후 광펄스 처리를 하였음.

(3) 실험 결과

- 회분식 mirror 평판형 처리용기를 이용한 정치식 광펄스 처리 분말 후추의 일반 미생물 저감 효과를 표로 나타냄.
- 분말 후추를 회분식 mirror 평판형 처리용기를 이용하여 정치 방식으로 광펄스를 처리하였을 경우 생균수의 편차가 심하게 나타났는데 이는 시료의 상태, 입자의 크기, 초기 균수 등에 의해 많은 차이가 나타나는 것으로 보임.
- 재래시장에서 구입한 시료의 경우 시료 A2는 초기 균수는 5.95×10^7 였으며, 처리시간에 따라 생균수가 점차 감소하는 경향을 보였으나, 같은 재래시장에서 구입한 시료 A6의 경우에는 초기 균수는 1.62×10^7 이었으며, 광펄스 처리 초기에는 다소 생균수가 감소하였으나, 처리시간이 길어짐에 따라 오히려 생균수가 증가하는 경향을 보였음.
- 대형마트에서 구입한 시료 B15의 초기 균수는 1.05×10^4 이었으며, 처리시간이 지남에 따라서 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났음.
- 유기농 마트에서 구입한 시료 C3의 초기균수가 1.00×10^5 이었으며, 거의 사멸이 이루어지지 않는 것으로 나타났음.
- 회분식 mirror 평판형 처리 용기를 이용하여 정치방식으로 광펄스 처리하였을 때 미생물의 저감 효과는 최대 72%인 것으로 나타났음.
- 정치방식에서 나타난 낮은 미생물의 저감율이 광펄스 조사가 시료에 고르게 이루어지지 않은 것으로 판단되어 이를 확인하기 위해 혼합 처리 방식에 의한 처리 실험을 하였음.

- 회분식 mirror 평판형 처리 용기를 이용한 광펄스 처리의 분말 후추의 혼합식 처리 방법에 의한 미생물 저감 효과는 표 4-25과 같음.
- 재래시장에서 구입한 시료 A2의 초기 균수는 6.85×10^7 으로 나타났으며, 처리 시간이 길어짐에 따라 생균수가 감소하는 경향을 보였으나, 같은 재래시장에서 구입한 시료 A6는 초기 균수는 2.69×10^7 으로 시료 A2와 비슷한 정도는 나타냈으나 광펄스 처리 시간에 따른 일정한 경향을 보이지는 않았으며, 앞선 정치식과 마찬가지로 9분 이후부터는 오히려 생균수가 증가하는 경향을 보였음.
- A6의 경우 정치식과 혼합 방식의 처리에서 모두 처리시간 6분까지는 생균수가 감소하였으나 처리시간 9분 이후에는 생균수가 증가하는 것으로 나타나 처리 방식에 따른 차이보다는 시료에 따른 차이인 것으로 보임.
- 대형마트 시료 B15의 초기 균수는 1.52×10^4 이었으며, 처리 시간이 증가함에 따라 생균수가 감소하는 경향을 보였으나 유기농 마트 시료의 경우에는 초기 균수는 2.51×10^5 이었으며, 6분까지 다소 감소하는 경향을 보이다 9분 이후에는 일정한 경향을 보이지 않았음.

표 4-25. 회분식 mirror 평판형 처리용기를 이용한 광펄스 처리의 분말후추 일반 미생물 저감 효과 (정치식)

(unit : CFU/g)

Treat ment time	A2		A6		B15		C3	
	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average
0	$5.90-6.00 \times 10^7$	5.95×10^7	$1.60-2.20 \times 10^7$	1.62×10^7	$9.10 \times 10^3 - 1.19 \times 10^4$	1.05×10^4	$9.8 \times 10^4 - 1.02 \times 10^5$	1.00×10^5
3	$4.00-4.50 \times 10^7$	4.25×10^7	$1.17-1.80 \times 10^7$	1.57×10^7	$7.00-7.10 \times 10^3$	7.05×10^3	$1.39-2.10 \times 10^5$	1.64×10^5
6	$1.98-3.40 \times 10^7$	2.79×10^7	$7.30 \times 10^6 - 1.17 \times 10^7$	9.50×10^6	$7.40-8.40 \times 10^3$	7.90×10^3	$4.00-4.30 \times 10^4$	4.15×10^4
9	$1.81-4.0 \times 10^7$	2.78×10^7	$1.05-2.50 \times 10^7$	1.59×10^7	$5.30-5.70 \times 10^3$	5.50×10^3	$1.85-2.70 \times 10^5$	2.18×10^5
12	$1.20-1.95 \times 10^7$	1.68×10^7	$9.60 \times 10^6 - 3.90 \times 10^7$	2.35×10^7	$1.52-1.90 \times 10^3$	1.72×10^3	$9.3 \times 10^4 - 2.40 \times 10^5$	1.61×10^5
15	-	-	$1.14-8.70 \times 10^7$	4.77×10^7	$6.60-7.00 \times 10^3$	6.80×10^3	$9.10-9.90 \times 10^5$	9.50×10^5

표 4-26. 회분식 mirror 평판형 처리용기를 이용한 광펄스 처리의 분말 후추 일반 미생물 저감 효과 (3분간격으로 mixing)

(unit : CFU/g)

Treat ment time	A2		A6		B15		C3	
	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average
0	6.70-7.00×10 ⁷	6.85×10 ⁷	1.96-4.10×10 ⁷	2.64×10 ⁷	1.27-2.00×10 ⁴	1.52×10 ⁴	1.94-3.00×10 ⁵	2.51×10 ⁵
3	5.10-6.30×10 ⁷	5.70×10 ⁷	1.58-2.00×10 ⁷	1.79×10 ⁷	8.40-9.80×10 ³	9.10×10 ³	1.38-2.50×10 ⁵	1.84×10 ⁵
6	2.84-3.90×10 ⁷	3.21×10 ⁷	8.60×10 ⁶ -1.26×10 ⁷	1.06×10⁷	7.60-8.00×10 ³	7.80×10 ³	5.90-6.20×10 ⁴	6.05×10⁴
9	2.14-2.90×10 ⁷	2.44×10 ⁷	1.14-2.50×10 ⁷	1.69×10 ⁷	5.10-5.40×10 ³	5.25×10³	1.11-2.40×10 ⁵	1.68×10 ⁵
12	1.50-2.20×10 ⁷	1.33×10⁷	1.45-3.90×10 ⁷	2.78×10 ⁷	1.13-1.27×10 ⁴	1.20×10 ⁴	1.20-2.10×10 ⁵	1.61×10 ⁵
15	1.60-1.71×10 ⁷	1.66×10 ⁷	1.49-9.90×10 ⁷	5.47×10 ⁷	8.10-9.10×10 ⁴	8.6×10 ⁴	9.70×10 ⁴ -1.00×10 ⁵	9.85×10 ⁴

- 회분식 mirror 평판형 처리 용기를 이용하여 정치방식과 혼합방식으로 통후추를 광펄스 처리하였을 때 일반 미생물의 저감 효과를 표로 나타냈음.
- 통후추의 일반 미생물의 저감 경향은 분말 후추 시료와 같은 경향을 보이는 것으로 나타남.
- 채래시장에서 구입한 A2, A6 시료의 경우 초기 균수는 분말 시료와 비슷한 수준을 나타내어 각각 3.15×10⁷, 1.02×10⁸ 였으며, A2는 12분 처리 후 2.84×10⁶, A6는 6분 처리 후 4.80×10⁶의 생균수를 타나내어 각각 91%, 95%의 사멸율을 보여 분말 후추보다는 높은 저감율을 보임.
- 유기농 매장에서 구입한 C3의 시료도 분말 시료와 비교하였을 때 통후추 처리시 보다 높은 저감율을 나타내는 것으로 보임.
- 전체적으로 분말시료와 통후추를 같은 처리 용기에서 광펄스 처리하였을 경우 통후추가 높은 미생물 저감율을 나타내었는데 분말 후추의 경우 분쇄하면서 표면적이 넓어지고 입자간의 shadow effect가 큰 반면에 통후추는 겉으로 드러난 표면 부분만이 직접적으로 램프의 빛에 노출되면서 shadow effect가 낮아서 나타나는 현상으로 보임.
- 분말 시료와 통후추의 미생물 저감 경향이 비슷한 것으로 나타나 분말 시료의 경우 시료의 형태에 따라 사멸 패턴이 다르게 나타나는 것으로 판단되며, 향후 시료에 따른 사멸 최적 조건을 각각 따로 설정하여야 할 것으로 판단됨.

- 회분식 mirror 평판형 처리 용기를 사용하여 정치 방식으로 처리한 후 *Bacillus*의 저감 효과를 조사하였음.
- 회분식 mirror 평판형 처리용기를 이용한 광펄스 처리의 분말 후추 *Bacillus* 저감 효과를 표로 나타내었음.
- 전통시장에서 구입한 시료 A2의 초기 바실러스 군수는 4.59×10^7 이었으며, 처리시간이 증가함에 따라 지속적으로 감소하는 경향을 보였으며, 90.3%의 감균 효과를 나타내었으나, 시료 A6의 초기 군수는 2.51×10^7 이었으며, 살균 초기 바실러스의 수가 감소하다가 처리 시간 9분이후에는 더 이상 사멸이 이루어지지 않는 것으로 나타났음.
- 대형마트에서 구입한 시료 B15의 초기 군수는 9.40×10^3 이었으며, 처리시간이 증가함에 따라 약간 감소하는 경향을 보였으나 저감율은 84.8%에 그친 것으로 나타났음.
- 유기농 마트에서 구입한 시료 C3의 초기군수가 3.32×10^4 이었으며, 처리시간이 증가함에 따라 생존수가 점차 감소하여, 최대 69.3%로 나타나 가장 낮은 저감율을 보였음.

표 4-27. 회분식 mirror 평판형 처리용기를 이용한 광펄스 처리의 통후추 일반 미생물 감균 효과 (정치식)

(unit : CFU/g)

Treatment time	A2(통후추)		A6(통후추)		C3(통후추)	
	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average
0	2.60-3.95 $\times 10^7$	3.15 $\times 10^7$	9.5 $\times 10^7$ -1.08 $\times 10^8$	1.02 $\times 10^8$	1.80-6.20 $\times 10^4$	1.16 $\times 10^4$
3	1.09-1.14 $\times 10^7$	1.12 $\times 10^7$	6.10-9.40 $\times 10^7$	7.75 $\times 10^7$	1.30-2.30 $\times 10^4$	1.85 $\times 10^4$
6	6.10-6.70 $\times 10^6$	6.40 $\times 10^6$	4.60-5.00 $\times 10^6$	4.80$\times 10^6$	8.00-8.60 $\times 10^3$	8.30$\times 10^3$
9	2.40-3.60 $\times 10^6$	3.00 $\times 10^6$	1.38-2.60 $\times 10^7$	1.98 $\times 10^7$	1.45-2.40 $\times 10^4$	1.87 $\times 10^4$
12	2.50-3.11 $\times 10^6$	2.84$\times 10^6$	8.40-9.00 $\times 10^6$	8.70 $\times 10^6$	1.04-1.12 $\times 10^4$	1.08 $\times 10^4$
15	3.59-4.30 $\times 10^6$	3.98 $\times 10^6$	1.08-1.42 $\times 10^7$	1.25 $\times 10^7$	9.8 $\times 10^3$ -1.06 $\times 10^4$	1.02 $\times 10^4$

표 4-28. 회분식 mirror 평판형 처리용기를 이용한 광펄스 처리의 통후추 일반 미생물 감균 효과 (3분간격으로 mixing)

(unit : CFU/g)

Treatment time	A2(통후추)		A6(통후추)		C3(통후추)	
	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average
0	3.28-4.30 $\times 10^7$	3.99 $\times 10^7$	1.09-1.11 $\times 10^8$	1.10 $\times 10^8$	1.90-6.80 $\times 10^4$	3.92 $\times 10^4$
3	1.19-1.21 $\times 10^7$	1.20 $\times 10^7$	8.40-9.00 $\times 10^7$	8.70 $\times 10^7$	1.58-3.60 $\times 10^4$	2.55 $\times 10^4$
6	6.30-7.10 $\times 10^6$	6.70 $\times 10^6$	6.60-7.40 $\times 10^6$	7.00$\times 10^6$	1.32-3.20 $\times 10^4$	2.24 $\times 10^4$
9	3.50-4.00 $\times 10^6$	3.75 $\times 10^6$	1.24-1.58 $\times 10^7$	1.41 $\times 10^7$	8.40 $\times 10^3$ -2.80 $\times 10^4$	1.83 $\times 10^4$
12	2.75-3.20 $\times 10^6$	2.97$\times 10^6$	7.70-8.60 $\times 10^6$	8.15 $\times 10^6$	1.00-3.60 $\times 10^4$	1.96 $\times 10^4$
15	3.88-4.80 $\times 10^6$	4.31 $\times 10^6$	1.17-1.34 $\times 10^7$	1.26 $\times 10^7$	1.06-2.50 $\times 10^4$	1.72 $\times 10^4$

표 4-29. 회분식 mirror 평판형 처리용기를 이용한 광펄스 처리의 분말후추 *Bacillus* 감균 효과

(unit : CFU/g)

Treatment time	A2		A6		B15		C3	
	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average
0	3.50-5.90×10 ⁷	4.59×10 ⁷	2.12-3.20×10 ⁷	2.51×10 ⁷	8.80×10 ³ -1.00×10 ⁴	9.40×10 ³	2.56-4.00×10 ⁴	3.32×10 ⁴
3	2.40-4.60×10 ⁷	3.50×10 ⁷	1.49-1.90×10 ⁷	1.66×10 ⁷	6.30-7.40×10 ³	6.85×10 ³	1.38-2.60×10 ⁴	1.92×10 ⁴
6	1.98-4.00×10 ⁷	2.96×10 ⁷	1.15-1.26×10 ⁷	1.21×10 ⁷	6.00-8.20×10 ³	7.10×10 ³	1.65-3.80×10 ⁴	2.74×10 ⁴
9	1.53-3.10×10 ⁷	2.26×10 ⁷	9.6×10 ⁶ -1.04×10 ⁷	1.00×10 ⁷	3.40-4.40×10 ³	3.90×10 ³	1.39-3.00×10 ⁴	2.21×10 ⁴
12	1.89-2.01×10 ⁷	1.97×10 ⁷	1.38-2.80×10 ⁷	2.05×10 ⁷	1.40-1.43×10 ³	1.42×10 ³	9.00×10 ³ -3.00×10 ⁴	1.87×10 ⁴
15	3.90-5.00×10 ⁷	4.45×10 ⁶	1.28-3.00×10 ⁷	1.92×10 ⁷	1.11-1.20×10 ⁴	1.16×10 ⁴	9.80×10 ³ -1.06×10 ⁴	1.02×10 ⁴

나. 회분식 원통형 처리 용기를 이용한 후추의 광펄스 처리 살균 효과

(1) 실험 재료

- 본 실험에 사용된 시료는 앞선 후추의 미생물 오염도 분석 자료를 기준으로 하여 가장 오염도가 높은 것 중 재래시장 2종의 후추를 선정하여 실험에 사용하였음.
- 구입한 시료는 통후추의 형태로 실험을 위해 분쇄기 (H3060- MSS-1B, Harion, China)로 분쇄한 후 암냉소에 보관하면서 실험에 사용하였음.

(2) 광펄스 처리 조건

- 회분식 mirror 평판형 처리 용기에 시료별 후추를 1g씩 칭량하여 원통형 처리 용기에 주입한 후 주입구를 막고, air vent부분에 air filter를 설치한 후 air pump로부터 flow regulator를 통해 40 L/min의 유량의 공기를 air guide를 통해 처리 용기 내부에 공급한 후 시료가 고르게 회전하도록 한 후에 빛의 세기 1,000V, pulse number 5 pps, 처리 용기과 램프간의 거리 4.5 cm의 조건에서 0, 3, 6, 9, 12, 15분간 처리하였음.

(3) 실험 결과

- 회분식 원통형 처리 용기를 이용한 광펄스 처리에 의한 분말 후추의 일반 미생물과 *Bacillus*의 감균 효과를 다음 표에 나타내었음.

표 4-30. 회분식 원통형 처리용기를 이용한 광펄스 처리의 분말 후추 일반 미생물 감균 효과

Treatment time	A2		A6	
	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average
0	3.24-5.10×10 ⁷	4.41×10 ⁷	2.10-3.10×10 ⁷	2.71×10 ⁷
3	1.21-2.50×10 ⁷	1.74×10 ⁷	1.60-1.64×10 ⁷	1.62×10 ⁷
6	8.90-9.00×10 ⁶	8.95×10 ⁶	7.40-8.10×10 ⁶	7.75×10 ⁶
9	3.10-3.40×10 ⁶	3.25×10 ⁶	1.30-1.12×10 ⁷	1.21×10 ⁷
12	1.00-1.15×10 ⁷	1.08×10 ⁷	1.25-1.36×10 ⁷	1.31×10 ⁷
15	1.28-1.34×10 ⁷	1.31×10 ⁷	1.66-1.73×10 ⁷	1.70×10 ⁷

표 4-31. 회분식 원통형 처리용기를 이용한 광펄스 처리의 분말 후추 *Bacillus* 감균 효과

Treatment time	A2		A6	
	Viable Cell	Average	Viable Cell	Average
0	2.76-4.00×10 ⁶	3.32×10 ⁶	2.40-3.50×10 ⁶	3.00×10 ⁶
3	2.11-3.10×10 ⁶	2.47×10 ⁶	1.82-2.60×10 ⁶	1.68×10 ⁶
6	1.40-1.88×10 ⁶	1.65×10 ⁶	1.40-1.80×10 ⁶	1.55×10 ⁶
9	8.70-9.30×10 ⁵	9.00×10 ⁵	1.10-1.26×10 ⁶	1.16×10 ⁶
12	1.21-1.40×10 ⁶	1.32×10 ⁶	1.20-1.80×10 ⁶	1.49×10 ⁶
15	1.07-1.13×10 ⁶	1.10×10 ⁶	7.00×10 ⁵ -1.44×10 ⁶	1.08×10 ⁶

- 시료 *A2의 초기 균수는 4.41×10⁷으로 3, 6, 9, 12, 15min 처리시간에 따라 1.23×10⁷, 1.79×10⁷, 3.25×10⁶, 1.08×10⁷, 1.32×10⁷으로 처리시간 6분에서 증가 후 9분에서 감소, 12-15분에는 증가하였음.
- 시료 *A6의 초기 균수는 2.71×10⁷으로 3, 6, 9, 12, 15min 처리시간에 따라 1.62×10⁷, 7.75×10⁶, 1.08×10⁷, 1.31×10⁷, 1.70×10⁷으로 6분까지는 감소하였으나 9분부터는 증가하였음.
- 시료 *A2의 초기 균수는 3.22×10⁶으로 3, 6, 9, 12, 15min 처리시간에 따라 2.49×10⁶, 1.79×10⁶, 9.00×10⁵, 1.28×10⁶, 1.12×10⁶으로 처리시간 9분까지 감소하였으며 12분에서 증가 후 15분에서는 감소하였음.
- 시료 *A6의 초기 균수는 3.00×10⁶으로 3, 6, 9, 12, 15min 처리시간에 따라 1.85×10⁶, 1.45×10⁶, 1.20×10⁶, 1.48×10⁶, 1.41×10⁶으로 9분까지는 감소하였으나 12분에서 증가, 15분에서 감소하였음.

4. Lab-scale 광펄스 시스템을 이용한 살균조건 확립 및 검증

가. 처리와 조절인자에 따른 미생물의 사멸 효과

(1) 실험 재료 및 시료 전처리

- 1차년도에 재래시장, 유기농 시장, 대형할인 마트 등에서 구매한 29 종의 후추시료에 대한 오염도를 조사하여 이중 오염도가 가장 높은 흑후추, 백후추 각 1종을 선택하여 시료로 사용하였음.
- 시료 A는 전주 남부시장 N식품에서 구매한 말레이시아산 통후추 시료로 통후추는 Warning Blender (HGB25E, Warning Laboratory Science, Torrington, CT, USA) 18 mesh(800 μm), 36 mesh(400 μm)의 sieve를 이용하여 입자의 크기를 구별하여 실험에 사용하였음.
- 시료 B는 전주 H마트에서 벌크로 판매하는 백후추를 구매하였으며, 구매한 백후추는 일정한 크기의 분말 형태로 판매되는 것으로 따로 sieving을 하지 않고 그대로 시료로 사용하였음.

(2) 광펄스(intense pulsed light)시스템을 이용한 처리

- 본 연구에서 사용한 광펄스(intense pulsed light)처리 시스템은 그림 4-7, 처리용기는 회전형 원통 처리용기를 사용하였음.

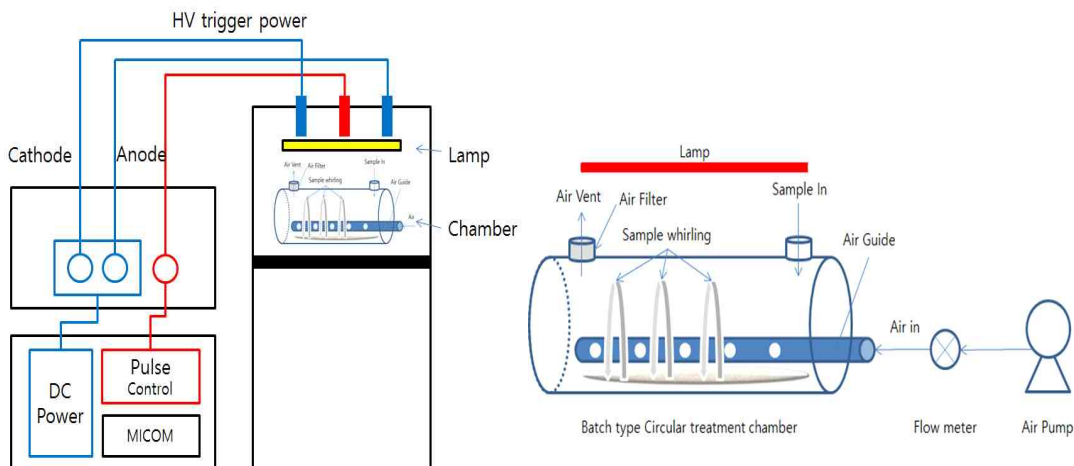


그림 4-7. 회전형 원통 처리용기와 광펄스 시스템에 대한 모식도

- 실험에 사용되는 처리용기는 회전형 원통형 처리 용기와 recycling 처리용기로 처리 용기에 시료를 넣고 처리 용기에 일정 유량의 공기를 흘려보내면 시료가 고르게 섞이면서

고른 광펄스 처리를 받을 수 있도록 air pump를 연결하고 flow meter를 이용하여 유량 10-50 L/min 공기를 주입하였으며, 광펄스 처리시간은 최대 10분으로 하였고, 처리 후 시료를 수거하여 분석에 사용하였음.

(3) 빛 에너지 세기에 따른 후추가루의 살균 효과

- 실험에 사용된 빛의 세기는 700 V, 850 V, 1000 V로 전압이 높을수록 에너지 밀도가 높아지며, 빛의 세기가 커짐.
- 빛의 세기를 제외한 다른 처리조건은 펄스 수 5 pps, 시료와 램프사이의 거리 1.5 cm로 동일하게 하였으며, 처리시간은 최대 10분으로 0, 1, 3, 5, 7, 10 min으로 처리하여 대상 미생물의 사멸효과를 관찰함.

(가) 흑후추가루 일반세균의 감소 효과

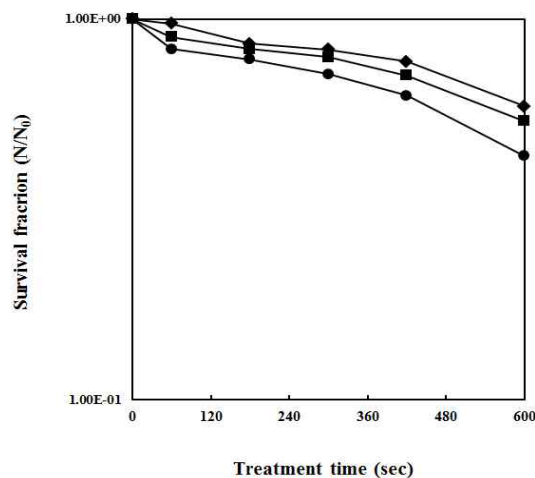


그림 4-8. 회전형 원통 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 흑후추가루의 총균수 변화.

광펄스 처리조건: 펄스 수 5 pps, distance 1.5 cm. particle size 400 μm

◆ 700 V, ■ 850 V, ● 1000 V

- 흑후추가루의 일반세균의 초기 생균수는 2.67×10^6 으로 700 V에서 10분 처리시 1.57×10^6 , 850 V에서 1.29×10^6 , 1000 V는 9.55×10^5 으로 각각 전압의 세기가 강해질수록 사멸효과가 증가하였음.
- 후추가루의 일반 세균수는 700 V 빛의 세기에서 10분 처리하였을 때는 약 41 % (0.23 log), 850 V에서는 52 % (0.32 log) 1000 V 에서는 64 % (0.45 log) 정도의 감균 효과를 보였음.

- 빛의 세기에 따라서는 700 V와 850 V보다 1000 V에서 조금 더 큰 감균 효과를 보임. 따라서 전압의 세기가 클수록 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- Cheon&Lee에 의하면 처리시간에 따른 흑후추의 변화를 조사한 결과 오존 처리시간이 길수록 생균수가 점차적으로 감소되는 것을 알 수 있었음. 호기성균의 경우 흑후추가 오존 반응 시간을 30분으로 했을 때 초기 생균수 2.5×10^6 에서 1.1×10^6 로 감소하였으며, 60분에서는 9.8×10^6 , 90분은 9.5×10^6 로 약 62 % 감소율을 나타냈음. 광펄스의 경우 1000 V에서 10분 처리했을 때 64 %의 감균효과를 보였으며, 처리 시간이 늘어날수록 균수가 더 감소할 것으로 예상함.

(나) 흑후추가루 *Bacillus*균의 감소 효과

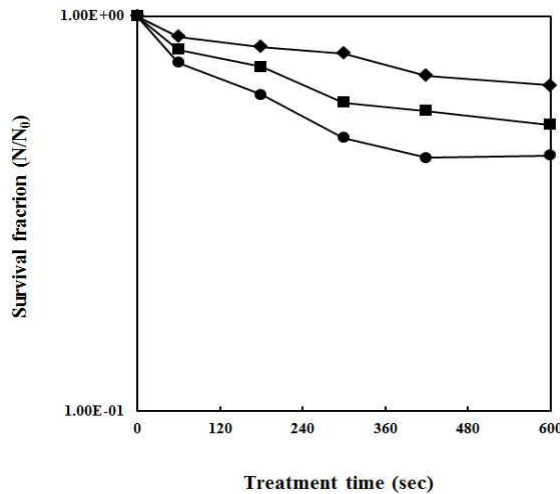


그림 4-9. 회전형 원통 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 흑후추가루의 *Bacillus*의 변화.

광펄스 처리조건: 펄스 수 5 pps, distance 1.5 cm. particle size 400 μm

◆ 700 V, ■ 850 V, ● 1000 V

- 백후추가루의 초기균수는 $2.88\text{--}4.35 \times 10^3$ 이며 10분 처리 시 700 V에서는 1.95×10^3 , 850 V에서는 15.3×10^3 , 1000 V에서 1.93×10^3 으로 처리시간이 길어질수록 *Bacillus*가 감소하였음.
- 처리조건에 따른 *Bacillus*의 감소 효과는 700 V에서 33 % (0.18 log), 850 V에서는 51 % (0.27 log), 1000 V에서 56 % (0.35 log)감소율을 나타냄으로 동일한 조건에서 전압이 강해질수록 미생물의 감소효과가 높음.
- 일반세균은 700 V, 850 V, 1000 V에서 각각 41 % (0.23 log), 52 % (0.32 log) 64 % (0.45 log)의 감소율을 나타냈으며 *Bacillus*는 33 % (0.18 log), 51 % (0.27 log), 56 % (0.35 log)로 일반세균이 *Bacillus*에 비해 살균 효과가 좋은 것으로 나타남.

(다) 백후추가루 일반세균의 감소 효과

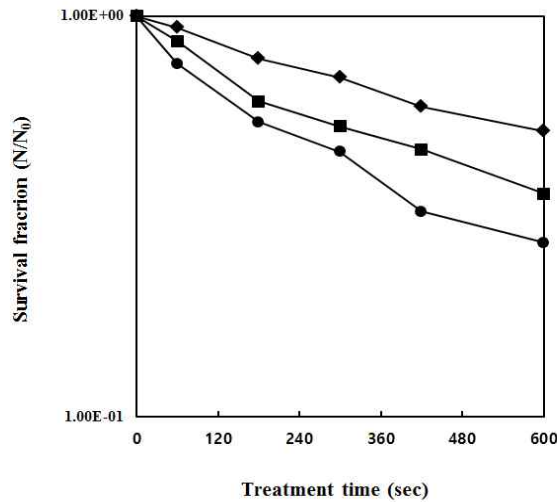


그림 4-10. 회전형 원통 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 백후추가루의 총균수 변화.

광펄스 처리조건: 펄스 수 5 pps, distance 1.5 cm. particle size 400 μm

◆ 700 V, ■ 850 V, ● 1000 V

- 백후추가루의 일반세균의 초기 균수는 $1.15\text{--}2.33 \times 10^8$ 로 10분 처리 후 700 V에서는 1.21×10^2 , 850 V는 1.41×10^2 , 1000 V에서 4.90×10^2 감소하였음.
- 살균률은 700 V에서 48 % (0.29 log), 850 V에서 64 % (0.44 log), 1000 V에서 73 % (0.57 log)의 감소율을 보였음.
- 흑후추와 비교해보면 700 V, 850 V, 1000 V에서 각각 41 % (0.23 log), 52 % (0.32 log), 64 % (0.45 log) 감소하였으며 백후추는 48 % (0.29 log), 64 % (0.44 log), 73 % (0.56 log) 감소하였음. 따라서 흑후추보다 백후추의 살균 효과가 높은 것으로 나타남.
- 700 V보다 850 V와 1000 V에서 더 높은 감균 효과를 보였으며 1000 V에서 더 높은 가장 높은 효과를 보여 빛의 세기가 강할수록 높은 효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- 일반세균의 경우 시장에서 구매한 흑후추 흑후추가루는 1000 V에서 64 % (0.44 log)의 효과를 나타냈으며 마트에서 구매한 백후추가루는 1000 V에서 10분 처리시 73 % (0.56 log)의 효과를 보여 동일한 조건에서 흑후추보다 백후추의 살균 효과가 더 큰 것으로 나타났다.
- Cheon&Lee은 후추를 오존 처리시 같은 조건에서 흑후추의 경우 62 %의 감균효과가 있었으며, 백후추는 96 %의 감소율을 나타냈음.

- 흑후추는 익지 않은 후추 열매를 건조시키는 중 후추의 표면(껍질)에 미세한 주름이 생겨 주름 안에 자라는 미생물이 존재하여 생균수가 높게 나타났으며 후추의 주름 내부에서 자라는 미생물은 오존이 침투하지 못하여 살균 효과가 떨어지는 것으로 생각함.
- 백후추는 완전히 익은 열매를 발효시켜 껍질을 제거하여 건조하기 때문에 흑후추와 비교하여 상대적으로 생균수가 낮으며 오존에 직접적인 영향을 받을 것으로 생각됨.

(라) 백후추가루 *Bacillus*균의 감소 효과

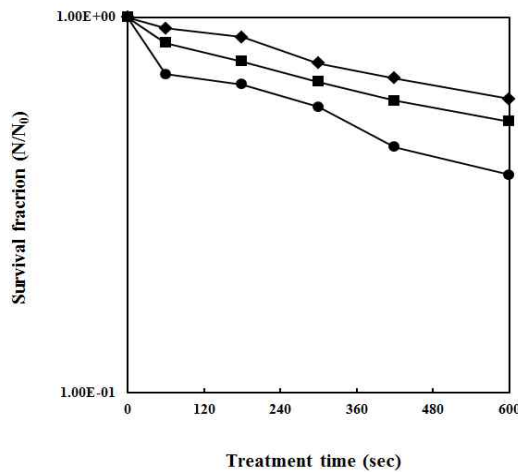


그림 4-11. 회전형 원통 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 백후추가루의 *Bacillus* 변화.

광펄스 처리조건: 펄스 수 5 pps, distance 1.5 cm. particle size 400 μ m

◆ 700 V, ■ 850 V, ● 1000 V

- 백후추가루의 초기균수는 $2.75\text{--}3.55 \times 10^8$ 로 10분 처리하였을 때 700 V에서 1.85×10^2 , 850 V에서 1.45×10^2 , 1000 V에서 1.35×10^2 로 점점 감소하였음.
- 전압의 세기에 따라서 700 V에서 39 % (0.22 log), 850 V에서 47 % (0.39 log), 1000 V에서 59 % (0.42 log)의 감균효과를 보임.
- 백후추가루의 일반세균의 살균률은 700 V, 850 V, 1000 V에서 각각 48 % (0.29 log), 64 % (0.44 log), 73 % (0.57 log)이며, *Bacillus*는 각각 39 % (0.22 log), 47 % (0.39 log), 59 % (0.42 log)로 일반세균이 *Bacillus*와 비교하였을 때 살균율이 더 좋은 것으로 나타남.
- 흑후추가루의 *Bacillus*의 감소율은 33 % (0.17 log), 51 % (0.27 log), 56 % (0.35 log)로 백후추가루가 흑후추가루보다 살균이 용이함.

- Mok & Jeon(2014)에 의하면 후춧가루의 LPDP 사멸효과는 처리시간에 비례하여 직선적으로 증가하는 경향을 보이며 10분 처리시에는 약 0.3 log, 20분간 처리시에는 일반세균의 경우 0.73 log 정도 감소한다고 하였음.
- 후추는 향신료 중에서도 오염이 높은 편이며 세포 내에 포자를 형성하여 살균시 다른 균에 비해 저항성이 큰 *B. cereus*가 주로 오염 미생물로 존재하기 때문이라고 예상됨 (Baxter & Holzapel, 1982).
- 후추는 건조할 경우 표면에 주름이 많아지며 그 주름 사이에 미생물이 존재하여 살균이 어려움.
- 살균 저항성은 가공(분쇄) 이후에도 미생물의 오염이 계속 유지됨.

(5) 펄스 수에 따른 후춧가루의 사멸효과

- 펄스 수는 5 pps, 7 pps, 10 pps로 처리하였음.
- 펄스 수를 제외한 나머지 조건은 동일하게 적용했음. (voltage 1000 V, 시료와의 거리 1.5 cm, 처리시간 1-10 min)

(가) 흑후춧가루 일반세균의 감소 효과

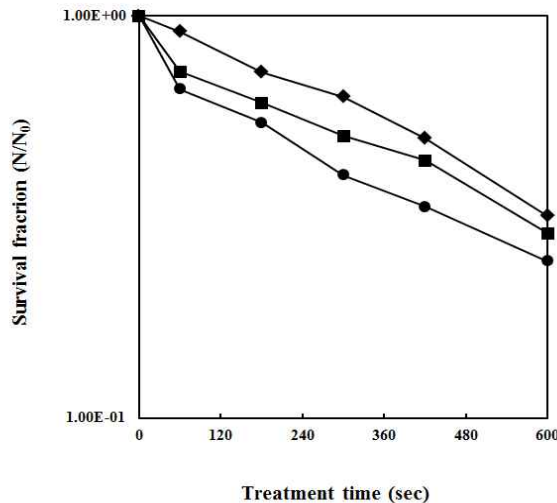


그림 4-12. 회전형 원통 처리용기를 이용한 펄스수에 따른 흑후춧가루의 일반세균의 변화.

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, distance 1.5 cm. particle size 400 μm

◆ 5 pps, ■ 7 pps, ● 10 pps

- 흑후추가루의 초기균수는 $3.29\text{--}3.51 \times 10^6$ 이었으며 10분동안 처리하였을 때 5 pps에서 1.12×10^6 , 7 pps에서 1.00×10^6 , 10 pps에서는 8.05×10^5 으로 감소하였으며 같은 1000 V의 전압에서 펄스 수가 많을수록 미생물의 사멸효과는 높아지는 것으로 나타남.
- 주파수에 따른 흑후추가루의 일반세균의 감소율은 5 pps에서 68 % (0.5 log), 7 pps는 71 % (0.54 log), 10 pps에서는 75 % (0.64 log)의 감소율을 나타냄 따라서 전압과 펄스가 클수록 미생물의 감소율이 증가하는 것을 알 수 있음.
- 5 pps, 7 pps, 10 pps에서의 미생물 감소 속도는 대부분 비슷하게 나타남.
- 5 pps 3분 처리 시 크게 감소하지 않았으나 7 pps, 10 pps는 3분 처리 시 비교적 크게 감소하였음.

(나) 흑후추가루 *Bacillus*균의 감소 효과

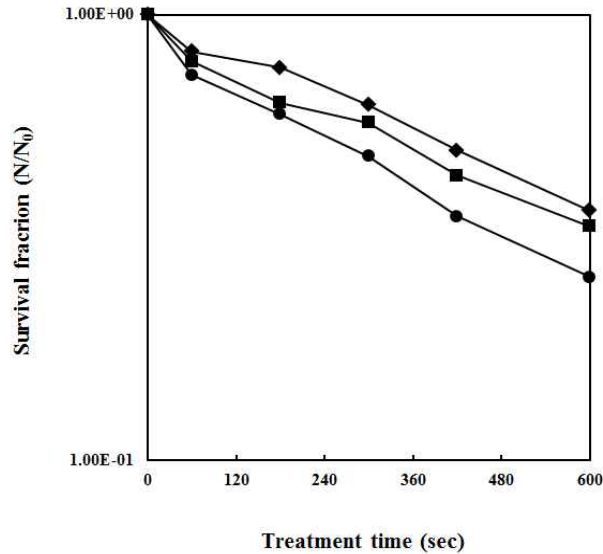


그림 4-13. 회전형 원통 처리용기를 이용한 주파수에 따른 흑후추가루의 *Bacillus*의 변화.

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, distance 1.5 cm. particle size 400 μm

◆ 5 pps, ■ 7 pps, ● 10 pps

- 흑후추가루의 *Bacillus*의 초기 균수는 $2.38\text{--}3.15 \times 10^5$ 이었으며 10분 처리 시 5 pps에서 8.65×10^4 , 7 pps는 10.5×10^4 , 10 pps에서는 7.80×10^4 로 감소하였음.
- 초기 균수의 감소율은 5 pps가 64 % (0.44 log), 7 pps에서는 66 % (0.47 log), 10 pps는 74 % (0.58 log)의 감소율을 나타냄.

- 같은 흑후추가루의 일반세균은 5 pps에서 68 % (0.5 log), 7 pps는 71 % (0.54 log), 10 pps에서는 75 % (0.63 log) *Bacillus*는 각각 64% (0.44 log), 66% (0.47 log), 74 % (0.58 log)로 일반세균의 감소율이 조금 더 높은 것으로 나타남.
- 일반적으로 5 pps, 7 pps 보다 10 pps에서 조금 더 높은 감균효과를 나타냈으며 10 pps에서 가장 높은 효과를 보였음 따라서 펄스가 높을수록 미생물의 감균효과가 높아짐.

(다) 백후추가루 일반세균의 감소 효과

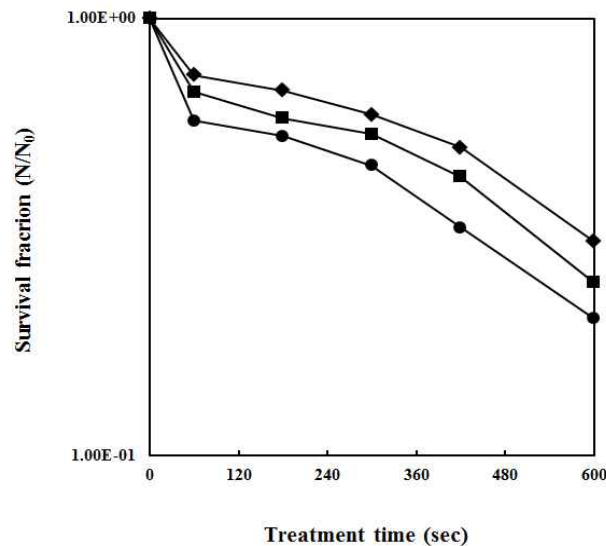


그림 4-14. 회전형 원통 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 백후추의 일반세균의 변화.

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, distance 1.5 cm. particle size 400 μm

◆ 5 pps, ■ 7 pps, ● 10 pps

- 백후추가루에서 일반세균의 초기균수는 $2.37\text{--}2.53 \times 10^8$ 이었으며 10분 처리 후 5 pps에서는 7.70×10^3 , 7 pps는 5.90×10^3 , 10 pps는 5.20×10^3 로 감소하였음.
- 5 pps에서는 69 % (0.51 log)의 감소효과를 보였으며 7 pps에서는 75 % (0.60 log), 가장 주파수가 높은 10 pps에서는 79 % (0.68 log)의 사멸효과를 나타냄.
- 시장에서 구매한 흑후추가루의 감소율 5 pps에서 68 % (0.5 log), 7 pps는 71 % (0.54 log), 10 pps에서는 75 % (0.64 log)로 동일한 조건에서 백후추의 사멸률이 더 높음.
- 5 pps, 7 pps, 10 pps 모두 비슷한 감균효과를 보임.

(라) 백후추가루 *Bacillus*균의 감소 효과

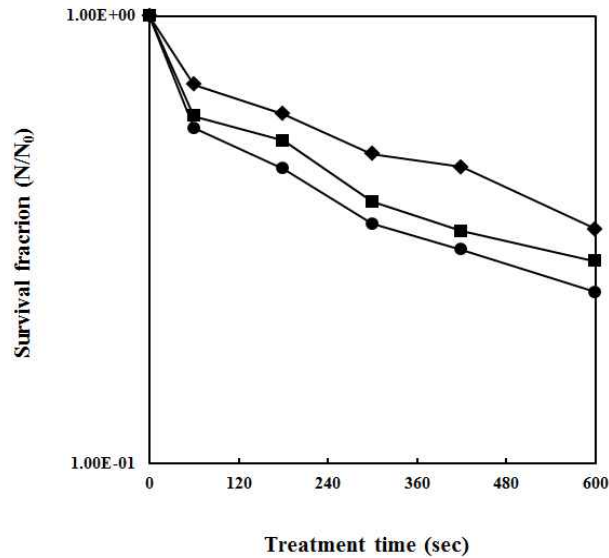


그림 4-15. 회전형 원통 처리용기를 이용한 주파수에 따른 백후추의 *Bacillus*의 변화.

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 5 pps, ■ 7 pps, ● 10 pps

- 백후추가루의 *Bacillus*의 초기 균수는 $2.80\text{--}3.18 \times 10^8$ 이었으며 10분 처리 후 5 Hz는 9.35×10^2 , 7 Hz에서는 9.00×10^2 , 10 pps는 7.10×10^2 로 펄스가 클수록 증가하였음.
- 처리 조건에 따른 미생물의 감소율은 5 pps에서 67 % (0.51 log), 7 pps에서는 72 % (0.51 log), 10 pps에서는 76 % (0.61 log)정도 감소하였음.
- 일반세균은 5 pps, 7 pps, 10 pps에서 각각 69 % (0.51 log), 75 % (0.60 log), 79 % (0.69 log)의 감소율을 나타내어 같은 조건에서 일반세균의 감균효과가 높은 것으로 나타남.

(6) 거리에 따른 후추가루의 살균 효과

- 시료와 램프 사이의 거리는 1.5 cm, 4 cm로 각각 처리하였음.
- 시료 사이의 거리를 제외한 다른 조건은 동일하게 적용하였음 (voltage 1000 V, pulsed number 5 pps, 처리시간 1-10 min).

(가) 흑후추가루 일반세균의 감소 효과

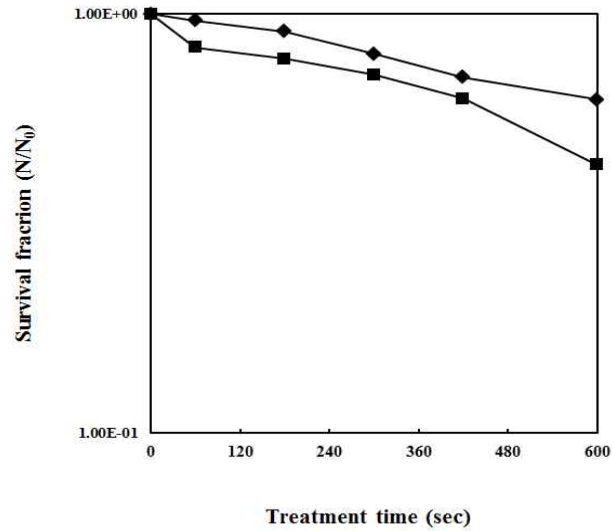


그림 4-16. 회전형 원통 처리용기를 이용한 램프와 시료 사이 거리에 따른 흑후추가루의 일반세균의 변화

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, 펄스 수 5 pps, particle size 400 μm

◆ 1.5 cm, ■ 4 cm

○ 전압 1000 V, 펄스 수 5 pps에서 램프와 시료 사이의 거리가 1.5 cm일 경우 초기균수는 2.19×10^6 으로 10분 처리 후 감소율은 9.55×10^5 56 % (0.36 log)이며, 4 cm에서는 초기균수 3.00×10^6 일 때 1.87×10^6 10분 처리 후 감소율이 38 % (0.21 log)로 4 cm보다 1.5 cm에서 살균 효과가 더 좋은 것으로 나타남.

(나) 흑후추가루 *Bacillus*균의 감소 효과

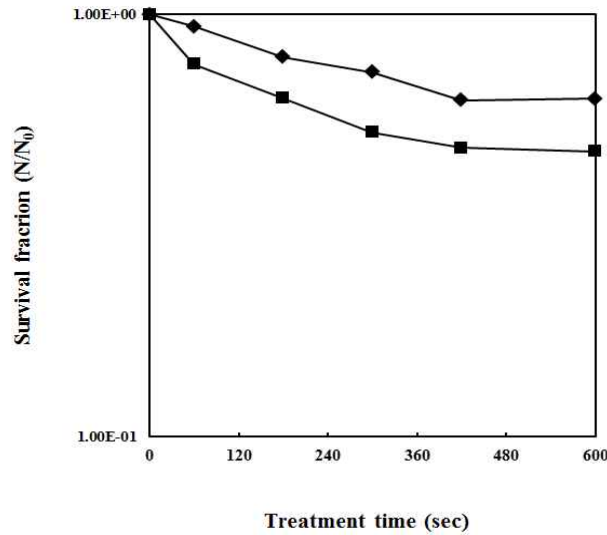


그림 4-17. 회전형 원통 처리용기를 이용한 램프와 시료 사이 거리에 따른 흑후추가루의 *Bacillus*의 변화

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, 펄스 수 5 pps, particle size 400 μm

◆ control(1.5 cm), ■ 4 cm

- *Bacillus*의 경우는 램프와 시료 사이의 거리가 1.5 cm (control)일 경우에 초기균수는 4.35×10^5 이었으며 10분 처리 후 2.07×10^5 로 감소율은 53 % (0.32 log)로 나타났으며 4 cm에서는 초기균수 3.77×10^5 이었으며 10분 처리 후에는 2.38×10^5 로 37 % (0.2 log)의 감소효과를 보였음.
- 4 cm보다 1.5 cm에서 감소효과가 더 큰 것으로 나타났으며 따라서 거리가 가까울수록 사멸효과가 높은 것을 알 수 있음.
- 일반세균의 경우는 1.5 cm에서 56 % (0.36 log) 4 cm에서는 38 % (0.2 log)의 감소율을 보였으며 *Bacillus*는 1.5 cm에서 53 % (0.32 log), 4 cm에서는 37 % (0.2 log) 감소하여 같은 조건에서 일반세균에 비해 *Bacillus*의 살균 효과가 낮은 것으로 나타남.

(다) 백후추가루 일반세균의 감소 효과

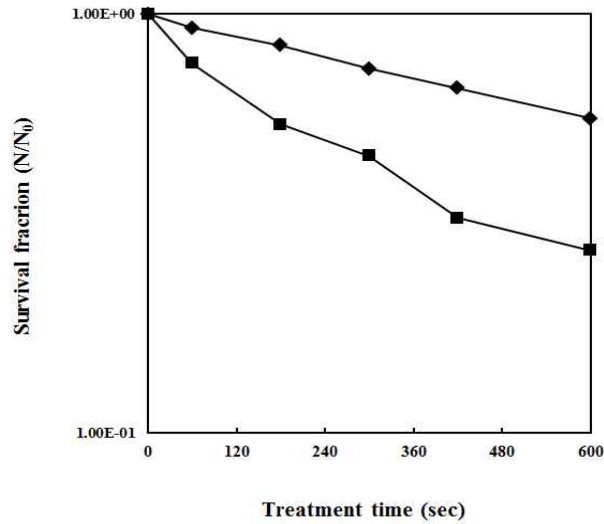


그림 4-18. 회전형 원통 처리용기를 이용한 램프와 시료 사이 거리 따른 백후추가루의 일반세균의 변화

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, 펄스 수 5 pps, distance 1.5 cm. particle size 400 μm

◆ 1.5 cm ■ 4 cm

- 백후추는 1.5 cm에서 초기균수 1.80×10^4 에서 10분 처리 후 4.90×10^3 으로 73 % (0.57 log) 감소하였으며, 4 cm에서는 초기균수 1.92×10^4 에서 10분 처리 후에는 1.08×10^4 으로 줄어들어 44 % (0.25 log)의 감소효과를 보였음.
- 시료와 광원사이의 거리가 가까울수록 살균 효과가 증가하며 흑후추와 비교하였을 때 1.5 cm와 4 cm사이에 따른 미생물 감소효과가 더 큰 것으로 나타남.
- 흑후추의 경우, 일반세균은 1.5 cm에서 38 % (0.21 log), 4 cm에서는 56 % (0.36 log)의 감균효과를 나타냈으며, 백후추는 1.5 cm에서 44 % (0.25 log), 4.5 cm에서는 73 % (0.57 log)의 효과를 나타내어 흑후추보다 백후추에서 미생물의 감균효과가 큰 것으로 나타났음.

(라) 백후추가루 *Bacillus*균의 감소 효과

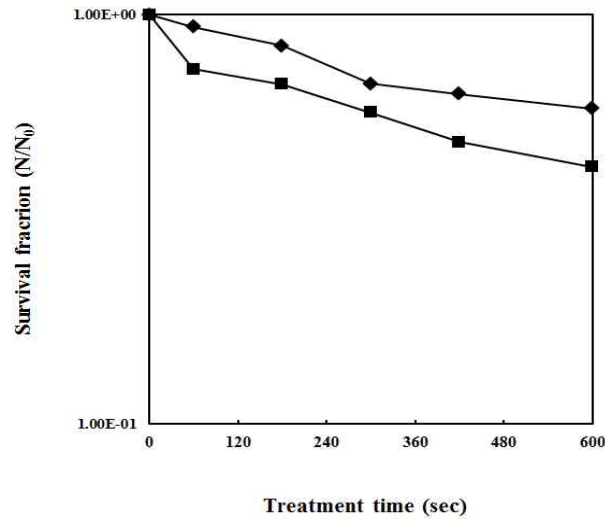


그림 4-19. 회전형 원통 처리용기를 이용한 램프와 시료 사이 거리 따른 백후추가루의 *Bacillus*의 변화

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, 펄스 수 5 pps, distance 1.5 cm. particle size 400 μm

◆ 1.5 cm, ■ 4 cm

- *Bacillus*의 초기균수는 1.5 cm에서 3.56×10^3 , 4 cm에서는 3.04×10^3 이었으며, 10분 처리 후 각각 41 % (0.23 log), 58 % (0.37 log)의 사멸효과를 나타내었음.
- 백후추의 일반세균은 1.5 cm에서 44 % (0.25 log) 4 cm에서는 73 % (0.57 log) 감소하였으며 *Bacillus*는 41 % (0.23 log), 58% (0.37 log) 감균효과를 보였음. 따라서 백후추는 일반세균이 *Bacillus*보다 사멸효과가 더 좋은 것으로 나타남.

(7) particle size에 따른 후추가루의 사멸효과

- Particle size는 400 μm , 800 μm 의 입자 크기를 가진 후추가루를 사용하여 처리하였음.
- Particle size를 제외한 나머지 조건은 동일하게 적용하였음. (voltage 1000 V, 펄스 수 5 pps, 처리시간 1-10 min)

(가) 흑후추가루의 일반세균의 감소 효과

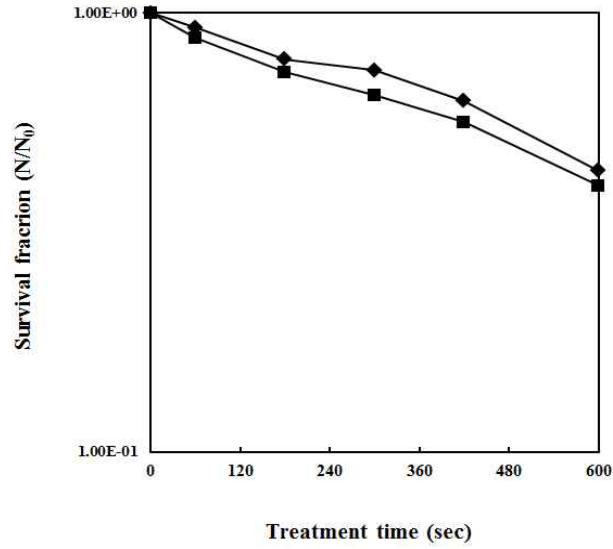


그림 4-20. 회전형 원통 처리용기를 이용한 입자 크기에 따른 흑후추가루의 일반세균의 살균 효과

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, 펄스 수 5 pps, distance 1.5 cm, ◆ 400 μm, ■ 800 μm

- 입자 크기에 따른 일반세균의 초기균수는 400 μm는 2.19×10^6 , 800 μm에서는 1.80×10^6 이었으며, 10분 처리했을 때 생존수는 9.55×10^5 , 7.25×10^5 으로 미생물의 감소 효과는 각각 56 % (0.36 log), 59 % (0.39 log) 나타냄.
- 입자의 크기가 작은 35 mesh (400 μm)를 통과한 흑후추가루가, 18 mesh (800 μm)를 통과한 흑후추가루에 비해 사멸효과가 높은 것을 알 수 있음.

(나) 흑후추가루의 *Bacillus*의 감소 효과

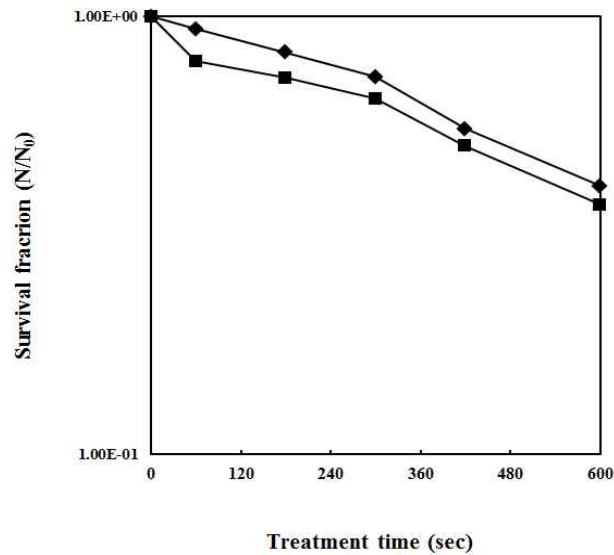


그림 4-21. 회전형 원통 처리용기를 이용한 입자 크기에 따른 흑후추가루의 *Bacillus*의 살균 효과

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, 펄스 수 5pps, distance 1.5 cm, ◆ 800 μm, ■ 400 μm

- *Bacillus*의 초기균수는 입자크기 800 μm의 후추가루는 4.05×10^5 , 입자크기 400 μm의 후추가루는 3.41×10^5 를 나타냈으며, 10분 처리 후 생존수는 1.76×10^5 , 1.93×10^5 으로 800 μm에서 48 % (0.29 log), 400 μm에서는 52 % (0.32 log)의 사멸효과를 나타냄.
- 일반세균의 경우 사멸효과가 800 μm에서 56 % (0.36 log), 400 μm는 59 % (0.39 log) 사멸효과를 나타냈으며 *Bacillus*는 각각 48 %, 52 %로 일반세균에 비해 *Bacillus*의 사멸효과가 낮게 나타남.
- 빛에너지, 주파수의 차이에 따른 미생물의 감소효과에 비해 같은 조건에서 입자 크기에 따른 사멸효과의 차이가 낮은 것으로 보임.

(8) Recycling fluidized 처리용기(recycling 유동층 처리용기)를 이용한 후추가루와 생강가루의 사멸효과

(가) 실험 재료 및 방법

- 실험 재료인 흑후추가루는 전주의 전통시장에서 통후추의 형태로 구매하였으며, 백후추가루는 대형마트에서 분말의 형태로 구매하였고, 생강가루(전원식품, 국내산)는 대형마트에서 구매하여 사용하였음.

- A, B 각각 시료 1.2 g을 회전형 원통형 처리 용기에 넣고 처리 조건에 맞추어 실험을 함.
- 광펄스 처리에 따른 미생물의 생존률을 초기균수(N_0)에 대한 처리 후 생존수(N)의 비율로 표시하였고, 모든 실험은 시료 당 3회 반복 실험하여 측정함.

(나) 광펄스 시스템 및 처리

- 처리 용기 및 광펄스 시스템은 다음 그림으로 나타냄.

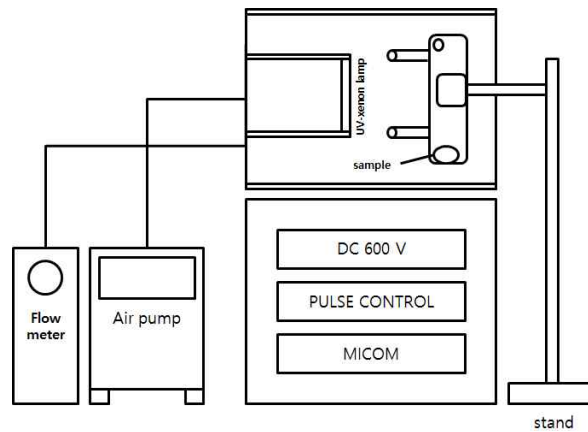


그림 4-22. 분체살균을 위한 recycling fluidized treatment 광펄스 시스템 모식도

① Recycling fluidized 처리용기(recycling 유동층 처리용기)를 이용한 흑후추가루의 살균효과

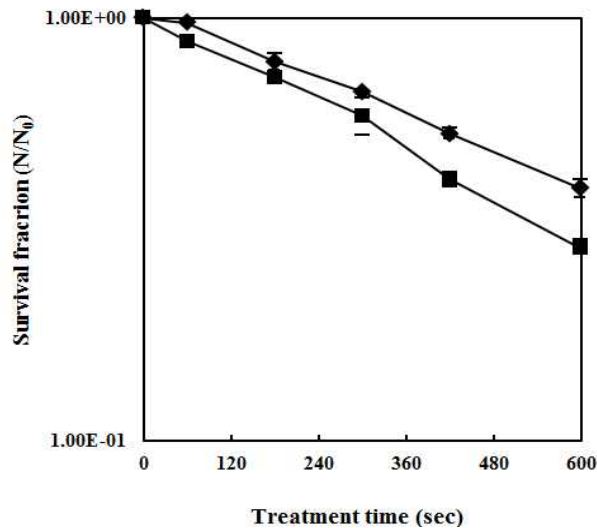


그림 4-23. Recycling fluidized 처리용기에 의한 흑후추가루의 광펄스 처리 효과

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, 펄스 수 10 pps,, distance 1.5 cm,

◆ *Bacillus*, ■ Total Cell Count

- 일반세균의 총균수는 5.10×10^5 , *Bacillus*의 초기균수는 4.25×10^5 으로 10분 처리 후에 일반세균은 1.46×10^5 , *Bacillus*는 1.68×10^5 으로 처리시간이 길어질수록 감소하였음.
- 일반세균은 71 % (0.54 log), *Bacillus*는 60 % (0.4 log) 감균효과를 나타냈으며 일반세균이 *Bacillus*와 비교하였을 때 살균이 더 잘되는 것으로 나타남.

② Recycling fluidized 처리용기(recycling 유동층 처리용기)를 이용한 백후추가루의 살균효과

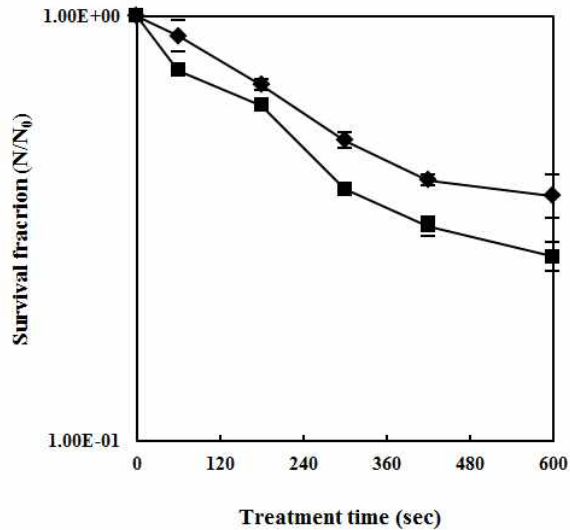


그림 4-24. Recycling fluidized 처리용기에 의한 백후추가루의 광펄스 처리 효과

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, 펄스 수 10 pps, distance 1.5 cm,

◆ *Bacillus*, ■ Total Cell Count

- 백후추가루 일반세균의 초기 균수는 5.60×10^3 , *Bacillus*의 초기 균수는 4.50×10^2 이며 10분 처리 후에는 1.52×10^3 , 1.70×10^2 으로 처리시간이 길수록 생존수는 감소하였음.
- 일반세균은 73 % (0.57 log), *Bacillus*는 52 % (0.42 log) 감소하였으며 일반세균이 *Bacillus*보다 사멸률이 높은 것으로 보임.

5. 광펄스 시스템의 산업적 적용에 요구되는 시료별 database 구축

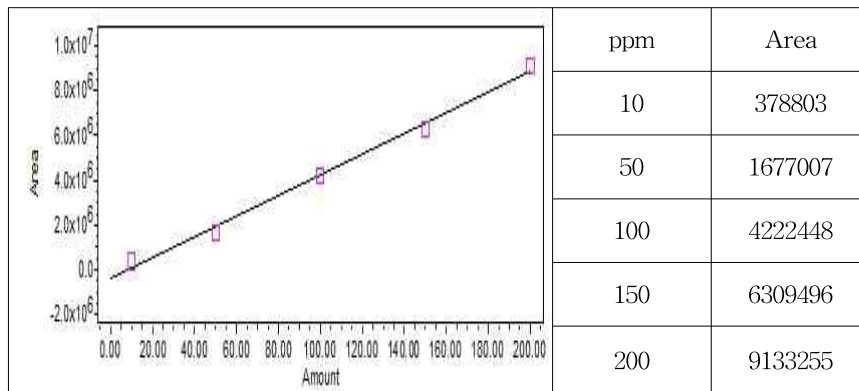
가. 처리 조건에 따른 영양적 손실에 대한 분석실험 결과

- 실험에 이용된 시료는 시장에서 구매한 시료 A(흑후추), 마트에서 구매한 시료 B(백후추)이며 전압, 주파수에 따라 처리조건을 나누어 처리 전(control)과 처리 후(미생물이 가장 많이 죽는 10분 처리)로 전처리를 하였음.
- 실험 재료는 조건에 따라 처리한 A, B 두 가지의 시료를 추출할 수 있는 HPLC급 methanol (Burdick & Jackson, Muskegon, MI, USA,) HPLC의 solvent에 사용되는 Acetonitrile(B&J), 1 % citric acid solution에 사용되는 3차 증류수(HPLC용 water, B&J), 특급 citric acid(sigma Aldrich)를 사용하였음.
- 시료는 0.45 μm syringe filter(ADVENTEC, DISMIC-25HP)로 여과하였음.
- 후춧가루의 Piperine 함량은 Kim 등의 방법을 토대로 참고하여 분석하였음.
- 후춧가루 1 g을 시험관에 넣고 methanol 15 mL를 넣어, 3시간 30분 동안 진탕하여 추출한 후 그 상등액을 methanol을 이용하여 50 mL로 정용하였음. 그 후 methanol을 이용하여 10배 희석한 것을 0.45 μm syringe filter로 여과하여 실험용액으로 사용하였음.
- 분석기기는 HPLC(waters)를 사용하였으며, 분석조건은 다음 표와 같음.
- HPLC 분석 후 piperine(Sigma Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 표준용액을 10, 50, 100, 150, 200 ppm 농도로 분석하여 얻은 검량선을 토대로 peak 면적으로 piperine 함량을 구함.

표 4-32. piperine 분석조건

Instrument	Condition		
Column	Shiseide capcellpak C18 UG(5 μ m, 4.6 \times 250 mm)		
	Time (min)	A	B
	0	70	30
	20	45	55
	25	20	80
Mobile phase	35	70	30
	40	70	30
	A : 1% citric acid in DW		
	B : Acetonitrile		
Detector	PDA detector, 280 nm		
Flow rate	0.5 mL/min		
Temperature	room temperature		
Injection Vol.	10 μ L		

표4-33. standard curve of piperine.



(1) 전압의 세기에 따른 흑후추가루의 piperine 변화

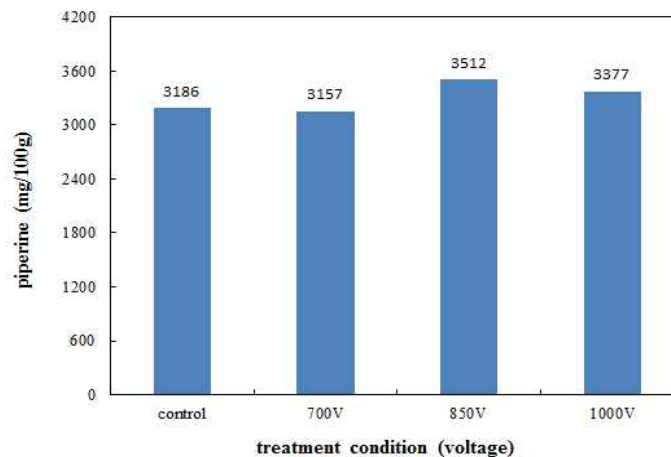


그림 4-25. 빛의 세기에 따른 회전형 원통 처리용기 처리 시 흑후추가루의 piperine 함량 변화

광펄스 처리조건: 펄스 수 5 pps, distance 1.5 cm

○ 처리하지 않은 시료(control)의 피페린 함량은 3,186 mg/100g으로 700 V에서는 3,157 mg/100g, 850 V에서는 3,512 mg/100g, 1000 V에서는 3,377 mg/100g으로 약간의 차이는 있으나 3,157-3,512 mg/100g의 범위로 나타남.

(2) 주파수에 따른 흑후추가루의 piperine 변화

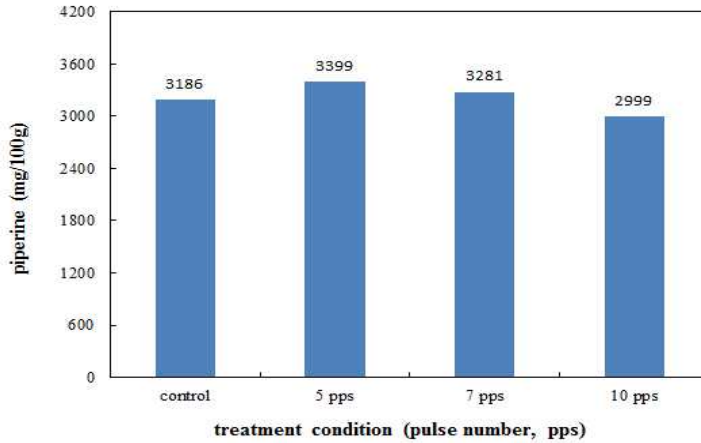


그림 4-26. 펄스수에 따른 회전형 원통 처리용기 처리 시 흑후추가루의 piperine 함량 변화

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, distance 1.5 cm

○ 처리하지 않은 시료(control)의 피페린 함량은 3,186 mg/100g으로 5 Hz에서는 3,399 mg/100g, 850 V에서는 3,281 mg/100g, 1000 V에서는 2999 mg/100g으로 5 Hz이후에 시료는 주파수가 높을수록 piperine의 함량이 감소하였음.

(3) 램프와 시료의 거리에 따른 흑후추가루의 piperine 변화

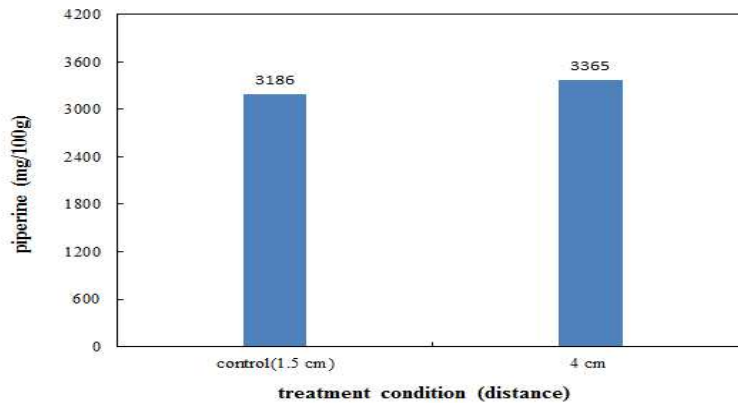


그림 4-27. 램프와 시료의 거리에 따른 회전형 원통 처리용기 처리 시 흑후추가루의 piperine 함량 변화

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, 펄스 수 5 pps, distance 1.5 cm, 4 cm

- 램프와 시료 사이의 거리는 control(1.5 cm), 4 cm로 거리에 따라서 control은 3,186 mg/100g, 4 cm에서는 3,365 mg/100g로 증가하였음.
- Mok에 따르면 LPDP 처리에 의해 piperine의 함량이 감소하는 것으로 났으며 초기 1분 동안 급격히 감소하며 이후에는 완만하게 변화하였음.
- 대조구 piperine의 함량은 3.735 mg%로 기존 Ko(1995)에 의해 보고된 결과(3.76-6.6 %)와 유사하였음.
- LPDP 1분간 처리 한 후 piperine의 함량이 1,998 mg %로 낮아져 46.5 %의 감소율을 보임.
- 처리 1분 이후에 감소량이 적어졌으나 10분 처리한 후추가루는 piperine의 함량이 1,481 mg%로 60.4 % 감소하였음.
- IPL 처리 시 최대 10분동안 처리하여도 piperine의 함량이 크게 감소하지 않음.
- IPL을 비가열 살균 기술로 열 발생이 거의 없어 열에 민감한 식품의 살균에 이용될 수 있음.

(4) 전압의 세기에 따른 백후추가루의 piperine 변화

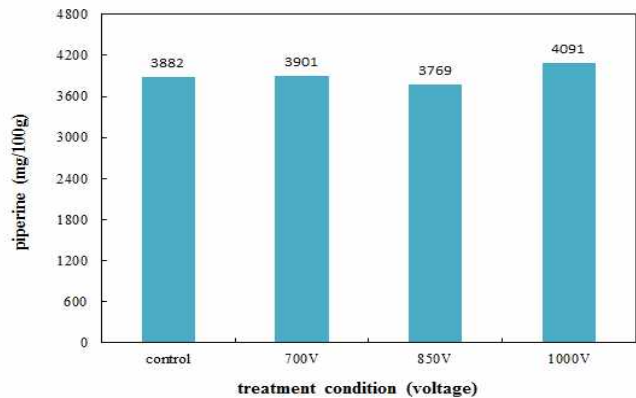


그림 4-28. 전압의 세기에 따른 회전형 원통 처리용기 처리 시 백후추가루의 piperine 함량 변화

광펄스 처리조건: 펄스 수 5 pps, distance 1.5 cm

- 백후추가루의 piperine 함량은 3,882mg/100g 이며 700 V에서는 3,901mg/100g, 850 V는 3,769mg/100g, 1000 V에서는 4,091 mg/100g으로 700 V에서는 약간 증가하였으나 850 V에서는 약간 감소하였고 1000 V에서 4,091 mg/100 g으로 증가하였음.

(5) 전압의 세기에 따른 백후추가루의 piperine 변화

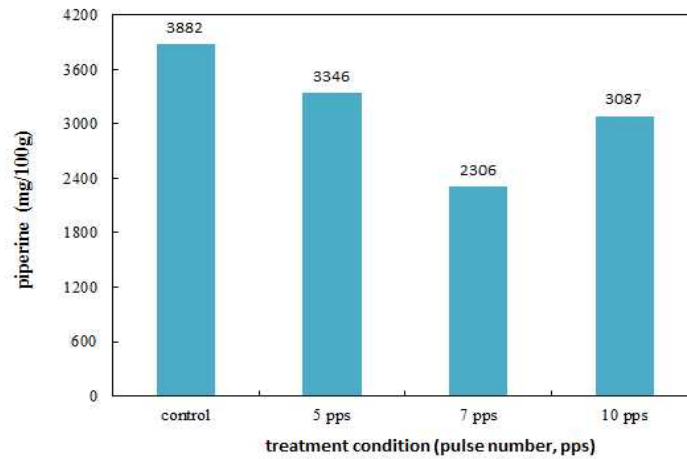


그림 4-29. 주파수에 따른 회전형 원통 처리용기 처리 시 백후추가루의 piperine 함량 변화

광펄스 처리조건: voltage 1000 V, distance 1.5 cm

- 백후추가루의 piperine 함량은 3,882mg/100g 이며 5 pps 에서는 3,346mg/100g, 7 pps는 2,306mg/100g, 1000 V에서는 3084 mg/100g으로 비처리구에 비해 5 pps, 7 pps는 주파수가 높아질수록 피페린의 함량이 감소하였음 10 Hz에서는 비처리구와 비교하여 감소하였음.

(6) 램프와의 거리에 따른 백후추가루의 piperine 변화

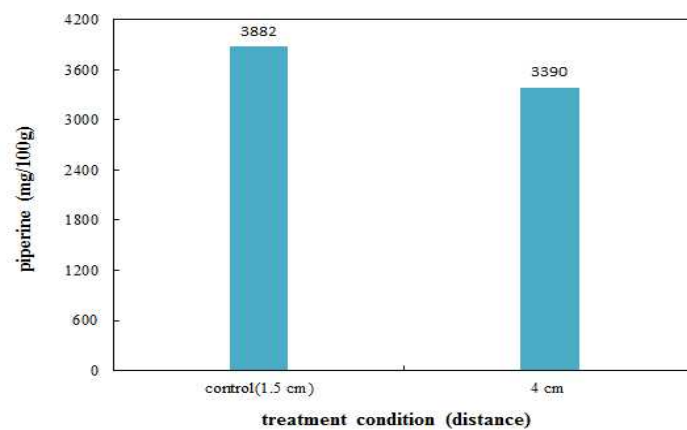


그림 4-30. 램프와 거리에 따라서 회전형 원통 처리용기 처리 시 백후추가루의 piperine 함량 변화

광펄스 처리조건: 1000 V, 펄스 수 5 pps, distance 1.5 cm, 4 cm

- 램프와 시료 사이의 거리는 control(1.5 cm), 4 cm로 거리에 따라서 control은 3,882 mg/100g, 4 cm에서는 3,390 mg/100g로 감소하였음.

나. 조건에 따른 물리적 손실 차이 분석 결과

(1) 전압세기에 따른 흑후추가루 색도의 변화

표 4-34. 전압 세기에 따른 흑후추가루의 색도변화

		Time content (min)			
		0	1	5	10
700V	L	45.98±0.02 ^{1)d}	48.85±0.01 ^c	50.97±0.01 ^a	50.80±0.01 ^b
	a	3.19±0.00 ^a	2.87±0.01 ^b	2.67±0.01 ^d	2.71±0.01 ^c
	b	15.48±0.05 ^d	16.10±0.01 ^c	16.43±0.01 ^b	17.00±0.01 ^a
850V	L	45.98±0.02 ^d	49.36±0.01 ^c	52.22±0.01 ^a	50.18±0.01 ^b
	a	3.19±0.00 ^a	2.83±0.01 ^b	2.74±0.01 ^c	2.67±0.01 ^d
	b	15.48±0.05 ^d	16.43±0.01 ^c	16.64±0.01 ^a	16.57±0.01 ^b
1000V	L	45.98±0.02 ^c	45.84±0.01 ^d	46.30±0.01 ^b	49.56±0.01 ^a
	a	3.19±0.00 ^b	3.21±0.01 ^{a,b}	3.22±0.02 ^a	2.85±0.01 ^c
	b	15.48±0.05 ^d	15.67±0.01 ^b	15.79±0.02 ^a	14.66±0.01 ^c

¹⁾Mean±SD

^{a-d}Superscriptive letters in a row indicate significance at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

L - value : White 100 ↔ 0 Black

a - value : Red 100 ↔ -80 Green

b - value : Yellow 100 ↔ -70 Blue

- 700 V에서 L값은 처리 시간에 따라 모두 유의적 차이가 있으며 처리 시간이 길어질수록 L값이 증가하였으며 a값도 시료별로 모두 유의적인 차이가 있으며 처리시간이 지날수록 감소하였음. b값도 시료 모두 유의적 차이가 있었으며 처리시간이 길어지면서 b값이 상승하였음.
- 850 V에서 L값과 b값은 증가하였으며 a값은 감소하였음. L, a, b값이 시료별로 모두 유의적 차이가 있었음.
- 1000 V에서 L값은 증가하였으며 b값은 감소하는 경향을 보였음. a값은 control(0 min), 처리 1 min값은 유의적인 차이가 없었으며 나머지 시간은 유의적 차이가 있었음.
- 전체적으로 조건에 따라 0 - 5 min L값은 증가하며, a 값은 감소, b 값은 증가하였으나 10 min에서 값이 조금씩 감소하는 경향을 나타냄.

(2) 주파수에 의한 흑후추가루의 색도 변화

표 4-35. 주파수에 따른 흑후추가루의 색도 변화

		time content (min)			
		0	1	5	10
5 pps	L	45.98±0.02 ^{1)c}	45.84±0.01 ^d	46.30±0.01 ^b	49.56±0.01 ^a
	a	3.19±0.00 ^b	3.21±0.01 ^{a,b}	3.22±0.02 ^a	2.85±0.01 ^c
	b	15.48±0.05 ^c	15.67±0.01 ^b	15.79±0.02 ^a	14.66±0.01 ^d
7 pps	L	45.98±0.02 ^d	47.80±0.01 ^c	48.73±0.00 ^b	49.42±0.00 ^a
	a	3.19±0.00 ^a	2.95±0.01 ^c	2.99±0.01 ^b	2.87±0.01 ^d
	b	15.48±0.05 ^c	15.50±0.02 ^c	15.86±0.01 ^b	16.22±0.02 ^a
10 pps	L	45.98±0.02 ^d	48.85±0.01 ^c	49.31±0.01 ^b	51.01±0.00 ^a
	a	3.19±0.00 ^a	2.89±0.06 ^b	2.78±0.01 ^c	2.67±0.01 ^d
	b	15.48±0.05 ^d	16.06±0.01 ^b	15.93±0.01 ^c	16.81±0.01 ^a

¹⁾Mean±SD

^{a-c}Superscriptive letters in a row indicate significance at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

L - value : White 100 ↔ 0 Black

a - value : Red 100 ↔ -80 Green

b - value : Yellow 100 ↔ -70 Blue

- 5 Hz에서 처리시간이 길어질수록 L값은 증가하였으며 시료 간에 모두 유의적 차이가 있었음. a값은 5분까지 증가하였으며 10분에서는 값이 감소하였으며 control(비처리구)와 1, 5분 처리구에서 유의적 차이가 없었으며 b값은 모두 유의적 차이가 있고 처리 5분까지는 값이 증가하였음.
- 7 Hz의 L, b값은 시료 간에 모두 유의적 차이가 있으며 값이 점점 증가하였으며 a값은 처리 시간이 지날수록 감소하였음.
- 10 Hz에서는 L, a, b값 모두 유의적 차이가 있으며 L값과 b값은 점점 증가하였으며 a값은 감소하였음.

(3) 입자크기에 따른 흑후추의 색도 변화

표 4-36. particle size에 따른 흑후추가루의 색도변화

		time content (min)			
		0	1	5	10
800 μm	L	45.98±0.02 ^c	45.84±0.01 ^d	46.30±0.01 ^b	49.56±0.01 ^a
	a	3.19±0.00 ^b	3.21±0.01 ^{a,b}	3.22±0.02 ^a	2.85±0.01 ^c
	b	15.48±0.05 ^d	15.67±0.01 ^b	15.79±0.02 ^a	14.66±0.01 ^c
400 μm	L	41.60±0.01 ^{1)a}	40.88±0.01 ^c	41.32±0.01 ^b	40.64±0.01 ^d
	a	2.97±0.01 ^d	3.19±0.01 ^b	3.14±0.02 ^c	3.24±0.01 ^a
	b	12.86±0.00 ^c	12.87±0.01 ^c	13.54±0.04 ^a	13.45±0.01 ^b

¹⁾Mean±SD

^{a-c}Superscriptive letters in a row indicate significance at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

L - value : White 100 ↔ 0 Black

a - value : Red 100 ↔ -80 Green

b - value : Yellow 100 ↔ -70 Blue

- 400 μm 의 L, a값은 모두 유의적인 차이가 있으며 L 값과 a 값은 점점 증가하였음.
- b값은 control과 1분 처리 시 유의적인 차이가 없으며 5, 10분 처리구는 유의적 차이가 있으며 b값은 점점 증가하였음.

(4) 램프와 거리에 따른 흑후추의 색도 변화

표 4-37. 램프와 시료의 거리에 따른 흑후추가루의 색도변화

		time content (min)			
		0	1	5	10
4cm	L	45.98±0.02 ^{1)d}	48.87±0.05 ^c	50.07±0.01 ^a	49.24±0.01 ^b
	a	3.19±0.00 ^a	2.95±0.01 ^b	2.89±0.01 ^c	2.87±0.01 ^d
	b	15.48±0.05 ^d	16.02±0.01 ^c	16.69±0.01 ^a	16.25±0.02 ^b

¹⁾Mean±SD

^{a-c}Superscriptive letters in a row indicate significance at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

L - value : White 100 ↔ 0 Black

a - value : Red 100 ↔ -80 Green

b - value : Yellow 100 ↔ -70 Blue

- L값은 모든 값이 유의적 차이가 있으며 0 - 5분은 값이 증가하였고 10분에서는 값이 감소하였음.
- a, b값은 유의적 차이가 있으며 a값은 시간이 지날수록 값이 감소하였으며 b값은 점점 증가하였음.

(5) 전압세기에 따른 백후추가루 색도의 변화

표 4-38. 전압세기에 따른 백후추가루의 색도변화

		Time content (min)			
		0	1	5	10
700V	L	64.74±0.01 ^{1)a}	63.56±0.01 ^b	62.12±0.01 ^d	62.25±0.01 ^c
	a	1.47±0.01 ^d	1.65±0.01 ^c	1.91±0.01 ^a	1.75±0.01 ^b
	b	19.91±0.02 ^a	19.39±0.02 ^b	19.28±0.01 ^c	19.21±0.01 ^d
850V	L	64.74±0.01 ^a	63.56±0.01 ^c	62.18±0.01 ^d	63.83±0.01 ^b
	a	1.47±0.01 ^d	1.75±0.01 ^b	1.81±0.00 ^a	1.55±0.01 ^c
	b	19.91±0.02 ^a	19.62±0.01 ^b	18.84±0.01 ^d	19.43±0.02 ^c
1000V	L	64.74±0.01 ^a	63.59±0.01 ^b	60.81±0.01 ^d	63.00±0.01 ^c
	a	1.47±0.01 ^d	1.66±0.01 ^b	2.12±0.01 ^a	1.60±0.01 ^c
	b	19.91±0.02 ^a	19.75±0.01 ^b	18.88±0.01 ^c	19.09±0.01 ^d

¹⁾Mean±SD

^{a-d}Superscriptive letters in a row indicate significance at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

L - value : White 100 ↔ 0 Black

a - value : Red 100 ↔ -80 Green

b - value : Yellow 100 ↔ -70 Blue

- 700 V에서 L값은 모두 유의적 차이가 있으며 처리 시간이 길어질수록 감소하였으며 a값은 0 - 5분까지 증가하고 10분에 감소하였음 b값은 0-5분까지는 값이 감소하였고 10분에서는 증가하였음.
- 850 V에서 L, a, b값 모두 유의적 차이가 있으며 L값은 0-5분까지 감소하였고 10분에서는 증가하였음 b값은 0-5분은 감소하였고 10분에서는 증가하였음.
- 1000 V에서 L, a, b값 유의적 차이가 있으며 L값은 0-5분까지 감소하고 10분에서 증가하였으며, a값은 0-5분까지 증가 후 10분에서 다시 감소하였으며 b값은 증가 후 5분에서 감소, 10분에서 다시 증가하였음.

(6) 주파수에 따른 백후추가루 색도의 변화

표 4-39. 주파수에 따른 백후추가루의 색도변화

		time content (min)			
		0	1	5	10
5 pps	L	64.74±0.01 ^{1)a}	63.59±0.01 ^b	60.81±0.01 ^d	63.00±0.01 ^c
	a	1.47±0.01 ^d	1.66±0.01 ^b	2.12±0.01 ^a	1.59±0.01 ^c
	b	19.91±0.02 ^a	19.75±0.01 ^b	18.88±0.01 ^d	19.09±0.01 ^c
7 pps	L	64.74±0.01 ^a	64.71±0.01 ^b	62.54±0.01 ^c	61.78±0.01 ^d
	a	1.47±0.01 ^c	1.31±0.01 ^d	1.84±0.01 ^b	1.91±0.01 ^a
	b	19.91±0.02 ^a	19.56±0.01 ^b	19.22±0.01 ^c	18.88±0.01 ^d
10 pps	L	64.74±0.01 ^a	63.42±0.01 ^b	62.48±0.01 ^c	62.38±0.01 ^d
	a	1.47±0.01 ^d	1.70±0.01 ^c	1.89±0.01 ^b	2.00±0.01 ^a
	b	19.91±0.02 ^a	19.16±0.01 ^b	18.91±0.06 ^c	19.19±0.01 ^b

¹⁾Mean±SD

^{a-c}Superscriptive letters in a row indicate significance at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

L - value : White 100 ↔ 0 Black

a - value : Red 100 ↔ -80 Green

b - value : Yellow 100 ↔ -70 Blue

- 펄스 수에 따른 백후추가루의 색도의 측정 결과 5Hz 조건에서 경과시간에 따른 명도(L), 적색도(a), 황색도(b) 값 모두 유의적인 차이를 나타내었음. 명도(L)값 및 황색도(b) 값의 경우 0-5분까지는 점차 감소하다가 10분에서는 증가하는 경향을 보였으며, 이와 반대로 적색도의 경우 0-5분까지는 증가하다가 10분에서는 감소하는 경향을 보였음.
- 7 pps 조건에서 또한 명도(L), 적색도(a), 황색도(b) 값 모두 유의적인 차이를 나타내었음. 명도(L) 값의 경우 5 pps와 마찬가지로 0-5분까지는 값이 점차 감소하다가 10분에서는 증가하는 경향을 나타냄. 적색도(a)의 경우 0-1분 까지는 값이 감소하다가 5분 이상 부터는 값이 증가하는 경향을 보였으며, 황색도(b) 값의 경우는 경과 시간이 지날수록 지속적으로 값이 감소하는 경향을 보였음.
- 10 pps의 조건에서 명도(L) 값의 경우 경과시간이 지남에 따라 지속적으로 감소하는 경향을 보였으며, 적색도(a)의 경우 이와 반대로 경과시간이 지남에 따라 지속적으로 값이 증가하는 경향을 보였음. 황색도(b) 값의 경우는 다른 조건과 마찬가지로 0-5분까지는 값이 감소하는 경향을 보이다가 10분에서는 증가하는 경향을 보였으며, 이 경우 1분 처리한 시료와 10분 처리한 시료 간에 유의적 차이가 없는 것으로 나타남.

(7) 램프와 시료 사이 거리에 따른 백후추가루 색도의 변화

표 4-40. 램프와의 거리에 따른 백후추가루의 색도변화

		time content (min)			
		0	1	5	10
4cm	L	64.74±0.01 ^{1)c}	65.29±0.01 ^b	65.38±0.01 ^a	63.94±0.01 ^d
	a	1.47±0.01 ^a	1.30±0.01 ^c	1.25±0.01 ^d	1.46±0.01 ^b
	b	19.91±0.02 ^c	19.70±0.01 ^a	19.94±0.01 ^b	19.70±0.01 ^d

¹⁾Mean±SD

^{a-c}Superscriptive letters in a row indicate significance at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

L - value : White 100 ↔ 0 Black

a - value : Red 100 ↔ -80 Green

b - value : Yellow 100 ↔ -70 Blue

- 4cm의 처리 조건에서 경과시간에 따른 색도를 측정된 결과는 표 4-40과 같음.
- 4cm 처리 조건에서 경과시간에 따른 색도 측정 결과 명도(L), 적색도(a), 황색도(b) 값 모두 유의적인 차이를 나타내었음. 명도(L)의 경우 0-5분까지는 점차 증가하는 경향을 보이다가 10분에서는 명도 값이 증가하였음. 적색도(a)의 경우 이와 명도와는 반대로 0-5분까지는 값이 증가하다가 10분에서는 감소하는 경향을 보였으며, 황색도(b)의 경우는 0-1분까지는 감소하다가 5분에서는 값이 증가하고 이후 10분에서는 다시 값이 감소하는 경향을 보였음.

다. 시료별 최적 살균 효과 및 분석

- 전압(voltage): 700 V, 850 V, 1000 V에서 살균 효과를 분석하였을 때 전압이 높을수록 살균 효과가 높아졌음.
- 펄스 수: 5 pps, 7 pps, 10 pps에서 주파수가 높아질수록 에너지양이 커지기 때문에 펄스 수가 높을수록 사멸효과가 높아짐.
- 거리(distance): 램프와 시료 사이의 거리가 가까울수록 사멸효과가 높아짐.
- 입자의 크기: 입자의 크기가 클수록 후추의 표면의 살균이 되기 때문에 입자의 크기가 클수록 사멸효과가 높음.
- 전압 1000 V, 펄스 수 pps, 거리는 가까울수록, 입자의 크기는 400 μm(입자의 크기가 클수록)가 최적으로 생각됨.

6. Pilot-scale의 광펄스 살균 제작을 위한 자료 확립

가. 광펄스 처리시 처리용기의 재질에 관한 실험

(1) 실험재료 및 사용균주

- 광펄스 처리시 시료를 넣어 표면에 빛을 전달할 처리용기의 재질을 선정하기 위하여, 기존의 투명성을 지닌 재질 중에서 처리용기 형태로 제작할 수 있는 가소성이 있는 석영, 아크릴, 유리를 선정하여 100 × 100 × 1-3 mm (Width × Height × Thickness) 규격의 판 형태로 된 것을 사용함.
- 석영(quartz)은 분광광도계 등에 쓰이는 cell이나 실험용 각종 분석기기에 두루 쓰이며, 광펄스 처리시에 xenon gas가 충전되어있는 lamp의 재질로도 사용되므로 우선적으로 선정하였음.
- 석영(Quartz)은 불순물 함량이 매우 낮으며 순도가 높아 대부분 Silicon dioxide(SiO₂)만으로 이루어져있음. 특히 빛 투과율이 뛰어나 자외선 투과율이 90 %이상이며 200 nm 이하의 UV 파장에 대해 높은 투과율을 나타내는 것으로 알려져 있음.
- 석영은 우수한 광학적, 전기적, 열적 특성으로 기타 불순물의 함량이 매우 적기 때문에 화학적으로 안정하여 강한 내구성을 나타냄. 20-300 °C의 온도 범위에서 6*/K의 낮은 열 팽창 계수를 가짐. 열 충격에 매우 강하여 내열성이 우수하므로 1000 °C이상의 온도에서도 사용이 가능한 특성을 가지고 있음. 그러나 일반적인 용융법에 의한 석영 제조시 1800 °C 이상의 높은 온도와 진공 공정을 필요로 하여 제조 및 구입 비용이 높고 가공 및 성형이 상대적으로 어려운 소재라는 단점이 있음.
- 투과성을 가진 재료 중 플라스틱 중에서 가장 투명성이 높은 물질인 아크릴(acryl)을 광펄스 처리용기의 재질로서의 적합성을 확인하는 투과실험에 사용할 투명판의 재질로 선택하였음.
- 아크릴(Acryl)은 1933년 독일의 Rohm&Hass 사의 Plexiglas™이라는 브랜드로 처음 개발되어 1937년 부터 영국의 Imperial Chemical Industries 사의 Perspex™이라는 브랜드로 공업용으로 보급되기 시작한 소재임. 아크릴 2mm 두께의 경우 빛 투과율이 92 %이며, 그 중 가시광선의 투과율은 89 % 로 알려져 있음.
- 아크릴은 비교적 넓은 온도 범위에서 사용이 가능하며, 우수한 기계적 성질인 내충격성, 내열성, 내한성, 전기적 성질을 균형 있게 갖추었으며, 현존하는 무색품의 플라스틱 가운데에서도 가장 무색성과 투명성이 높음. 가볍고 강인하며, 비중이 1.19이며 충격에 강하고 성형성, 가공성이 우수한 무독성, 장기간 옥외에 방치되어도 저항성이 좋아 물리적, 기계

적 성질이 거의 변화하지 않고, 장기간 견디며 내후성이 높다는 장점을 가짐.

- 유리는 심미적·기능적 특성이 뛰어나 쓰임이 다양하며 채광성이 우수하여 건축물 외관, 주방 조리도구 및 식기류 등 일상적으로 많이 쓰이는 투명한 재료이므로 선정하였음.
- 유리(Glass)는 주변의 환경과 잘 어울리며 깔끔하고 명료한 분위기를 주기 때문에 건축물 외관, 주방 조리도구 및 식기류 등에 많이 쓰이며 우수한 광학특성을 지니고 있음. 건축 시 건물의 외피를 구성하는 많은 부자재 중에서 일사취득, 일사차단, 빛의 투과 등 건물의 열 성능에 기여하는 바가 크고, 목적에 따라 폭넓은 사용이 이루어지고 있으며, 다양한 투과 특성을 지닌 여러 형태로 사용되는 소재임.
- 일반적인 유리의 가시광선 영역의 투과율은 81-90%, 태양복사열은 76% 내외로 알려져 있음. 유리의 두께가 두꺼워질수록 가시광선이나 태양복사열의 투과율, 차폐계수가 낮아짐.
- 광펄스 처리용기 재질확인 연구에 사용된 *E. coli* 는 *Escherichia coli* (ATCC 10538)은 한국 종균협회 부설 한국미생물보존센터(Korean Culture Center of Microorganism, KCCM)로부터 분양받은 균주임.
- TSA (Typical Soybean Agar, Difco Laboratories, Sparks, MD, USA)배지에 멸균생리식염수(NaCl 0.75%)로 단계적으로 희석한 *E. coli*를 100 μ l씩 분주하여 도달한 후, 투과율과 두께가 서로 다른 재질의 투명판을 덮어 광펄스 처리함.
- 이때 투명판은 1-3 mm 두께의 석영판, 아크릴판, 유리판으로, 플레이트 위에 덮어 광펄스 처리함. 광펄스 처리 후 36 $^{\circ}$ C에서 24-48시간 배양하여 형성된 집락수를 계수하여 사멸율을 CFU/g으로 나타냄.

(2) 광펄스 시스템을 이용한 처리 조건

- 본 연구에 사용된 광펄스 처리 장치는 전원공급부, 펄스발생기, 광원과 처리용기로 구성되어 있음. 장치에 사용된 전원은 AC 220 V, 50/60 Hz의 단상전원이며, 장치에서 발생 가능한 펄스 수는 1-50 pps (pulse per second)이고, 1회에 작동할 수 있는 최대 시간은 60분임.
- 광펄스 처리에 사용된 광원은 석영램프에 무수한 xenon gas가 충전되어져 있는 Heraeus Noblelight XAP series lamp (NL 4006, Heraeus Noblelight, Cambridge, UK)를 사용함. 광원에서 발생하는 빛의 세기는 광원에 인가되는 전압의 세기를 기준으로 실시함.
- 출력전압은 직류전압으로 0 - 1200 V의 전압을 출력할 수 있으며 전류는 1 A 미만으로

하였음.

- 장치는 frequency, duty ratio, treatment time을 볼 수 있도록 하였고, control button, safety switch, main power, setup, memory, upper, low button으로 구성되어 있음.
- Chamber의 재질에 관한 실험에서 광펄스 처리 조건은 전압 1000 V, 펄스 수 5 pps, distance 1.5 cm 처리시간은 0-360 초로 동일 조건으로 처리함.

(3) 실험 결과

- 광펄스 처리시 Chamber의 재질에 관한 실험 결과를 다음 그래프로 나타내었음.

(가) 석영 재질 처리용기의 *E. coli*균의 살균효과

- 석영판을 덮어 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60초 동안 광펄스 처리한 *E. coli* 균의 생존수를 계수하여 결과 값을 다음 그래프로 나타내었음.

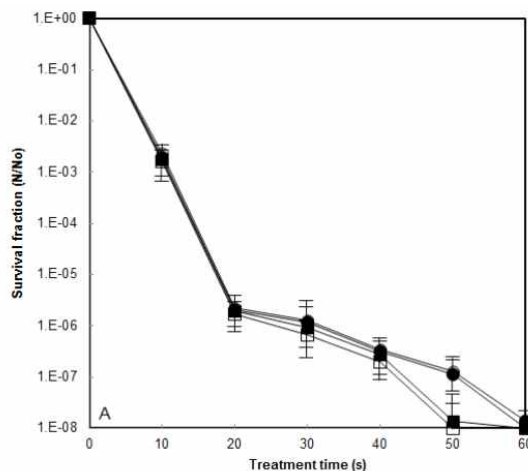


그림 4-31. 석영 처리용기의 *E. coli* 균의 살균효과 변화

(□) Control, (■) Quartz 1 mm, (●) Quartz 2 mm, (○) Quartz 3 mm

광펄스 처리 조건 : 1000V, 펄스 수 5 pps, distance : 1.5 cm

- *E. coli* 균의 초기 균수는 0 이었고 대조구의 경우 광펄스 처리 60초 후에 모두 사멸하였음.
- 석영판(quartz) 1 mm의 경우, *E. coli* 균의 감소율은 10초 처리시 2.8 log, 20초 처리시 5.7 log, 60초 처리 후에는 대조구와 동일한 8 log로 사멸하였음.
- 석영판 2, 3 mm의 경우 10-40초까지 석영판 1 mm와 유사한 살균효과를 나타내어서 석

영판의 두께가 1 mm에서 2, 3 mm로 두꺼워져도 살균효과의 감소율이 매우 낮은 것을 알 수 있음.

(나) 아크릴 재질 처리용기의 *E. coli*균의 살균효과

○ 아크릴판을 덮어 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180초 동안 광펄스 처리한 *E. coli* 균의 생균수를 계수하여 결과 값을 다음 그래프로 나타내었음.

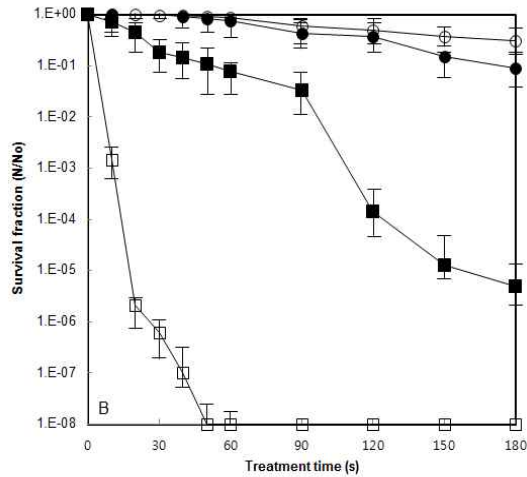


그림 4-32. 아크릴 처리용기의 *E. coli* 균의 살균효과 변화

(□) Control, (■) Acryl 1 mm, (●) Acryl 2 mm, (○) Acryl 3 mm
 광펄스 처리 조건 : 1000V, 펄스 수 5 pps, distance : 1.5 cm

- *E. coli* 균의 초기 균수는 0 이었고 대조구의 경우 광펄스 처리 60초 후에 모두 사멸하였음.
- 아크릴판(acryl) 1 mm의 경우에는 *E. coli* 균의 감소율이 180초 처리시 5 log 사멸하였고, 아크릴판 2 mm의 경우 180초 처리시에는 1 log 사멸하였으며, 아크릴판 3 mm의 경우 0.5 log 사멸하였음.
- 아크릴판은, 석영판과 달리 1 mm에서 2-3 mm로 두께가 증가했을 때 사멸효과가 현저히 떨어지는 것으로 보여 아크릴 재질로 IPL 처리 chamber 제작시 두께의 영향을 많이 받을 것으로 예상하였음.

(다) 유리 재질 처리용기의 *E. coli*균의 살균효과

○ 유리판을 덮어 0, 60, 120, 180, 240, 300, 360초 동안 광펄스 처리한 *E. coli* 균의 생균수를 계수하여 결과 값을 다음 그래프로 나타내었음.

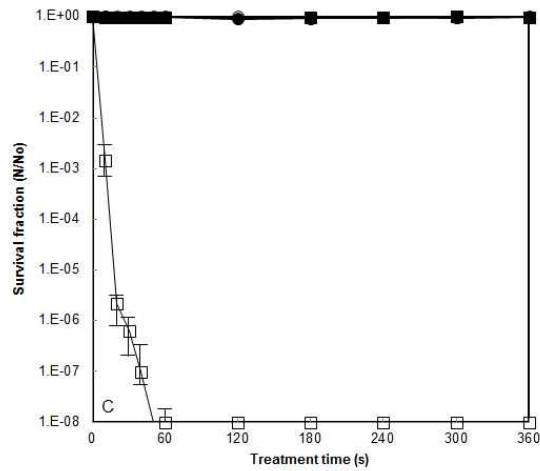


그림 4-33. 유리 처리용기의 *E. coli* 균의 살균효과 변화

(□) Control, (■) Glass 1 mm, (●) Glass 2 mm, (○) Glass 3 mm
 광펄스 처리 조건 : 1000V, 펄스 수 5 pps, distance : 1.5 cm

- *E. coli* 균의 초기 균수는 0 이었고 대조구의 경우 광펄스 처리 60초 후에 모두 사멸하였음.
- 유리판(glass)의 경우. 유리판 1, 2, 3 mm 모두 360초(10분) 동안 광펄스 처리 후에도 *E. coli* 균이 사멸하지 않은 것을 알 수 있음.
- 유리판은 육안으로 보여지는 투명함과 달리 실험결과 *E. coli* 균이 전혀 죽지 않아 사멸 효과가 없는 관계로 광펄스 처리용기의 재질로는 적합하지 않은 것으로 판단하였음.

(라) 처리용기의 재질에 따른 *E. coli*균의 살균효과 비교

○ 처리용기의 재질별 살균효과를 비교하기 위해 1 mm 두께의 판을 덮어 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180초 동안 광펄스 처리한 *E. coli* 균의 사멸률을 다음 그래프로 나타내었음.

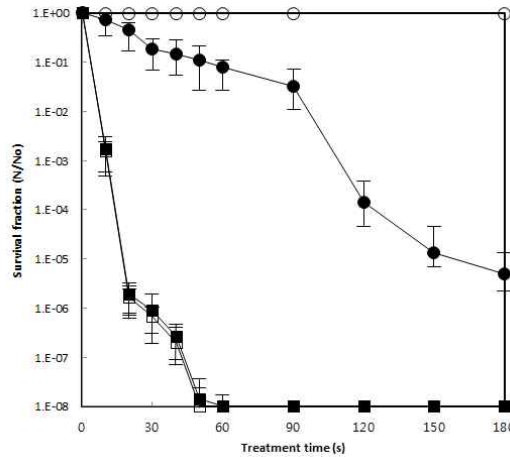


그림 4-34. 처리용기의 재질에 따른 *E. coli* 균의 살균효과 변화

(□) Control, (■) Quartz 1 mm, (●) Acryl 1 mm, (○) Glass 1 mm

광펄스 처리 조건 : 1000V, 펄스 수 5 pps, distance : 1.5 cm

- *E. coli* 균의 초기 균수는 0 이었고 대조구의 경우 광펄스 처리 60초 후에 모두 사멸하였음.
- 석영판 1 mm의 경우 60초 동안 광펄스 처리하였을 때 8 log가 사멸하였고, 아크릴판 1 mm의 경우 180초 동안 광펄스 처리하였을 때 5 log가 사멸하였으며, 유리판 1mm의 경우 300초 동안 광펄스 처리 후에도 살균효과가 전혀 나타나지 않았음.
- *E. coli* 균의 사멸율은 석영판 > 아크릴판 > 유리판 순으로 높게 나타남. 따라서 광펄스 처리용기의 재질로 석영판이 가장 적합한 것을 알 수 있음.

(4) 광펄스 처리용기 재질별 광도방사량 측정

- 광펄스 처리시 살균효과에 영향을 미치는 광도를 측정하기 위해서 *E. coli*균과 동일한 처리조건인 1000 V, 펄스 수 5 pps, 램프와의 거리 1.5 cm에서 파장별 광도방사량을 측정함.
- 광도 방사량계(HD. 2102.2, italy, padua)로 재질이 서로 다른 투명판(Acryl, Glass, Quartz)을 덮고, 광펄스 처리시 UV-A, UV-B, UV-C, RAD 값을 3회 반복 측정하여 그 평균값을 나타냄.

표 4-41. 광펄스 처리시 용기 재질(Chamber material)에 따른 광도방사량 측정값
(Unit : W/)

Wave Length		UV-C (220-280nm)	UV-B (280-315nm)	UV-A (315-400nm)	RAD (400-1050nm)		
Chamber materials	Control	8.588±0.267	6.764±0.167	3.264±0.051	4.672±0.280		
	quartz	1mm	6.315±0.272	6.789±0.381	3.200±0.055	4.655±0.153	
		2mm	4.460±0.185	6.364±0.217	3.165±0.114	4.530±0.123	
		3mm	3.799±0.079	6.831±0.312	3.191±0.152	4.385±0.190	
	Acryl	1mm	2.850±0.087	5.479±0.399	3.205±0.049	4.655±0.260	
		2mm	1.035±0.040	0.351±0.010	3.188±0.051	4.543±0.191	
		3mm	0.814±0.033	0.236±0.028	3.072±0.062	4.282±0.210	
		Glass	1mm	0.101±0.001	0.644±0.021	3.188±0.033	4.648±0.211
			2mm	0.079±0.002	0.457±0.039	3.327±0.067	4.624±0.171
			3mm	0.040±0.002	0.216±0.019	3.280±0.138	4.605±0.069

Mean±SD

Treatment Condition : 1000V, 5 pps, distance : 1.5 cm

- 자외선은 태양광선의 9%에 해당하며, 광도방사량계로 측정된 가시광선(Radiation, RAD)에서, UV-A, UV-B, UV-C로 갈수록 파장이 짧아짐. 빛은 파장이 짧을수록 에너지는 강하고 침투력(Permeability)은 약한 것으로 알려져 있음.
- 파장별로 184.9 nm는 오존 발생선(Ozone Produce), 253.7 nm는 살균선(Germicidel), 296.7 nm는 홍반 선(Erythermal), 365 nm 블랙라이트(UV curing and Black light), 403 nm는 경화선(Uv curing)의 용도로 알려져 있음.
- 가시광선보다 단위에너지(Energy level)가 높은 UV-C는 세균을 죽일 수도 있고, 화학 반응을 일으켜서 전혀 다른 물질을 합성할 수도 있으며, 공기 중의 산소를 오존이라는 물질로 만들만큼 에너지가 강함.
- 광펄스 처리시 서로 다른 재질의 투명판(100 mm × 100 mm × 1-3 mm)을 통과한 광도방사량을 측정한 결과, UV-A와 RAD는 1-3 mm 두께와 재질의 상관없이 일관적인 수치를 얻어, 유의적 차이가 없었음.
- 자외선 파장 중 살균효과가 가장 높은 것으로 알려진 UV-C는 아무 것도 덮지 않은 대조구의 경우, 8.588 W/m²이었고, 석영판 1 mm 의 경우 6.315 W/m², 석영판 2 mm의 경우 4.460 W/m², 석영판 3 mm의 경우 3.799 W/m²로, 석영판의 두께가 늘어남에 따라 투과율이 점점 낮아져 두께에 따른 유의적 차이가 있었음.
- UV-C의 투과율에서 아크릴판 1 mm은 2.850 W/m², 아크릴판 2 mm는 1.035 W/m², 아크릴판 3 mm는 0.814 W/m²로 두께가 늘어남에 따라 UV-C의 투과율이 현격히 낮아지는 경향을 보임.

- UV-C의 투과율에서 유리판은 대조구가 8.588 W/m 일 때, 유리판 1 mm는 0.101 W/m², 유리판 2 mm는 0.079 W/m², 유리판 3 mm는 0.040 W/m²으로 UV-C 파장의 빛이 거의 투과되지 않는 미미한 결과값을 나타내었음.
- 서로 다른 투명판의 UV-C의 투과율을 비교했을 때, 대조구 대비 석영판 1 mm는 73 %, 아크릴판 1mm의 경우, 34 %, 유리판 1 mm의 경우 1 % 수준으로 나타남. 석영 > 아크릴 > 유리 순으로 UV-C의 투과율이 높은 것을 알 수 있음.
- 광펄스 처리시 광도방사량계로 측정한 빛 에너지량 중에서 살균효과가 가장 높은 것으로 알려진 UV-C (파장범위 220-280 nm)의 투과율이 처리용기 재질을 달리한 *E. coli* 살균 실험결과 값과 매우 유사한 경향을 보였음.

나. Pilot scale 확장을 위한 광펄스 살균시스템 및 분체시료 살균을 위한 석영 처리 용기의 설계 및 제작

- 1, 2차년도에 제작했던 처리 용기를 바탕으로 개선, 보완하여 Pilot scale의 광 펄스 살균 시스템으로 확장할 때 적용 가능한 분체시료 처리 용기를 제작하고 예비 테스트를 진행하였음.
- 광펄스 처리시 Chamber의 재질에 관한 실험결과에서 가장 효과가 좋은 석영 소재로 Chamber를 제작하였음. Chamber의 형태는 분말시료의 특성을 고려하여 1, 2차년도에 걸쳐 제작한 회전형 원통과 Recycling fluidized 두 가지로 하였음.

(1) Recycling fluidized 석영 처리용기

- Recycling fluidized 처리용기는 1.5 mm 두께의 석영 재질을 이용하여 설계되었음.
- 석영은 제작 후에 용기 형태를 수정하기 어렵기 때문에, 동일한 형태의 유리 처리용기를 만들어 시료가 내부에서 원활히 부유하도록 세부적인 길이와 형태의 설계를 보완하는 예비테스트를 진행하였음.

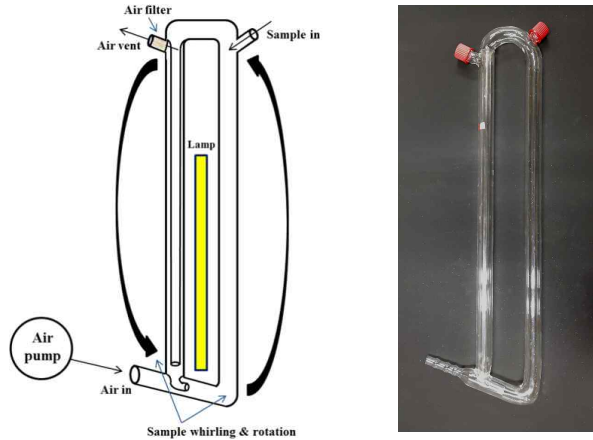


그림 4-35. Recycling fluidized 석영 처리용기

- Recycling fluidized 석영 처리용기는 시료 주입구, air in, airvent, air filter, 순환을 위한 recycling 구조, air vent로의 시료 유출을 방지하고 공기만 빠져나갈 수 있도록 한 이중 관 형태로 설계되어 두 관사이의 빈 공간에는 광원인 lamp를 설치할 수 있도록 구성되어 있음.
- 시료 주입구를 통해 공급된 시료는 처리 용기 아래 부분에서 air pump에서 발생하여 주입된 공기에 의해 분산하면서 부유하게 되고 중심부에 설치된 inside lamp의 빛과 mirror acryl에서 반사된 빛을 고르게 받도록 하였음.

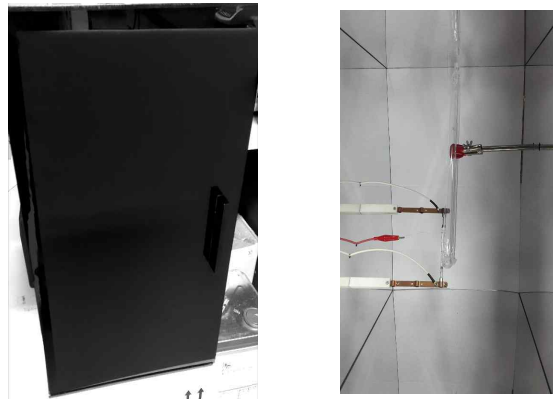


그림 4-36. Inside mirror 광펄스 시스템 외관과 Recycling fluidized 처리용기를 설치한 내부 사진

- Recycling fluidized 석영 처리 용기는 자체 제작한 inside mirror 광펄스 시스템 내부에 고정하여 사용하도록 하였음.lamp와 처리용기를 고정하도록 설계되었음. 이때 고정 각도는 예비 테스트를 진행했을 때 주입된 air가 가장 원활히 순환하는 최적 각도인 60℃로 tilt하도록 제작하였음.
- 아크릴 박스는 전면이 미닫이 문 형태를 띄고, 내부의 여섯 면에 모두 반사판 역할을 할 mirror acryl을 붙여 광펄스 시스템의 zenon lamp에서 발생하는 강한 빛이 사방으로 반

사되도록 하였고, 외부면은 검은색 아크릴로 내부에서 발산하는 빛이 외부로 빠져나가는 것을 차단하도록 하였음 (그림 4-36).

(2) 회전형 원통 석영 처리용기

- 회전형 원통 석영 처리용기는 1차년도에 제작하여 2차년도 실험에 사용한 투명 아크릴 재질의 원통형태를 보완하여 제작하였음. 처리용기의 크기는 lamp에서 나온 빛이 시료에 더 가까이 닿도록 처리용기와 처리용기와 결합해 사용하는 Inside mirror chamber를 3/4 크기로 줄였음.
- 시료를 시료 투입구를 통해 넣은 후 air filter와 마개로 air vent를 막고 air pump를 작동시키고 flow meter로 공기의 양을 조절하여 처리 용기 내에 공기를 공급하게 됨.
- 회전형 원통 처리용기는 Recycling fluidized 처리용기와 동일한 1.5 mm 두께의 석영재질로 설계함.
- 원통 형태의 처리 용기에 시료를 나선형으로 회전시켜 고르게 섞이면서 시료 전체가 빛을 고르게 받을 수 있도록 처리용기 아래쪽에 wind guide를 설치하였으며, 외부에서 air pump를 이용하여 10L/min-50 L/min의 유량으로 처리용기에 air를 공급하여 내부의 시료가 전체적으로 유동할 수 있도록 하였음.
- 분체식품의 특성을 고려하여 Flow meter에서 나온 공기는 air guide를 통해 처리 용기 내에 공급되고 air guide에 있는 holes를 통해서 공급되는 강한 air에 의해 처리 용기 아랫부분에 위치한 시료가 나선형으로 원통 내부를 회전하면서 전체적으로 잘 섞이게 됨.

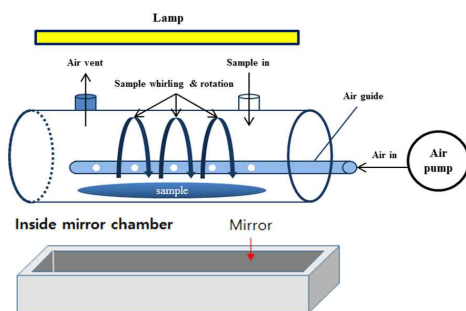


그림 4-37. 회전 원통형 석영 처리용기와 Inside mirror chamber 모식도와 사진

다. 석영 처리용기 형태에 따른 광펄스 살균효과

(가) Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 일반세균 감소효과

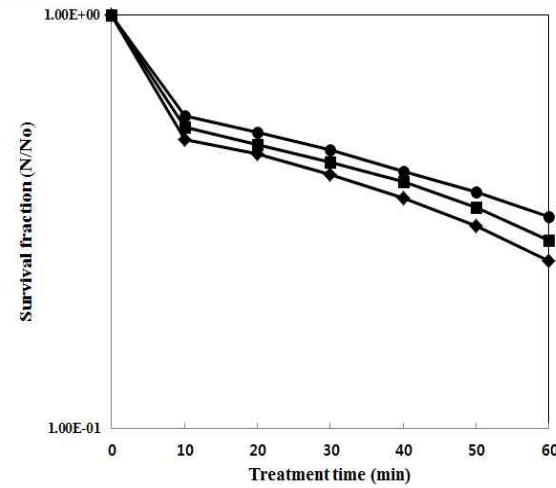


그림 4-38. Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 흑후추가루의 일반세균 총균수의 변화

광펄스 처리조건 : 600 V, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

● 5 pps, ■ 15 pps, ◆ 25 pps

- 흑후추가루의 일반세균의 초기 생균수는 1.84×10^6 에서 5 pps 60분 처리시 6.33×10^5 으로, 9.53×10^5 에서 15 pps 60분 처리시 2.71×10^5 , 1.35×10^6 에서 25 pps 60분 처리시 3.43×10^5 으로 각각 펄스 수가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 일반 세균수는 펄스수 5 pps에서 60분 처리시 67 % (0.48 log), 15 pps에서 72 % (0.55 log), 25 pps에서 75% (0.60 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 펄스 수에 따라 5 pps와 15 pps보다 25 pps에서 조금 더 큰 감균 효과를 보임. 따라서 펄스 수가 증가할수록 사멸효과도 증가하는 것을 알 수 있음.
- Cheon&Lee에 의하면 오존을 이용하여 후추의 초기 미생물에 미치는 영향을 조사한 결과 오존처리 시간이 길수록 미생물이 전반적으로 감소하는 경향을 나타내었으며, 흑후추의 경우 호기성 전 세균의 초기생균수 2.5×10^6 일 때 90분 반응시켰을 때 9.5×10^6 로 약 62% 감소율을 나타내었음. 펄스 수가 늘어날수록 균수가 더 감소할 것으로 예상함.

(나) Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 효모 및 곰팡이 감소효과

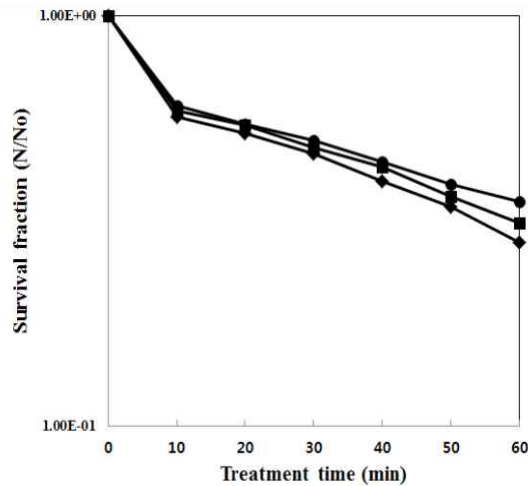


그림 4-39. Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 흑후추가루의 효모 및 곰팡이의 변화

광펄스 처리조건 : 600 V, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

● 5 pps, ■ 15 pps, ◆ 25 pps

- 흑후추가루의 효모 및 곰팡이의 초기 생균수는 2.96×10^6 에서 5 pps 60분 처리시 1.04×10^6 으로, 4.23×10^6 에서 15 pps 60분 처리시 1.32×10^6 , 3.76×10^6 에서 25 pps 60분 처리시 1.05×10^6 으로 각각 펄스 수가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 효모 및 곰팡이 수는 펄스수 5 pps에서 60분 처리시 65 % (0.45 log), 15 pps에서 69 % (0.51 log), 25 pps에서 72% (0.55 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 펄스 수에 따라서 5 pps와 15 pps보다 25 pps에서 조금 더 큰 감균 효과를 보였으며, 25pps에서 감소율이 가장 높은 것으로 나타남. 펄스 수가 증가함에 따라 미생물의 사멸 효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- 광펄스 600V, 펄스 수 25pps, 60분 처리했을 때 동일한 처리조건에서 흑후추의 일반세균은 75%, 효모 및 곰팡이는 72% 사멸하였음. 흑후추의 일반세균이 효모 및 곰팡이보다 사멸효과가 높은 것으로 보여짐.

(다) Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 *B. cereus* 감소효과

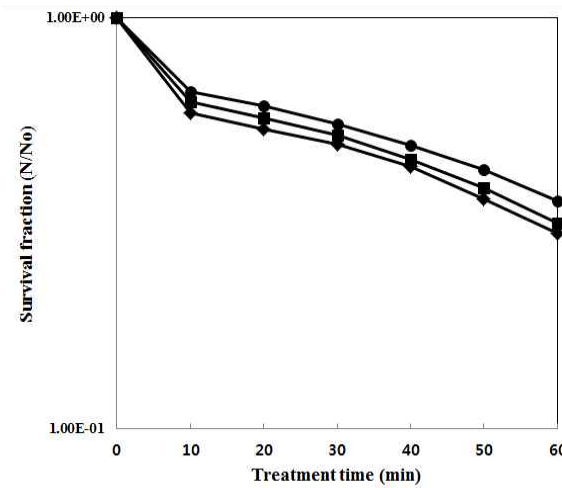


그림 4-40. Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 흑후추가루의 *B. cereus*의 변화

광펄스 처리조건 : 600 V, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

● 5 pps, ■ 15 pps, ◆ 25 pps

- 흑후추가루의 *B. cereus*의 초기 생균수는 1.25×10^4 에서 5 pps 60분 처리시 4.50×10^3 으로, 1.34×10^4 에서 15 pps 60분 처리시 4.23×10^3 , 1.08×10^4 에서 25 pps 60분 처리시 3.23×10^3 으로 각각 펄스 수가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 *B. cereus* 수는 펄스수 5 pps에서 60분 처리시 64 % (0.44 log), 15 pps에서 68 % (0.49 log), 25 pps에서 70% (0.52 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 펄스 수에 따라서 5 pps와 15 pps보다 25 pps에서 조금 더 큰 감균 효과를 보였음. 따라서 펄스 수가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용하여 광펄스 처리한 흑후추가루의 경우 일반세균의 감균율이 75 %로 가장 높았고, 그 다음이 효모 및 곰팡이 72 %, *B. cereus*는 70 %로 가장 낮았음.

(라) Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 일반세균 감소효과

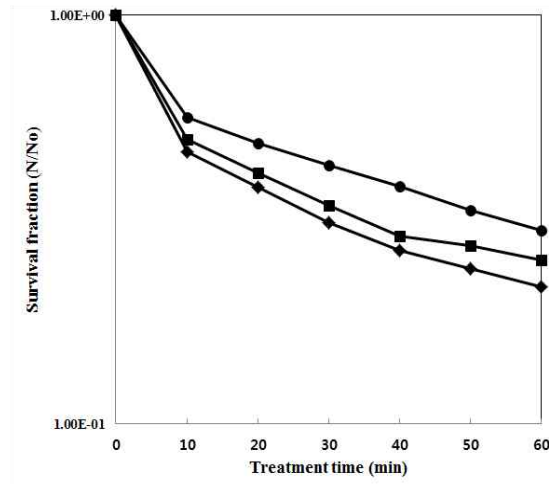


그림 4-41. Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 백후추가루의 일반세균 총균수의 변화

광펄스 처리조건 : 600 V, distance 1.5 cm, particle size 400 μ m

● 5 pps, ■ 15 pps, ◆ 25 pps

- 백후추가루의 일반세균의 초기 생균수는 4.06×10^4 에서 5 pps로 60분 처리시 1.21×10^4 으로, 9.13×10^3 에서 15 pps로 60분 처리시 2.30×10^3 , 4.86×10^3 에서 25 pps로 60분 처리시 1.06×10^3 으로 각각 펄스 수가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 일반 세균수는 펄스수 5 pps에서 60분 처리시 70 % (0.52 log), 15 pps에서 75 % (0.60 log), 25 pps에서 78% (0.66 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 펄스 수에 따라서 5 pps와 15 pps보다 25 pps에서 조금 더 큰 감균 효과를 보임. 따라서 펄스 수가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- 600V 25 pps로 60분 광펄스 처리시 백후추의 일반 세균 감균율은 78 %, 흑후추가루는 75%로 나타남. 흑후추와 비교하였을 때, 백후추가루의 살균효과가 약간 더 높은 것으로 나타남.

(마) Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 효모 및 곰팡이 감소효과

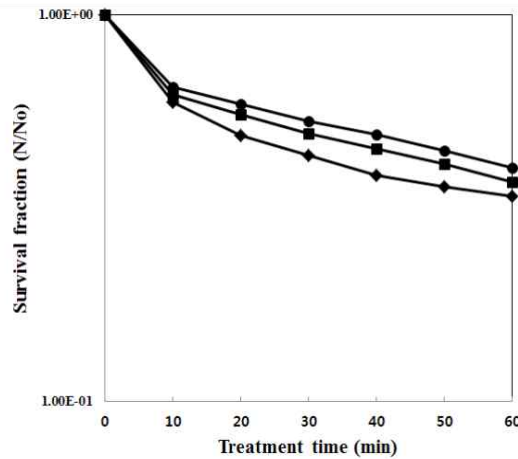


그림 4-42. Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 백후추가루의 효모 및 곰팡이의 변화

광펄스 처리조건 : 600 V, distance 1.5 cm, particle size 400 μ m

● 5 pps, ■ 15 pps, ◆ 25 pps

- 백후추가루의 효모 및 곰팡이의 초기 생균수는 3.77×10^6 에서 5 pps 60분 처리시 1.51×10^3 으로, 3.67×10^6 에서 15 pps 60분 처리시 1.35×10^3 , 4.57×10^3 에서 25 pps 60분 처리시 1.56×10^3 으로 각각 펄스 수가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 효모 및 곰팡이 수는 펄스수 5 pps에서 60분 처리시 60 % (0.40 log), 15 pps에서 63 % (0.43 log), 25 pps에서 66% (0.47 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 펄스 수에 따라서 5 pps와 15 pps보다 25 pps에서 조금 더 큰 감균 효과를 보임. 따라서 펄스 수가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- 동일 조건하에 60분 처리시 백후추가루의 일반세균의 사멸율은 78 %, 효모 및 곰팡이 사멸율은 66 %로 일반세균이 효모 및 곰팡이보다 더 사멸율이 높은 것으로 나타남.
- 흑후추가루와 비교했을 때, 600V, 25pps, 60분 처리시 효모 및 곰팡이가 70% 감소하였고, 백후추가루의 경우 66% 로, 백후추가루보다 흑후추가루의 효모 및 곰팡이가 사멸효과가 높은 것을 알 수 있음.

(바) Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 *B. cereus* 감소효과

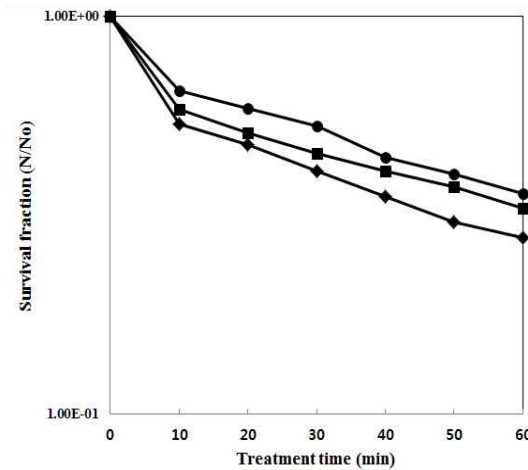


그림 4-43. Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 백후추가루의 *B. cereus*의 변화

광펄스 처리조건 : 600 V, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

● 5 pps, ■ 15 pps, ◆ 25 pps

- 백후추가루의 *B. cereus*의 초기 생균수는 9.13×10^4 에서 5 pps 60분 처리시 3.26×10^3 으로, 1.05×10^4 에서 15 pps 60분 처리시 3.46×10^3 , 1.33×10^4 에서 25 pps 60분 처리시 3.70×10^3 으로 각각 펄스 수가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 *B. cereus* 수는 펄스수 5 pps에서 60분 처리시 64 % (0.44 log), 15 pps에서 67 % (0.48 log), 25 pps에서 72% (0.55 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 펄스 수에 따라서 5 pps와 15 pps보다 25 pps에서 조금 더 큰 감균 효과를 보임. 따라서 펄스 수가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- 600V, 25pps로 60분 처리시 백후추가루의 일반세균의 사멸율은 78 %, 효모 및 곰팡이 사멸율은 66 %로 *B. cereus*의 사멸율은 72%로 일반세균, *B. cereus*, 효모 및 곰팡이 순으로 사멸효과가 높은 것으로 나타남.

(사) 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 일반세균 감소효과

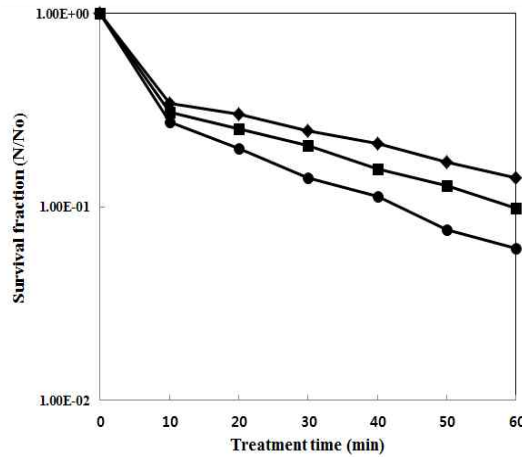


그림 4-44. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 흑후추가루의 일반세균 총균수의 변화

광펄스 처리조건 : 1000 V, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 5 pps, ■ 15 pps, ● 25 pps

- 흑후추가루의 일반세균의 초기 생균수는 2.08×10^6 에서 5 pps 60분 처리시 1.00×10^6 으로, 2.94×10^5 에서 15 pps 60분 처리시 1.74×10^5 , 1.56×10^6 에서 25 pps 60분 처리시 9.53×10^4 으로 각각 펄스 수가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 흑후추가루의 일반 세균수는 펄스수 5 pps에서 60분 처리시 86 % (0.85 log), 15 pps에서 90 % (1.00 log), 25 pps에서 94% (1.22 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 펄스 수에 따라서 5 pps와 15 pps보다 25 pps에서 조금 더 큰 감균 효과를 보임. 따라서 펄스 수가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.

(아) 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 효모 및 곰팡이 감소효과

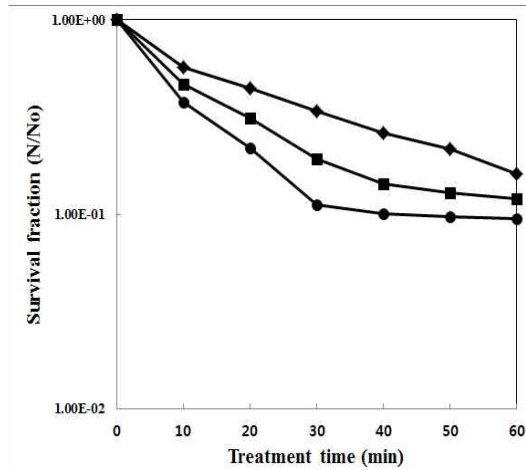


그림 4-45. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 흑후추가루의 효모 및 곰팡이의 변화

광펄스 처리조건 : 1000 V, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 5 pps, ■ 15 pps, ● 25 pps

- 흑후추가루의 효모 및 곰팡이의 초기 생균수는 6.16×10^6 에서 5 pps 60분 처리시 1.00×10^6 으로, 5.83×10^5 에서 15 pps 60분 처리시 7.00×10^5 , 5.03×10^6 에서 25 pps 60분 처리시 4.80×10^5 으로 각각 펄스 수가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 흑후추가루의 효모 및 곰팡이 수는 펄스수 5 pps에서 60분 처리시 84 % (0.80 log), 15 pps에서 88 % (0.92 log), 25 pps에서 90 % (1.00 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 5 pps, 15 pps, 25 pps 로 펄스 수가 높아질수록 에너지양이 커지기 때문에 펄스 수가 높을수록 사멸효과가 높아짐

(자) 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 *B. cereus* 감소효과

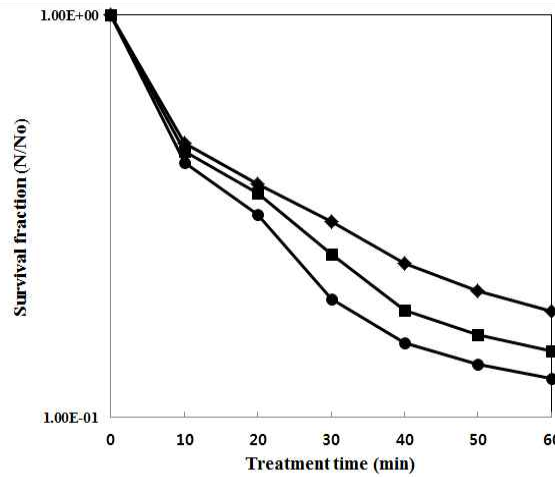


그림 4-46. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 흑후추가루의 *B. cereus*의 변화

광펄스 처리조건 : 1000 V, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 5 pps, ■ 15 pps, ● 25 pps

- 흑후추가루의 *B. cereus*의 초기 생균수는 1.44×10^4 에서 5 pps 60분 처리시 2.63×10^3 으로, 1.77×10^4 에서 15 pps 60분 처리시 2.58×10^3 , 1.14×10^4 에서 25 pps 60분 처리시 1.43×10^3 으로 각각 펄스 수가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 흑후추가루의 *B. cereus* 수는 펄스수 5 pps에서 60분 처리시 82 % (0.74 log), 15 pps에서 85 % (0.82 log), 25 pps에서 87% (0.86 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 펄스 수에 따라서 5 pps와 15 pps보다 25 pps에서 조금 더 큰 감균 효과를 보임. 따라서 펄스 수가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.

(차) 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 일반세균 감소효과

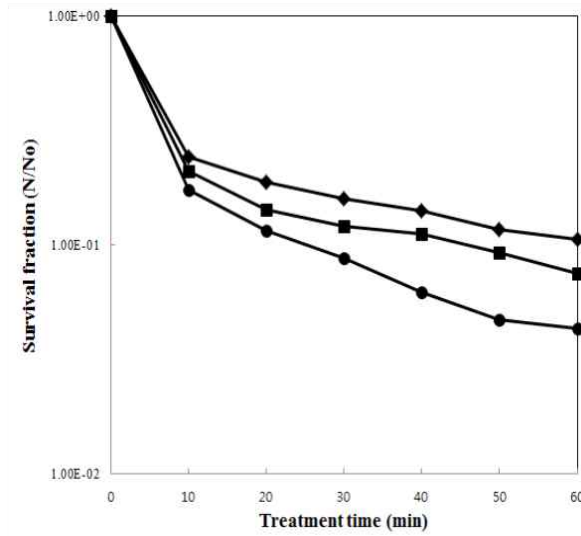


그림 4-47. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 백후추가루의 일반세균 총균수의 변화

광펄스 처리조건 : 1000 V, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 5 pps, ■ 15 pps, ● 25 pps

- 백후추가루의 일반세균의 초기 생균수는 1.68×10^8 에서 5 pps 60분 처리시 1.78×10^3 으로, 1.85×10^4 에서 15 pps 60분 처리시 1.39×10^3 , 6.60×10^4 에서 25 pps 60분 처리시 2.84×10^3 으로 각각 펄스 수가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 백후추가루의 일반 세균수는 펄스수 5 pps에서 60분 처리시 89 % (0.96 log), 15 pps에서 93 % (1.15 log), 25 pps에서 96% (1.40 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 펄스 수에 따라서 5 pps와 15 pps보다 25 pps에서 조금 더 큰 감균 효과를 보임. 따라서 펄스 수가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.

(카) 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 효모 및 곰팡이 감소효과

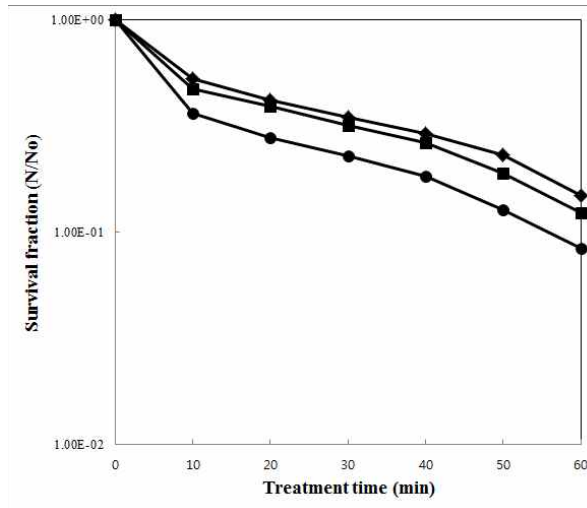


그림 4-48. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 백후추가루의 효모 및 곰팡이의 변화

광펄스 처리조건 : 1000 V, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 5 pps, ■ 15 pps, ● 25 pps

- 백후추가루의 효모 및 곰팡이의 초기 생균수는 4.70×10^3 에서 5 pps 60분 처리시 7.00×10^2 으로, 5.53×10^3 에서 15 pps 60분 처리시 6.83×10^2 , 5.86×10^3 에서 25 pps 60분 처리시 4.90×10^2 으로 각각 펄스 수가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 백후추가루의 효모 및 곰팡이 수는 펄스수 5 pps에서 60분 처리시 85 % (0.82 log), 15 pps에서 88 % (0.92 log), 25 pps에서 92 % (1.10 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 펄스 수에 따라서 5 pps와 15 pps보다 25 pps에서 조금 더 큰 감균 효과를 보임. 따라서 펄스 수가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- 펄스 수가 높아질수록 에너지양이 커지기 때문에 펄스 수가 높을수록 사멸효과가 높아짐

(파) 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 *B. cereus* 감소효과

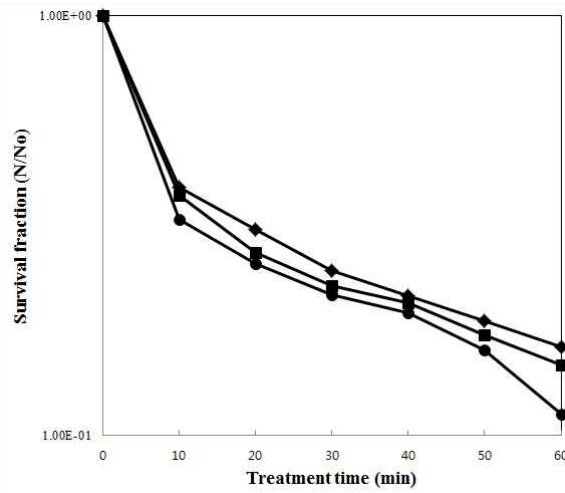


그림 4-49. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 백후추가루의 *B. cereus*의 변화

광펄스 처리조건 : 1000 V, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 5 pps, ■ 15 pps, ● 25 pps

- 백후추가루의 *B. cereus*의 초기 생균수는 2.00×10^8 에서 5 pps 60분 처리했을 때 3.23×10^3 으로, 1.41×10^4 에서 15 pps 60분 처리했을 때 2.07×10^3 , 1.14×10^4 에서 25 pps 60분 처리했을 때 1.28×10^3 으로 각각 펄스 수가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 백후추가루의 *B. cereus* 수는 펄스수 5 pps에서 60분 처리시 84 % (0.80 log), 15 pps에서 85 % (0.82 log), 25 pps에서 89% (0.96 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 펄스 수에 따라서 5 pps와 15 pps보다 25 pps에서 감균효과가 점점 더 높아짐. 따라서 펄스 수가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.

(4) 처리용기 형태에 따른 흑후추가루 살균효과 비교

(가) 석영 처리용기 형태에 따른 흑후추가루의 일반세균 살균효과 비교

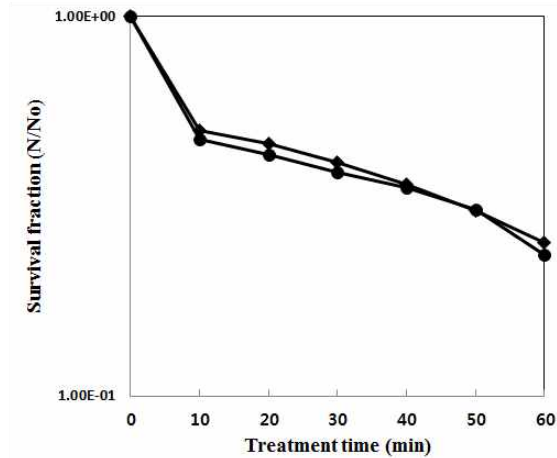


그림 4-50. 석영 처리용기 형태에 따른 흑후추가루의 일반세균 총균수의 변화

광펄스 처리조건 : 600 V, 25pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ Recycling fluidized 석영 처리용기, ● 회전형 원통 석영 처리용기

- 600V, 25 pps, 60분간 광펄스 처리한 흑후추가루의 일반세균의 초기 생균수는 회전형 원통 석영 처리용기에서 1.68×10^6 에서 3.96×10^5 으로 줄어들었고, Recycling fluidized 석영 처리용기에서 1.35×10^6 에서 3.43×10^5 으로 두 챔버 다 처리시간이 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 일반세균 수는 60분 처리시 76 % (0.62 log)로 나타났고, Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 일반세균 수는 60분 처리시 75 % (0.60 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 두 처리용기 간의 형태에 따른 사멸율의 차이는 크지 않았으나, 일반세균의 경우 회전형 원통 석영 처리용기가 Recycling fluidized 석영 처리용기보다 조금 더 사멸효과가 있는 것으로 나타남.

(나) 석영 처리용기 형태에 따른 흑후추가루의 효모 및 곰팡이 살균효과 비교

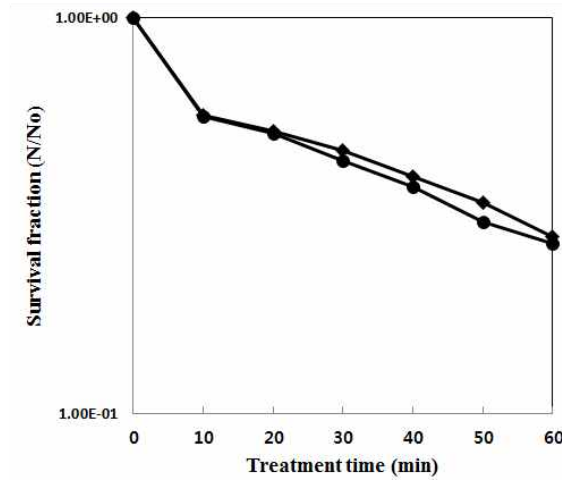


그림 4-51. 석영 처리용기 형태에 따른 흑후추가루의 효모 및 곰팡이의 변화

광펄스 처리조건 : 600 V, 25pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μ m

◆ Recycling fluidized 석영 처리용기, ● 회전형 원통 석영 처리용기

- 흑후추가루의 효모 및 곰팡이의 초기 생균수는 60분처리시 회전형 원통 석영 처리용기에서 4.36×10^6 에서 1.17×10^6 으로, Recycling fluidized 석영 처리용기에서 3.77×10^6 에서 1.05×10^6 으로 감소하였음. 두 경우 다 처리시간이 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 효모 및 곰팡이 수는 60분 처리시 73 % (0.57 log)로 나타났고, Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 효모 및 곰팡이 수는 60분 처리시 72 % (0.55 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 두 처리용기 간의 사멸율 차이는 회전형 원통 석영 처리용기가 73%, Recycling fluidized 석영 처리용기가 72 %로 1 % 차이지만, 회전형 원통 석영 처리용기가 조금 더 사멸효과가 있는 것으로 확인됨.

(다) 석영 처리용기 형태에 따른 흑후추가루의 *B. cereus* 살균효과

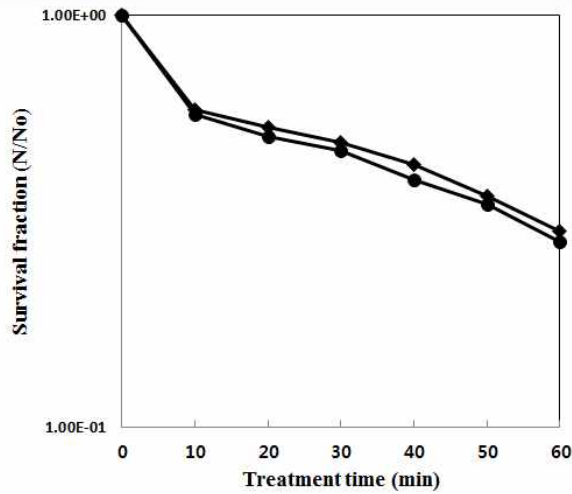


그림 4-52. 석영 처리용기 형태에 따른 흑후추가루의 *B. cereus* 수의 변화

광펄스 처리조건 : 600 V, 25pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ Recycling fluidized 석영 처리용기, ● 회전형 원통 석영 처리용기

- 흑후추가루의 *B. cereus*의 초기 생균수는 2.00×10^4 에서 회전형 원통 석영 처리용기에서 60분 처리시 5.63×10^3 으로, 1.08×10^4 에서 Recycling fluidized 석영 처리용기에서 60분 처리시 3.23×10^3 으로 두 챔버 모두 처리시간이 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 *B. cereus* 수는 60분 처리시 72 % (0.55 log)로 나타났고, Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 흑후추가루의 *B. cereus* 수는 60분 처리시 70 % (0.52 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 일반세균, 효모 및 곰팡이, *B. cereus* 모두 전반적으로 회전형 원통 석영 처리용기가 Recycling fluidized 석영 처리용기보다 조금 더 사멸효과가 있는 것으로 확인됨. 두 처리용기의 사멸효과는 대체적으로 거의 유사한 편이지만, 반사판인 mirror acryl이 보다 가까이 있는 원통형 석영 처리용기가 1-2% 정도 반사효과가 더 큰 것으로 예상함.

(라) 석영 처리용기 형태에 따른 백후추가루의 일반세균 살균효과

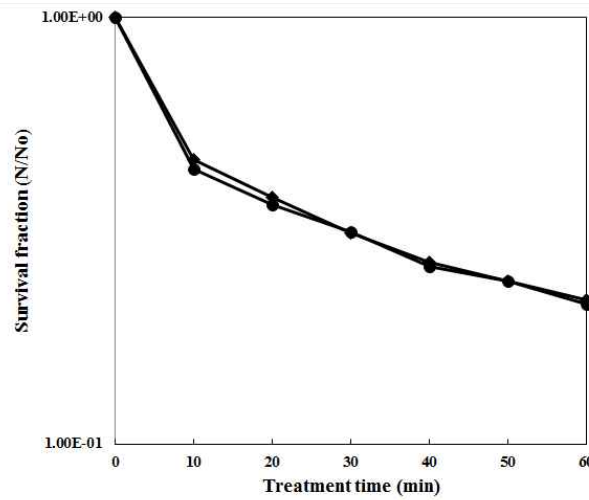


그림 4-53. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 백후추가루의 일반세균 총균수의 변화

광펄스 처리조건 : 600 V, 25pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ Recycling fluidized 석영 처리용기, ● 회전형 원통 석영 처리용기

- 백후추가루의 일반세균의 초기 생균수는 8.10×10^8 에서 회전형 원통 석영 처리용기에서 60분 처리시 1.72×10^3 으로, 4.87×10^3 에서 Recycling fluidized 석영 처리용기에서 60분 처리시 1.06×10^3 으로 두 챔버다 처리시간이 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 일반세균 수는 60분 처리시 79 % (0.68 log)로 나타났고, Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 일반세균 수는 60분 처리시 78 % (0.66 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 처리용기의 형태에 따른 사멸율은 거의 유사하였음. 60분 처리시 회전형 원통 석영 처리용기가 Recycling fluidized 석영 처리용기보다 조금 더 사멸효과가 있는 것으로 확인됨.

(마) 석영 처리용기 형태에 따른 백후추가루의 효모 및 곰팡이 살균효과

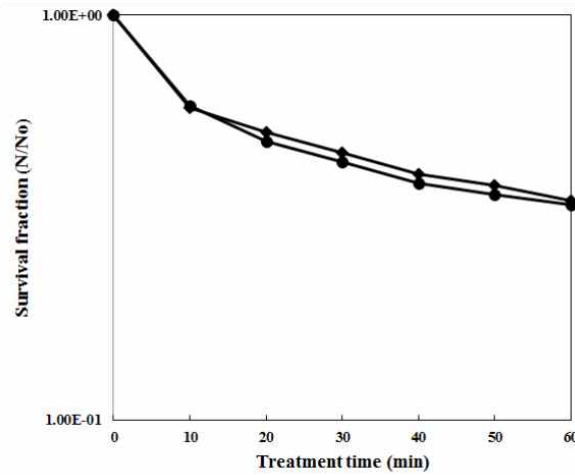


그림 4-54. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 백후추가루의 효모 및 곰팡이의 변화

광펄스 처리조건 : 600 V, 25pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ Recycling fluidized 석영 처리용기, ● 회전형 원통 석영 처리용기

- 백후추가루의 효모 및 곰팡이의 초기 생균수는 4.33×10^4 에서 회전형 원통 석영 처리용기에서 60분 처리시 1.51×10^3 으로, 4.57×10^3 에서 Recycling fluidized 석영 처리용기에서 60분 처리시 1.56×10^3 으로 두 챔버다 처리시간이 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 효모 및 곰팡이 수는 60분 처리시 66 % (0.47 log)로 나타났고, Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 효모 및 곰팡이 수는 60분 처리시 65 % (0.46 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 두 처리용기 간의 형태에 따른 사멸효과의 유사하였으나, 회전형 원통 석영 처리용기가 Recycling fluidized 석영 처리용기보다 조금 더 사멸효과가 있는 것으로 나타남.

(바) 석영 처리용기 형태에 따른 백후추가루의 *B. cereus* 살균효과

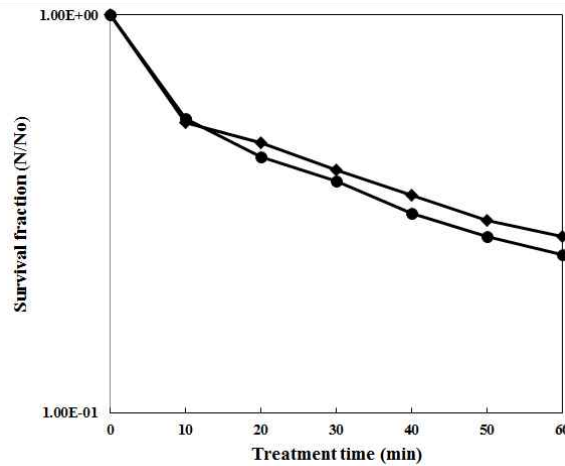


그림 4-55. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 펄스 수에 따른 백후추가루의 *B. cereus* 수의 변화

광펄스 처리조건 : 600 V, 25pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ Recycling fluidized 석영 처리용기, ● 회전형 원통 석영 처리용기

- 백후추가루의 *B. cereus*의 초기 생균수는 1.46×10^4 에서 회전형 원통 석영 처리용기에서 60분 처리시 3.63×10^3 으로, 1.33×10^4 에서 Recycling fluidized 석영 처리용기에서 60분 처리시 3.70×10^3 으로 두 챔버다 처리시간이 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 *B. cereus* 수는 60분 처리시 75 % (0.60 log)로 나타났고, Recycling fluidized 석영 처리용기를 이용한 백후추가루의 *B. cereus* 수는 60분 처리시 72 % (0.55 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 두 처리용기 간의 형태에 사멸효과는 거의 유사하나, 전반적으로 회전형 원통 석영 처리용기가 Recycling fluidized 석영 처리용기보다 더 사멸효과가 높은 것으로 나타남.

7. 비가열 살균 품목을 확대하기 위한 품목별 살균조건 및 가이드라인 확립

가. 시료별 살균 조건 및 가이드라인 설정

(1) 실험재료

- 시료별 살균 조건을 알아보기 위해 1, 2차년도 분석에 사용했던 시료 중 일반세균의 오염도가 높았던 품목 6종(후추 2종, 생강 1종, 계피 1종, 산초 1종, 울금 1종)을 선택하여 시료로 사용하였음.

- 전주 N시장에서 통후추형태의 흑후추와 생강, 계피, 산초, 강황을 구입함. 백후추가루는 전주 H마트에서 벌크로 판매하는 백후추를 구매하였음.
- 시료 중 흑후추, 생강, 계피, 강황은 광펄스 처리 전, Warning Blender (HGB25E, Warning Laboratory Science, Torrington, CT, USA)로 분쇄한 후, 36 mesh(400 μ m)의 sieve를 이용하여 입자의 크기를 균일하게 하여 사용하였음. 백후추와 산초 분말은 일정한 크기의 고른 분말 형태로 판매되는 것으로 sieving을 하지 않고 그대로 시료로 사용하였음.
- 품목별 살균 조건 조사에 사용한 시료는 구매한 곳, 시료의 종류, 시료의 형태, 원산지로 분류하여 표로 나타내었음.

표 4-42. 후추, 생강, 계피, 산초, 강황에 대한 분류
(시료 구분, 구매한 장소, 시료의 종류, 시료의 형태, 원산지)

	구매한 장소	시료의 종류	시료의 형태	원산지
a	남부시장, H마트	흑후추	통후추	말레이시아
a'	홈플러스(맷돌표)	백후추	가루후추	베트남
b	남부시장, 민속사랑피부사랑	생강	생강분말	국내산
c	남부시장, 헤민당한약국	계피	통계피	베트남산
d	남부시장, 우리약조건강원	산초	산초분말	중국산
e	남부시장, 헤민당한약국	강황	강황절편	중국산

(2) 빛 에너지 세기에 따른 품목별 살균 효과

- 실험에 사용된 빛의 세기는 600 V, 800 V, 1000 V로 전압이 높을수록 에너지 밀도가 높아지며, 빛의 세기가 커짐.
- 광펄스 처리시 빛의 세기를 제외한 다른 처리조건은 동일하게 하였음. 상대적으로 사멸효과가 약간 더 높은 회전형 원통 석영 처리챔버를 사용하였음. 광펄스 처리 조건은 펄스 수 25 pps, 시료와 램프사이의 거리 1.5 cm, 처리시간은 0, 10, 20, 30, 40, 50 60 min으로 동일하게 처리하여 대상 미생물의 사멸효과를 관찰함.

(가) 흑후추가루의 일반세균 감소효과

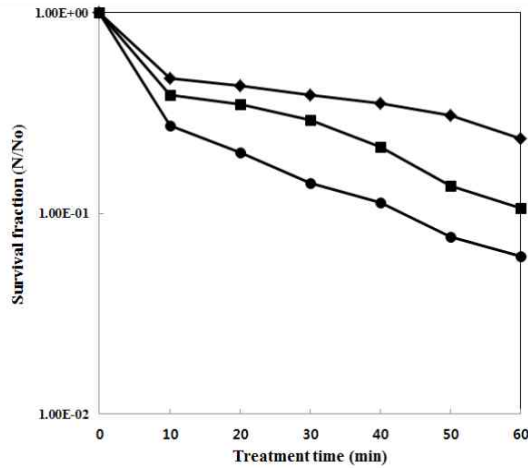


그림 4-56. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 흑후추가루의 일반세균 총균수의 변화

광펄스 처리조건 : 25 pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μ m

◆ 600 V, ■ 800 V, ● 1000 V

- 흑후추가루의 일반세균의 초기 생균수는 1.68×10^6 에서 600V 60분 처리시 3.96×10^5 으로, 1.85×10^6 에서 800V 60분 처리시 1.96×10^5 , 1.56×10^6 에서 1000V 60분 처리시 9.53×10^4 으로 각각 빛의 세기가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 흑후추가루의 일반 세균수는 빛의 세기 600V에서 60분 처리시 76 % (0.62 log), 800V에서 89 % (0.96 log), 1000V 에서 94% (1.22 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 빛의 세기에 따라서 600V와 800V보다 1000V에서 가장 큰 감균 효과를 보임. 펄스 수의 증가보다 빛의 세기가 증가함에 따라 사멸효과가 크게 높아지는 것을 알 수 있음.

(나) 흑후추가루의 효모 및 곰팡이 감소효과

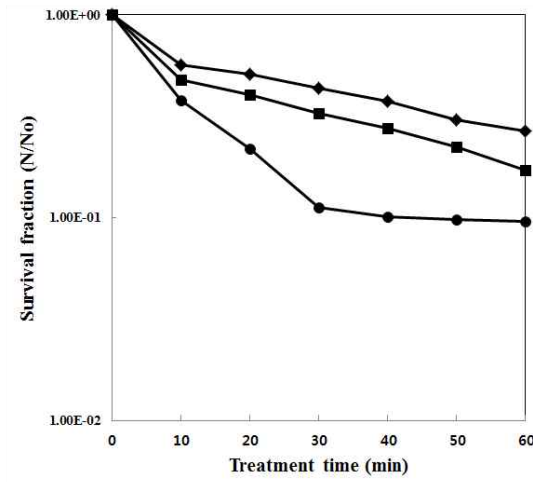


그림 4-57. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 흑후추가루의 효모 및 곰팡이의 변화

광펄스 처리조건 : 25 pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 600 V, ■ 800 V, ● 1000 V

- 흑후추가루의 효모 및 곰팡이의 초기 생균수는 4.36×10^6 에서 600V 60분 처리시 1.17×10^6 으로, 6.50×10^6 에서 800V 60분 처리시 1.11×10^6 , 5.03×10^6 에서 1000V 60분 처리시 4.80×10^5 으로 각각 빛의 세기가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 흑후추가루의 효모 및 곰팡이의 수는 빛의 세기 600V에서 60분 처리시 73 % (0.57 log), 800V에서 83 % (0.77 log), 1000V 에서 90% (1.00 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 빛의 세기에 따라서 600V와 800V보다 1000V에서 큰 감균 효과를 보임. 따라서 빛의 세기가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- 1000V, 25pps, 60분동안 광펄스 처리시 흑후추가루의 일반세균은 94%의 사멸율을, 효모 및 곰팡이는 90%의 사멸율을 나타내어 효모 및 곰팡이보다 일반세균의 사멸효과가 더 높은 것으로 나타났음.

(다) 흑후추가루의 *B. cereus* 감소효과

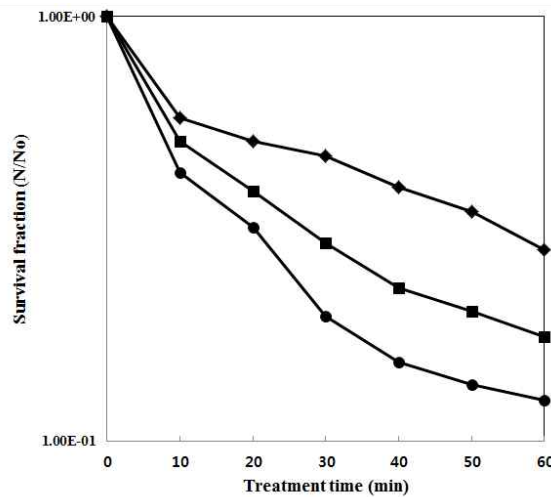


그림 4-58. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 흑후추가루의 *B. cereus*의 변화

광펄스 처리조건 : 25 pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 600 V, ■ 800 V, ● 1000 V

- 흑후추가루의 *B. cereus*의 초기 생균수는 2.00×10^4 에서 600V 60분 처리시 5.63×10^3 으로, 1.41×10^4 에서 800V 60분 처리시 2.49×10^3 , 1.14×10^4 에서 1000V 60분 처리시 1.42×10^3 으로 각각 빛의 세기가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 흑후추가루의 *B. cereus*는 빛의 세기 600V에서 60분 처리시 72 % (0.55 log), 800V에서 82 % (0.74 log), 1000V 에서 87% (0.89 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 빛의 세기에 따라서 600V와 800V보다 1000V에서 큰 감균 효과를 보임. 따라서 빛의 세기가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- 광펄스 처리시 미생물의 사멸율은 *B. cereus* < 효모 및 곰팡이 < 일반세균 순으로 살균 효과가 점점 높아지는 것으로 나타남. 일반세균의 살균효과가 가장 높았음.
- Baxter & Holzapfel (2006)에 의하면 후추는 향신료 중에서도 오염이 높은 편이며, 세포 내에 포자를 형성하여 살균시 다른 균에 비해 저항성이 큰 *B. cereus*가 주 오염 미생물로 있기 때문이라고 예상함.

(라) 백후추가루의 일반세균 감소효과

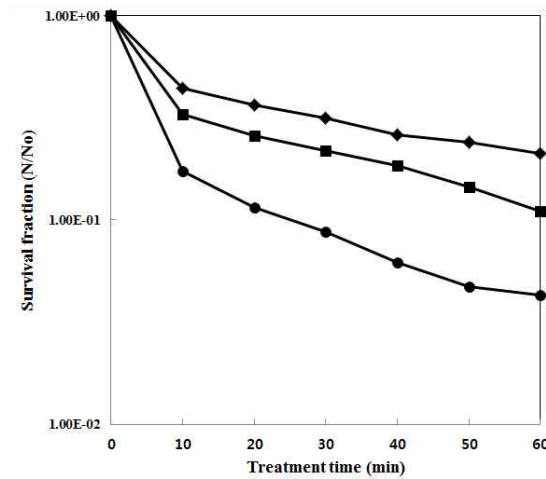


그림 4-59. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 백후추가루의 일반세균 총균수의 변화

광펄스 처리조건 : 25 pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 600 V, ■ 800 V, ● 1000 V

- 백후추가루의 일반세균의 초기 생균수는 8.10×10^4 에서 600V 60분 처리시 1.72×10^3 으로, 1.12×10^4 에서 800V 60분 처리시 1.24×10^3 , 6.60×10^4 에서 1000V 60분 처리시 2.84×10^3 으로 각각 빛의 세기가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 백후추가루의 일반 세균수는 빛의 세기 600V에서 60분 처리시 79 % (0.68 log), 800V에서 89 % (0.96 log), 1000V 에서 96% (1.40 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 빛의 세기에 따라서 600V와 800V보다 1000V에서 큰 감균 효과를 보임. 따라서 빛의 세기가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- 회전형 원통 석영 처리용기로 1000V, 25 pps, 60분 광펄스 처리시 흑후추가루의 일반세균은 94%, 백후추가루는 96% 가 사멸되어 백후추가루의 살균효과가 흑후추가루보다 높은 것으로 나타남.

(마) 백후추가루의 효모 및 곰팡이 감소효과

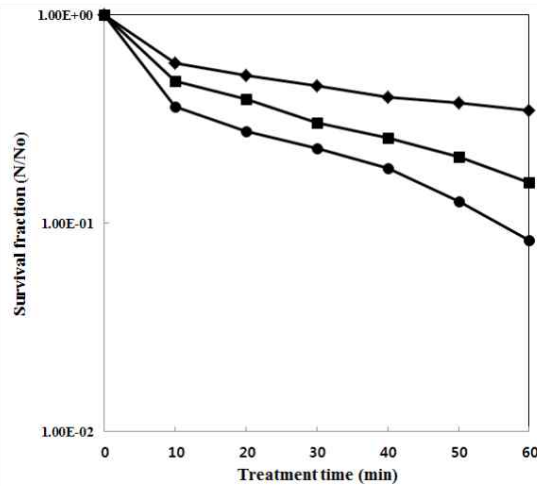


그림 4-60. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 백후추가루의 효모 및 곰팡이의 변화

광펄스 처리조건 : 25 pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μ m

◆ 600 V, ■ 800 V, ● 1000 V

- ○ 백후추가루의 효모 및 곰팡이의 초기 생균수는 4.33×10^3 에서 600V 60분 처리시 1.51×10^3 으로, 5.46×10^3 에서 800V 60분 처리시 8.60×10^2 , 5.86×10^3 에서 1000V 60분 처리시 4.90×10^2 으로 각각 빛의 세기가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 백후추가루의 효모 및 곰팡이의 수는 빛의 세기 600V에서 60분 처리시 65 % (0.46 log), 800V에서 84 % (0.80 log), 1000V 에서 92% (1.10 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 빛의 세기에 따라서 600V와 800V보다 1000V에서 큰 감균 효과를 보임. 따라서 빛의 세기가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- 동일 조건하에 60분처리시 백후추가루의 효모 및 곰팡이는 흑후추가루와 비교했을 때, 백후추가루가 2% 더 살균효과가 높게 나타남.

(바) 백후추가루의 *B. cereus* 감소효과

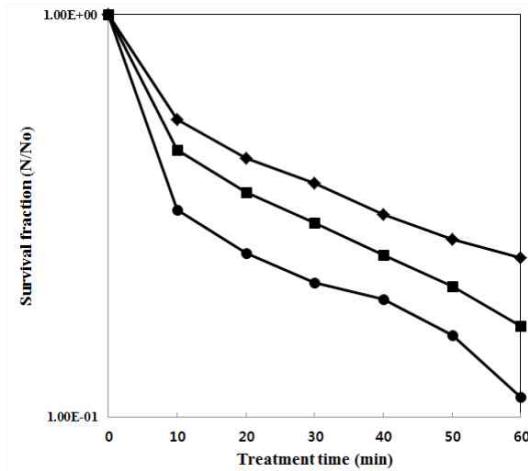


그림 4-61. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 백후추가루의 *B. cereus* 변화

광펄스 처리조건 : 25 pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 600 V, ■ 800 V, ● 1000 V

- 백후추가루의 *B. cereus*의 초기 생균수는 1.46×10^4 에서 600V 60분 처리시 3.63×10^3 으로, 8.10×10^3 에서 800V 60분 처리시 2.49×10^3 , 1.14×10^4 에서 1000V 60분 처리시 1.28×10^3 으로 각각 빛의 세기가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 백후추가루의 *B. cereus*는 빛의 세기 600V에서 60분 처리시 75 % (0.60 log), 800V에서 83 % (0.77 log), 1000V 에서 89% (0.96 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 빛의 세기에 따라서 600V와 800V보다 1000V에서 큰 감균 효과를 보임. 따라서 빛의 세기가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- *B. cereus*는 회전형 원통 석영용기를 이용하여 1000V, 25 pps, 60분동안 처리시 흑후추가루는 87 % 사멸하였고, 백후추가루는 89 % 사멸하였음.
- 후추가루의 미생물 살균효과는 일반세균, 효모 및 곰팡이, *B. cereus* 미생물 모두 흑후추가루와 비교했을 때, 백후추가루가 살균효과가 2-3% 높은 것으로 나타남.

(사) 생강가루의 일반세균 감소효과

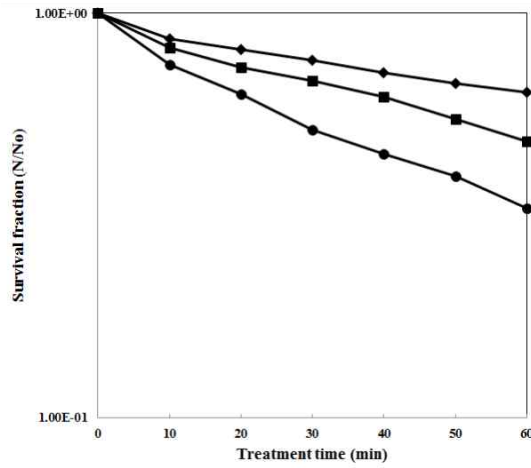


그림 4-62. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 생강가루의 일반세균 총균수 변화

광펄스 처리조건 : 25 pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 600 V, ■ 800 V, ● 1000 V

- 생강가루의 일반세균 초기 생균수는 600V 60분 처리시 6.07×10^4 에서 2.00×10^4 으로, 800V 60분 처리시 5.03×10^4 에서 2.43×10^4 , 1000V 60분 처리시 6.97×10^4 에서 4.44×10^4 으로 점점 감소하였음. 각각 빛의 세기가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 생강가루의 일반 세균수는 빛의 세기 600V에서 60분 처리시 36 % (0.19 log), 800V에서 52 % (0.32 log), 1000V 에서 67% (0.48 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 빛의 세기가 600V와 800V보다 1000V에서 감균 효과가 큰 것으로 나타남. 따라서 빛의 세기가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.

(아) 계피가루의 일반세균 감소효과

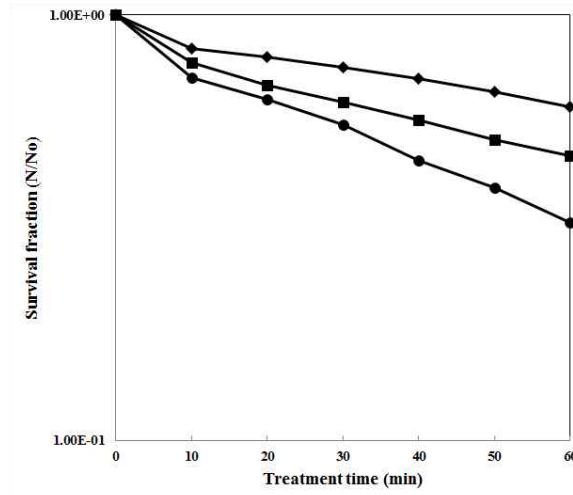


그림 4-63. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 계피가루의 일반세균 총균수 변화

광펄스 처리조건 : 25 pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 600 V, ■ 800 V, ● 1000 V

- 계피가루의 일반세균의 초기 생균수는 3.87×10^8 에서 600V 60분 처리시 1.26×10^8 으로, 3.26×10^8 에서 800V 60분 처리시 1.52×10^8 , 5.27×10^8 에서 1000V 60분 처리시 3.20×10^8 으로 각각 빛의 세기가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 계피가루의 일반 세균수는 빛의 세기 600V에서 60분 처리시 39 % (0.21 log), 800V에서 53 % (0.33 log), 1000V 에서 68% (0.49 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 빛의 세기에 따라서 600V와 800V보다 1000V에서 보다 감균 효과가 큼. 따라서 빛의 세기가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- 동일 조건 하에서 60분동안 광펄스 처리시, 일반세균의 경우 생강가루와 계피가루의 사멸효과가 각각 67 %와 68 %로 계피가루가 약간 더 사멸효과가 높은 것으로 나타남.

(자) 산초가루의 일반세균 감소효과

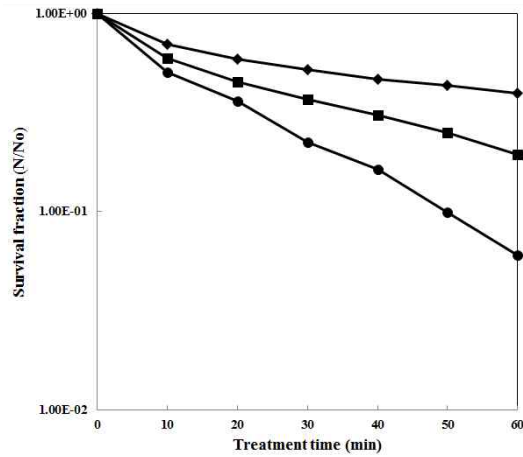


그림 4-64. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 산초가루의 일반세균 총균수 변화

광펄스 처리조건 : 25 pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μm

◆ 600 V, ■ 800 V, ● 1000 V

- 산초가루의 일반세균의 초기 생균수는 6.63×10^6 에서 600V 60분 처리시 2.65×10^3 으로, 8.67×10^3 에서 800V 60분 처리시 1.73×10^3 , 7.70×10^6 에서 1000V 60분 처리시 4.63×10^3 으로 각각 빛의 세기가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 산초가루의 일반 세균수는 빛의 세기 600V에서 60분 처리시 60 % (0.40 log), 800V에서 81 % (0.72 log), 1000V 에서 94% (1.22 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 빛의 세기에 따라서 600V와 800V보다 1000V에서 보다 감균 효과가 큼. 따라서 빛의 세기가 증가함에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.
- 1000V, 25pps, 60분동안 광펄스 처리한 산초가루의 일반세균 수는 94% 감소하여, 흑후추 가루의 살균효과와 유사한 수준의 높은 살균효과를 보였음.

(차) 울금가루의 일반세균 감소효과

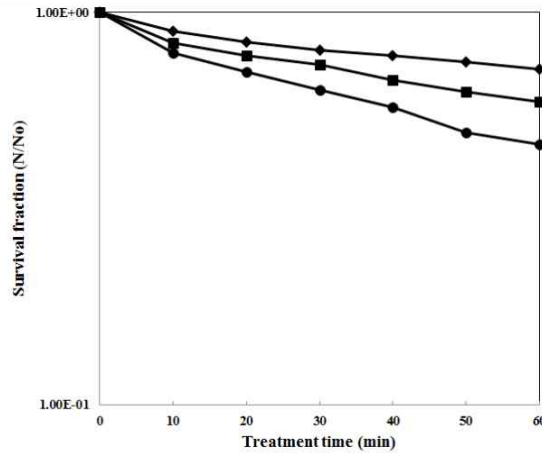


그림 4-65. 회전형 원통 석영 처리용기를 이용한 빛의 세기에 따른 울금가루의 일반세균 총균수 변화

광펄스 처리조건 : 25 pps, distance 1.5 cm, particle size 400 μ m

◆ 600 V, ■ 800 V, ● 1000 V

- 울금가루의 일반세균의 초기 생균수는 1.77×10^6 에서 600V 60분 처리시 1.27×10^6 으로, 1.77×10^6 에서 800V 60분 처리시 1.05×10^6 , 1.77×10^6 에서 1000V 60분 처리시 81.7×10^5 으로 각각 빛의 세기가 증가할수록 사멸효과가 증가하였음.
- 회전형 원통 석영용기를 이용한 울금가루의 일반 세균수는 빛의 세기 600V에서 60분 처리시 28 % (0.14 log), 800V에서 41 % (0.23 log), 1000V 에서 54 % (0.34 log) 정도의 감균 효과를 보였음.
- 빛의 세기에 따라서 600V와 800V보다 1000V에서 보다 감균 효과가 큼. 빛의 세기가 증가할수록 에너지양이 커짐에 따라 사멸효과가 증가하는 것을 알 수 있음.

(5) 품목별 최적 살균 효과 및 분석

- 전압(voltage): 600 V, 800 V, 1000 V에서 살균 효과를 분석하였을 때 전압이 높을수록 살균 효과가 높아졌음
- 전압이 높을수록, 펄스 수가 높을수록, lamp와 시료 사이의 거리가 가까울수록, 처리시간이 길어질수록 시료에 전달되는 빛 에너지가 강해지므로 살균효과가 높아지는 것을 알 수 있음.
- 회전형 원통 석영 처리용기를 이용하여 전압 1000V, 펄스 수 25 pps, distance 1.5 cm 에서 60분 동안 처리하였음.

- 품목별 60분 처리시 백후추가루 96 %, 흑후추가루 94%, 생강가루 67%, 계피가루 68%, 산초가루 94 %, 울금가루 54% 의 일반세균이 감소하였음.
- 백후추가루가 일반세균 사멸효과가 가장 높았고 그 다음이 흑후추가루와 산초가루, 계피가루, 생강가루 울금가루 순으로 사멸효과가 있는 것으로 나타남.

4장. 목표달성도 및 관련분야 기여도

		코드번호	D-06
1절. 목표달성도			
세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
과열수증기를 이용한 분체식품의 미생물 위해성 저감화 기술 개발	시료의 오염도 조사	100	○ 시판 고춧가루 21종, 현미 5종, 메밀 5종의 미생물 오염도 조사 완료
	연구용 장치 설계, 제작	100	○ 연구용 장치 3종의 보완 및 제작 완료
	SHS살균의 기초연구	100	○ 과열수증기 처리조건(온도, 시간 등)에 따른 미생물의 오염도 감소 검증
	미생물 위해인자 저감화를 위한 SHS 처리조건 최적화	100	○ 과열수증기에 대한 위해 미생물의 살균 kinetic 결정 ○ 과열수증기 처리 조건에 따른 미생물 저감화, 품질변화 및 저장성 측정
	Pilot SHS 처리장치의 설계 및 제작	100	○ 컨베이어형 과열수증기 처리장치 확보 및 현장적용 가능성 타진 ○ 과열수증기를 이용한 현장적용형 CIP 장비 설계 및 제작 완료
	Pilot SHS 처리 장치의 설치 및 시운전	100	○ 설치 완료 및 고춧가루, 홍고추 및 냉동고추의 살균효과 검증
	SHS 처리 시료의 저장성 연구	100	○ 저장실험을 통하여 파이롯 장치에서 생산된 SHS 살균처리 제품의 저장 중 미생물의 증식 여부 및 품질변화 등을 분석.
	Pilot SHS을 이용한 고춧가루 등의 살균 조건 최적화	100	○ SHS 처리온도와 처리시간이 일반 미생물, 대장균군 뿐만 아니라 유해 미생물의 살균에 미치는 영향을 연구. ○ SHS 처리가 시료의 품질지표에 미치는 영향 분석.
광펄스 살균기술을 이용한 분체식품(종자	분체시료(참깨, 마늘분말)의 오염도 조사 및 pilot-scale의 광펄스	100	○ 분체시료에 대한 잠재적 위해세균의 오염도 모니터링 및 오염미생물 저감화 수준 설정

농산물)의 미생물 위해성 저감화 기술 개발	살균시스템 제작	100	○ Lab-scale 광펄스 살균시스템 및 분체시료 살균을 위한 시료처리 chamber 제작
	광펄스 살균조건 최적화 및 안전성 연구	100	○ Pilot-scale 광펄스 살균시스템을 이용한 살균 조건 확립 및 살균효과 검증
	분체식품(종자 농산물) 살균을 위한 pilot-scale의 광펄스 살균시스템 개발 및 제작	100	○ 기존 광펄스 살균시스템의 개선 및 pilot-scale 광펄스 살균시스템 디자인 설계 및 제작
Cold plasma를 이용한 분체식품의 미생물 위해성 저감화 기술 개발	양과 분말의 잠재적 위해 세균과 부패 미생물 오염도 조사 및 오염 미생물 저감화 수준 설정	100	○ 식품 시료별 잠재적 식중독 원인균 및 부패 원인균 확인: <i>B. cereus</i> , 곰팡이 및 효모가 약 3 log CFU/g 존재하였음. ○ 대표 target 위해 미생물 결정: <i>B. cereus</i> 및 <i>Aspergillus niger</i> 선정
	양과 분말 미생물 저감화를 위한 cold plasma 처리 parameter 결정	100	○ Cold plasma 처리 parameter 결정 ○ 사용기체: 질소, 헬륨, 질소-산소 혼합(질소:산소=80:20), 질소-산소 혼합(질소:산소=99.3:0.7), 헬륨-산소 혼합(헬륨:산소=99.8:0.2), 아르곤, 산소 ○ 처리 전력: 400-900 W ○ 처리 시간: 10-40 분 ○ 처리 압력: 5 torr, 10 torr
	분말 식품 살균 용 lab-scale cold plasma 살균 시스템 제작	100	○ 분말 식품 살균을 위한 장비(SWU-3) 제작
	Lab-scale의 cold plasma 살균 시스템을 이용한 살균조건 확립 및 살균효과 검증	100	○ 식품 시료별 잠재적 식중독 원인균 및 부패 원인균 확인 ○ 대표 target 위해 미생물 결정: <i>S. enteritidis</i> 및 <i>E. coli</i> O157:H7, <i>L. monocytogenes</i> 선정 ○ 식중독균 저해 예측에 적합한 model 및 model parameter 값들의 결정
	Cold plasma 살균	100	○ lab scale 살균 장치의 자동화

	시스템의 자동화 및 연속식 시스템화		및 연속식 시스템화
	Cold plasma 살균 시스템의 scale-up에 요구되는 주요 장비필요사항 결정	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 처리량, 소요 전력 등 주요 장비필요사항을 1-2차년도에 연구 및 개발된 lab-scale에 대한 연구 결과들을 분석하여 결정. ○ CP 변수(전력, Frequency, 가스의 종류 및 유량 등)에 따른 멸균효과를 보다 면밀히 분석하고 연속 공정이 가능한 컨베이어 시스템과 plasma reactor를 pilot-scale로 제작.
	식품산업체에 적용 가능한 pilot-scale의 cold plasma 살균 시스템 설계	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연속적으로 분말 원료를 살균할 수 있는 시스템을 자동제어로 동작시키고, 분말의 모든 면적에 radical이 침투할 수 있도록 chamber를 제작. ○ 연구 결과를 종합하여 cold plasma 살균 시스템의 산업적 적용에 요구되는 양과 분말 살균 가이드라인 확립.
광펄스 살균기술을 이용한 분체식품(향신료)의 미생물 위해성 저감화 기술 개발	분체식품(향신료)의 오염도 조사 및 lab-scale의 광펄스 살균 시스템 set-up	100	○ 분체시료에 대한 잠재적 위해 세균의 오염도 모니터링 및 오염미생물 저감화 수준 설정
		100	○ Lab-scale 광펄스 살균 시스템 및 분체시료 살균을 위한 시료 처리 chamber 제작
	광펄스 살균 조건의 최적화 및 안전성 연구	100	○ Lab-scale 광펄스 살균 조건의 최적화 및 안전성 연구
		100	○ 광펄스 살균시스템의 산업적 적용에 요구되는 시료별 안전성 database 구축
	Pilot-scale의 광펄스 살균 시스템 제작을 위한 자료 확립 및 품목 확장을 위한 조건 확립	100	○ 식품산업체에 적용가능한 Pilot-scale 의 광펄스 살균 시스템 제작을 위한 자료 확립
100		○ 살균 품목의 확대를 위한 품목별 살균 조건 확립	

2절. 관련분야 기여도

- 현재까지 식품산업에서 분(립)체 식품의 살균 공정의 확립이 미비한 실정이다. 분말 식품은 방사선 조사 외에는 유의미한 살균 방법이 정립되지 못하고 있는데다가 방사선 조사 식품에 대한 부정적인 소비자들의 인식 때문에 살균이 어려워 식중독 등의 잠재적 위험 요소가 있다. 따라서 본 연구에서 과열수증기 살균 기술이 분말 식품 살균에의 적용 가능성을 탐색해보았고, 실제 산업에 적용하기 위한 과열수증기 살균 공정의 중요한 기초자료로 활용 가능하다.
- 기존에는 과열수증기를 이용한 drying, blanching, roasting, frying 위주의 연구가 주를 이룬 반면 본 연구에서는 해당 기술의 살균 분야 연구를 통하여 과열수증기 살균 기술을 식품산업에 적용시킬 수 있는 가능성을 제시하였다.
- 국내에서는 광펄스 살균 기술에 대한 살균력을 인정하고 그 잠재력을 높이 평가하고 있으나, 광펄스 살균 시스템 개발 및 연속처리 시스템에 대한 연구개발이 최근에서야 활발히 진행되고 있고 실제 상업적 적용 역시 이루어진 바 없기 때문에 해당 기술 장치의 set-up 및 연속처리라인 개발을 통해 실제 산업화 공정 적용의 토대 마련이 필수적이다.
- 본 연구를 통해 고품질의 분체 식품 생산을 위한 비가열 광펄스 살균 기술을 적용함으로써 해당 기술의 실용화 기반을 마련하고 식품 산업의 발전에 기여한다.
- 본 연구팀이 개발한 분체 식품 살균을 위한 pilot-scale 광펄스 장치는 바로 상용화가 가능한 대용량 분체 식품 살균 장치이며 더욱이 국내를 넘어 국외에도 분체 식품을 연속적으로 처리하는 pilot-scale 장치를 제작한 바 없기 때문에 해당 장치는 기술적으로 상당히 독창적이면서도 수준이 높은 것으로 사료된다.
- 초기 균 수가 높은 분체 식품에 해당 기술을 적용함으로써 단시간에 대용량으로 분체 식품을 살균처리 할 수 있으므로 시간 효율적이며 경제적이라 할 수 있으며 광펄스 종자 살균의 상업화를 통해 소비자들이 믿고 먹을 수 있는 안전한 신선편의식품 제품화 발전에 기여할 수 있다.
- 관련 장비 제조업체와의 협조로 다양한 규모의 광펄스 살균장치를 공동개발, 제작, 판매하고 각종 식품의 미생물적 위해요소 제거를 위해 장비제작 지원 사업 등을 통하여 살균 장비의 사업화를 추진할 수 있다.
- 본 연구를 통해 아직까지 식품산업체 적용이 이루어지지 않은 비가열 광펄스 살균 기술의 산업적 도입을 앞당기고 고품질의 분체 식품 생산을 위해 해당 기술의 실용화 방안을 모색하고 식품 산업 발전에 이바지한다.

- 광펄스 시스템에서 빛을 전달할 수 있는 식품을 처리하는 용기 재질에 대한 연구는 아직까지 국내 외 연구내역이 없기 때문에 본 연구팀의 연구결과는 향후 비가열 살균기술 및 광펄스 분야의 연구로서 가치가 높을 것으로 사료된다.
- 광펄스 기술 처리시 조절인자에 대한 살균기술의 특성 및 기준을 비가열 분체(분말)신선 식품과 관련된 식품공전에 기재하여 합법적으로 산업체에서 활용할 수 있는 토대를 마련한다.
- 비가열 광펄스 살균기술을 활용한 분말식품(향신료)에 대한 가이드 라인을 제시함으로써 향후 미생물적 위해요소 제거를 통해 안전한 분말식품 제품화에 기여할 수 있다.
- 본 연구는 저탄소 친환경 가공기술 개발에 따른 식품 제조공정으로, 식품 산업 신기술로 향후 학계와 관련산업 발전에 필수적이다.
- 식품 제조공정의 이산화탄소 저감화 친환경 가공기술 개발에 따른 생활환경 개선 및 대국민 이미지 개선에 기여할 수 있다.
- Cold plasma의 식품 기술적용과 관련된 기술상 위치는 도입기로, 식품용 플라즈마 멸균기는 아직까지 도입된 사례가 없으나, 현재 미국 농무성(USDA)에서 활발히 연구 진행되어 식품별 플라즈마 장치의 구현이 현실화 되었으며, 국내에서도 축적된 연구와 기반 시설을 통틀어, 현 연구 상황으로 미루어보아 상용화를 위한 기술 구현은 멀지 않았다고 예상되며, 본 기술의 상용화와 관련하여 식품의약품안전처의 cold plasma 식품 사용과 관련된 규제 정립이 시급하다.

5장. 연구결과의 활용계획

코드번호

D-07

1절 과열수증기 처리기술

- 효과적인 살균기술이 정립되지 않은 분말(분립체) 식품에 새로운 미생물 저감기술로 과열수증기 기술을 이용하기 위한 학문적인 기초 자료를 제시할 수 있음.
- 분체식품에 존재하는 미생물의 포자 등의 내열성을 가진 위해균의 사멸을 위해 단일 기술뿐만 아니라 다른 기술과 복합하여 살균하는 연구나 포자를 germination 시키기 위한 연구가 필요하며 과열수증기 살균의 기초 연구 내용으로 사용 가능함.
- 과열수증기로 고온 단시간 내에 처리를 하여 색도, 외관, 미생물 증식 여부, 수분함량 등의 품질저하를 최소한으로 하며 장시간 유통, 저장이 가능함.
- 표면 살균이 필요한 다양한 식품 전반에 걸쳐 활용 분야가 넓은데 반해 국내에서는 그 연구가 많이 진행되어 있지 않아 추후 과열수증기의 적용 특성과 저감효과를 규명하고 산업에 실질적으로 적용시키기 위한 방안을 설계하는데 도움이 될 것으로 전망함.
- 안전한 기술인 동시에 분말(분립체) 식품에 잠재적 위험요소가 있는 포자를 포함하여 오염된 유해 미생물을 제어하여 식중독 발생을 최소화 하여 국민건강증진에 기여할 수 있음.
- 고춧가루 등의 분말(분립체) 식품의 미생물 및 효소 활성을 저해시킴으로써 식품을 해외로 수출하여 국내식품의 글로벌화에 기여할 수 있음.

2절. 광펄스 처리기술

- 이산화탄소 발생과 환경오염 최소화에 큰 기여를 할 것으로 기대되는 식품산업에서 활용 가능한 여러 가지 비열처리 기술 (non-thermal processing) 및 최소처리 (minimal processing)에 대한 연구가 세계적으로는 이미 활발히 진행되고 있으며 일부 실용화가 이루어지고 있음.
- 현재의 가열살균 기술로는 적용하기 힘든 식품에 대한 비가열 살균 적용연구는 식품업계의 고충을 해결해 주기 위한 이유에서뿐만 아니라 소비자들에 대한 안전한 식품을 제공하여 자국민의 건전한 식문화를 창달하기 위한 대응적인 차원에서도 하루속히 이루어져야 할 것으로 사료됨.
- 실제 식품에 광펄스를 적용하는 실험과는 별개로 광펄스의 위해 미생물 및 spore의 저감화 요인 중 DC voltage, frequency, treatment time, 시료와 광원 lamp 사이의 거리 등 최적조건을 규명하는 기초 연구를 통해 광펄스 살균 기술의 기초 데이터 마련 발전을 도모해야 함.

- 빛에너지 및 빛의 변화량에 따른 민감도를 분석하여 위해 미생물 및 spore 각각에 대한 정밀한 자료 수집으로 광펄스 학계 발전의 발전을 유도하며 빛 살균을 통한 살균 메커니즘을 통해 빛을 이용한 다양한 살균 방법 또는 저장성 증진 기술 개발에 활용할 수 있음.
- 광펄스 살균기술의 친환경 첨단 식품가공기술을 통한 분체 식품의 위생 안전성 확보는 가공식품의 국제적인 경쟁력을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라 고부가가치 산업으로의 발전도 가능할 것으로 기대됨.
- 다양한 식품에 비가열 광펄스 살균을 적용함으로써 위해 미생물 및 spore에 의한 식중독 발생 감소와 더불어 높은 품질을 유지하는 것이 가능하므로 국내 산업 전반에 크게 기여할 것으로 기대하며, 관련 기초연구를 통해 광펄스 살균 기술의 이론적 배경 확립을 이루어 연구기반이 미미한 국내 광펄스 기술의 학문적 발전을 유도할 계획임.
- 다양한 식품에 적용되는 광펄스 기술의 기준을 식품공전에 기재하고자 하며, 관련업체에서 합법적으로 사용할 수 있도록 하며 관련업체로의 기술이전을 통해 산업화를 추진할 것임.
- 광펄스 살균은 기존의 살균라인에 insert 방식으로 적용이 가능하여 기존의 라인을 크게 바꾸지 않고도 쉽게 적용할 수 있는 장점을 가지고 있음.
- 그러나 광펄스 살균 단독으로는 완전 살균을 할 수 없는 단점이 있어 다른 살균 방법과 병행이나 특정 한 곳의 살균 보조 방식으로 적용이 가능함
- 이에 따라 현재 건강음료 생산 라인 중 뚜껑 살균에 광펄스 살균 적용 협의 중에 있음 (L사 OEM 제품)
- 또한 포장 판매 상태에서 살균이 가능하지만 아직 포장 재질에 따른 살균의 정도를 확인할 수 있는 자료가 없어 이에 대한 실험을 추가로 진행할 예정에 있음

3절. 콜드 플라즈마 처리기술

- 본 연구에서 개발된 분체식품 살균장치와 본 연구에서 결정된 분체식품에 대한 효율적인 미생물 저해의 최적 조건은 현재 트렌드인 간편한 분말식품과 같은 다양한 분체 식품가공을 위해 활용될 수 있음.
- 유전체 장벽 방전 기술을 더욱 활용하여 포장된 분체 식품의 살균도 가능할 수 있음

6장. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

코드번호

D-08

1절. 분말(향신료) 식품의 오염 현황

○ 향신료가 가지고 있는 미생물의 분포는 다음과 같음.

천연 상태 향신료의 미생물 분포

Spice	Aerobic Plate Count (cfu/g)							Mold count (cfu/g)							
	N ^c	<2 ^d	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	>7	N	<2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
Allspice	33	-	-	3	7	46	42	3	27	37	22	15	18	7	-
Anise	22	-	-	23	36	36	5	-	16	56	25	6	13	-	-
Basil	21	-	-	-	14	48	38	-	17	65	24	6	6	-	-
Bay	41	5	5	46	34	7	3	-	35	34	29	26	11	-	-
Capsicum (chili)	57	-	2	9	28	18	31	12	59	44	15	22	7	7	5
Caraway	17	-	12	35	29	18	6	-	14	57	7	29	7	-	-
Cardamon	15	7	13	13	27	7	33	-	15	67	13	20	-	-	-
Cassia	36	6	66	11	14	3	-	-	20	55	5	25	5	10	-
Cinnamon	42	2	5	19	48	21	2	2	51	18	33	43	6	-	-
Cloves	28	32	21	25	18	4	-	-	26	88	-	8	4	-	-
Coriander	30	-	3	3	30	37	13	13	23	4	-	61	26	9	-
Cumin	12	-	-	-	33	42	25	-	8	25	-	62	-	13	-
Fennel	16	13	6	13	43	13	13	-	11	73	27	-	-	-	-
Fenugreek	10	-	-	20	30	30	20	-	8	13	37	25	-	25	-
Garlic	32	-	-	16	47	28	9	-	15	60	49	-	-	-	-
Ginger	33	3	9	21	15	45	7	-	28	57	14	18	11	-	-
Mace	28	-	-	43	50	7	-	-	22	59	14	23	4	-	-
Marjoram	21	-	5	-	19	43	28	5	14	-	7	64	29	-	-
Mustard	67	9	30	33	18	9	1	-	63	86	6	6	2	-	-
Nutmeg	45	11	20	44	16	4	4	-	33	52	27	12	9	-	-
Oregano	56	2	4	21	41	23	9	-	48	35	25	33	9	-	-
Paprika	80	-	-	-	11	9	62	18	61	44	44	7	5	-	-
Pepper (black)	108	-	-	-	3	5	50	42	82	32	10	28	5	2	23
Pepper (white)	42	-	-	12	26	57	5	-	44	2	2	34	36	23	2
Sage	17	-	-	11	41	41	6	-	14	7	21	21	50	-	-
Savory	10	-	-	40	50	10	-	-	6	-	67	33	-	-	-
Thyme	19	-	-	5	11	32	53	-	16	6	-	6	81	6	-
Turmeric	24	-	-	4	-	21	46	29	32	87	3	6	3	-	-

^aSpices not treated with microbiocidal agents.

^bCollated from published and unpublished data for dried spices analyzed in North America, Europe, the Middle East, and Japan

^cN = number of samples: APC = 962, mold count = 808: most of the samples examined for mold count were also examined for APC.

^dNumbers are log₁₀: <2 = <100; 2-3 = 100-999; 3-4 = 1000-9999, etc.

○ 이 보고에 따르면 향신료의 종류에 따라 다르지만 일반 세균의 경우 많은 경우에는 10⁷ CFU/g (black pepper)가 존재하며 대부분의 시료에서 검출되고 있는 것으로 나타나고 있으며, 곰팡이의 경우도 10⁷ CFU/g (black pepper)의 분포를 가지고 있는 것으로 보고되고 있음.

○ 특히 국내에서 널리 사용되고 있는 후추의 경우에는 다른 향신료에 비해서 미생물의 오염도가 더욱 높은 것으로 보고되고 있음.

○ 또한 향신료에 존재하는 포자 형성균의 분포를 보면 대부분의 시료에서 검출이 되고 있으며, 3.4 log CFU/g-8.1 log CFU/g의 범위의 포자 형성균이 존재하는 것으로 보고되고 있음.

향신료에 존재하는 호기성 및 포자의 분포

Spice	log ₁₀ (cfu/g) at 30°C	
	Aerobic count	Spore count
Allspice	5.8	5.9
Caraway seed	5.2	3.4
Chili	6.0	5.8
Coriander I	6.4	5.9
Coriander II	6.0	4.5
Ginger	8.4	7.9
Marjoram	6.5	4.8
Mustard	5.8	5.7
Nutmeg	5.7	5.7
Paprika I	7.0	7.1
Paprika II	6.0	5.7
Paprika III	5.4	5.4
Paprika IV	5.0	4.5
Paprika V	4.8	4.3
Pepper, Black I	8.0	8.1
Pepper, Black II	7.5	7.4
Pepper, Black III	7.4	7.4
Pepper, White I	5.6	4.1
Pepper, White II	5.6	5.2
Pepper, White III	3.5	3.5
Mixed Spices	6.3	6.2

^aFrom Neumayr *et al.* (1983).

- 한편 대장균 및 대장균군도 일부 존재하는 것으로 나타나는데, 대부분 10 CFU/g 이하의 분포를 보이지만, 일부의 경우 10⁵ CFU/g 이상의 분포를 보이는 것도 10% 이상이나 되는 것으로 보고되고 있음.

향신료에 존재하는 대장균 및 대장균군의 분포

cfu/g	Coliforms		<i>Escherichia coli</i>	
	Number of samples	%	Number of samples	%
<10 ⁻¹	110	48	180	79
10 ⁻¹ -10 ¹	29	13	11	5
10 ¹ -10 ²	31	14	22	10
10 ² -10 ³	21	9	10	4
10 ³ -10 ⁴	20	9	4	2
10 ⁴ -10 ⁵	10	4	1	-
10 ⁵ -10 ⁶	7	3	-	-
Total	228		228	

^aWhole and ground spices.

^b*E. coli* was found in the following untreated spices: basil, bay, capsicum, celery seed, coriander, cumin, dill, fennel, garlic, ginger, onion, oregano, parsley, pepper (black), rosemary, sage, and thyme.

^cCollated from published and unpublished data for dried spices analyzed in North America, Europe, the Middle East, and Japan.

- 곰팡이의 경우에는 주로 *Aspergillus* 속이 존재하며, 이 외에 *Mucor* 속, *Penicillium* 속도 존재하는 것으로 보고되고 있으며, 향신료의 종류에 따라 다르지만 10¹ CFU/g-10⁵ CFU/g까지 존재하고 있음.

향신료에 존재하는 곰팡이 종류의 분포

	Mold ^c (cfu/g)	<i>Absidia</i> spp.	<i>Asp.</i> <i>can.</i>	<i>Asp.</i> <i>flav.</i>	<i>Asp.</i> <i>fum.</i>	<i>Asp.</i> <i>gl.</i>	<i>Asp.</i> <i>nid.</i>	<i>Asp.</i> <i>nig.</i>	<i>Asp.</i> <i>tam.</i>	<i>Asp.</i> <i>terr.</i>	<i>Asp.</i> <i>ver.</i>	<i>M.p.</i> spp.	<i>Pen.</i> spp.	<i>Rhiz.</i> spp.
Allspice	7.0 × 10 ⁴	3	+ ^d	1	-	9	-	80	-	-	1	-	6	-
Anise	9.5 × 10 ³	-	-	1	1	55	-	3	-	1	2	-	33	-
Cardamon	1.6 × 10 ³	-	-	3	-	64	12	12	-	-	-	-	-	9
Capsicum (chili)	3.9 × 10 ⁴	-	-	4	-	69	1	17	-	-	1	1	1	1
Cinnamon	8.7 × 10 ⁴	33	-	+	-	-	-	62	+	-	+	-	2	-
Coriander	1.3 × 10 ⁵	4	7	5	1	67	1	1	-	2	10	-	2	-
Cumin	1.5 × 10 ³	-	-	-	-	62	7	7	-	7	-	-	17	-
Fennel	6.7 × 10 ³	2	3	2	2	62	4	6	2	2	5	-	-	-
Fenugreek	2.5 × 10 ³	-	2	-	-	16	6	8	-	2	-	2	60	2
Ginger	1.7 × 10 ³	-	15	3	-	32	-	9	-	-	-	-	35	3
Mace	8.0 × 10 ²	12	-	-	-	88	-	-	-	-	-	-	-	-
Nutmeg	6.2 × 10 ⁴	-	-	4	-	70	-	12	8	2	-	-	3	-
Paprika	5.5 × 10 ²	27	-	-	-	27	-	10	-	-	-	-	18	18
Pepper (black)	6.4 × 10 ⁵	-	2	1	-	92	-	+	+	-	1	-	2	-
Pepper (white)	6.5 × 10 ⁴	-	16	7	8	2	13	11	2	3	12	-	21	-
Turmeric	2.0 × 10 ¹	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-

^aFrom Flannigan and Hui (1976); see also Pal and Kundu (1972), Moreau and Moreau (1978), Dragoni (1978).

^bMinor components were *Thermoascus crustaceus* in black pepper; *Talaromyces dupontii* in fenugreek; *Thermomyces lanuginosus* in white pepper; *Alternaria alternata* in red pepper; *Fusarium poae* in fennel; *Syncephalastrum racemosum* in ginger and nutmeg.

^c*Asp.*, *Aspergillus*; *can.*, *candidus*; *flav.*, *flavus*; *fum.*, *fumigatus*; *gl.*, *glaucus* (group); *nid.*, *nidulans*; *nig.*, *niger*; *tam.*, *tamarii*; *terr.*, *terreus*; *ver.*, *versicolor*; *M.p.*, *Mucor pusillus*; *Pen.*, *Penicillium*; *Rhiz.*, *Rhizopus*.

^d +, present; -, not present.

- 향신료의 오염은 수확과 건조과정에서 일어나지 않는 것이 정상적이지만, 저장 기간이나 운송 기간 중 습도와 온도가 높거나 일부 젖은 상태로 존재하는 곳에서 곰팡이 오염이 이루어짐.
- 강황, 로즈마리, 백후추의 경우 PE 포장지에 넣은 상태에서 습도가 80%, 30-35℃의 환경에서 1-3개월 내에 10⁸ CFU/g까지 곰팡이가 성장하며, 대부분의 향신료가 습도 85% 내외에서 *Aspergillus* 속의 곰팡이들이 성장하여 독소를 생성하는 것으로 보고되고 있음.
- 향신료는 식중독의 주된 원인은 아니지만, 종종 향신료에 오염된 bacteria나 곰팡이에 의해 식중독이 일어나기도 하는데 포자형성균에 오염된 향신료는 위장장해를 일으킬 수 있으며, 실제로 여러 차례 향신료에 의한 위장장해 사례가 보고되고 있기도 함.
- 이러한 위장 장해를 일으키는 주된 원인균은 *Bacillus* 속의 균들로서 *B. subtilis*, *B. licheniformis*이며, *Clostridium perfringens*, *Cl. botulinum*, *Salmonell*, *Stapylococcus aureus*와 같은 위험한 식중독 균들로 오염된 사례가 보고가 되기도 함.

2절. 과일 수증기 처리기술 관련 정보

- 파프리카계 식품군의 저장 중 색 변화에 대해서 저장 조건이 미치는 영향을 연구한 논문이다. 파프리카, 고추, 고춧가루 세가지 시료로 진행된 연구에서 6개월간 4가지 다른 조건하에 저장하면서 수분함량과 수분활성도, 추출색도(ASTA),와 표면색도(Hunter L, a, b) 값을 분석하였다. 시료 중 ethoxyquin을 함유 시 유의적으로 낮은 추출색도의 손실이 있

었고, 방사선 조사된 시료가 유의적으로 높은 표면색도 손실을 나타내었다. 높은 온도와 습도에 보관된 시료는 상온에 보관된 시료보다 빠른속도로 색변화가 진행되었다. 냉장 • 냉동 보관된 시료는 최소한의 색도 손실을 나타내었다. 파프리카계 식품군의 장기간의 저장 중 안정성을 확인할 수 있었다(Addala R, Vasavada M, Dong J, Subramanian S. (2015). Effect of Storage Conditions on Rate of Color Degradation of Paprika based Products. J Food Process Technol. 6:3.)

- 단시간(0.1초-30초), 고온(200-600℃)처리 후 초저온 기체(-80℃)처리로 씨와 분체식품의 열처리 과정에 관한 연구논문으로 *Bacillus subtilis*의 포자와 *Saccharomyces cerevisiae*에 대해서 실험이 진행되었다. 초기 수분활성도에 대해 5-8 log 의 미생물 저감효과가 있었다. 본 연구에서는 포자와 영양세포의 열 안정성이 초기 수분활성도 값이 0.3-0.5 일 때 크게 증가된다는 것을 확인하였다. 또한 미생물의 분포와 분체의 입자정도가 미생물의 저감화 효율에 영향을 미친다는 것을 확인하였다(Fine, Frédéric, and Patrick Gervais. (2005). A new high temperature short time process for microbial decontamination of seeds and food powders. Powder technology 157.1: 108-113).
- *Geo-bacillus stearothermophilus* ATCC 10149 포자에 대한 과열수증기의 효과에 관한 논문이다. 105-175℃의 과열수증기에 노출된 미생물의 D-값과 z-값, 과열수증기 노출 사이의 냉각의 영향성에 관한 연구가 진행되었다. 과열수증기 처리는 미생물의 접종양에 영향을 받고, 간헐적인 냉각을 거친 뒤 과열수증기 처리 되었을 시 열안정성이 높은 미생물을 저감화 시키는데 그 효과가 높다는 것을 확인하였다. 본 연구는 기존의 열풍건조와 대비해 높은 열효율과 저감화 효과를 갖는 과열수증기의 효과를 검증했다는데 의의가 있다 (Head, D. S., Cenkowski, S., Holley, R., & Blank, G. (2008). Effects of superheated steam on *Geobacillus stearothermophilus* spore viability. Journal of applied microbiology, 104(4), 1213-1220).
- 홍고추의 주요 카로티노이드를 확인하고 건조와 저장기간 동안의 색소 안정성을 연구한 논문이다. LC/MS 방법으로부터 사포닌계로 추출한 주요 색소로는 capsanthin, zeaxanthin, β -cryptoxanthin, β -carotene 와 capsorubin 이 확인되었고, 비-사포닌계 색소로는 myristoylcapsanthin, lauroylmyristoylcapsanthin, and myristoylpalmitoylcapsanthin이 확인되었다. Capsanthin의 안정성에 대해서는 저장 2개월까지 시료의 건조 온도가 가장 큰 영향을 미쳤고, 이후로는 저장 온도가 주요 요인임을 확인하였다. 저장 중 myristoylpalmitoylcapsanthin은 myristoylcapsanthin에 비해 안정적으로 유지되었다(KIM S, PARK J, HWANG I.K. (2004). Composition of Main Carotenoids in Korean Red Pepper (*Capsicum annuum*, L.) and Changes of Pigment Stability During the Drying and Storage Process, JOURNAL OF FOOD SCIENCE, 69:1).

3절. 광펄스 처리기술 관련 정보

- Artíguez et al. (2015)의 연구에서는 포자와 영양세포의 광펄스 사멸 효과를 비교 분석하였음. 광펄스 처리 강도와 초기균수에 따른 영양세포와 포자의 사멸 정도를 비교하였으며 초기균수가 증가함에 따라 포자와 영양세포 모두 광펄스 사멸 효과가 낮아짐을 확인하였음. 뿐만 아니라 초기 균수를 고려하여 영양세포와 포자의 사멸효과를 비교하였는데 특정 초기균수와 광펄스의 세기에서는 영양세포의 사멸률이 오히려 낮게 나오는 결과가 도출되었고 이는 영양세포가 저항성이 더 낮지만 낮은 투과도에 따른 shading effect가 원인이 된다고 설명하고 있음.
- Artíguez et al. (2015)는 *Bacillus subtilis* 포자의 광펄스와 가열 처리의 병합처리 효과에 대한 연구를 보고하였음. 광펄스 처리를 한 뒤 열처리를 할 경우 광펄스만 단독 처리한 경우에 비하여 세포 사멸이 증가함을 확인함. 이는 광펄스 처리에도 살아남은 세포들은 sublethal damage를 받은 것으로 그 후 약간의 열만 가해도 사멸률이 증가하는 것이며, 광펄스 처리를 먼저 한 후 가열 처리하는 것이 가열 처리 후 광펄스 처리하는 것보다 사멸률을 증가시킬 수 있다는 것을 확인함. 또한 광펄스와 열처리의 병합처리를 이용하여 식품의 품질에는 영향을 최소화 하면서 광펄스를 통한 효과적 살균 가능성을 보여줌.
- Esbelin et al. (2016)은 포자가 광펄스에 저항성을 나타내는 요인을 밝히기 위하여 8가지 돌연변이 균주를 사용하여 UV-C와 moist heat과의 비교를 통하여 광펄스 처리로 인한 포자의 사멸 기작을 좀 더 명확하게 밝히고자 함. Coat formation이나 포자의 구조형성과 연관된 단백질이 결여된 돌연변이 균주들이 광펄스에 대한 민감도가 매우 높아진 반면 UV-C와 moist heat에는 큰 차이를 보이지 않았다는 결과를 통하여 Coat protein이 광펄스 조사에 대한 저항성에 가장 중요한 역할을 함.
- 최근에는 광펄스를 미생물 살균에만 적용하는 것이 아니라 식품의 기능성 물질 함량을 높이는 데 이용하기 위한 연구를 진행하고 있음. Aguilo-Aguayo et al. (2014)은 3.6-14 J/cm²의 에너지로 광펄스 처리한 아보카도 단면에서 체내 유해산소 예방, 피부 건강, 건강 증진에 도움이 되는 chlorophylls이 기존보다 1.3 배 증가하는 것을 확인하였음.
- Lopes et al. (2015) 역시 광펄스 처리한 Mango 껍질과 과육에 함유되어있는 phenol 함량 변화를 파악하고자 최고 15.75 J/cm²의 광펄스 처리한 후 HPLC를 이용하여 total phenol 함량을 측정된 결과, 처리 전에 비해 anthocyanin, yellow flavonoid 함량이 약 180% 증가하는 것을 관찰하였음.
- R.R SHARMA et al. (2003) 에 따르면 *Escherichia coli* O157:H7을 접종한 alfalfa 씨앗 10 g을 8 cm 높이에서 1260 J/cm²의 에너지로 처리 한 후, *Escherichia coli* O157:H7은 3.14 log 감소를 보임. 같은 조건에서 alfalfa 종자의 발아율은 78.1%로, 84 J/cm² 에너지에서 발아

을 83.5%인 경우와 유의적인 차이를 보이지 않았음. 그러나 광펄스를 통한 새싹 종자 미생물의 정확한 사멸 기작을 설명하지 못하였음.

- Nicoleta Aron Maftei et al. (2014) 에 따르면 두 종의 wheat grain 의 자연 발생한 곰팡이를 광펄스로 처리하였음, 최고 조건인 51.2 J/g 로 광펄스 처리 하였을 때, Romanian wheat grain의 mold가 4 log 감소함. 그러나 같은 조건에서 Romanian wheat grain의 발아율은 85%로 대조군 보다 15% 감소함을 보여, 유의적인 차이를 보이지 않았음.

4절. 콜드 플라즈마 처리기술 관련 정보

- Niemira 등(2008)은 사과에 콜드플라즈마를 처리하여 위해 미생물인 *E. coli* 와 *Salmonella*에 대하여 3 분 처리시, 2.6-3.7 log CFU/mL 의 감소를 확인하였다.
- Kim 등(2014)에 의하면, 플라즈마 형성가스로서 헬륨(He)을 사용하여 900 W에서 20 분 동안 처리한 결과, *Aspergillus flavus*를 2.5±0.3 log spores/g까지 억제하였으며, 마이크로파의 병합처리인 *Bacillus cereus*의 포자를 3.4±0.7 log spores/g까지 저해하여 콜드플라즈마 처리가 고춧가루 살균에 효과적임을 밝힌 바 있다.
- Hertwig et al. (2015)는 통후추의 살균에 일정 거리를 둔 마이크로웨이브 콜드플라즈마 시스템과 조사되는 거리가 비교적 가까운 radio frequency (rf) plasma jet의 살균효과를 비교한 결과, 마이크로웨이브 콜드플라즈마 시스템에서 위해균의 살균 효과가 더 탁월하다는 결과를 얻었다.
- 포장 단계에서의 콜드플라즈마 살균에 대한 연구를 한 Ziuzina et al (2013)에 따르면 포장재 안에 액체 상태로 부유된 균주에 DBD 방식의 콜드플라즈마를 조사하였을 때, *Escherichia coli* 가 약 7 log CFU/mL 까지 저해함을 보였다.
- Fernandez 등(2013)의 보고에 의하면, 질소 가스를 이용하여 15 분 동안 1 W의 전력으로 DBD 콜드플라즈마 처리 시, 양상추, 딸기, 감자에서 *Salmonella typhimurium*의 감소율이 각각 2.7±0.3, 1.8±0.7, and 0.9±0.3 log CFU/sample였다.
- Bermúdez-Aguirre 등(2013)은 대기압 하에서 아르곤을 이용하여 12.83 kv로 토마토와 양상추에 접종된 *E. coli*를 약 1.6 log CFU/g 저해하였다.
- Wang 등(2012)은 고전압의 500 V와 직류 전류를 이용하여 대기압에서 2 분 동안 콜드플라즈마 처리하여 슬라이스 당근에 접종된 살모넬라균(10^6 CFU/mL)을 90% 저해하였다.

7장 연구개발결과의 보안등급

	D-09
○ 해당사항 없음	

8

등록한 연구시설·장비 현황

					코드번호		D-10	
구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호

○ 해당사항 없음

9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

	코드번호	D-11
<p>○ 연구실험실 정기점검</p> <p>- 해당과제 연구기관의 연구실험실은 안전확보를 위하여 매년 연구실험실 정기점검을 실시하고 있음. 주요 점검 사항으로는, 일상점검 및 안전교육 실시(이수), 약품 등 관련대장 작성 비치, 시설 및 장비 점검, 정리정돈 등이 있으며, 항시 연구실 안전관리 준수사항 이행하고 있음.</p> <p>○ 안전 교육 훈련</p> <p>- 실험실의 안전을 확보하고 연구원의 건강을 보호하여 실험 및 연구활동에 기여하고, 또한 연구실 안전환경조성에 관한 법률에 의거하여 실험실의 환경안전교육이 의무화됨에 따라 이공계열 대학원생 및 관련자 전원은 환경안전교육을 의무적으로 수강 함.</p> <p>- 또한 연구실 화재 안전을 위해 매년 1회, 소방안전 교육에 참여하고, 분기별 소방점검을 실시함.</p> <p>○ 건강 검진.</p> <p>- 인체에 치명적인 위험물질 및 바이러스등에 노출될 유해인자를 상시 취급하는 참여연구원에 대해 년 1회 건강검진 실시.</p>		

10장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	D-12	
								사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	특허	청결고춧가루의 제조방법	바이오벤	출원인	대한민국	-	2015.10.30.	단독사사	-
2	논문	Construction of a pilot-scale continuous-flow intense pulsed light system and its efficacy in sterilizing sesame seeds	이화여대	주저자/ 교신저 자	Innovative Food Science & Emerging Technologi es	2.997	2016.10.17.	단독사사	SCI
3	특허	유전체장벽 방전에 의한 비열 플라즈마를 이용하는 식품 살균 장치 및 살균 방법	리노셈	출원인	대한민국	-	2015.10.30.	단독사사	-
4	논문	Microbial decontamination of onion powder using microwave-powere d cold plasma treatments	서울여대	주저자/ 교신저 자	Food Microbiolo gy	3.682	2016.10.02.	단독사사	SCI
5	논문	시중 판매 후추의 오염도 및 회분식 광펄스 처리에 의한 살균효과	전주대	주저자/ 교신저 자	한국식품과 학회지	-	2016.07.19.	단독사사	비SCI

11장 기타사항

코드번호	D-13
○ 해당사항 없음	

12장 참고문헌

코드번호	D-14
<ul style="list-style-type: none"> • Addala R, Vasavada M, Dong J, Subramanian S. (2015). Effect of Storage Conditions on Rate of Color Degradation of Paprika based Products. J Food Process Technol. 6:3, • Alderton, G., & Snell, N. (1970). Chemical states of bacterial spores: heat resistance and its kinetics at intermediate water activity. Applied microbiology, 19(4), 565-572. • Cserhalmi, Z., Vidacs, I., Beczner, J., & Czukor, B. (2002). Inactivation of <i>Saccharomyces cerevisiae</i> and <i>Bacillus cereus</i> by pulsed electric fields technology. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 3(1), 41-45. • Daood H. G., Kapitány J, Biacs P, Albrecht K. (2006). Drying temperature, endogenous antioxidants and capsaicinoids affect carotenoid stability in paprika (red pepper spice), J. Sci. Food Agr, 86:14, 2450 - 2457. • Edwards, J. L., Busta, F. F., & Speck, M. L. (1965). Thermal inactivation characteristics of <i>Bacillus subtilis</i> spores at ultrahigh temperatures. Applied microbiology, 13(6), 851-857. • Elviss, N. C., Little, C. L., Hucklesby, L., Sagoo, S., Surman-Lee, S., De Pinna, E., & Threlfall, E. J. (2009). Microbiological study of fresh herbs from retail premises uncovers an international outbreak of salmonellosis. International journal of food microbiology, 134(1), 83-88. • Feeherry, F. E., Munsey, D. T., & Rowley, D. B. (1987). Thermal inactivation and injury of <i>Bacillus stearothermophilus</i> spores. Applied and environmental microbiology, 53(2), 365-370. • Fine, Frédéric, and Patrick Gervais. (2005). A new high temperature short time process for microbial decontamination of seeds and food powders. Powder technology 157.1: 108-113. • Han, Y., Linton, R. H., Nielsen, S. S., & Nelson, P. E. (2000). Inactivation of <i>Escherichia coli</i> O157: H7 on surface-uninjured and-injured green pepper (<i>Capsicum annuum</i> L.) by chlorine dioxide gas as demonstrated by confocal laser scanning microscopy. Food microbiology, 17(6), 643-655. • Head, D. S., Cenkowski, S., Holley, R., & Blank, G. (2008). Effects of superheated steam on <i>Geobacillus stearothermophilus</i> spore viability. Journal of applied microbiology, 104(4), 1213-1220. • Jeong M.S., Ahn J.J., Akram K, Kim G.R., Im J.G., Kwon J.H., (2013). Microbiological and Physicochemical Quality Characterization of Commercial Red Pepper Powders. J. Fd Hyg. Safety, 28:1, 1-6. • Kim, J.H., & Naylor, H. B. (1966). Spore production by <i>Bacillus stearothermophilus</i>. Applied microbiology, 14(4), 690. • KIM S, PARK J, HWANG I.K. (2004). Composition of Main Carotenoids in Korean Red Pepper (<i>Capsicum annuum</i>, L.) and Changes of Pigment Stability During the 	

Drying and Storage Process, JOURNAL OF FOOD SCIENCE, 69:1.

- Prachayawarakorn, S., Prachayawasin, P., & Soponronnarit, S. (2006). Heating process of soybean using hot-air and superheated-steam fluidized-bed dryers. LWT-Food Science and Technology, 39(7), 770-778.
- Setlow, P. (2006). Spores of *Bacillus subtilis*: their resistance to and killing by radiation, heat and chemicals. Journal of applied microbiology, 101(3), 514-525.
- Syahrul, S., Dincer, I., & Hamdullahpur, F. (2003). Thermodynamic modeling of fluidized bed drying of moist particles. International Journal of Thermal Sciences, 42(7), 691-701.
- Valero, M., Hernández-Herrero, L. A., Fernández, P. S., & Salmerón, M. C. (2002). Characterization of *Bacillus cereus* isolates from fresh vegetables and refrigerated minimally processed foods by biochemical and physiological tests. Food Microbiology, 19(5), 491-499.
- Van Opstal, I., Bagamboula, C. F., Vanmuysen, S. C., Wuytack, E. Y., & Michiels, C. W. (2004). Inactivation of *Bacillus cereus* spores in milk by mild pressure and heat treatments. International journal of food microbiology, 92(2), 227-234.
- Murrell, W. G., & Scott, W. J. (1966). The heat resistance of bacterial spores at various water activities. Journal of General Microbiology, 43(3), 411-425.
- 배태진, 최옥수, 박재림, 김무남, 한봉호. (1991). 향신재료를 이용한 Oleoresin 제조에 관한 연구-2. 고추 Oleoresin 의 품질안정성. 한국식품영양과학회지, 20(6), 609-614.
- 우혜임, 김종배, 최지희, 김은혜, 김동술, 박건상, 김은정, 은종방, 엄애선. (2012). 고춧가루 제조, 가공업체의 시설 및 공정별 미생물학적 오염도 평가. 한국식품위생안전성학회지, 27(4), 427-431.
- 정중교, 이상조, 박승우, 김우균, 문성일. (2007). 대구·경북지역에서 생산 유통되는 고춧가루 제품의 기호적 특성. 보건환경연구보, 20, 39-58.
- 한국보건산업진흥원. (2005) 고춧가루 제조·가공업소 HACCP적용 일반모델 개발
- ASTA White Paper: Microbial Safety in Spices
- Adhikari, A., Syamaladevi, R. M., Killinger, K., & Sablani, S. S. (2015). Ultraviolet-C light inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes* on organic fruit surfaces. International Journal of Food Microbiology, 210, 136-142.
- Aguiló-Aguayo, I., Oms-Oliu, G., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2014). Impact of pulsed light treatments on quality characteristics and oxidative stability of fresh-cut avocado. LWT-Food Science and Technology.
- Aron Maftai, N., Ramos Villaruel, A. Y., Nicolau, A. I., Martín Belloso, O., & Soliva Fortuny, R. (2014). Pulsed light inactivation of naturally occurring moulds on wheat grain. Journal of the Science of Food and Agriculture, 94(4), 721-726.
- Artíguez, M. L., & de Marañón, I. M. (2015). Effect of pulsed light treatment on the germination of *Bacillus subtilis* spores. Food and Bioprocess Technology, 8(2), 478-485.
- Beuchat, L. R., Komitopoulou, E., Beckers, H., Betts, R. P., Bourdichon, F., Fanning, S., ... & Ter Kuile, B. H. (2013). Low - water activity foods: increased concern as vehicles

of foodborne pathogens. *Journal of Food Protection*®, 76(1), 150–172.

- Baumgartner, A., Grand, M., Liniger, M., & Iversen, C. (2009). Detection and frequency of *Cronobacter* spp. (*Enterobacter sakazakii*) in different categories of ready-to-eat foods other than infant formula. *International journal of food microbiology*, 136(2), 189–192
- Bialka, K. L., & Demirci, A. (2008). Decontamination of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* on Blue berries Using Ozone and Pulsed UV Light. *Journal of food science*, 72(9), M391–M396.
- Cheigh, C. I., Hwang, H. J., & Chung, M. S. (2013). Intense pulsed light (IPL) and UV-C treatments for inactivating *Listeria monocytogenes* on solid medium and seafoods. *Food Research International*, 54(1), 745–752.
- Choi, M. S., Cheigh, C. I., Jeong, E. A., Shin, J. K., & Chung, M. S. (2010). Nonthermal sterilization of *Listeria monocytogenes* in infant foods by intense pulsed-light treatment. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 504–509.
- Elmnasser, N., Guillou, S., Leroi, F., Orange, N., Bakhrouf, A., & Federighi, M. (2007). Pulsed-light system as a novel food decontamination technology: a review. *Canadian journal of microbiology*, 53(7), 813–821.
- Esbelin, J., Malléa, S., Clair, G., & Carlin, F. (2016). Inactivation by Pulsed Light of *Bacillus subtilis* Spores with Impaired Protection Factors. *Photochemistry and photobiology*.
- Fine, F., & Gervais, P. (2004). Efficiency of pulsed UV light for microbial decontamination of food powders. *Journal of Food Protection*®, 67(4), 787–792.
- Food and Drug Administration Issues Approval for Pulsed Light in the Production, Processing and Handling of Food)
- Gómez López, V. M., Devlieghere, F., Bonduelle, V., & Debevere, J. (2005). Factors affecting the inactivation of micro organisms by intense light pulses. *Journal of applied microbiology*, 99(3), 460–470.
- Gómez López, V. M., Ragaert, P., Debevere, J., & Devlieghere, F. (2007). Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(9), 464–473.
- Jun, S., Irudayaraj, J., Demirci, A., & Geiser, D. (2003). Pulsed UV light treatment of corn meal for inactivation of *Aspergillusnige* r spores. *International Journal of Food Science & Technology*, 38(8), 883–888.
- Krishnamurthy, K., Demirci, A., & Irudayaraj, J. (2004). Inactivation of *Staphylococcus aureus* by pulsed UV-light sterilization. *Journal of Food Protection*®, 67(5), 1027–1030.
- Lopes, M. M., Silva, E. O., Canuto, K. M., Silva, L. M., Gallão, M. I., Urban, L., ... & Miranda, M. R. A. (2015). Low fluence pulsed light enhanced phytochemical content and antioxidant potential of ‘Tommy Atkins’ mango peel and pulp. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*

- MacGregor, S. J., Rowan, N. J., McIlvaney, L., Anderson, J. G., Fouracre, R. A., & Farish, O. (1998). Light inactivation of food related pathogenic bacteria using a pulsed power source. *Letters in applied microbiology*, 27(2), 67-70.
- Macias Rodriguez, B., Yang, W., Schneider, K., & Rock, C. (2014). Pulsed UV light as a postprocessing intervention for decontamination of hard cooked peeled eggs. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(11), 2472-2480.
- Miller, B. M., Sauer, A., & Moraru, C. I. (2012). Inactivation of *Escherichia coli* in milk and concentrated milk using pulsed-light treatment. *Journal of Dairy Science*.
- Nicorescu, I., Nguyen, B., Chevalier, S., & Orange, N. (2014). Effects of pulsed light on the organoleptic properties and shelf-life extension of pork and salmon. *Food Control*, 44, 138-145.
- Oms-Oliu, G., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2010). Pulsed light treatments for food preservation. A review. *Food and Bioprocess Technology*, 3(1), 13-23.
- Pataro, G., Muñoz, A., Palgan, I., Noci, F., Ferrari, G., & Lyng, J. G. (2011). Bacterial inactivation in fruit juices using a continuous flow Pulsed Light (PL) system. *Food Research International*, 44(6), 1642-1648.
- Rowan, N. J., MacGregor, S. J., Anderson, J. G., Fouracre, R. A., McIlvaney, L., & Farish, O. (1999). Pulsed-light inactivation of food-related microorganisms. *Applied and environmental microbiology*, 65(3), 1312-1315.
- Sharma, R. R., & Demirci, A. (2003). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on inoculated alfalfa seeds with pulsed ultraviolet light and response surface modeling. *Journal of Food Science*, 68(4), 1448-1453.
- Smith, W. L., Lagunas-Solar, M. C., & Cullor, J. S. (2002). Use of pulsed ultraviolet laser light for the cold pasteurization of bovine milk. *Journal of Food Protection*, 65(9), 1480-1482.
- Syamaladevi, R. M., Lu, X., Sablani, S. S., Insan, S. K., Adhikari, A., Killinger, K., ... & Annapure, U. (2013). Inactivation of *Escherichia coli* population on fruit surfaces using ultraviolet-c light: influence of fruit surface characteristics. *Food and Bioprocess Technology*, 6(11), 2959-2973.
- Syamaladevi, R. M., Adhikari, A., Lupien, S. L., Dugan, F., Bhunia, K., Dhingra, A., & Sablani, S. S. (2015). Ultraviolet-C light inactivation of *Penicillium expansum* on fruit surfaces. *Food Control*, 50, 297-303.
- Turtoi, M., & Nicolau, A. (2007). Intense light pulse treatment as alternative method for mould spores destruction on paper - polyethylene packaging material. *Journal of food engineering*, 83(1), 47-53.
- Uesugi, A. R., Hsu, L. C., Worobo, R. W., & Moraru, C. I. (2016). Gene expression analysis for *Listeriamonocytogenes* following exposure to pulsed light and continuous ultraviolet light treatments. *LWT-FoodScienceandTechnology*, 68, 579-588.

- Woodling, S. E., & Moraru, C. I. (2005). Influence of Surface Topography on the Effectiveness of Pulsed Light Treatment for the Inactivation of *Listeria innocua* on Stainless steel Surfaces. *Journal of Food Science*, 70(7), m345-m351.
- 김애진, & 신정규. (2015). 회분식 광펄스 처리에 의한 병원성 대장균의 비가열 살균. *한국식품과학회지*, 47(1), 81-86.
- 조형용, 신정규, 송영애, 윤선주, 김중만, & 변유량. (2002). 광 펄스에 의한 젓산균의 비가열 살균. *한국식품과학회지*, 34(4), 631-636.
- www.cdc.gov/salmonella/montevideo-tahini-05-13/
- Bean, P.G. and Salvi, A. 1970 The bacteriological quality of some raw materials used in the Italian canning industry. *Ind. Alimentata* (Pinerolo, Italy), 9 (4), 547 - 63 (in Italian).
- Byun, M. W., Kwon, J. H., Lee, M. K., Cho, H. O. 1984. Effect of Irradiation on the Sterilization of Black Pepper Powder. 1984. *Korean J. Food sic. technol.* Vol. 16, No. 3.
- Cho, H. O., Kwon, J. H., Byun, M. W., Kim, Y. J., Yang, S. J. 1986. Effects of Ethylene Oxide Fumigation and Gamma Irradiation on the Quality of Ground Red and Black Peppers. *Korean J. Food sic. technol.* Vol. 18, No. 4.
- Christensen CM, Fanse HA, Nelson GH, Bates F, Mirocha CJ. 1967. Microflora of black and red pepper. *Appl. Microbiol.* 15:622-626.
- Farkas, J. 2000 Spices and Herbs, in *The Microbiological Safety and Quality of Foods* (eds B.M. Lund, T.C. Baird-Parker and G.W. Gould), *volume 1*, Aspen Publication.
- Garcia, S., Iracheta, F., Galvan, F. and Heredia, N. 2001. Microbiological survey of retail herbs and spices from Mexican markets. *J. Food Protect.*, 64, 99 - 103.
- Hartgen, H. and Kahlan, D.I. 1985. Bedeutung der Koloniezahl bei Haushaltsgewürzen. *Fleischwirtschaft*, 65(1), 99.
- ISO, 1995. Spices and condiments - Botanical nomenclature. ISO 676.
- Jung, J. J., Choi, E. J., Lee, Y. J., Kang, S. T. 2011. *Korean J. Food sic. technol.* vol. 43, No. 2, pp. 156-160.
- Jung, S. H., Chung, M. S., Lee, J. S., and Park, K. M. 2002. Antimutagenic effects of extracts of curry powder and its individual spice. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 22, 352-357.
- Jung, S. H., Chung, M. S., Lee, J. S., and Park, K. M. 2002. Antimutagenic effects of extracts of curry powder and its individual spice. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 22, 352-357.
- Shin JK, Kwon OY, Park MW, Son SM. Effect of high intensity pulsed light treatment conditions on inactivation of pathogens. *Food Eng. Prog.* 16: 393-398 (2012)
- Juri ML, Ito H, Watanabe H, Tamura N. 1986. Distribution of microorganisms in

spices and their decontamination by gamma irradiation. *J. Agr. Biol. Chem.* 50: 347-355.

- Kim, B. H., Kim, H. J., Yoon, Y. H., Shin, M. G., Lee J W. 2010. Comparison of the Effects of Gamma Ray and Electron Beam Irradiation to Improve Safety of Spices for Meat Processing. *Korean J. Food Sci.* Vol. 30, No. 1, pp.124-132.
- Kim, J. E., Kim, I. H., Min, S. C. 2013. Microbial Decontamination of Vegetables and Spices Using Cold Plasma Treatments. *Korean J. Food sic. technol.* Vol. 45, No. 6, pp. 735-741.
- Ko, J. K. 1995. A Study on Quantitative Method of Piperine in Pure Ground Black Pepper. *J. Fd. Hyg. Safety* 10(3), 169-174.
- Ko, J. K., Ma, Y. H., Song K. B. 2005. Effect of Electron Beam Irradiation on Microbial Qualities of Whole Black Pepper Powder and Commercial sunsik. *Korean J. Food sic. technol.* Vol. 37, No. 2, pp. 308-312.
- Krishnaswamy, M.A., Patel, J.D., Pathasarathy, N. and Nair, K.K.S. 1973. Some of the types of coliforms, aerobic mesophilic spore formers, yeasts and moulds present in spices. *J. Plant Crops*, 1 (Supplement), 200 - 3.
- Kwak, Y. S., Chng J. K. 2001. Effect of various Sterilization Methods on Growth of Microorganism Contaminated in Ginseng Powder. *J. Fed Hyg. Safety* 16(3), 221-226.
- Kwon, H. J., Byun, M. W., Cho, H. O., Choi, J. U. 1994. *Korean J. Food sic. technol.* vol. 26, No. 2. pp. 167-171
- Kwon, H., Lee, J. E., Kim, J. S., Kwon, H. J. 2000. Effects of Electron Beam Irradiation on the Quality of Kochujang Powder. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29(4), 655-662
- Kwon, J. H., Kim, M. Y., Kim, B. K., Lee, J. E., Kim, D. H., Lee, J. W., Byun, M. W., and Lee, C. B. 2006. Identification characteristics of irradiated dried-spicy vegetables by analyzing photostimulated luminescence (PSL), thermoluminescence(TL) and electron spin resonance (ESR). *Korean J. Food Preserv.* 13, 50-54.
- Lawrence, B.M. 1978. Recent progress in essential oils. *Perfum. Flavorist*, 2(12), 44 - 9.
- Lee, B. W., Cheon, S. H. 1996. Change in the Microorganism of Pepper (*Piper nigrum* L.) Treated with Ozonated Water. *Korean J. post harvest sic. technol. agri. products.* Vol. 3. No. 2, pp.145-148.
- Lee, M. K., Lee, M. H., Kwon, J. H. 1998. Sterilizing Effect of Electron Beam on Ginseng Powders. *Korean J. Food sic. technol.* Vol. 30, No. 6, pp. 1362-1366.
- Lee, S. H., Lee, H. J., Byun, M. W. 1997. Effects of Ozone Treatment and Gamma Irradiation on the Microbial Decontamination and Physicochemical Properties of Red pepper Powder. *Korean J. Food sic. Nutr.* 26(3), 462-467.
- Mok, C.K., Jeon, H.J. 2013. Low Pressure Discharge Plasma Inactivation of Microorganisms in Black Pepper Powder. *Food Engineering Progress.* Vol. 17, No. 1.

pp. 43-47.

- Neumayr, L., Promeuschel, L., Arnold, I. and Leistner, L. 1983. Gewurzentkeimung. Verfahren und Notwendigkeit. Abschlussbericht für die Adalbert-Raps-Stiftung zum Forschungsvorhaben, Institut für Fleischforschung, Kulmbach.
- Pafumi, J. 1986. Assessment of the microbiological quality of spices and herbs. *J. Food Protect.*, 49, 958 - 63.
- Park, W. K., Yoon, J. H., Choi, C. U. 1991. Studies on Quality Evaluation of Pepper(*piper nigrum* L.). *Korean J. Food sic.* vol. 23, No. 1, pp. 15-18.
- Peter, K.V. 2001. *Handbook of Herbs and Spices*, CRC Press, Woodhead Publishing Limited.
- Powers, E.M., Ay, C., EI-Bisi, H.M. and Rowley, D. B. 1971. Bacteriology of dehydrated space foods. *Appl. Microbiol.*, 22(3), 441 - 5.
- Powers, E.M., Latt, T.G. and Brown, T. 1976. Incidence and levels of *Bacillus cereus* in processed spices. *J. Milk Food Technol.*,39, 668 - 70.
- Powers, E.M., Lawyer, R. and Masuoka, Y. 1975. Microbiology of processed spices. *J. Milk Food Technol.*, 38, 683 - 7.
- Sadecka J, Petka J, Suhaj M. 2005. Influence of two sterilization ways on the volatiles of black pepper (*Piper nigrum* L.). *Chem. Listy* 99: 335-338.
- Seenappa, M. and Kempton, A.G. 1980a. *Aspergillus* growth and aflatoxin production on black pepper. *Mycopathologia*, 70, 135 - 7.
- Seenappa, M. and Kempton, A.G. 1980b. Application of minicolumn detection method for screening spices for aflatoxin. *J. Environ. Sci. Health*, 15, 219 - 31.
- Seenappa, M., Stobbs, L.W. and Kempton, A.G. 1979. The role of insects in the biodeterioration of Indian red peppers by fungi. *Int. Biodeterioration Bull.*, 15, 96 - 102.
- Shamshad, S.I., Zuberi, R. and Qadri, K. 1985. Microbiological studies on some commonly used spices in Pakistan. *Pak. J. Sci. Ind. Res.*, 28(6), 395 - 9.
- Tainter, D.R. and Grenis, A.T. 2001 *Spices and Seasonings—A Food Technology Handbook*, 2nd edn, John Wiley & Sons Inc., Publications
- Dunn JE, Clark RW, Asmus JF, Pearlman JS, Boyer K, Painchaud F, Hofmann GA. Methods for preservation of foodstuffs. US Patent 5,034,235 (1991)
- Hong HJ, Kim AJ, Park HR, Shin JK. Changes in physicochemical properties of paprika by intense pulsed light treatment. *Korean J. Food Sci. Technol.* 45: 339-344 (2013)
- de Alwis HMG, Grandison AS. Viscometry as detection method for electron beam irradiation of black pepper. *Food Control* 3: 205-208 (1992)
- Rico CW, Kim GR, Ahn JJ, Kim HK, Furuta M, Kwon JH. The comparative effect of steaming and irradiation on the physicochemical and microbiological properties of dried red pepper (*Capsicum annum* L.). *Food Chem.* 119: 1012-1026 (2010)

- Yi SD, Oh MJ, Yang JS. Detection capability by change of amylograph characteristics of irradiated black pepper. Korean J. Food Sci. Technol. 33: 195-199 (2001)
- Sofia MSF, Joseph FF. Challenges in the control of foodborne pathogens in low-water activity foods and spices. In: The Microbiological Safety of Low Water Activity Foods and Spices. Gurtler JB, Doyle MP, Kornacki JL. (Eds.) Springer-Verlag, NewYork, NY, USA, pp 15-34.
- Baxter R, Holzapfel H. A microbial investigation of selected spices, herbs, and additives in South Africa. J. Food Sci. 47: 570-574 (2006)
- ASTA, White papers-Microbial safety in spices. American Spice Trade Association, Washington, DC, USA (2013)
- Schweiggert U, Carle R, Schieber A. Conventional and alternative processes for spice production- a review. Trends Food Sci. Tech. 18: 260-268 (2007)
- Wendrof WL, Wee C. Effect of smoke and spice oils on growth of molds on oil-coated cheese. J. Food Prot. 60: 153-156 (1997)
- Geise J. Spices and seasoning blends: a taste for all seasons. Food Technol. 48: 87-89 (1994)
- Fqinley, N., Fields, M. L., 1962. Heat activation and heat-induced dormancy of *Bacillus stearothermophilus* spores. Applied and environmental microbiology, 10, 231 - 236.
- Schweiggert, U., Carle, R., Schieber, A., 2007. Conventional and alternative processes for spice - a review. Trends in food science and technology, 18, 260 - 268.
- Pezzutti, A., Marucci, P. L., Sica, M. G., Matzkin, M. R., Croci, C. A.. 2005. Gamma-ray sanitization of Argentinean dehydrated garlic (*Allium sativum L.*) and onion (*Allium cepa L.*) products. Food research international, 38, 797-802.
- Vijayanandraj, V. R., Nagendra Prasad, D., Mohan, N., Gunasekaran, M., 2006. Effect of ozone on *Aspergillus niger* causing black rot disease in onion. Ozone: Science and engineering, 28, 347-350.
- Mafart, P., Leguérinel, I., 1997. Modelling the heat stress and the recovery of bacterial spores. International journal of food microbiology, 37, 131-135.
- Baker, J. M., Griffiths, M. W., 1993. Predictive modeling of psychrotrophic *Bacillus cereus*. Journal of food protection, 56, 684-688.
- Bazyma, L. A., Guskov, V. P., Basteev, A. V., Lyashenko, A. M., Lyakhno, V., Kutovoy, V. A., 2006. The investigation of low temperature vacuum drying processes of agricultural materials. Journal of food engineering, 74, 410-415.
- Maskan, M., 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. Journal of food engineering, 44, 71-78.
- Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y., Tagawa, A., 2007. Vacuum drying characteristics of eggplants. Journal of Food Engineering, 83, 422-429.

- Hong, Y. F., Kang, J. G., Lee, H. Y., Uhm, H. S., Moon, E., Park, Y. H., 2009. Sterilization effect of atmospheric plasma on *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* endospores. *Journal of applied microbiology*, 48, 33 - 37.
- Roth, S., Feichtinger, J., Hertel, C., 2010. Characterization of *Bacillus subtilis* spore inactivation in low-pressure, low-temperature gas plasma sterilization processes. *Journal of applied microbiology*, 108, 521 - 531.
- Korachi, M., Turan, Z., Şentürk, K., Şahin, F., Aslan, N., 2009. An investigation into the biocidal effect of high voltage AC/DC atmospheric corona discharges on bacteria, yeasts, fungi and algae. *Journal of electrostatics*, 67, 678-685.
- Song, H. P., Kim, B., Choe, J. H., Jung, S., Moon, S. Y., Choe, W., Jo, C., 2010. Evaluation of atmospheric pressure plasma to improve the safety of sliced cheese and ham inoculated by 3-strain cocktail *Listeria monocytogenes*. *Food microbiology*, 26, 432 - 436.
- Akitsu, T., Ohkawa, H., Tsuji, M., Kimura, H., Kogoma, M., 2005. Plasma sterilization using glow discharge at atmospheric pressure. *Surface and coatings technology*, 193, 29-34.
- Boucher, R. M. G., 1980. U.S. Patent No. 4,207,286. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Purevdorj, D., Igura, N., Hayakawa, I., Ariyada, O., 2002. Inactivation of *Escherichia coli* by microwave induced low temperature argon plasma treatments. *Journal of food engineering*, 53, 341-346.
- Fröhling, A., Baier, M., Ehlbeck, J., Knorr, D., Schlüter, O., 2012. Atmospheric pressure plasma treatment of *Listeria innocua* and *Escherichia coli* at polysaccharide surfaces: Inactivation kinetics and flow cytometric characterization. *Innovative food science and emerging technologies*, 13, 142-150.
- Brien, R. M., Chamberlin, E.E., Dye, D.W., Harrison, R.A., Smith, H.C., 1959. Diseases and pests of onions in New Zealand and their control. *Department of Scientific and Industrial Research Bulletin*, 24, 9-12.
- Van Konijnenburg, A., Pozzo Ardizzi, M. C., 1994. Variables which influence the occurrence of black mould (*Aspergillus niger*) on onion bulb in the rop negro valley. In I International symposium on edible alliaceae, 433, 635-638.
- Fernandez, A., Shearer, N., Wilson, D. R., Thompson, A., 2011. Effect of microbial loading on the efficiency of cold atmospheric gas plasma inactivation of *Salmonella enterica serovar Typhimurium*. *Journal of food microbiology*, 152, 175 - 180.
- Burts, M. L., Alexeff, I., Meek, E. T., McCullers, J. A., 2009. Use of atmospheric non-thermal plasma as a disinfectant for objects contaminated with methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *American journal of infection control*, 37, 729-733.
- Deng, X. T., Shi, J. J., Shama, G., Kong, M. G., 2005. Effects of microbial loading

and sporulation temperature on atmospheric plasma inactivation of *Bacillus subtilis* spores. Applied physics letters, 87, 153901.

- Fridman, G., Brooks, A. D., Balasubramanian, M., Fridman, A., Gutsol, A., Vasilets, V. N., Ayan, H., Friedman, G., 2007. Comparison of direct and indirect effects of non thermal atmospheric pressure plasma on bacteria. Plasma processes and polymers, 4, 370-375.
- Raballand, V., Benedikt, J., Wunderlich, J., Von Keudell, A., 2008. Inactivation of *Bacillus atrophaeus* and of *Aspergillus niger* using beams of argon ions, of oxygen molecules and of oxygen atoms. Journal of physics D: Applied physics, 41, 115-207.
- Park, C. M., Beuchat, L. R., 2000. Survival of *Escherichia coli* O157: H7 in potato starch as affected by water activity, pH and temperature. Letters in applied microbiology, 31, 364-367.
- Lee, H, Kim, J, E, Chung, M., Min, S. C., 2015, Cold plasma treatment for the microbiological safety of cabbage, lettuce, and dried figs. Food microbiology. 51: 74-80.
- Little, C. L., Omotoye, R., Mitchell, R. T., 2003. The microbiological quality of ready-to-eat foods with added spices. International journal of environmental health research, 13, 31-42.
- Kim, S. Y., Sagong, H. G., Choi, S. H., Ryu, S., Kang, D. H., 2012. Radio-frequency heating to inactivate *Salmonella Typhimurium* and *Escherichia coli* O157: H7 on black and red pepper spice. International journal of food microbiology, 153, 171-175.
- Peleg, M., 1995. A model of microbial survival after exposure to pulsed electric fields. Journal of the science of food and agriculture, 67, 93-99.

< 별첨 >

* 위탁연구보고서

- 과열수증기를 이용한 분체식품의 미생물 위해성 저감화 기술 개발 (서울대학교)
- Cold plasma를 이용한 분체식품의 미생물 위해성 저감화 기술 개발 (서울여자대학교)

* 분체식품의 미생물 오염도 조사

* 가이드라인

- 과열수증기처리를 이용한 무균고춧가루 제조방법
- 광펄스 살균
- 콜드플라즈마

* 정책제안서

제1세부 위탁연구개발보고서(서울대학교)

보고서 요약서

과제고유번호	313031-3	해 당 단 계 연 구 기 간	2015.11.20.~2 016.11.19.(3년)	단 계 구 분	(3 단계)/ (총 3 단 계)
연 구 사 업 명	중 사 업 명	고부가가치식품기술개발사업			
	세부 사업명				
연 구 과 제 명	대 과 제 명	분말제품의 고효율 저탄소 살균 기술 및 장치 개발			
	세부 과제명	과열수증기를 이용한 분말제품 살균조건의 최적화			
연 구 책 임 자	최 영 진	해당단계 참 여 연구원 수	총: 4 명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연 구 개 발 비	정부: 50,000천원 민간: 천원 계: 50,000천원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총: 12 명 내부: 명 외부: 명	총 연구개발비	정부: 150,000천 원 민간: 천원 계: 150,000천 원
위 탁 연 구	연구기관명: 서울대학교			연구책임자: 최영진	
				보고서 면수	

국문 요약문

					D-01
연구의 목적 및 내용	○ 과열수증기를 이용한 분말 제품 살균의 적용성을 검증하고 최적 살균 조건을 결정함.				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다양한 분체상 식품에 대한 과열수증기 살균 처리의 적용성을 탐색하여 고춧가루 시료를 최종 선정 ○ 시판 고춧가루의 오염도 조사 완료 ○ 분체 식품 살균에 적합한 형태의 lab-scale 연구용 과열수증기 장치를 제작하고 <i>Bacillus</i> spore 연구를 위한 reacting cell과 홍고추 살균을 위한 reacting cell을 추가로 제작 ○ 입자 크기가 다른 고춧가루와 냉동홍고추, 손질된 홍고추를 대상으로 과열수증기 온도와 시간에 따른 살균 효과를 측정하여 최적조건을 수립 ○ 과열수증기 처리 조건에 따른 미생물 저감화 양상, 품질변화 및 저장성 측정 				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 과열수증기를 이용한 살균 기술은 고춧가루 뿐 아니라 다양한 분체식품의 살균에도 적용 가능성이 높다. 또한, 국내에서는 과열수증기를 이용한 가공기술의 연구가 부족하며, 그 중 살균기술은 아직 실제 식품산업에서는 많이 사용되고 있지 않다. 본 연구를 통해 과열수증기 살균 기술을 실제 식품산업에 적용가능성을 제시하였으며, 실용화를 위한 학문적 기초자료로 활용할 것으로 기대한다.				
중심어 (5개 이내)	과열수증기	고춧가루	분체식품	홍고추	<i>Bacillus cereus</i> spore

〈 SUMMARY 〉

		D-02			
Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> ○ To verify applicability of superheated steam sterilization for particulate foods and to establish the optimal treatment conditions. 				
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ The applicability of superheated steam sterilization for various particulate foods was tested and red pepper powder was selected as a target sample. ○ The contamination level of various red pepper powder products in the market was evaluated. ○ A fluidized type lab-scale superheated steam equipment was built and reacting cells for <i>Bacillus</i> spore and red pepper were made as well. ○ The optimal treatment conditions were established by measurements of sterilization effects and quality deterioration of red pepper powder with various sizes, frozen red pepper, and cleaned rep pepper. ○ The storage stability of the superheated steam treated sample were evaluated. 				
Expected Contribution	<p>Sterilization technology using superheated steam has high applicability to various powdered foods including red pepper powder. There is also not enough research on food processing using superheated steam in Korea, and in particular, sterilization technology is not yet widely used in the food industry. This study suggested that superheated steam sterilization technology is applicable to the food industry practically and the results can be used as basic data for practical application.</p>				
Keywords	superheated steam	particulate food	red pepepr powder	red pepper	<i>Bacillus cereus</i> spore

1. 연구개발과제의 개요

D-03

1-1. 연구개발 목적

- 다양한 분체식품을 대상으로 과열수증기 살균의 적용성을 검증하고 최적 살균 조건을 결정한다.

1-2. 연구개발의 필요성

- 식품산업에서 분(립)체 식품의 살균 공정의 확립이 미비한 실정이다. 분체 식품은 방사선 조사 외에는 유의미한 살균 방법이 정립되지 못하고 있을 뿐 아니라 방사선 조사 식품에 대한 부정적인 소비자들의 인식 때문에 살균이 어려워 식중독 등의 잠재적 위험 요소가 있다. 따라서 미생물학적 안전성 및 품질면에서 분체식품의 오염 미생물의 저감화를 위한 살균 기술의 연구가 필요하다.

1-3. 연구개발 범위

- 분체(분말)시료의 오염도 조사
- 연구용 과열수증기(SHS) 살균장치 설계, 제작
- SHS 살균의 기초연구
- 과열수증기의 온도와 처리시간에 따른 spore와 위해균의 사멸곡선 측정
- 과열수증기로 처리한 시료를 냉장온도와 실온에서의 저장 안정성 측정
- Pilot SHS을 이용한 냉동홍고추의 살균 조건 최적화
- Pilot SHS 처리 시료의 저장성 연구

2. 국내외 기술개발 현황

D-04

과열수증기 처리 기술

- 현재 과열 증기는 폐기물 처리 현장 등에서 이용되고 있어 그 자체는 새로운 기술은 아니다. 그러나 가정용 조리 기구에 과열 증기에 의한 조리 기능이 탑재되고 고온 공기와 비교하여 3~4 배의 열용량을 가지고 있기 때문에 환경보전에 대한 소리가 높아지는 가운데 에너지 절약과 환경 부하 저감에 공헌하는 열처리 공정으로서 그 응용 기술이 주목받고 있다.
- 과열수증기는 상압 상태로 100°C의 증기를 더욱 가열한 증기로 대상물의 가열이나, 건조, 살균 등의 효율화를 목적으로 사용되고 있다. 또한 무산소 상태로 산화시키지 않고 건조, 소성이 생기므로 식품 가공, 전자 산업, 요업, 폐기물 처리 등 폭넓은 분야에서 그 기술의 응용되고 있다.
- 현재 국내의 과열수증기 기술연구는 열풍 건조의 단점을 보완한 식품 건조를 위한 장치 개발 정도이다. 과열수증기를 이용한 식품 가공 기술은 식품 산업에서도 이용되고 있고 연구가 활발하게 이루어져 있으나 식품 가공 공정에서 과열수증기를 이용한 기술은 개념 정립 단계이다.
- 과열수증기가 가장 활발히 연구되고 있는 일본에서는 과열수증기 발생기구와 이를 이용한 건조기 등의 설비 기술연구가 진행되고 있다. 미국, 유럽 등에서는 조리용 증기 오븐에 유사한 기술을 적용하고 있으나 뚜렷한 연구개발 성과는 없는 상태이다.
- 과열수증기를 이용한 식품 건조에 관한 연구논문은 다수 게재되어 있으나, 식품 살균에 적용한 논문은 그 수가 미미한 실정이므로, 과열수증기를 이용한 미생물 저감화에 관한 추가적인 연구가 요구된다.

3. 연구수행 내용 및 결과

I. 분체(분말)식품 살균용 과열 수증기 장치

1. 과열 수증기 장치

○ 분체(분말) 시료 실험을 위해 본 연구에 사용된 과열수증기 살균 장치는 수조, 보일러, 수퍼히터, 반응 chamber 등으로 구성되어 있다(그림 1-1-1). 전체 배관 시스템은 스테인레스 스틸로 제작되었고 열손실을 방지하기 위하여 유리섬유 계통의 단열재를 사용하였다. 보일러(DWE-15, 대우스팀 보일러)는 1차 히터로서 수조로부터 공급된 물을 증발시켜 포화 수증기를 생성하고 이 포화수증기는 수퍼히터를 통과하며 열량을 더 공급받아 과열수증기가 된다. 생성된 과열수증기는 반응 chamber에서 시료와 접촉하고 상단부로 배출되게 된다. 반응 chamber에서의 시료 응축을 방지하기 위하여 반응 chamber 외부에 band heater를 장착하여 응축 현상을 최소화 하였다. 분(립)체 시료의 특성 상 효율적인 열전달을 위하여 유동이 가능하고 착탈이 용이한 reacting cell을 별도로 설계하여 제작하였다. 보일러와 수퍼히터의 출력을 가변저항을 이용하여 과열수증기의 온도와 풍량을 조절할 수 있다. 과열수증기 온도는 반응 chamber에 설치된 thermocouple에서 측정되는 온도로 조절한다.

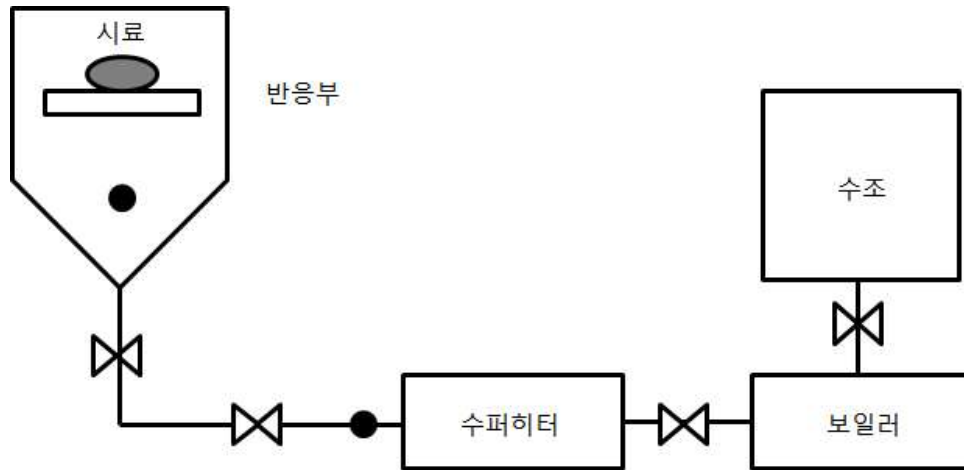


그림 1-1-1. 제작된 장치의 모식도 (● : thermocouple).

가. 보일러 및 수퍼히터

○ 본 과열수증기 살균 장치에 사용된 보일러의 최대 전력량은 15 kW/h이며, 증기의 최대 생성량은 20.19 kg/h이다. 보일러 내부의 물이 최저 수위(BDC (bottom dead center)) 이하로 떨어지면 수조로부터 최고 수위(TDC (top dead center))까지 물이 공급되도록 설계되어 있다. 최대 4기압까지의 포화수증기를 생성할 수 있으며, 최대 기압은 내부적

으로 조절이 가능하다. BDC와 TDC의 간격을 조절하여 증기 발생의 단락이 없이 지속적으로 포화수증기가 발생하도록 수정하였다.

- 수퍼히터는 보일러에서 생성된 포화수증기를 가열하여 과열수증기로 생성해 주는 역할을 한다. 수퍼히터의 최대 전력량은 5 kW/h이며, 총 3.5 m 길이의 U자관을 이용하여 제작되었다. 직선관 내부 중심에 시즈히터(sheath heater)를 설치하였으며, 열손실을 최소화하기 위하여 보호컨테이너 내부에 단열재를 채웠다. 수퍼히터의 출력은 10 Ω의 가변저항을 이용하여 제어가 가능하다.

나. 과열 수증기의 온도 측정

- 과열 수증기 온도 측정 시스템은 pt100Ω 온도센서, data logger 및 지시계로 구성되어 있으며 수퍼히터 출구부의 과열 수증기 온도와 반응 chamber에서의 과열 수증기 온도를 자동으로 측정할 수 있다. pt100Ω 온도센서는 배관의 중심부에 위치하도록 길이를 조정하였다.

다. 반응 chamber

- 반응 chamber는 크게 실리콘 링, standard clamp 및 내부 reacting cell 등으로 구성되어 있다. 반응 chamber에는 단열을 위하여 band heater를 결합시켜 응축을 방지하고 과열 수증기의 열손실을 방지하였다. 또한 그 위에 40 mm 이상의 두꺼운 단열재를 감아 단열을 유지할 수 있도록 하였다. 반응 chamber의 상단부에 reacting cell의 탈착이 가능하다.

라. Reacting cell

- 유동층형 기기는 식품의 건조, 냉동 등 분체의 열가공에 많이 쓰이는 형태이다(Syahrul *et al.* 2003). 분체 식품이 유동하면서 열매체와의 접촉면이 넓어지게 되어 열전달이 빠르게 일어나기 때문이다(Prachayawarakorn *et al.* 2006). 따라서 본 연구에서도 분말제품의 유동효과를 유도하여 균일한 열전달을 통한 효과적인 살균을 이루고자, 적합한 reacting cell을 제작하였다.
- 그림 1-1-2에서 보듯이 reacting cell는 60 mm의 내경, 118 mm의 높이로 제작되었고 아랫면과 옆면은 100 mesh의 다공성 스테인리스 망으로 구성하였으며, 윗면은 탈착이 가능하여 시료의 유동효과를 돕고 회수를 용이하게 하였다. 또한 반응 chamber와 닿는 부분을 실리콘 링으로 결합시켜 과열수증기의 누수가 없도록 하였으며, reacting cell의 탈착은 클램프를 이용하였다. 과열 수증기의 속도나 압력에 의해 옆면의 스테인리스 망의 모양이 변형되는 것을 막고자 스테인리스 기둥을 덧붙였다. 마지막으로, 윗부분은 클램프로 쉽게 잡을 수 있도록 reacting cell의 내경보다 크게 제작되었다.

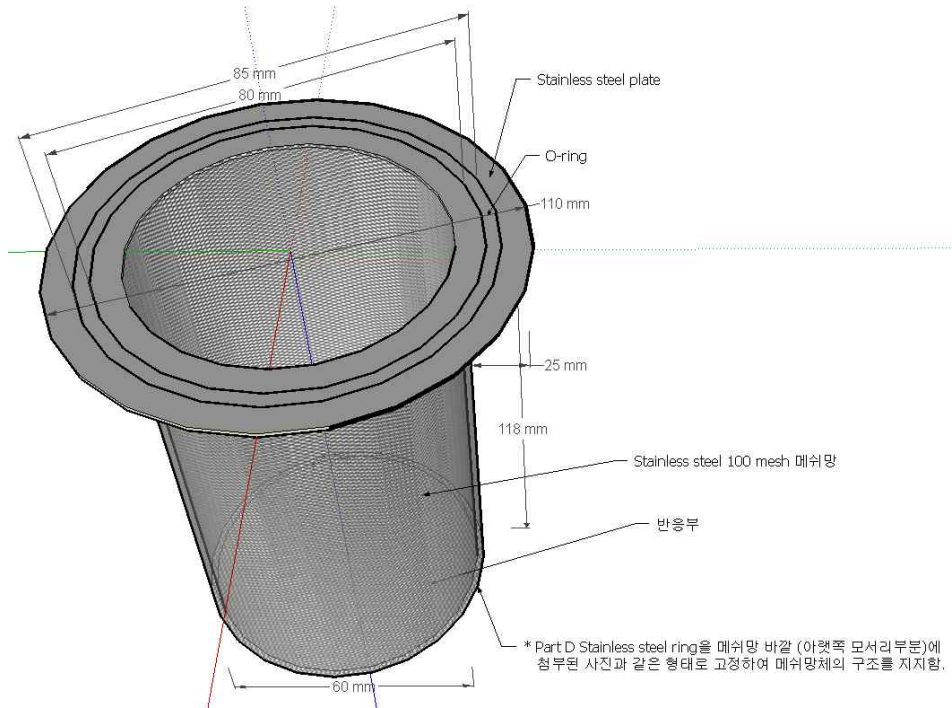


그림 1-1-2. 과열수증기 reacting cell.



그림 1-1-3. Reacting cell 실사.

- 그림 1-1-3의 reacting cell은 100 mesh보다 작은 입도의 식품은 처리하지 못하는 단점이 있어 다양한 시료의 처리를 위해 더 작은 크기의 mesh로 이루어진 reacting cell을 제작하여 처리하였다.

2. 과열 수증기의 온도와 풍량 설정

가. 온도

- 수퍼히터의 출력값과 과열 수증기 온도의 상관관계를 알아보기 위하여 출력값에 따른 온도 변화를 측정하였다(표 1-2-1). 이 때 측정된 온도는 reacting cell 의 바로 아래의 온도로, 실제 실험에 사용된 과열 수증기의 온도를 나타낸다.
- 수퍼히터의 출력과 과열 수증기 온도간의 표준곡선을 polynomial equation을 이용하여 작성하였다. 그 결과 $y = -22.55x + 79.07x^2 - 10.93x + 99.97$ 의 3차식을 갖는 회귀곡선이 계산되었다. R^2 값은 0.9998으로, 높은 상관성을 보였으며, 회귀식을 이용한 검증실험을 통해 과열 수증기의 온도를 수퍼히터의 출력으로 안정적으로 조절할 수 있음을 확인하였다.

표 1-2-1. 수퍼히터의 출력에 따른 과열 수증기의 온도 변화

수퍼히터의 출력 (%)	반응부에서의 과열 수증기 온도(℃)
15	112.66
26	138.36
34	161.69
41	179.65
48	198.08

나. 과열 수증기의 풍량

- 과열수증기의 풍량에 영향을 미치는 주 요인은 보일러의 출력과 보일러 내부 압력이다. 보일러와 수퍼히터 사이의 배관에 연결되어 있는 볼밸브가 최대로 열린 상태이기 때문에, 설정되어 있는 보일러의 최대 압력에 관계없이 1기압에서 포화수증기가 발생하므로, 보일러에서 생성되는 포화 수증기의 유속은 일정하다고 할 수 있다. 따라서 보일러의 출력을 변수로 하여 과열 수증기의 유속을 측정하였다(표 1-2-2). 반응 chamber 상단부에서 배출되는 과열 수증기의 유속을 16 mm 직경의 vane probe가 포함된 Testo 400 Anemometer으로 측정하고, 풍량으로 환산하였다. 향후 보일러 내부 압력을 조절하여 더 큰 유동 효과를 갖게끔 풍량을 조절하는 것이 가능하다.

표 1-2-2. 보일러의 출력에 따른 과열 수증기의 풍량

보일러 출력 (%)	과열 수증기의 출구 풍량 (m ³ /h)
80	21.08 - 25.60
85	31.63 - 34.64
90	43.67 - 45.18
95	45.18

II. 과열 수증기의 기초 살균 연구

1. 과열 수증기 살균 장치에 대한 다양한 분말 제품의 적용성 탐색

가. 개요

- 분말제품은 유통 및 보관의 용이성, 섭취의 간편성 등으로 인하여 널리 소비되고 있다. 하지만 현재 분말제품의 경우, 열 민감도, 응축 등 여러 가지 이유로 살균 처리를 하는데 어려움이 있으며(Fine et al., 2005), 실제로 품질저하를 이유로 가공공정 중 살균 처리가 필수적이지 않기 때문에 식중독 사고가 빈번하게 발생하고 있다(Elviss et al., 2009).
- 시료 선정 시 가공공정 중 적합한 살균처리가 이루어지지 않고 있는 분말제품들을 대상으로 하였으며, 다양한 입자의 크기 및 모양의 분말제품을 선정하였다. 상기 기준에 따라 미숫가루, 카레 분말, 라면 쇠고기 분말 수프, 멸치 분말, 깨, 생강 분말, 파슬리, 바질, 채소 분말 수프(후레이크), 고춧가루 등을 선정하였고, 과열수증기 장치로 살균이 적합한 시료인지 알아보는 실험을 수행하였다.

나. 분말제품의 적용 가능성 탐색

(1) 입자 크기

- 본 연구에서 사용되는 reacting cell의 메쉬는 100 mesh (149 μm)로, 이보다 작은 크기의 분체 식품은 본 장치에 적용이 불가능하다. 따라서 가장 먼저 시료가 100 mesh의 reacting cell에서 새지 않는지 확인해보았다.
- 미숫가루 및 카레 분말은 모든 입자가 reacting cell을 통과하였기 때문에 시료 선정에서 배제하였다. 멸치 분말은 입자크기가 미숫가루 및 카레 분말보다는 컸지만, 시료 5.0 g 중 절반 이상인 2.8 g이 reacting cell을 통과하는 것으로 나타났다. 따라서 멸치분말 역시 본 장치에 적용하기 부적합하다고 판단되어 시료 선정에서 배제하였다. 마지막으로 쇠고기 분말은 시료 5.0 g 중 1.0 g만이 reacting cell보다 입자가 큰 80 mesh (180 μm) 표준망체를 통과하는 것을 관찰하였다. 따라서 입자크기 180 μm 이상인 쇠고기 분

말은 본 장치에 적용이 적합하다고 판단하였다. 그 외에 깨, 생강 분말, 파슬리, 바질, 후레이크, 고춧가루는 모두 reacting cell보다 큰 크기의 입자였으므로 본 장치를 이용하여 살균이 가능할 것으로 판단하였다.

(2) 응축 효과

- 과열수증기 처리 시 시료의 응축효과를 알아보기 위하여 모든 시료를 120℃의 과열수증기로 3초, 120초간 처리하였다. 살균처리 후 시료의 외관과 reacting cell 내 시료의 분포양상 등을 살펴보았다.

① 라면 쇠고기 분말 수프

- 라면 쇠고기 분말 수프를 120℃의 과열수증기로 3, 120초 처리 후, 외관은 그림 2-1-1과 같이 나타났다. 이 때 reacting cell 내 쇠고기 분말의 분포양상은 아래 그림 2-1-2과 같이 나타났다.



그림 2-1-1. 120℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 쇠고기 분말의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).



그림 2-1-2. 120℃ 과열 수증기 처리 후 reacting cell 내 쇠고기 분말의 분포 양상
(좌 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

- 쇠고기 분말은 그림 2-1-1에서 보듯이 처리 시간에 관계없이 응축 효과가 뚜렷하게 나타나는 것을 관찰하였다. 또한 응축의 영향으로 쇠고기 분말이 부분적으로 reacting cell

에 흡착되어 회수되지 않는 것을 그림 2-1-2와 같이 확인하였다. 쇠고기 분말은 흡습성이 크기 때문에 과열 수증기 처리 초기에 형성된 응축수로 인하여 쉽게 aggregate를 형성한다.

- 쇠고기 분말을 고온에서 처리하였을 때에도 응축이 발생하는지 살펴보았다. 쇠고기 분말을 200℃의 과열 수증기로 9초 처리한 결과, 그림 2-1-3와 같이 관찰되었다.



그림 2-1-3. 200℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 쇠고기 분말의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 우 : 9초 처리).

- 그림에서 보듯이, 200℃에서도 여전히 응축이 발생할 뿐만 아니라, 품질에도 변화가 나타나는 것을 볼 수 있다. 따라서 응축 정도를 확인하여 본 장치를 이용한 처리가 적합한 지 살펴본 결과, 쇠고기 분말은 적합하지 않은 시료인 것으로 판단하였다.

② 생강분말

- 생강분말을 120℃의 과열수증기로 3, 120초 처리 후 외관을 살펴본 결과, 그림 2-1-4와 같이 나타났다. 이 때 reacting cell 내 생강분말의 분포양상은 아래 그림 2-1-5와 같이 나타났다.



그림 2-1-4. 120℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 생강분말의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

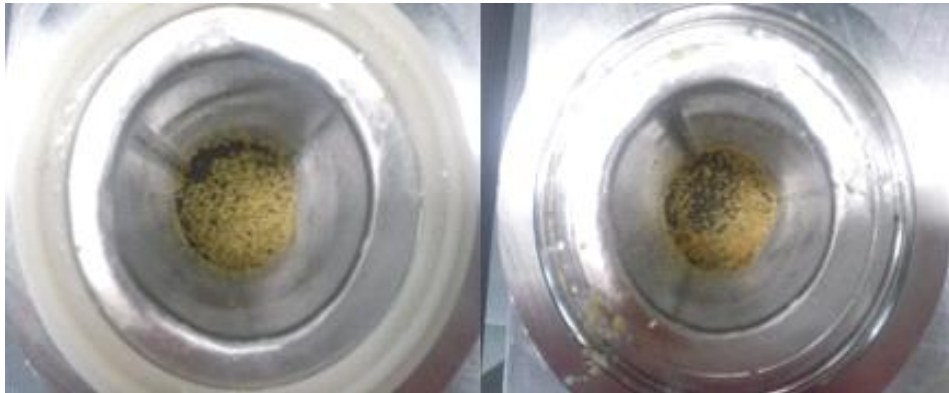


그림 2-1-5. 120℃ 과열 수증기 처리 후 reacting cell 내 생강 분말의 분포 양상
(좌 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

- 생강분말 역시 쇠고기 분말과 마찬가지로, 120℃ 과열수증기로 처리 시, 처리 시간에 관계없이 응축효과가 나타나는 것을 관찰하였다. 응축 정도는 쇠고기 분말에 비해 낮았으나, 그림 2-1-5에서 보듯이 응축효과의 영향으로 생강분말이 reacting cell에 흡착되어 쉽게 회수되지 않았다.



그림 2-1-6. 200℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 생강 분말의 외관 변화 및
reacting cell 내의 흡착 정도
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 9초 처리, 우 : reacting cell 내부 모습).

- 또한 200℃에서 생강분말을 과열수증기 처리하여도 여전히 응축 및 응축으로 인한 흡착이 발생하는 것을 그림 2-1-6와 같이 확인하였다. 따라서 응축정도로 판단해 보았을 때 생강분말은 적합하지 않은 시료인 것으로 판단하였다.

③ 파슬리

- 파슬리를 120℃의 과열 수증기로 3, 120초 처리한 시료의 외관은 그림 2-1-7과 같다.



그림 2-1-7. 120℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 파슬리의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

- 파슬리는 그림 2-1-7에서 보듯이 처리시간과 관계없이 응축이 전혀 나타나지 않은 것을 확인할 수 있었고, 외관 또한 대조군과 비교하였을 때 차이를 확인할 수 없었다. 파슬리의 경우는 표면 응축수에 의하여 서로 응집체를 형성하지 않고 지속적으로 처리되는 과열 수증기에 의하여 증발되기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 응축정도로 판단해 보았을 때 파슬리는 적합한 시료인 것으로 판단하였다.

④ 바질

- 바질을 대상으로 하여 120℃의 과열수증기로 3, 120초 처리한 시료의 외관은 그림 2-1-8과 같이 나타났다.



그림 2-1-8. 120℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 바질의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

- 파슬리와 마찬가지로, 바질 또한 처리시간과 관계없이 응축이 나타나지 않은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 응축정도로 판단해 보았을 때 바질 또한 적합한 시료인 것으로 판단하였다.

⑤ 채소 분말 수프(후레이크)

- 채소 분말 수프를 대상으로 하여 120℃의 과열수증기로 3, 120초 처리한 시료의 외관은

그림 2-1-9와 같이 나타났다.



그림 2-1-9. 120℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 후레이크의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

- 채소 분말 수프의 경우 처리시간과 관계없이 응축효과가 전혀 나타나지 않은 것을 확인할 수 있었다. 채소 분말 수프는 파쇄 건조 상태로 흡습성이 크지 않고 rehydration 되려면 상대적으로 긴 시간이 필요하기 때문에 과열 수증기 처리 초기의 형성되는 응축수에 의하여 크게 영향을 받지 않는다. 따라서 응축정도로 판단해 보았을 때 채소 분말 수프는 적합한 시료인 것으로 판단하였다.

⑥ 깨

- 깨를 대상으로 하여 120℃의 과열수증기로 3, 120초 처리한 시료의 외관은 그림 2-1-10과 같이 나타났다.



그림 2-1-10. 120℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 깨의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

- 깨를 120℃ 과열 수증기 처리 시 단시간의 경우에는 응집 현상이 관찰되지 않았으나 120초 처리한 경우 부분적으로 응축이 발생하면서 시료들 중 일부가 달라붙어 덩어리를 이루는 것을 확인할 수 있었다. 이는 깨 표면의 장시간 열처리에 따른 유지 성분의 유출로 인하여 응집 현상이 일어나는 것으로 사료된다. 200℃의 과열수증기로 9초 처리

후 응축을 살펴본 결과, 그림 2-1-11과 같이 관찰되었다.

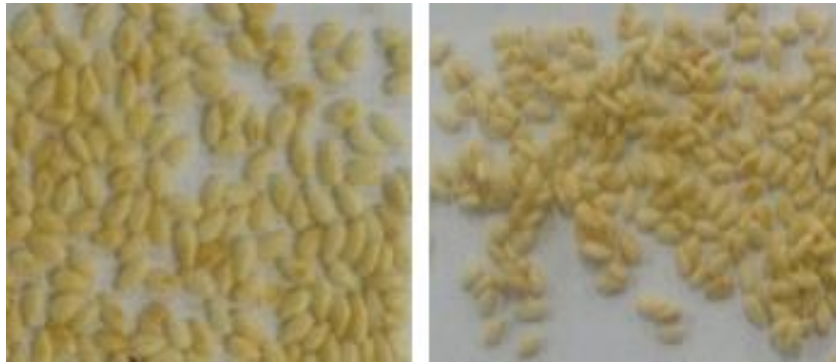


그림 2-1-11. 200℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 깨의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 우 : 9초 처리).

- 120℃ 과열수증기 처리에 비해 200℃의 고온 과열수증기로 9초간 깨를 처리하였을 경우 응축이 전혀 생기지 않은 것을 확인하였다. 외관 또한 대조군과 차이를 확인할 수 없었다. 따라서 응축정도로 판단해 보았을 때 깨는 단시간 처리에 적합한 시료인 것으로 판단하였다.

⑦ 고춧가루

- 고춧가루를 대상으로 하여 120℃의 과열수증기로 3, 120초 처리한 시료의 외관은 그림 2-1-12와 같이 나타났다.



그림 2-1-12. 120℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 고춧가루의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 중 : 3초 처리, 우 : 120초 처리).

- 고춧가루를 120℃ 과열 수증기 처리 시 단시간의 경우에는 응집 현상이 관찰되지 않았으나 120초 처리한 경우 부분적으로 응축이 발생하면서 시료들 중 일부가 달라붙어 덩어리를 이루는 것을 확인할 수 있었다. 200℃의 과열수증기로 9초 처리 후 응축을 살펴본 결과, 그림 2-1-13과 같이 관찰되었다.



그림 2-1-13. 200℃의 과열 수증기 처리 후 나타나는 고춧가루의 외관 변화
(좌 : 처리 전 시료, 우 : 9초 처리).

- 120℃ 과열수증기 처리에 비해 200℃의 고온 과열수증기로 9초간 고춧가루를 처리하였을 경우 응축이 전혀 생기지 않은 것을 확인하였다. 외관 또한 대조군과 차이를 확인할 수 없었다. 따라서 응축정도로 판단해 보았을 때 고춧가루는 단시간 처리에 적합한 시료인 것으로 판단하였다.

(3) 열 민감도 및 유동 효과

- 응축에 의하여 응집체를 형성한 정도를 기준으로 볼 때, 라면 쇠고기 분말 수프와 생강 분말은 적합하지 않았고 열 민감도와 유동 효과 확인은 상기 두 시료를 제외한 깨, 과슬리, 바질, 채소 분말 수프, 고춧가루를 대상으로 실시하였다. 시료를 160℃의 과열수증기로 3, 6, 9, 15, 30초간 처리하고 시료의 외관을 관찰하여 열 민감도를 알아보고 reacting cell 내 시료의 분포 양상을 확인하여 유동 효과를 판단하였다.
- 그림 2-1-14는 각 시료의 과열 수증기 처리 시간에 따른 외관의 변화를 나타낸 것이다. 채소 분말 수프의 경우 30초간 처리하였을 때 표면 색깔이 약간 변색되었고 나머지 시료는 모든 처리 시간에 대하여 표면 색깔 변화를 육안으로 관찰할 수 없었다.

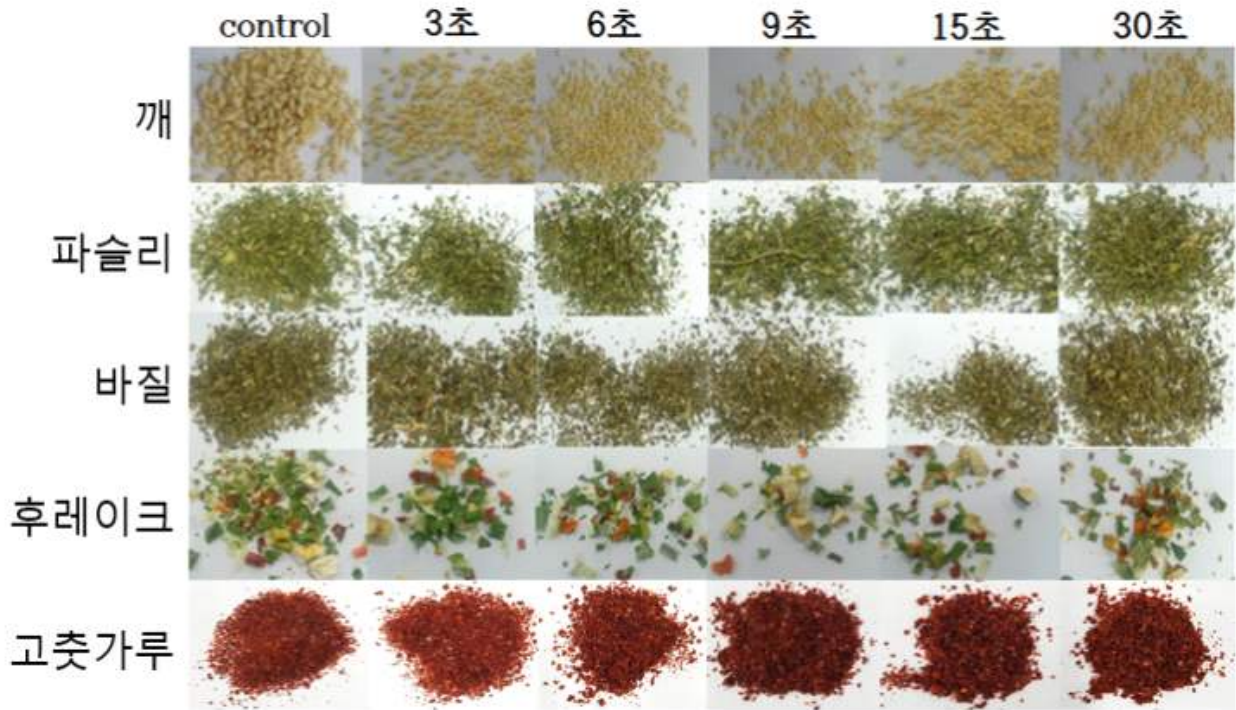


그림 2-1-14. 160℃의 과열수증기 처리 후 시료의 외관 변화.

- 살균처리 후 reacting cell 내부 사진을 관찰한 결과, 그림 2-1-15와 같이 나타났다. 깨와 채소 분말 수프, 고춧가루는 적당한 유동효과를 나타내는 것으로 판단되었다. 파슬리와 바질 역시 유동효과가 나타나는 것으로 관찰되나, 시료의 무게에 비해 과열수증기의 속도가 높아 대부분의 시료가 과열 수증기 처리 직후 reacting cell의 천장에 달라붙는 것을 관찰하였다.

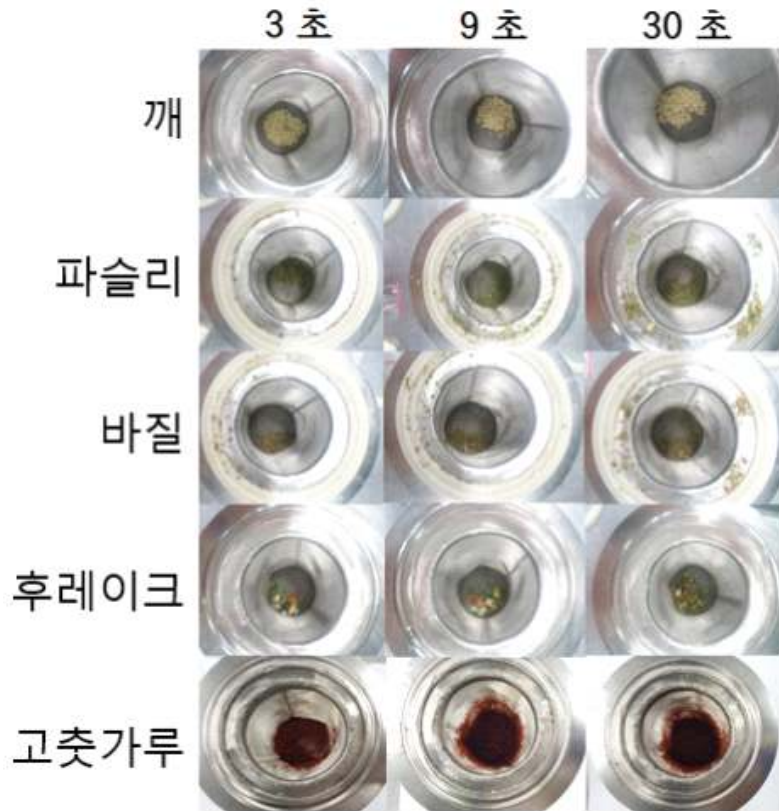


그림 2-1-15. 160℃의 과열 수증기 처리 시 시료들의 유동 효과.

다. 고찰

- 깨, 파슬리, 바질, 채소 분말 수프, 고춧가루의 입자 크기, 응집 정도, 유동 효과 등의 사항을 고려하여 과열수증기 장치에 대한 적합성 실험을 수행하였다. 파슬리나 바질은 적당한 유동을 통해 과열수증기 처리를 골고루 받게 하기 위하여 과열수증기의 속도조절이 필요하다. 또한 reacting cell의 메쉬의 입도를 다양하게 제작하여 크기가 작은 입자의 분체 식품도 본 장치에서 살균할 수 있다고 판단된다.
- 본 연구에서 사용하는 장치의 과열수증기의 속도(풍량)와 reacting cell에 적용 가능성에서 깨, 채소 분말 수프, 고춧가루가 적합하다고 판단된다.

2. 과열 수증기 처리에 의한 고춧가루의 미생물 저해 효과 확인

가. 시료 선정 이유

- 김치가 주요 식품인 국내의 식문화 특성 상, 다양한 분말 제품 중에서도 특히 고춧가루의 소비량이 매우 높다. 하지만 고춧가루는 원재료인 고추의 오염도에 비해 고춧가루 완제품의 오염도가 더 높음을 알 수 있다(한국보건산업 진흥원, 2005). 이는 공정 단계를 거치면서 교차오염이 발생한 것으로 판단할 수 있으며, 고춧가루 제조 중 살균 공정 추가의 필요성을 시사하고 있다.

나. 시판 고춧가루 시료의 오염도 조사

- 고춧가루는 우리의 식생활에서 필수적인 양념의 하나로서 우리나라 전통 발효 식품인 김치와 고추장의 색깔, 맛, 질 등의 가치를 좌우하는 주요 재료이며, 일반 조미료, 인스턴트식품, 햄, 소시지 등의 첨가물로도 이용되고 있다(한국보건산업진흥원, 2005). 이와 함께 위생 고춧가루의 생산·유통의 필요성에 대한 요구도 높아지고 있다. 따라서 시료를 살균하기 전, 고춧가루의 일반 미생물 수, 효모 및 곰팡이, 위해 미생물의 오염도를 조사하였다.
- 시판 고춧가루의 미생물 오염도 실태를 조사하기 위해 제조사 및 원산지가 다른 총 21가지의 고춧가루를 수집하여 본 실험에 사용하였다(표 2-2-1). 각 고춧가루는 HACCP 적용 유무, 생산공정 및 위생(청결)관리 부분의 표기, 포장상태 및 국내외산 구별에 따라 상급, 중급, 하급으로 분류하여 오염도를 비교하고자 하였다. HACCP을 적용하였고, 홈페이지에 생산공정 및 위생관리 관련 내용이 표기되어 있으며 제품 포장에 위생관리 부분을 표기하였으면 상급으로, 기타 정보 없이 HACCP만 적용되어 있으면 중급, 재래 시장에서 구입한 제품은 하급으로 분류하여 오염도를 확인해보았다

(1) 실험 방법

- 상기 시료에 대하여 일반세균, 대장균군, 대장균의 오염실태를 조사하였으며, 미생물 분석을 위한 시료는 모든 실험조작을 clean bench에서 무균적으로 처리하였다. 무균백에 고춧가루 시료 1 g과 99 mL의 Buffered Peptone Water(BPW)를 가한 후 stomacher를 이용하여 speed 9에서 2분간 균질화 하였다. 그 후 균질화된 시료 1 mL를 9 mL의 BPW를 이용하여 10^{-4} 배에서부터 10^{-7} 배까지 차례로 희석하여 접종 시료로 사용하였다.
- 일반세균수의 측정은 식품공전 중 건조필름법에 의한 정량법에 따라 실험하였다. 준비된 실험 용액 1 mL와 각 10배 단계 희석액 1 mL를 일반세균 건조필름배지(AC Petrifilm 3M)에 접종한 후 $37\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 48시간 배양한 후 생성된 집락수를 계수하고, 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 산출하여 colony forming unit(CFU/g)으로 나타내었다.
- 대장균군수 및 대장균수의 측정은 식품공전 중 건조필름법에 의한 정량법에 따라 실험하였다. 준비된 시험용액 1 mL와 각 10배 단계 희석액 1 mL를 대장균군 및 대장균용 건조필름배지(EC Petrifilm, 3M)에 접종한 후 $35\sim 37^{\circ}\text{C}$ 에서 24 ± 2 시간 배양하여 생성된 집락 중 붉은색을 띄며 주위에 기포를 형성한 집락수와 푸른색을 띄며 주위에 기포를 형성한 집락수를 계수하고, 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 각각 대장균군수와 대장균수를 산출하였다.

표 2-2-1. 오염도 조사 대상 고춧가루 시료의 분류

분류	Aerobic bacteria	Coliform group	<i>E. coli.</i>
상	9.7×10^5	ND	ND
	6.9×10^5	ND	
	9.1×10^5	1.1×10^4	
	4.5×10^5	ND	
	1.2×10^5	ND	
	7.7×10^6	ND	
	4.5×10^7	ND	
	4.6×10^6	ND	
	5.4×10^6	1.75×10^2	
	4.1×10^6	ND	
	3.1×10^6	ND	
중	2.0×10^4	ND	
	1.5×10^5	ND	
	3.1×10^6	ND	
하	9.1×10^5	1.4×10^3	
	6.7×10^5	5.3×10^2	
	1.2×10^6	3.0×10^2	
	2.0×10^4	ND	
	1.0×10^5	8.7×10^2	
	2.3×10^6	ND	
	1.3×10^6	ND	

(2) 실험 결과

- 총 21가지 고춧가루 시료의 일반세균수, 대장균군, *E. coli* 오염도를 확인한 결과를 표 2-2-2에 나타내었다.
- 본 연구에서 자체적으로 분류한 시료의 상중하 등급에 상관없이 모든 시료에서 약 $10^5 \sim 10^7$ CFU/g의 일반 세균이 오염되어 있는 것으로 나타났으며, 재래시장에서 구입한 제품과 대형마트에서 구입한 제품의 오염도는 큰 차이가 없었다. 대장균군은 시료에 따라 오염 정도가 달랐지만 주로 하급으로 분류된 시료에서 약 10^2 CFU/g의 오염도를 나타냈다. 대장균은 모든 시료에서 검출되지 않았다.
- 현재 식품공전에서는 고춧가루의 일반 세균은 규제하고 있지 않지만 일반 세균의 상당 부분은 토양 유래의 *Bacillus* 속이며 이들은 spore 형성능이 있어 고춧가루를 재료로 하는 식품에서 잠재적인 위해요인이 될 수 있기 때문에 적절한 살균 과정이 필수적이라고 할 수 있다.

표 2-2-2. 고춧가루 시료의 미생물 오염도 측정 결과

단위: CFU/g

분류	Aerobic bacteria	Coliform group	<i>E. coli.</i>
상	9.7×10^5	ND	ND
	6.9×10^5	ND	
	9.1×10^5	1.1×10^4	
	4.5×10^5	ND	
	1.2×10^5	ND	
	7.7×10^6	ND	
	4.5×10^7	ND	
	4.6×10^6	ND	
	5.4×10^6	1.75×10^2	
	4.1×10^6	ND	
	3.1×10^6	ND	
중	2.0×10^4	ND	
	1.5×10^5	ND	
	3.1×10^6	ND	
하	9.1×10^5	1.4×10^3	
	6.7×10^5	5.3×10^2	
	1.2×10^6	3.0×10^2	
	2.0×10^4	ND	
	1.0×10^5	8.7×10^2	
	2.3×10^6	ND	
	1.3×10^6	ND	

다. 고춧가루의 총 호기성균 저감화 효과

(1) 실험방법

○ 과열수증기의 온도: 기존의 여러 시료들을 대상으로 과열수증기를 이용하여 살균실험을 진행한 국내외 논문들을 참고하였을 때, 105-120℃를 최저 온도로, 175-180℃를 최고 온도로 설정하여 실험을 진행한 것을 파악할 수 있었다. 이를 바탕으로 120, 140, 160, 180℃를 과열수증기의 온도 범위로 선택하였다.

○ 과열수증기 처리시간: 예비실험을 통해 품질 변화를 고려하여, 15, 30, 45, 60, 75초의 다섯 가지 조건으로 설정하였다. 또한 이 실험 결과를 바탕으로 앞서 설정한 과열 수증기의 온도보다 더 높은 온도의 과열 수증기로 단시간 처리하여 품질이 유지되는지 관찰해

보았다.

- 시료의 처리 양: 본 실험에 사용된 고춧가루는 앞서 오염도 조사에서 이용된 H 시료로 크기는 35 mesh 이상, 즉 500 μm 이상의 입도를 가진 비교적 굵은 크기의 고춧가루이다. 예비 실험 결과, 과열 수증기 처리에 사용되는 시료의 양이 많으면 응축수에 의한 응집이 발생하여 살균효과가 저해되는 것을 알 수 있었다. 따라서 시료의 양을 달리하여 160 $^{\circ}\text{C}$ 의 과열 수증기를 30초 처리 후 응집 정도를 비교해 보았다(그림 2-2-1).

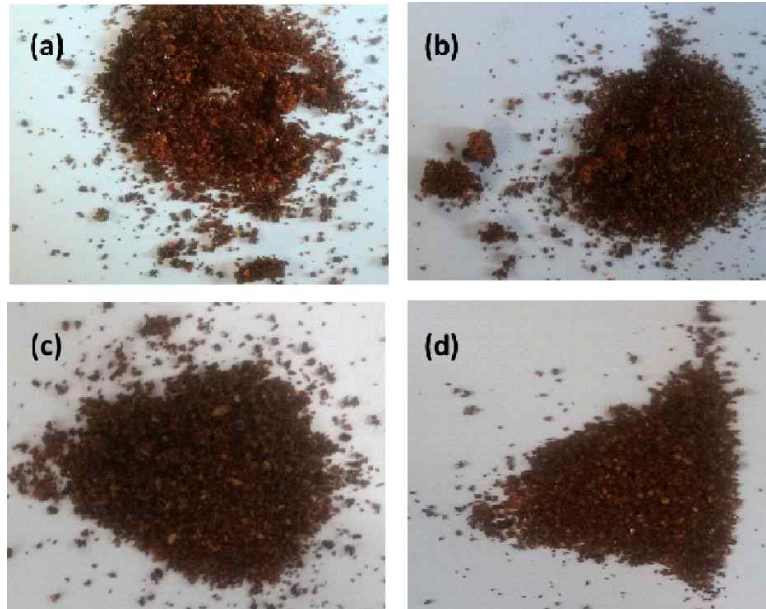


그림 2-2-1. 시료의 양에 따른 응축 정도 확인
(a) : 2.5 g, (b) : 2 g, (c) : 1.5 g, (d) : 1 g.

- 그림 2-2-1에서 보듯이 현 시스템에서는 시료의 처리 양이 1 g일 때 응축이 최소가 되는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 과열 수증기 처리 시 사용될 고춧가루의 양을 1 g으로 결정하였다.
- 과열수증기 처리 : 시료에 과열수증기를 처리하기에 앞서, 처리 시 과열수증기가 reacting cell에 의해 응축되는 것을 방지하기 위하여 시료를 넣지 않은 reacting cell을 과열수증기 장치에 부착한 상태로 5분간 예열하였다. 그 후 시료 1 g을 취하여 reacting cell에 넣고 120, 140, 160, 180 $^{\circ}\text{C}$ 의 과열수증기를 15, 30, 45, 60, 75초 동안 처리하여 시료의 총호기성균이 얼마나 저감되었는지 살펴보았다. 이 때 모든 처리 사이에는 reacting cell을 세척한 후 5분간 예열하는 과정을 거쳐서 진행하였으며, 살균 처리한 시료는 처리 직후 멸균된 stomacher bag에 담았다.
- 균 계수: 살균 처리된 1 g의 시료를 99 mL의 Buffered Peptone Water(BPW)를 가한 후 stomacher를 이용하여 speed 9 에서 2분간 균질화하였다. 그 후 균질화된 시료 1 mL를

9 mL의 BPW를 이용하여 10⁻¹ 배에서부터 10⁻⁷배까지 차례로 희석하였으며 희석된 시료 1 mL를 AC Petrifilm (3M)에 도말하였다. 도말된 배지는 37°C의 인큐베이터에서 배양하였으며 24시간 후 형성된 콜로니를 계수하였다.

(2) 연구결과

- 120, 140, 160, 180°C 의 과열수증기를 15, 30, 45, 60, 75초 처리한 결과는 그림 2-2-2와 같다.

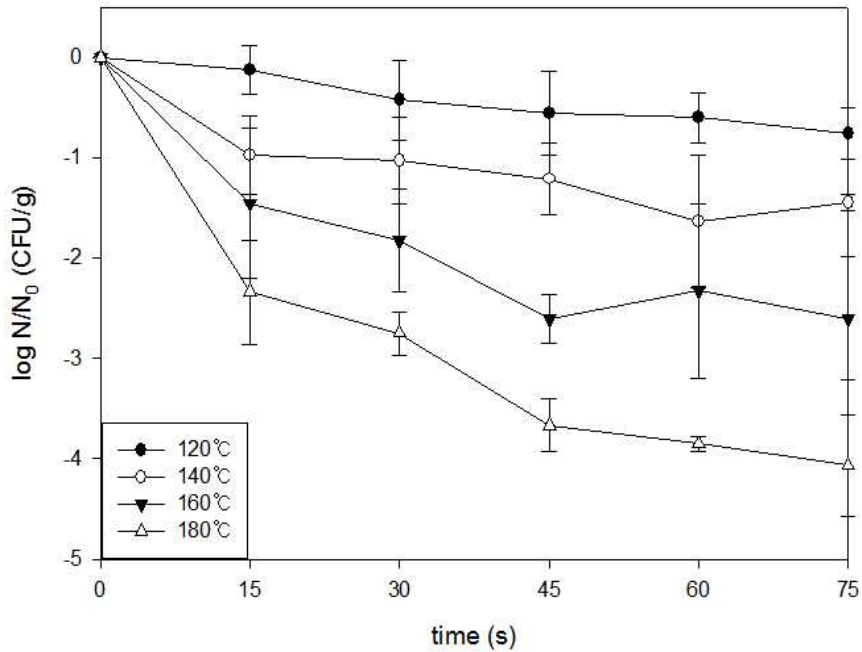


그림 2-2-2. 과열수증기의 온도에 따른 고춧가루의 총 호기성균 저감화 효과.

- 시료의 살균 전 오염 정도는 7.42 log CFU/g이며, 과열 수증기 온도가 증가할수록 총 호기성균의 저감화 속도가 빨랐다. 각 온도에서 75초간 처리하였을 때 최종 총 호기성균의 저감화 정도는 120°C의 경우 약 0.75 log, 140°C에서는 약 1.4 log, 160°C에서는 약 2.6 log, 180°C에서는 약 4.06 log 저감되었다. 초기 오염 정도를 고려하면 180°C에서 75초 처리하여야 총 호기성 균수가 10³ CFU/g 이하로 떨어지게 된다. 하지만 과열 수증기를 처리하는 시간이 길어질수록 시료가 탄화되는 등의 품질 저하가 나타났다(뒤의 품질 변화 측정에서 결과 기술함). 따라서 고온에서 단시간 처리하여 품질 변화를 최소화하고자 180, 200°C에서 3, 6, 9, 12, 15초로 조건을 설정하여 저감화 실험을 재수행한 결과를 그림 2-2-3에 나타내었다.

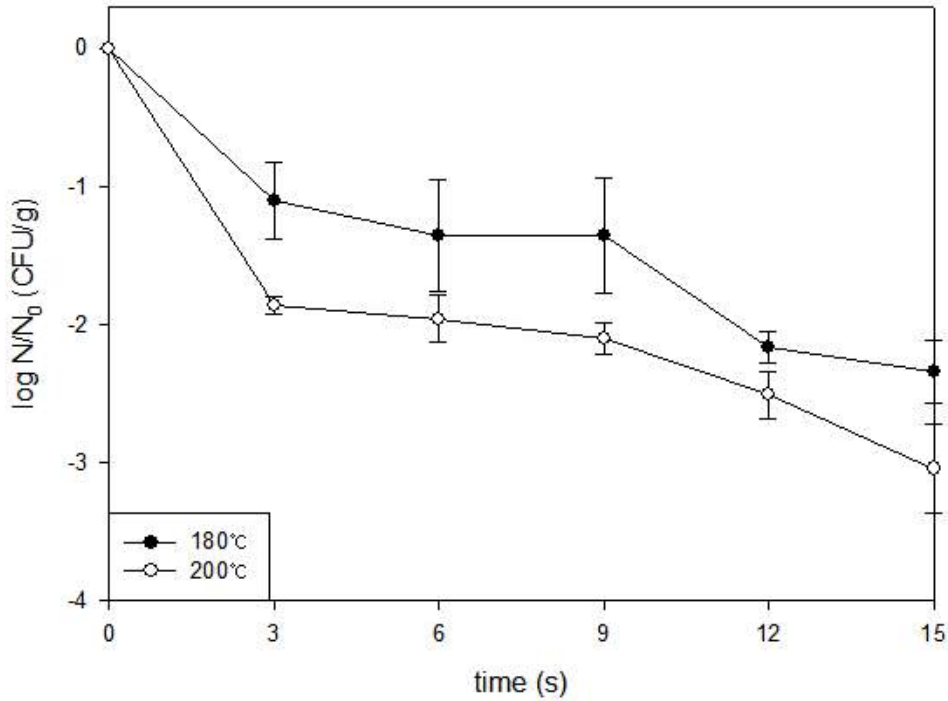


그림 2-2-3. 고온의 과열 수증기 처리 시 총 호기성균의 저감화 효과.

- 180°C의 과열 수증기로 처리 시 3초 만에 1.1 log 감소되었으며, 15초 처리 시 약 2.33 log 감소되는 것을 알 수 있었다. 200°C의 과열수증기를 3초 처리 시 약 1.86 log 감소하였으며 15초 처리 시에는 3.04 log 감소하는 것을 알 수 있었다.
- 상기 결과는 총 호기성균을 대상으로 얻은 것으로 단일 미생물은 아니지만, 저감화 효과가 균일해지기까지의 구간을 대상으로 얻은 각 온도에서의 D값을 표 2-2-3에 나타내었다. 과열 수증기 온도가 증가할수록 D값은 감소하였다. 과일이나 채소류에서 *Bacillus* 속 미생물의 포화수증기에 대한 D₁₂₁값은 *B. stearothermophilis*의 경우 약 4-5분, *B. poymyxa*는 0.005분, *B. subtilis*는 약 0.4분 등으로 내열성의 차이가 크다. Biofilm을 형성하거나 spore인 경우에는 D값이 크게 증가한다. 단순 비교는 어렵지만 고춧가루 표면의 총 호기성균의 상당 부분은 *Bacillus* 속이며 과열 수증기의 경우 D₁₂₀은 약 1.65분으로 가장 내열성이 강한 *B. stearothermophilis*에 비하여 2배 이상 감소하였다.

표 2-2-3. 과열 수증기 온도에 따른 고춧가루의 총호기성균의 D값

과열 수증기 온도 (℃)	D값 (분)
120	1.65
140	0.49
160	0.29
180	0.21
200	0.08

라. 고찰

- 120 , 140, 160℃의 과열 수증기 처리 시, 목표하는 살균 정도에 도달하지 못하는 것을 알 수 있다. 180℃의 경우 75초 처리 시 약 4 log 감소를 이루었으나, 고춧가루의 품질이 심하게 저하되는 것을 확인하였다. 품질을 유지하면서 유의적인 미생물 저감효과를 나타내려면 가급적 고온의 과열 수증기로 짧은 시간동안 처리하는 것이 유리할 것으로 판단되었다. 180℃의 과열 수증기로 15초 처리 시, 약 2~3 log의 총 호기성균의 감소가 일어났다. 200℃의 온도에서는 15초 처리 시 3 log의 균 저감 효과가 있으나, 6초 이후에서 여전히 탄화가 진행되었다. 따라서 품질을 유지하는 범위에서 최대 미생물 저감효과는 200℃에서 6초 처리 시로 약 1.9 log 감소하는 것을 알 수 있다. 과열 수증기가 상대적으로 낮은 온도의 시료와 접촉하면서 응축이 발생하게 되는데, 단시간 처리 시에는 생성된 응축수가 모두 건조되지 않아 시료가 응집되는 현상이 나타났다. 따라서 응축수가 제거될 수 있는 처리 시간동안 과열 수증기를 처리하거나, 단시간 처리 후 응축된 시료를 다시 분쇄하는 공정을 추가할 필요가 있는 것으로 판단된다.

- 총 호기성균의 살균 효과가 크기 않은 것으로 나타나는데, 이는 다양한 원인에 의한 것으로 사료된다. 다양한 농작물에서 미생물이 biofilm을 형성하여 더욱 강한 내열성을 나타내는 것으로 연구된 바 있다(Han *et al.* 2000). 고춧가루도 마찬가지로, 원재료에 오염되어 있던 미생물이 제조 공정 과정이나 오랜 시간이 지남에 따라 biofilm을 형성하여 살균 효과가 저해되는 것으로 판단할 수 있다.

- Biofilm 형성뿐 아니라 고춧가루에 존재하는 spore에 의한 위해 요인도 중요하다. 고춧가루를 재료로 사용하는 식품에서 spore는 잠재적 위해 요인으로 식품 공정상 과도한 열처리를 해야 할 필요가 생기고 이로 인한 품질 저하가 심하게 일어난다. 특히 토양의 오염도가 높은 *Bacillus* 속의 spore가 큰 영향을 끼칠 것으로 판단하여 추후 과열 수증기에 대한 *Bacillus* spore의 내열성을 살펴보고 고춧가루 살균에 대한 기초 자료를 수집할 계획이다.

3. 과열 수증기 처리에 의한 품질 변화 확인

가. 실험 방법

- 일반적으로 고춧가루의 품질 지표는 capsaicin으로서 매운 맛의 주성분이다. Capsaicin은 지용성으로 열에는 매우 안정한 것으로 알려져 있기 때문에 고춧가루의 색도와 수분 함량을 주요 품질 지표로 하여 과열 수증기 온도와 처리 시간에 따른 품질 지표의 변화를 측정하였다. 과열 수증기 온도와 처리 시간은 총 호기성균 저감화 실험 조건과 동일하였다.

(1) 고춧가루의 색도 변화

- 고춧가루를 열처리하게 되면 탄화되어 표면의 색이 변하는 현상이 관찰된다. 이는 품질의 저하로 판단되기 때문에 살균 후 고춧가루의 색도 변화를 관찰하는 것은 필수적으로 요구된다.
- 살균 전 고춧가루와 각 조건에서 살균 처리한 고춧가루를 흰 바탕의 종이 위에 수집하여 사진촬영을 진행하였으며, Chroma meter CR-400 (KONICA MINOLTA, USA) with accessory CR-A50 (The granular materials attachment)를 이용하여 색도를 측정하였다.
- 매 회 색도 측정 시 2.0 g의 고춧가루를 CR-A50에 적재하여 Chroma meter CR-400 색차계를 이용하여 L(lightness), a(redness), b(yellowness) 값을 3회 측정하였다. 이 과정을 모든 실험조건마다 3번 반복 수행하였으며, 그 결과를 SPSS 프로그램을 이용하여 Tukey 법으로 유의적인 차이를 확인하였다.

(2) 고춧가루의 수분함량 변화

- 우리나라 식품공전에서는 고춧가루의 수분함량 규격을 15% 이하로 하고 있다. 따라서 고춧가루가 제품으로서 가치를 유지하기 위해서는 수분함량이 매우 중요하다. 본 연구에서는 고춧가루의 수분 함량을 측정하기 위하여 IR moisture analyzer (A&D MX-50)를 사용하였다. 1 g의 시료를 과열 수증기로 처리한 후, 미리 데시케이터에 보관하여 항량에 도달시킨 알루미늄 용기에 옮겨 담았다. 총 8회 처리하여 수분함량 측정에 사용될 시료의 양을 8 g으로 하였으며, 이 용기들을 데시케이터에 넣고 30분간 방랭시킨 후 IR moisture analyzer에 넣어 수분함량을 측정하였다.

나. 실험 결과

(1) 고춧가루의 색도 변화

- 각각의 처리온도 및 처리시간 별 시료 외관의 변화를 그림 2-3-1 ~ 2-3-4에 나타내었으며, 그에 따른 색도 변화를 측정된 결과를 표 2-3-1 ~ 2-3-4에 나타내었다.

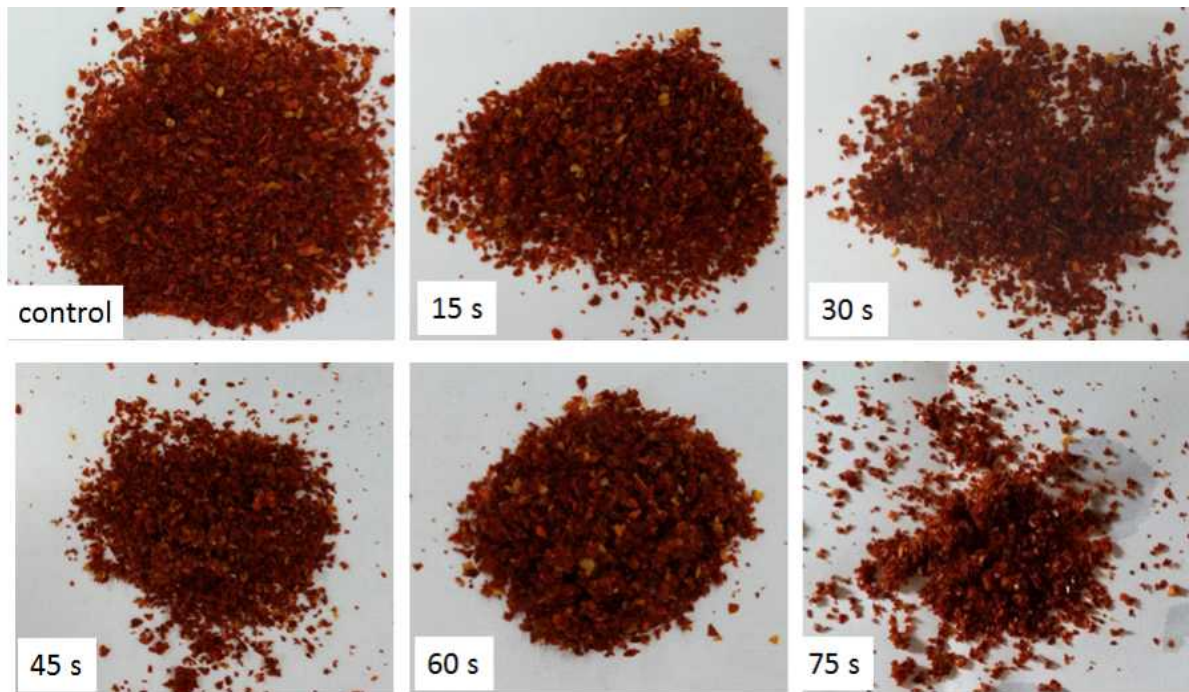


그림 2-3-1. 120℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 외관 변화.

표 2-3-1. 120℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

처리시간 (초)	L	a	b
0	35.08±0.24 ^a	18.09±0.56 ^a	19.03±2.13 ^a
15	36.19±0.40 ^a	20.23±3.03 ^a	18.76±1.35 ^a
30	34.85±1.05 ^{ab}	20.03±3.39 ^a	19.68±0.66 ^a
45	33.61±0.64 ^b	20.00±2.38 ^a	19.02±1.04 ^a
60	33.59±0.21 ^b	20.71±3.22 ^a	21.91±0.79 ^b
75	34.91±0.58 ^{ab}	20.62±2.32 ^a	20.15±0.79 ^{ab}

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

○ 120℃의 과열수증기 처리 후 색도 변화를 관찰하였을 때, lightness는 30초 처리 후부터 대조군 시료와 유의적인 차이가 나는 것으로 나타났다. Redness는 모든 시료에서 유의적인 차이가 없었으며, yellowness는 60초 처리 후부터 유의적인 차이가 나타났다. 하지만 시료들을 육안으로 관찰하였을 때에는 구별할 수 있는 차이가 나지 않았다.

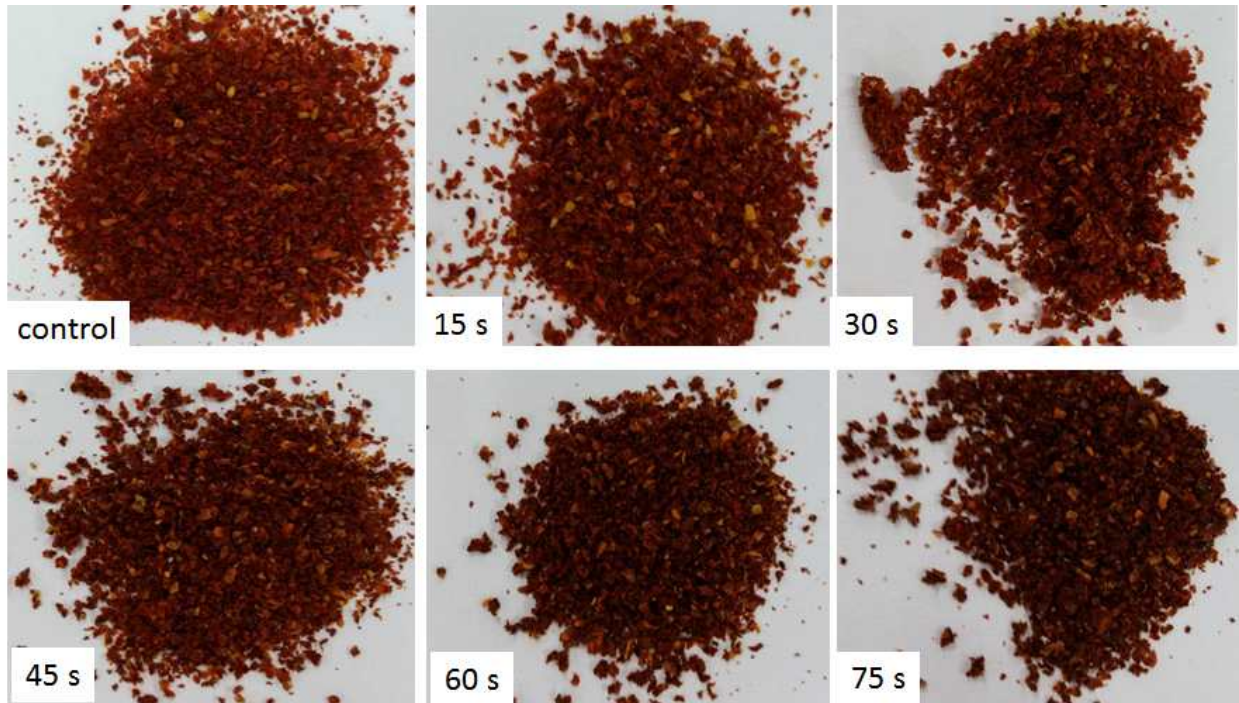


그림 2-3-2. 140℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 외관 변화.

표 2-3-2. 140℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

처리시간 (초)	L	a	b
0	35.08±0.24 ^a	18.09±0.56 ^a	19.03±2.13 ^a
15	34.40±0.20 ^a	18.41±3.17 ^a	15.19±1.94 ^{ab}
30	35.94±0.62 ^a	18.75±2.78 ^a	16.44±1.71 ^{ab}
45	35.97±0.93 ^a	17.42±2.99 ^a	16.36±1.46 ^{ab}
60	33.23±1.62 ^{ab}	15.37±1.12 ^a	14.41±0.71 ^{ab}
75	32.49±1.67 ^b	14.84±2.72 ^a	12.70±2.30 ^b

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며, 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

○ 140℃의 과열수증기 처리 후 색도 변화를 관찰하였을 때, lightness는 60초 처리 후부터 대조군 시료와 유의적인 차이가 나는 것으로 나타났다. Redness는 모든 시료에서 유의적인 차이가 없었으나 120℃의 과열수증기 처리와 비교하였을 때 redness가 감소하는 것을 알 수 있다. Yellowness는 15초 처리 후부터 유의적인 차이가 나타났으며 75초 처리 후에는 대조군 시료와 큰 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이는 육안으로 시료를 관찰할 때에도 확인할 수 있었다. 60초, 75초 처리한 시료는 대조군 시료에 비교하였을 때 탄화가 된 것을 확인할 수 있다.

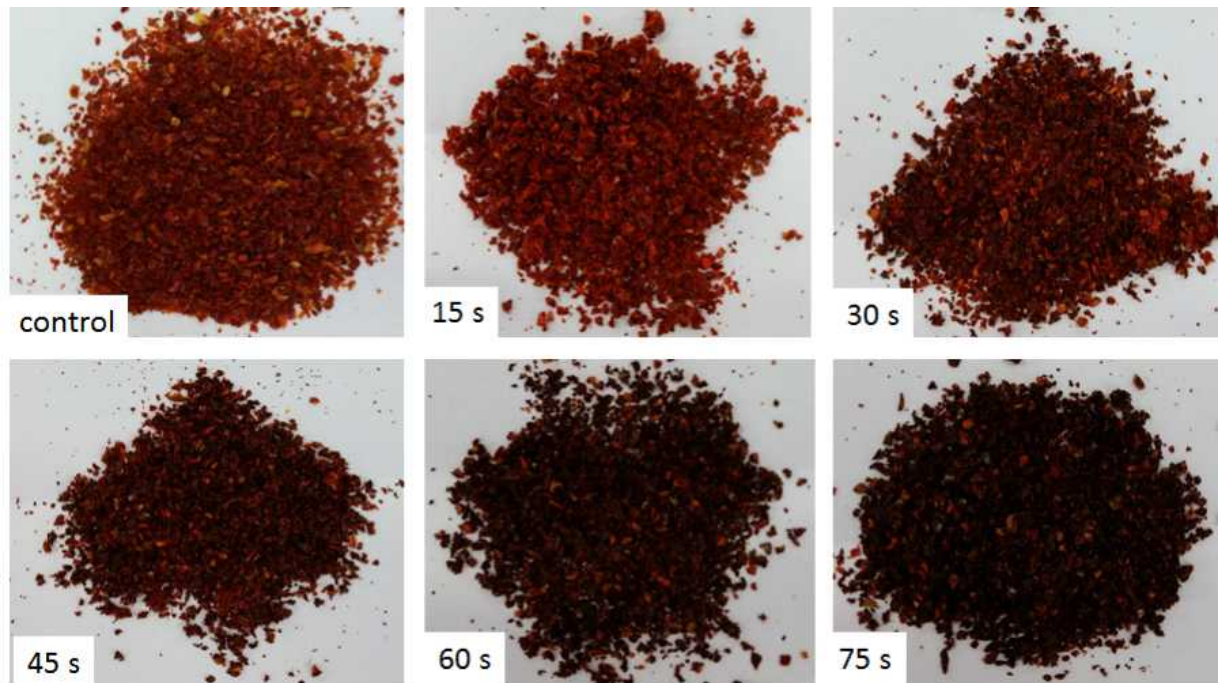


그림 2-3-3. 160℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 외관 변화

표 2-3-3. 160℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

처리시간 (초)	L	a	b
0	35.08±0.24 ^a	18.09±0.56 ^a	19.03±2.13 ^a
15	33.61±0.78 ^{ab}	17.10±1.22 ^{ab}	17.92±2.63 ^a
30	33.05±1.60 ^{ab}	14.54±1.51 ^b	15.07±4.26 ^{ab}
45	30.96±0.17 ^{bc}	11.83±0.82 ^c	12.57±3.40 ^{ab}
60	30.62±0.41 ^c	9.56±0.44 ^{cd}	10.71±2.63 ^{ab}
75	29.30±0.67 ^c	8.61±0.77 ^d	9.46±2.97 ^b

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

- 160℃의 과열수증기 처리 후 색도 변화를 관찰하였을 때, lightness는 15초 처리 후부터 대조군 시료와 유의적인 차이가 나는 것으로 나타났다. Redness는 모든 시료에서 유의적인 차이가 나타났으며 큰 폭으로 감소하는 것을 알 수 있다. Yellowness는 30초 처리 후부터 유의적인 차이가 나타났으며 45초 처리 후부터 대조군 시료와 큰 차이가 나는 것을 알 수 있다. 시료를 육안으로 관찰하였을 때, 30초부터 시료가 탄화되는 것을 구분할 수 있었다.

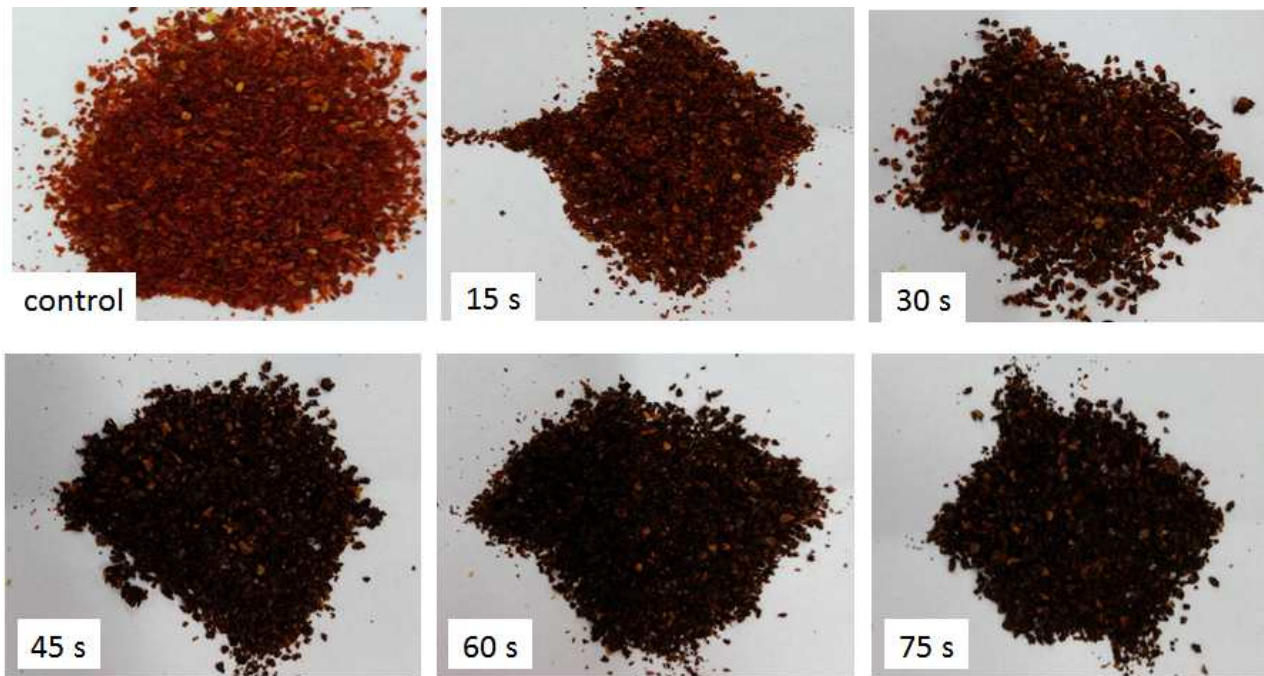


그림 2-3-4. 180℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 외관 변화.

표 2-3-4. 180℃의 과열수증기 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

처리시간 (초)	L	a	b
0	35.08±0.24 ^a	18.09±0.56 ^a	19.03±2.13 ^a
15	32.41±0.77 ^b	13.15±0.47 ^b	15.87±0.41 ^{ab}
30	29.72±0.09 ^c	8.62±0.66 ^c	11.23±0.32 ^{bc}
45	28.63±1.64 ^{cd}	7.39±1.02 ^{cd}	8.32±3.01 ^c
60	28.82±0.67 ^{cd}	7.00±0.46 ^{cd}	8.49±2.82 ^c
75	27.00±0.97 ^d	5.72±0.15 ^d	6.93±2.23 ^c

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

○ 180℃의 과열수증기 처리 후 색도 변화를 관찰하였을 때, 160℃와 마찬가지로 lightness는 15초 처리 후부터 대조군 시료와 유의적인 차이가 났으며, 30초 만에 매우 큰 폭으로 감소하였다. Redness는 15초 만에 매우 큰 차이를 보였으며, yellowness 또한 15초 처리 만에 크게 감소하였다. 시료를 육안으로 관찰하였을 때에도 15초 만에 시료가 탄화하는 것을 알 수 있었으며 30초 처리 이후는 품질이 크게 떨어짐을 알 수 있었다.

○ 앞서 보듯이 균 저감효과가 높은 온도와 시간에서는 품질이 저하되는 것을 알 수 있었다. 따라서 품질 변화를 최소화하고 미생물 저감효과를 높이기 위하여 180℃, 200℃의 고온에서 15초 이내로 살균 처리하는 실험을 진행한 후, 품질 변화를 살펴보았으며 그 결과를 그림 2-3-5, 2-3-6과 표 2-3-5, 2-3-6에 나타내었다.



그림 2-3-5. 180℃의 과열수증기를 단시간 처리 시 고춧가루의 외관 변화.

표 2-3-5. 180℃의 과열수증기를 단시간 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

처리시간 (초)	L	a	b
0	35.08±0.24 ^a	18.09±0.56 ^a	19.03±2.13 ^a
3	35.98±0.84 ^a	17.99±0.31 ^a	19.54±1.21 ^a
6	34.95±0.72 ^{ab}	16.78±0.30 ^{ab}	19.36±0.50 ^a
9	33.32±1.80 ^{ab}	15.48±1.13 ^{bc}	18.86±1.25 ^{ab}
12	32.45±1.12 ^b	14.91±0.77 ^{cd}	15.53±2.47 ^b
15	32.41±0.80 ^b	13.15±0.47 ^d	15.87±0.41 ^b

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

○ 180℃의 과열수증기를 3, 6, 9, 12, 15초 처리 후 색도 변화를 관찰하였을 때, lightness는 6초 처리 후부터 대조군 시료와 유의적인 차이가 났으며, redness 역시 6초 처리 후부터 대조군과 유의적인 차이가 나는 것으로 측정되었다. Yellowness는 12초 처리 후부터 크게 감소하였다. 시료를 육안으로 관찰하였을 때, 9초 처리 후 부터는 대조군과 비교하

여 탄화가 진행됨을 확인할 수 있었다.

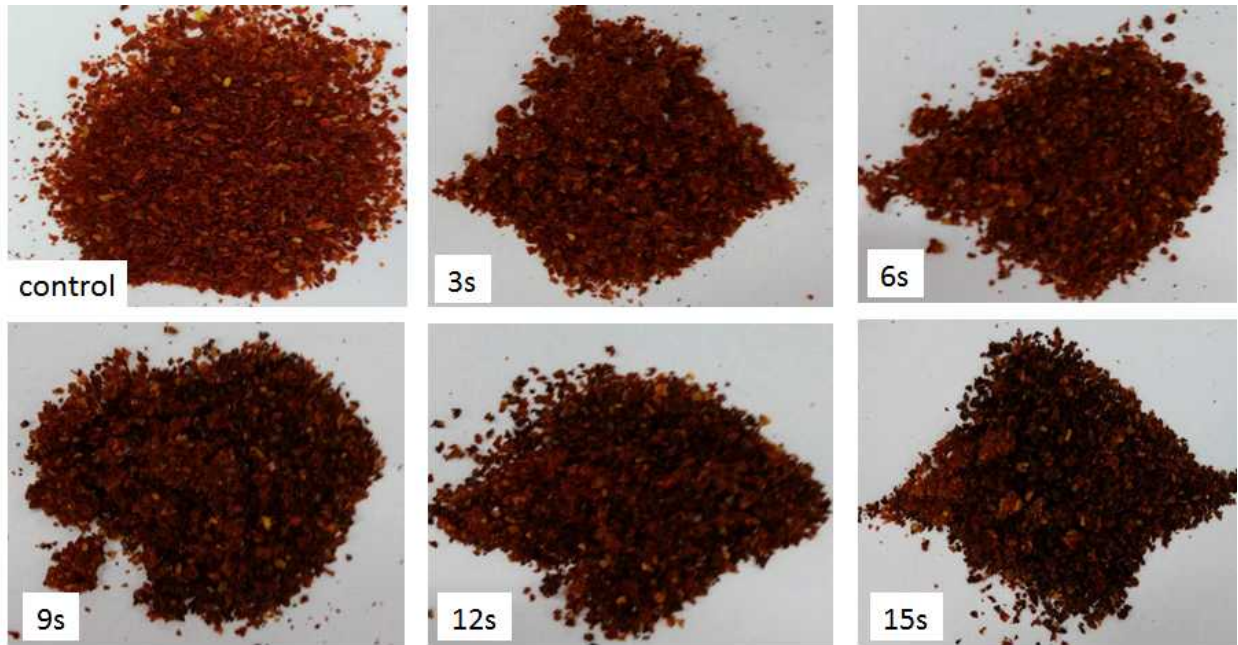


그림 2-3-6. 200℃의 과열수증기를 단시간 처리 시 고춧가루의 외관 변화.

표 2-3-6. 200℃의 과열수증기를 단시간 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

처리시간 (초)	L	a	b
0	35.08±0.24 ^a	18.09±0.56 ^a	19.03±2.13 ^a
3	34.81±0.43 ^a	18.15±2.05 ^a	20.40±0.76 ^a
6	33.97±0.97 ^{ab}	18.33±1.31 ^a	19.27±0.40 ^a
9	32.82±0.33 ^{ab}	15.84±1.40 ^b	17.10±0.81 ^{bc}
12	31.31±2.12 ^{bc}	14.31±1.48 ^{bc}	15.03±0.70 ^{cd}
15	30.03±1.45 ^c	11.36±2.06 ^c	13.20±1.50 ^d

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

○ 200℃의 과열수증기를 3, 6, 9, 12, 15초 처리 후 색도 변화를 관찰하였을 때, lightness는 6초 처리 후부터 대조군 시료와 유의적인 차이가 났으며, redness와 yellowness는 9초 처리 후부터 크게 감소하였다. 시료를 관찰하였을 때, 6초 처리 만에 대조군과 비교하여 탄화가 진행됨을 확인할 수 있었다.

(2) 수분함량 변화

- 120, 140, 160, 180℃의 과열 수증기를 15, 30, 45, 60, 75초 처리한 후 수분함량을 측정한 결과를 그림 2-3-7에 나타내었다. 고춧가루의 처리 전 수분함량은 $12.91 \pm 0.26\%$ 로 측정되었다.

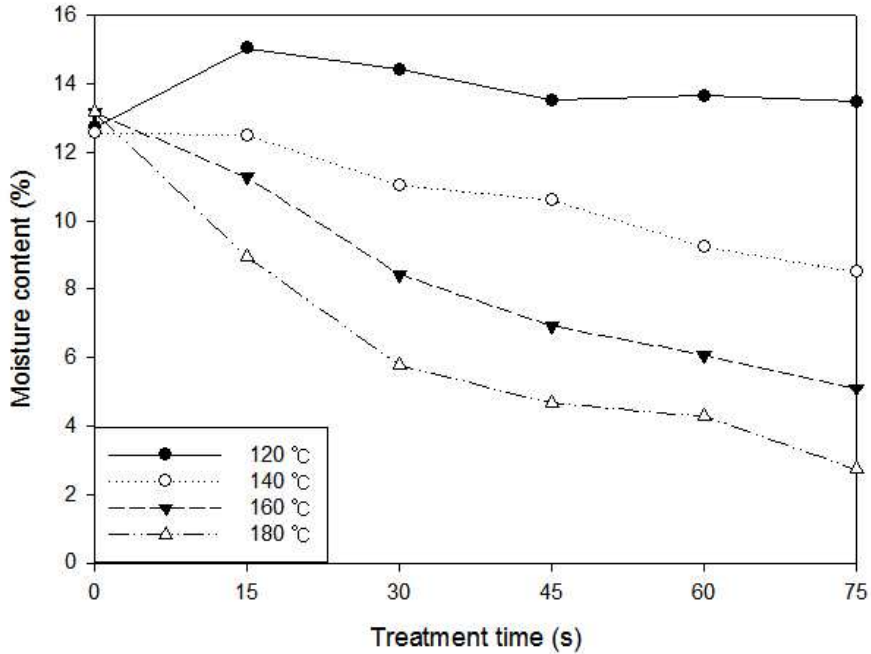


그림 2-3-7. 과열 수증기 처리에 따른 수분함량 변화.

- 120℃의 경우를 제외하곤 과열 수증기 온도가 증가할수록 처리 시간이 증가할수록 수분 함량이 감소되었다. 120℃ 과열 수증기로 처리 시, 초기 15초의 경우 수분 함량이 약 15%로 소폭 증가되었고 이는 초기 응축수에 의한 것으로 판단된다. 과열 수증기의 온도가 높을수록 전달하는 열에너지양이 많기 때문에 처리 시간이 증가할수록 초기 형성된 응축수가 증발되고 건조 과정으로 이행되나, 과열 수증기 온도가 낮은 경우(즉, 과열도가 작을 때) 지속적으로 응축 현상이 일어나기 때문에 120℃에서 75초 처리하여도 큰 건조 효과가 나타나지 않았다. 75초간 처리하면 140℃에서는 약 9%, 160℃에서는 약 6%, 180℃에서는 약 3.5%까지 수분함량이 감소되었다.
- 180, 200℃의 고온에서 단시간 처리한 후 수분함량을 측정한 결과, 그림 2-3-8과 같았다.
- 비교적 낮은 온도의 과열 수증기(120℃)를 사용하였을 때 관찰되었던 초기 응축수의 영향(그림 2-3-7)이 고온의 과열 수증기를 사용할 때도 나타남을 알 수 있었다(그림 2-3-8). 180℃, 200℃의 경우 약 6초간 초기 응축수의 영향으로 소폭 수분함량이 증가한 후 처리 시간 증가에 따라 수분함량이 감소되었다. 180℃, 200℃의 과열 수증기를 15초 처리 후 최종 수분함량은 각각 8.94 %, 6.85 %로 측정되었다.

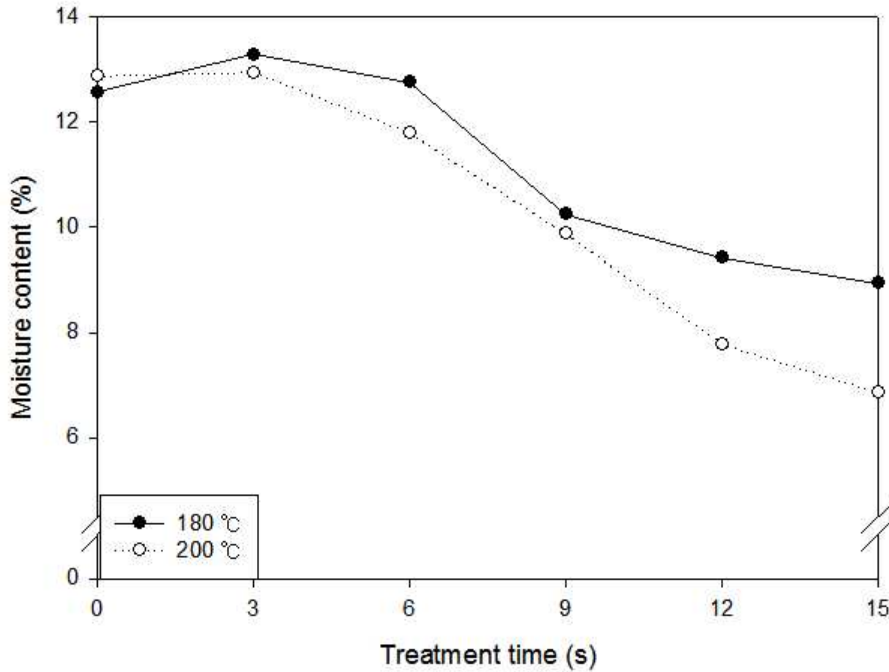


그림 2-3-8. 180, 200°C의 과열 수증기를 15초 이내로 처리 시 고춧가루의 수분함량 변화.

다. 고찰

- 과열수증기로 처리 시 초기의 시료와 과열수증기와의 큰 온도 차이에 의하여 순간적인 응축이 발생하나 지속적인 처리 시 수분이 재증발되고 처리 시간이 더 길어지면 건조 효과가 나타난다. 120°C의 과열 수증기 처리 후 외관을 살펴보았을 때 모든 처리에서 응축수에 의한 응집 현상이 관찰되었다. 이는 수분함량 변화를 측정된 결과와도 상응한다. 120°C의 과열 수증기 처리 시에는 모든 시간에서 수분함량이 증가하거나 대조군과 비슷한 함량을 보였다. 140°C의 경우, 육안으로 관찰하였을 때 30초 처리까지 응축이 발생하는 것으로 관찰되었다. 수분함량 측정 결과, 30초 처리 시부터 건조가 진행되는 것으로 나타났다. 160°C의 경우 눈으로 관찰되는 응축은 15초 처리 시로 나타났으며 실제 수분 함량은 15초 처리만으로도 감소하는 것으로 측정되었다. 180°C의 경우, 모든 처리 시간에서 응축이 관찰되지 않았으며 수분함량 측정 결과와도 상응한다. 육안으로 구별 가능한 정도의 색도 변화가 나타날 때, 수분함량이 10% 이하로 떨어지는 것을 알 수 있었다.
- 180°C의 과열 수증기를 15초 이내로 처리하였을 때, 6초 처리까지 응축이 발생하였으며, 수분함량의 변화와 상응하는 결과임을 알 수 있다. 뿐만 아니라 9초 처리부터는 눈으로 구별 가능한 색도 차이가 나타났다. 200°C에서는 3초 처리하였을 때 응축이 관찰되었으며, 6초부터는 수분함량도 크게 감소하고 색도 변화도 큰 것으로 측정되었다. 이처럼 외관으로 관찰할 수 있는 응축과 실제 수분함량, 색도 변화가 연관되어 변화하는 것을 알 수 있다.

- 과일 수증기로 고춧가루를 살균하기 위해선 상대적으로 고온으로 단시간 처리하는 것이 품질 손상을 최소화하므로 유리하나, 총 호기성균의 저감 효과는 크지 않은 문제점이 있었다. 향후 biofilm 형성능이 있는 *Bacillus* 속의 미생물의 저감 효과와 교차 오염의 가능성을 전제로 한 위해 미생물의 저감 효과를 살펴보는 것이 필요한 것으로 판단되었다.

Ⅲ. 과일수증기 처리 조건에 따른 미생물 위해인자 저감화

1. 과일 수증기에 의한 *Bacillus* spore 저감화 양상

- 앞서 고춧가루의 총 호기성균 저감화 효과가 불충분한 주원인은 *Bacillus*에 의한 것으로 판단되었다. *Bacillus* 속의 일부 미생물은 위해성이 있으며 이들은 토양과 같은 자연 환경에 존재하여 농작물로 오염되는 경우가 많다(Valero *et al.* 2002). 특히 이 *Bacillus* 속은 spore를 형성하여 적합한 조건에서 세포로 발아하여 신체에 영향을 줄 수 있기 때문에 *Bacillus* 속의 spore를 제거하는 것은 매우 중요하지만 spore는 내열성이 강하여 쉽게 사멸되지 않는다.
- 다양한 온도의 포화 수증기에 대한 *Bacillus stearothermophilus* spore의 내열성은 보고된 바 있다(Feeherry *et al.* 1987). Biological Indicator Evaluator Resistometer를 이용하여 121℃의 수증기를 *Bacillus stearothermophilus*의 spore에 처리하였을 때, 3.33분의 D값이 측정되었다(그림 3-1-1).

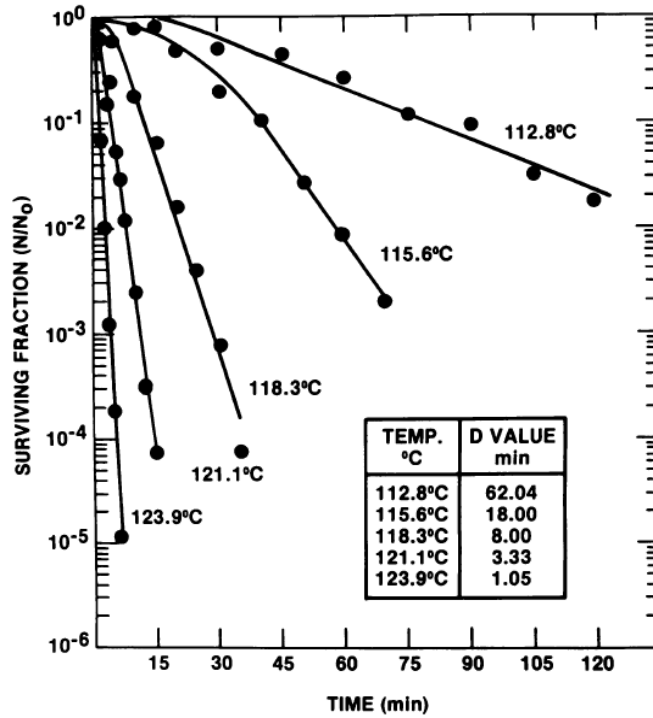


그림 3-1-1. 다양한 온도의 증기 처리에 따른 *B. stearothermophilus* spore의 내열성 (Feeherry *et al.* 1987에서 발췌).

- 또한 탈지유에 *Bacillus subtilis* spore를 접종하여 고온의 포화 수증기로 처리한 결과 (Edwards *et al.* 1965) 그림 3-1-2과 같이 나타났다. 275°F, 즉 135°C의 경우 약 3초 처리 하였을 때 5 log 정도 감소하는 것을 알 수 있다.

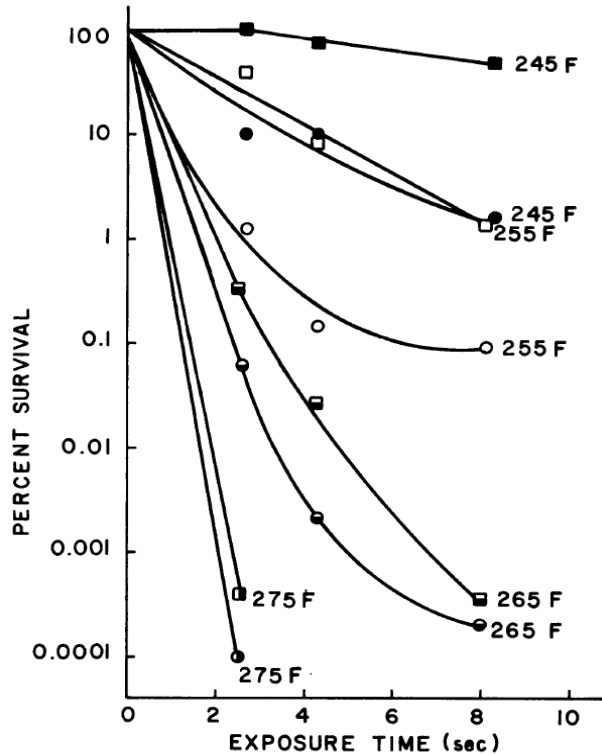


그림 3-1-2. 탈지유에 포함된 *Bacillus subtilis* spore의 내열성 확인
 (○ : FNA 배지에서 배양, □ : CNA 배지에서 배양, Edwards *et al*, 1965에서 발췌).

- 이처럼 현재 일반적인 고온 포화 수증기에 대한 spore의 저감효과를 살펴본 연구는 비교적 많이 진행된 데 비하여, 과열 수증기에 대한 spore의 내열성에 대한 연구가 부족한 상황이며, 본 연구에서 사용된 과열 수증기 장치에서의 저감 양상도 연구가 필요하다. 따라서 *Bacillus* 속의 spore의 과열수증기에 대한 내열성을 살펴보고자 한다.
- 이미 알려진 방법(Kim *et al*. 1966)에 따라 spore를 배양한 후, 적정 접종량을 멸균된 모래에 혼합하여 과열 수증기 처리를 할 수 있는 시료를 만든 후 이 시료를 스테인리스 메쉬 사이에 놓고 위아래를 스테인리스 링으로 고정한다. 처리 준비가 완료된 시료를 반응 chamber에 넣고 과열 수증기 처리를 하여 spore의 내열성을 확인할 수 있다.

2. 과열수증기에 대한 *Bacillus cereus* spore의 살균 kinetics 결정

가. 실험방법

- 고춧가루의 총 호기성균 저감화 효과가 불충분한 원인으로 *Bacillus*에 의한 것으로 판단되었다. 특히 *Bacillus* 속의 spore는 적합한 조건에서 발아하여 신체에 영향을 줄 수 있기 때문에, 과열수증기로 *Bacillus* spore를 제어하는 것이 얼마나 효과적인지 알아보 고자 하였다. Spore를 형성하는 다양한 *Bacillus* 속 균주 중 위험성이 보고된 바 있는 *Bacillus cereus* spore의 저감화 양상을 살펴보았다. 실제 식품에 적용하기에 앞서 모래

에 *Bacillus cereus* spore를 접종하여 실험을 진행하였다.

(1) *Bacillus cereus* spore 생성

- *Bacillus cereus* ATCC 14579(Seoul National University, Seoul, Korea) 영양세포의 콜로니를 30% 희석한 Luria Bertani(LB broth, MB cell, Seoul, Korea) 액체 배지에 넣고 37°C에서 11일 동안 배양하였다. 영양세포의 80%가 spore로 전환되었음을 현미경으로 확인한 후 3,600×g, 4°C에서 20분간 원심분리시킨 후 0.2%(w/v) peptone water로 세척하였다. 이후 peptone water를 5 mL 가하여 현탁액을 만들고, 80°C water bath에서 10분간 증탕하여 영양세포를 저해하였다. 세포 현탁액 1 mL를 폴리에틸렌 백에 담긴 멸균된 모래에 접종한 후, 1분간 손으로 균질화하여 biosafety hood에서 2시간 동안 건조시켰다. 모래에 접종된 *Bacillus cereus* spore의 최종 농도는 $5.7 \pm 0.4 \log \text{CFU/g}$ 로 계수되었다.

(2) 과일 수증기 처리

- 과일 수증기의 표면 살균 효과를 알아보기, 위해 미생물 spore의 내열성 등을 실험하기 위하여 그림 3-2-1과 3-2-2와 같은 reacting cell을 별도로 제작하였다. Spore의 내열성 측정을 위하여 저감화 양상을 확인하고자 하는 spore를 배양한 후, 모래와 혼합하여 과일 수증기를 처리할 수 있는 시료를 만들고, 두 개의 스테인리스 메쉬(그림 3-2-3) 사이에 놓는다. 스테인리스 메쉬의 위아래는 그림 3-2-2에서 보듯이 단단하게 결합 가능한 스테인리스 링으로 고정한다. 탈착이 가능한 상면의 스테인리스 링은 무게를 무겁게 하여 과일 수증기에 의해 스테인리스 메쉬가 움직이는 것을 방지하였다. 메쉬와 단단하게 고정된 reacting cell을 반응 chamber에 넣어 과일 수증기 살균을 진행하였다.



그림 3-2-1. Spore 실험용으로 제작된 reacting cell.



그림 3-2-2. 제작된 spore용 reacting cell의 하단.

- 기존의 reacting cell에서 분체형 시료를 처리하기 위하여 제작하였던 옆면과 아랫면의 100 mesh의 스테인리스 망을 제거하였다. 탈부착이 가능한 스테인리스 링 사이에는 아래의 그림 3-2-3과 같은 스테인리스 메쉬가 들어가도록 설계되었다.

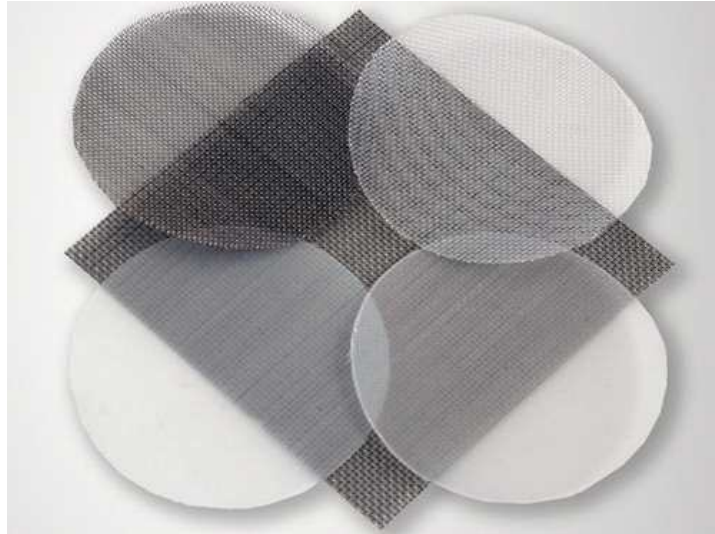


그림 3-2-3. Spore 실험용 스테인리스 스틸 메쉬.

- 두 개의 스테인리스 메쉬(30 μm mesh opening; 55 mm diameter; Spectrum Laboratories Inc., Rancho Dominguez, California, USA, 그림 3-2-3) 사이에 spore를 집중한 모래 2 g을 놓고, 스테인리스 메쉬의 위아래 부분에 단단하게 걸착 가능한 스테인리스 링으로 고정하였다. 예비실험을 통해, 과열 수증기의 온도는 100, 120, 140, 160, 180°C로 정하였으며, 처리 시간은 15, 30, 45, 60, 180, 300초로 정하였다. 살균 처리한 시료는 처리 직후 멸균된 stomacher bag에 담았다.

(3) 균 계수

- 살균 처리된 2 g의 시료에 18 mL의 0.2%(w/v) peptone water를 가한 후 stomacher를 이용하여 speed 9에서 2분간 균질화하였다. 그 후 균질화된 시료 1 mL를 9 mL의 peptone water를 이용하여 10^{-1} 배에서부터 10^{-7} 배까지 차례로 희석하였으며, 희석된 시

료 1 mL를 Tryptic Soy Agar (TSA, MB cell, Seoul, Korea) 배지에 도말하였다. 도말된 배지는 37°C의 인큐베이터에서 배양하였으며 24시간 후 형성된 콜로니를 계수하였다.

(4) 수분 함량 측정

○ 균을 접종하지 않은 모래 2 g을 100°C의 포화 수증기와 120, 140, 160, 180°C의 과열수증기를 15, 30, 45, 60초 처리하여 수분 함량 측정을 위한 시료로 하였다. 4번의 실험을 반복하여 8 g의 시료를 준비하여 미리 항량을 맞춘 알루미늄 접시에 옮겨 담았다. 시료가 담긴 접시를 데시케이터에서 30분간 방랭시킨 후 IR moisture analyzer(A & D Company, Tokyo, Japan)로 수분함량을 측정하였다.

나. 연구결과

(1) Spore 저감화 양상

○ 과열수증기에 대한 *Bacillus cereus* spore의 저감화 양상은 그림 3-2-4와 같이 나타났다.

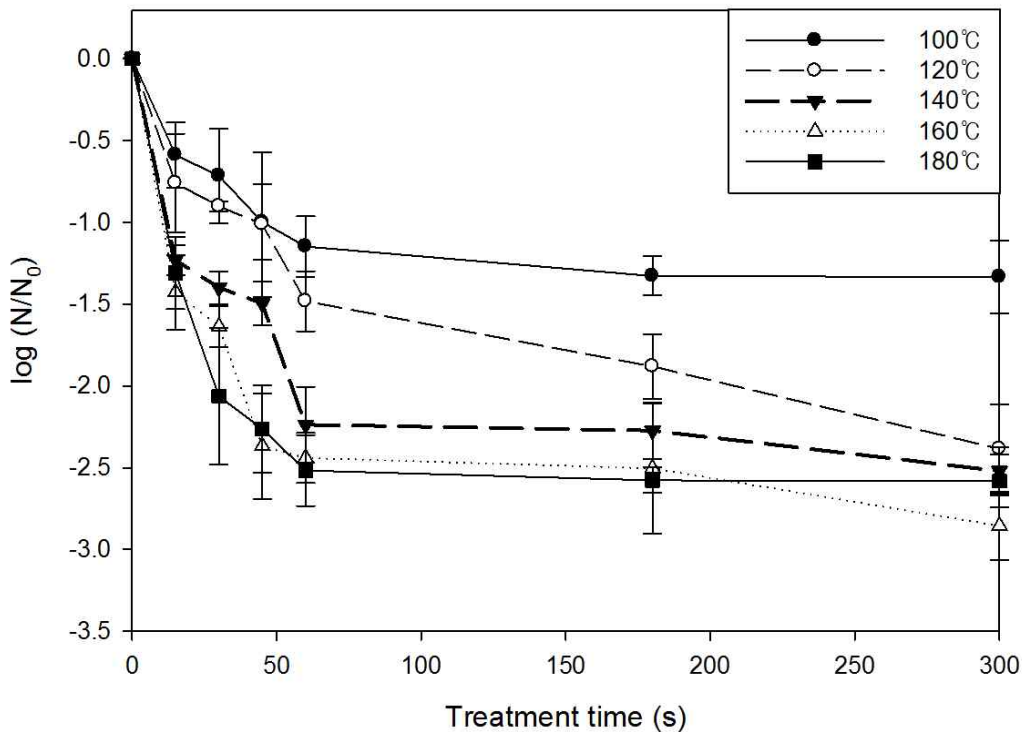


그림 3-2-4. 과열수증기의 온도에 따른 *Bacillus cereus* spore의 저감화 양상.

○ 100°C의 포화 수증기와 120, 140, 160, 180°C의 과열 수증기를 300초 동안 처리한 결과, 각각의 온도에서 *Bacillus* spore는 1.3, 2.3, 2.5, 2.5, 2.7 log CFU/g 감소하였다.

○ 0.15% NaCl 완충용액에 접종한 *Bacillus cereus* spore를 25kV/cm 세기의 Pulsed

electric field로 처리하여 0.4 log CFU/mL 저감화되었다는 선행 연구 결과(Cserhalmi, Z. et al., 2002)와 비교하였을 때, 과열수증기로 *Bacillus cereus* spore를 더 많이 저감화시킬 수 있었다.

- 온도가 증가할수록, 처리 시간이 길어질수록 spore는 더 많이 저감화되었으나 특정 시간 이후에는 spore의 저감화 속도가 매우 느려지는 양상을 나타내었다. 이는 과열수증기에 의한 건조 효과로 설명할 수 있다. Murrell, W. G.(1966)에 의하면 시스템의 수분활성도가 0.3~0.4일 때 *Bacillus* spore가 가장 열저항성이 높아지며, 그보다 수분활성도가 높거나 낮으면 열저항성은 더 낮아진다. 과열수증기 처리 시 초기에는 응축이 발생하나 처리 시간이 길어지면 수분의 건조가 일어나기 때문에 수분함량을 측정하여 그 영향을 살펴보았다.

(2) 수분함량 측정

- 120, 140, 160, 180°C의 과열수증기로 5, 10, 15, 20, 25, 30초 처리하여 모래의 수분함량의 변화를 살펴본 결과, 그림 3-2-5와 같았다.

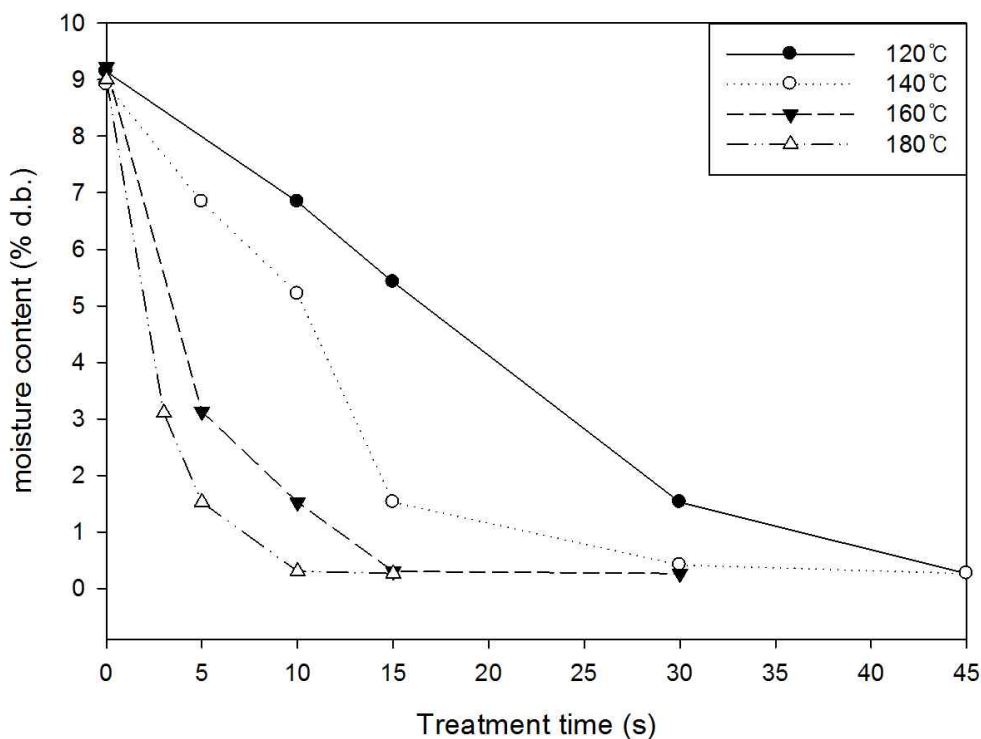


그림 3-2-5. 과열수증기 처리 시 spore 접종 모래의 수분함량 변화.

- 과열수증기 처리 전 모래의 수분 함량은 약 9.14 ± 0.31 %이며, 온도가 높아질수록 더 빠른 시간 내에 수분이 모두 건조됨을 알 수 있다. 120, 140, 160, 180°C 각각의 온도에서 약 45초, 30초, 15초, 15초 만에 모든 수분이 건조되었다. 이는 사멸곡선의 기울기가 달라지는 시간과 비슷한 양상을 보이고 있다.

- 상기 결과로부터 과열수증기에 의한 *Bacillus cereus* spore의 사멸 kinetics를 분석하기 위하여 biphasic model을 이용하였다. SigmaPlot 10.0 (Systat Software Inc., California, USA) 프로그램을 이용하였으며 fitting 식은 다음과 같다.

$$\log N(y) = \begin{cases} -\frac{t}{D_1} & 0 < t < t_c \\ -\frac{t}{D_2} + \frac{t_1 - t_c}{t_1 - t_c} y_1 - \frac{t - t_c}{t_1 - t_c} y_2 & t_c < t < 300 \end{cases}$$

- 여기서 D_1 은 첫 번째 phase의 D -value, D_2 는 두 번째 phase의 D -value, t_c 는 phase가 변하는 시간, t_1 은 최대 처리 시간 즉 300초, y_1 은 t_1 에서의 저감화 정도, y_2 는 t_c 에서의 저감화 정도를 나타낸다.
- Biphasic model을 적용한 결과를 그림 3-2-6에 나타내었다. Fitting의 결정계수는 모두 0.95 이상으로 현상을 잘 설명하는 것으로 판단되었고, biphasic model의 parameter(D_1 , D_2 와 t_c)를 구하여 표 3-2-1에 나타내었다.

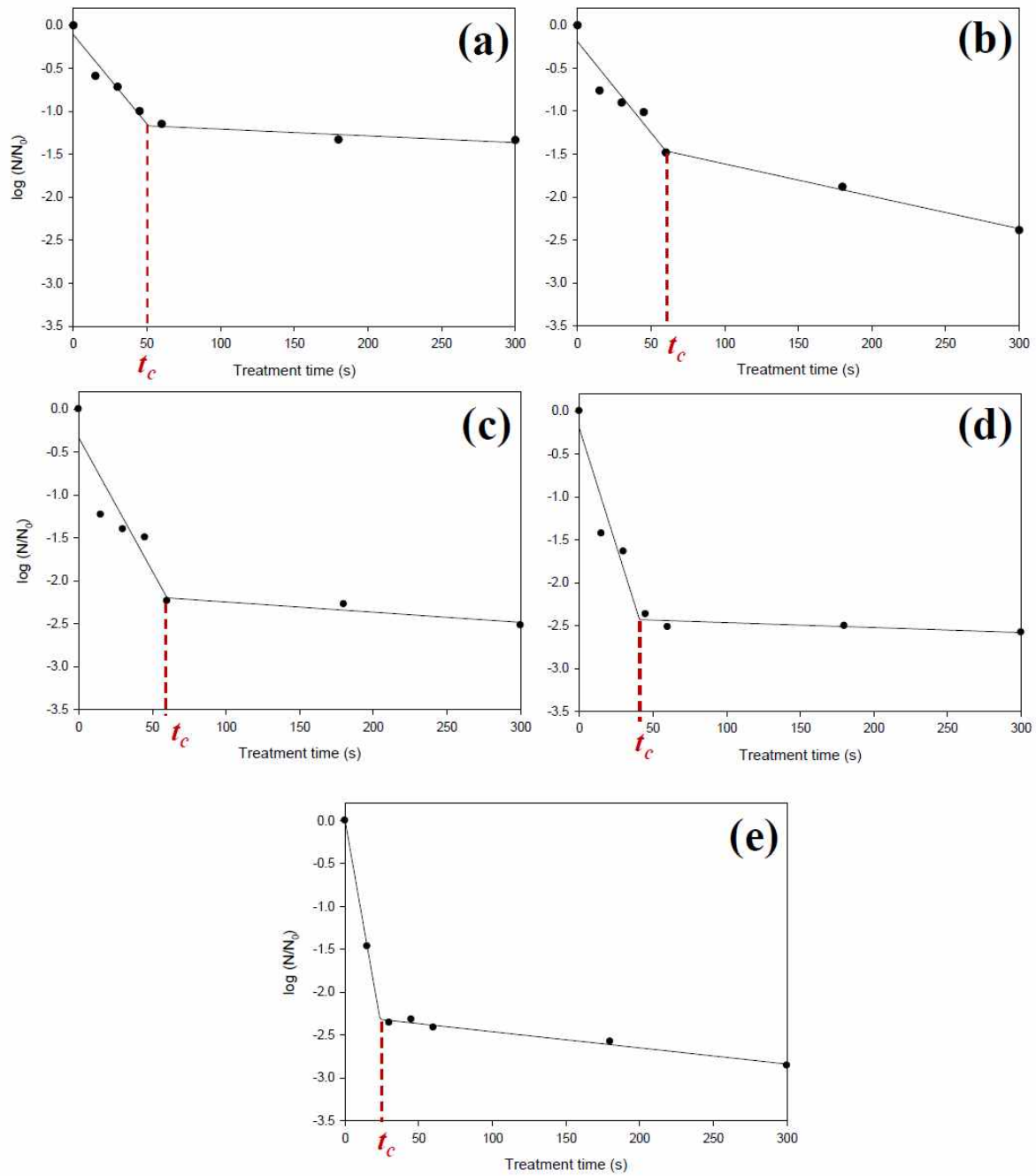


그림 3-2-6. Biphasic model을 이용한 *Bacillus cereus* spore의 살균 kinetics 분석.
 (a) 100°C, (b) 120°C, (c) 140°C, (d) 160 °C, and (e) 180°C.

표 3-2-1. *Bacillus cereus* spore의 biphase model parameters

온도 (°C)	D_1 ¹ (초)	D_2 ¹ (초)	t_c ² (초)	R ²
100	48.08	1281.24	51.06	0.983
120	47.17	265.40	60.00	0.983
140	32.12	839.16	60.00	0.957
160	18.32	1733.54	40.84	0.976
180	10.23	530.92	23.71	0.999

¹ D_1 : 첫 번째 phase의 D -value, D_2 : 두 번째 phase의 D -value.

² t_c : phase 가 변하는 시간.

- Setlow P.(2005)에 의하면 습열과 건열에 의한 *Bacillus subtilis* spore의 저해 메카니즘이 다른 것으로 알려져 있다. 습열은 spore 내부의 효소를 불활성화시키고 투과성이 있는 내부 세포막을 파괴하여 spore를 파괴하지만 건열은 DNA에 손상을 주어 spore를 저해한다.
- 과열수증기는 초기에는 표면에 응축수가 형성되면서 응축잠열이 표면의 미생물에 전달되어 사멸시키는 습열살균이 일어난다. 이후 현열에 의하여 표면 응축수가 증발하면서 건조가 진행된다. 이 기간에는 과열수증기의 현열에 의하여 미생물이 사멸되므로 건열살균이 일어난다. 이와 같이 과열수증기는 습열살균과 건열살균의 효과를 모두 갖고 있기 때문에 두 가지 메카니즘으로 *Bacillus cereus* spore를 저해하여 그림 3-2-7과 같이 두 구간의 사멸 곡선을 나타내는 것으로 사료된다.
- 두 번째 phase에서는 spore의 저해 효과가 낮으므로, 첫 번째 phase에서의 D -value를 비교해보면 온도가 높아질수록 D_1 값이 짧아졌으며 t_c 역시 160°C 이상에서 짧아지는 경향을 보였다. 또한 온도가 높아질수록 t_c 에서 더 많은 spore가 저해되었다.
- 실험 결과, *Bacillus cereus* spore를 2.5 log CFU/g 만큼 감소시키는데 160°C 이상의 온도와 300초, 즉 5분 이상의 시간이 필요한 것을 알 수 있다. 하지만 이 조건을 실제 식품에 적용한다면 식품 품질에 좋지 않은 영향을 줄 것으로 판단된다. 따라서 식품 내의 spore를 제어할 때 과열수증기 처리는 다른 살균 방법과 동시에 사용되거나 전처리를 통해 일부 저감화하여 향후 열처리 시간을 감소시키는 데 사용할 수 있을 것이다.
- 내열성이 큰 spore를 과열수증기만 처리하였을 때는 식품의 열손상을 막기 어렵기 때문에 spore를 vegetative cell로 germination 시킨 후 과열수증기로 처리하는 방법의 적용 가능성을 탐색해 보았다.
- 그림 3-2-7은 *Bacillus cereus* spore를 80°C의 수조에서 10분간 열처리하여

germination 시킨 후 모래에 접종하여 120°C의 과열 수증기로 처리한 결과이다. 초기 *Bacillus cereus*의 양은 $5.8 \pm 0.3 \log \text{CFU/g}$ 이며, vegetative cell은 spore에 비해 열저항성이 매우 낮아 120°C의 온도에서도 6초 만에 5 log CFU/g가 감소하였다.

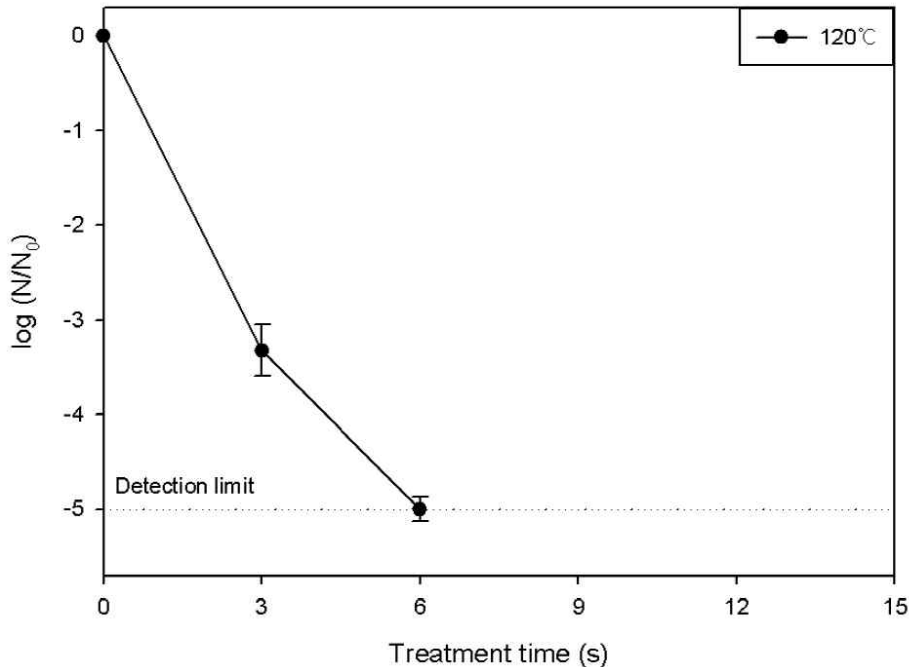


그림 3-2-7. Germination된 *Bacillus cereus*의 저감화 양상.

- 60°C의 온도에서 500MPa의 압력을 15분 처리하여 *Bacillus cereus*를 5 log CFU/mL 저감화한 선행 연구(Van Opstal, I. et al., 2004)와 비교하였을 때 더 빠른 시간 내에 *Bacillus cereus*를 저감화할 수 있었다.
- 하지만 germination 온도는 80°C로 고춧가루와 같이 열에 민감한 식품에는 적용이 어려울 것으로 판단된다. Alanine이나 K⁺ 등과 같은 spore의 germination을 유도하는 germinants를 처리한 후 과열수증기를 처리하는 방법에 대한 연구가 좀 더 필요할 것으로 사료된다.

3. 과열수증기 처리 조건에 따른 미생물 저감화 및 품질 변화 측정

- 고춧가루 자체에 오염되어 있는 균 뿐 아니라, 가공 식품으로 제조될 때 이미 오염되어 있는 다른 식품 재료나 공정 시설, 식기구, 작업자의 손 등에 의해 교차오염 되어 식중독을 일으킬 수 있다. 실제로 고춧가루 제조·가공업체의 시설 및 공정별 오염도를 평가한 결과(우혜임 외, 2012), 분쇄 공정 후에 높은 오염도가 나타났으며, 자외선 살균 후에도 미생물 저감에 큰 효과가 나타나지 않았다. 따라서 본 연구에서는 과열수증기를 통해 교차오염을 저해할 수 있는 가능성을 제시하기 위하여 서로 다른 크기의 고춧가루에

위해균을 접종하여 과일수증기를 처리해보았다.

가. 실험방법

(1) 시료의 종류 및 처리 양 결정

- 본 실험에서는 50 mesh 이상 35 mesh 미만($297\mu\text{m}$ 이상 $500\mu\text{m}$ 미만) 크기의 A 고춧가루, 35 mesh 이상 18 mesh 미만($500\mu\text{m}$ 이상 $1000\mu\text{m}$ 미만) 크기의 B 고춧가루, 18 mesh 이상($1000\mu\text{m}$ 이상) 크기의 C 고춧가루를 사용하였다(그림 3-3-1).



그림 3-3-1. 실험에 사용된 세 가지 종류의 고춧가루 (a) 50 mesh 이상 35 mesh 미만의 A 고춧가루, (b) 35 mesh 이상 18 mesh 미만의 B 고춧가루, (c) 18 mesh 이상의 C 고춧가루.

- 과일수증기 처리에 사용되는 시료의 양이 많으면 응축수에 의한 응집이 발생하여 살균 효과가 저해되므로 응축을 최소화하는 시료의 최대 양을 설정하는 것이 중요하다. 예비 실험 결과를 통해 처리하는 시료의 양을 1 g으로 설정하였다.

(2) 과일수증기 온도 및 처리시간 결정

- 과일수증기를 이용하여 살균실험을 진행한 국내외 논문들을 참고하여 120, 150, 180°C를 과일수증기의 온도 범위로 선택하였다.
- 과일수증기 처리시간은 예비실험을 통해 5초부터 15초까지 2초 단위로 설정하였다. 이후 detection limit 이하로 감소되는 시간에서는 다시 1초 단위로 실험을 진행하여 정확한 detection limit를 확인하였다.

(3) 위해균 접종

- *Salmonella* Typhimurium (ATCC 19585)와 *Escherichia coli* (MG1655)를 각각 Tryptic Soy Broth (TSB, Difco, Franklin Lakes, New Jersey, USA) 5 mL에 넣고 37°C에서 24시간 배양하였다. 그 후 각 배양액을 합하여 $4,000\times g$, 4°C에서 20분간 원심분리시킨 후 0.2%(w/v) peptone water로 세척하였다. 이후 peptone water를 10 mL 가하여 현탁액을 만들었다. 이 용액 1 mL를 지퍼백에 담긴 시료 5 g에 접종한 후 1분간 손으로 균

질화하여 biosafety hood에서 2시간 동안 건조시켰다. 고춧가루에 접종된 *S. Typhimurium*과 *E. coli*의 최종 농도는 각각 $7.73 \pm 0.29 \log \text{ CFU/g}$, $7.70 \pm 0.34 \log \text{ CFU/g}$ 로 계수되었다.

(4) 과열 수증기 처리

- 과열수증기가 reacting cell에 의해 응축되는 것을 방지하기 위하여 시료를 넣지 않은 reacting cell을 과열수증기 장치에 부착한 상태로 5분간 예열하였다. 그 후 시료 1 g을 취하여 reacting cell에 넣고 120, 150, 180°C의 과열수증기를 정해진 시간 동안 처리하여 위해균이 얼마나 저감되었는지 살펴보았다. 이 때 모든 처리 사이에는 reacting cell을 세척한 후 5분간 예열하는 과정을 거쳐서 진행하였으며, 살균 처리한 시료는 처리 직후 멸균된 stomacher bag에 담았다.

(5) 균 계수

- 살균 처리된 1 g의 시료를 9 mL의 0.2%(w/v) peptone water를 가한 후 stomacher를 이용하여 speed 9 에서 2분간 균질화하였다. 그 후 균질화된 시료 1 mL를 9 mL의 peptone water를 이용하여 10^{-1} 배에서부터 10^{-7} 배까지 차례로 희석하였으며, 희석된 시료 1 mL를 *Salmonella* 선택배지(xylose lysine desonycholate agar, XLD, OXOID, Basingstroke, UK)와 *E. coli* 선택배지(Sorbitol-MacConkey agar, HiMedia, Mumbai, India)에 도말하였다. 도말된 배지는 37°C의 인큐베이터에서 배양하였으며 24시간 후 형성된 콜로니를 계수하였다.

(6) 외관 및 색도 측정

- 살균 전 고춧가루와 각 조건에서 살균 처리한 고춧가루를 흰 바탕의 종이 위에 수집하여 사진촬영을 진행하였다.
- 2.0 g의 고춧가루를 CR-A50에 적재하여 Chromameter CR-400(with accessory CR-A50, KONICA MINOLTA, USA)을 이용하여 L(lightness), a(redness), b(yellowness) 값을 3회 측정하여 평균값을 데이터로 하였다. 이 과정을 3번 반복 수행하였으며, 그 결과를 SPSS 프로그램을 이용하여 Tukey 법으로 유의적인 차이를 확인하였다.

나. 연구결과

(1) 위해균 저감화 확인

- A, B, C 세 종류의 크기의 고춧가루에 120, 150, 180°C의 과열수증기를 처리한 결과는 각각 그림 3-3-2, 3-3-3, 3-3-4와 같다.

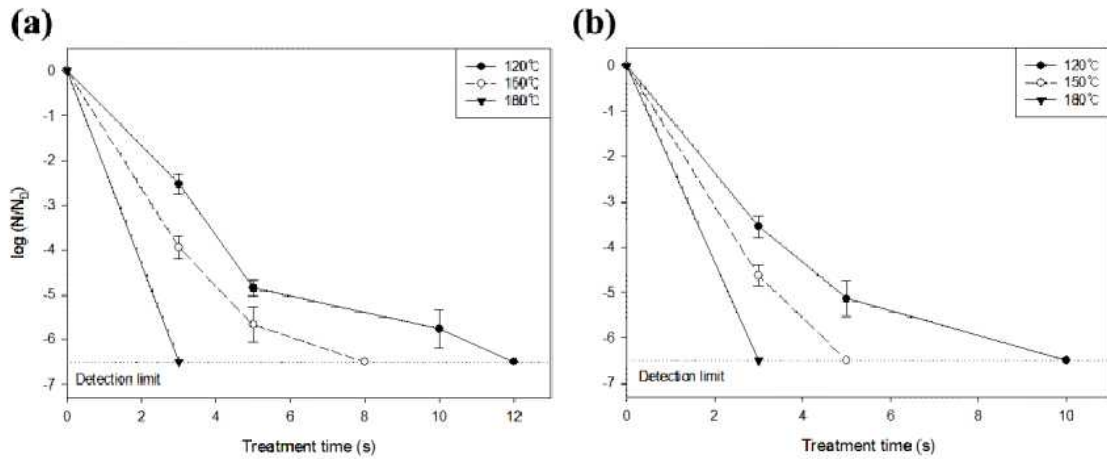


그림 3-3-2. 과열수증기 온도에 따른 A 고춧가루의 위해균 저감화 효과.
(a) *Salmonella*, (b) *E. coli*.

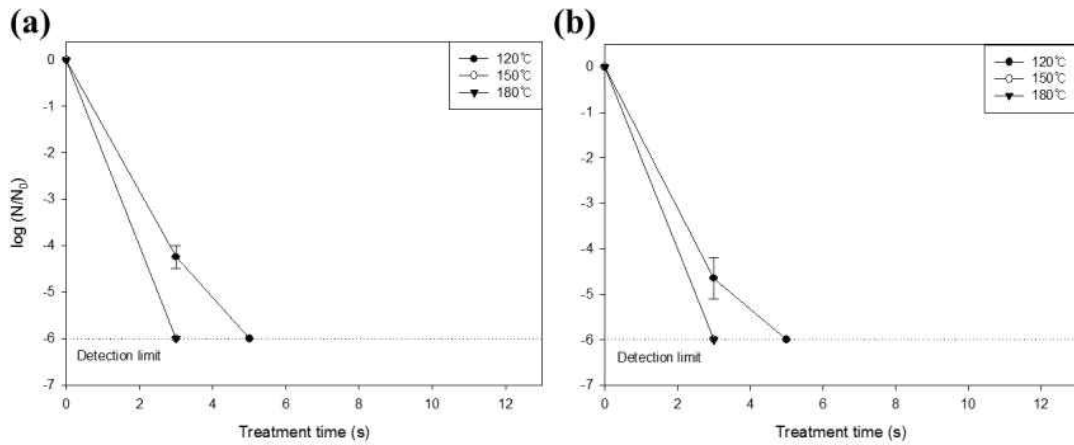


그림 3-3-3. 과열수증기 온도에 따른 B 고춧가루의 위해균 저감화 효과.
(a) *Salmonella*, (b) *E. coli*.

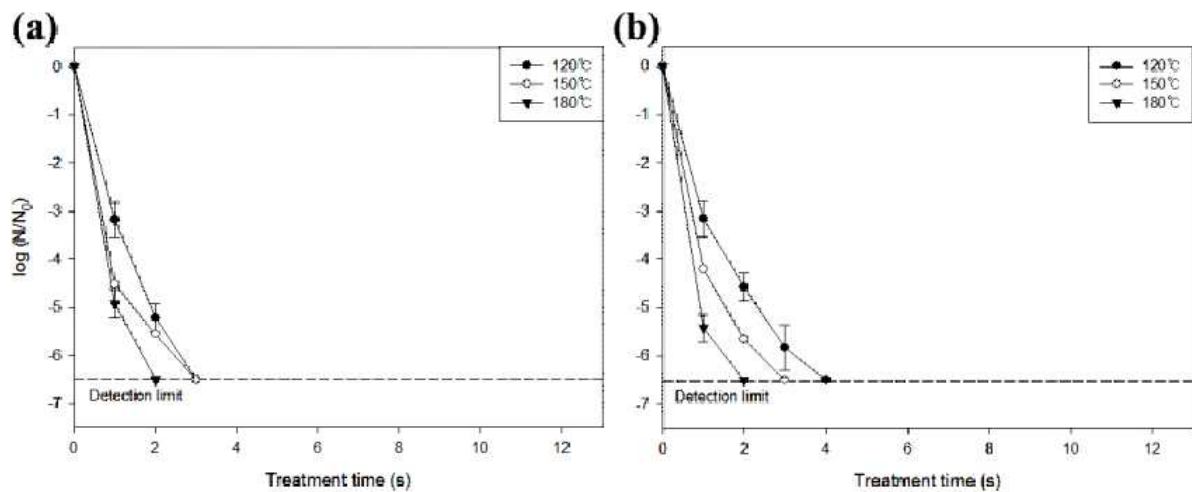


그림 3-3-4. 과열수증기 온도에 따른 C 고춧가루의 위해균 저감화 효과.

(a) *Salmonella*, (b) *E. coli*.

○ 과열 수증기 온도가 증가할수록 위해균의 저감화 속도가 빨라짐을 알 수 있다. 뿐만 아니라 고춧가루의 크기가 클수록 위해균이 짧은 시간 내에 detection limit 이하로 저감화되는 것을 확인하였다. A 고춧가루의 경우, *Salmonella*와 *E. coli*는 120℃에서 각각 12초, 10초에서 약 7 log 이상 감소하여 detection limit 이하로 저감되었고, 150℃에서는 각각 8초, 5초 만에 저감되었다. 180℃에서는 두 균 모두 3초 만에 저감되었다. B 고춧가루에서는 *Salmonella*와 *E. coli*가 모든 온도에서 비슷한 양상을 보였으며, 120℃에서 5초, 150℃, 180℃에서는 3초 만에 저감되었다. 가장 크기가 큰 C 고춧가루의 경우, *Salmonella*와 *E. coli*는 120℃에서 각각 3초, 4초 만에, 150℃, 180℃에서는 두 균 모두 각각 3초, 2초 만에 저감되었다.

(2) 외관 및 품질변화 확인

○ 처리온도에 따른 시료의 외관 변화를 그림 3-3-5, 3-3-6, 3-3-7에 나타내었다. 각 고춧가루별로 위해균이 detection limit 이하로 저감화된 조건에서의 품질을 확인하였다.

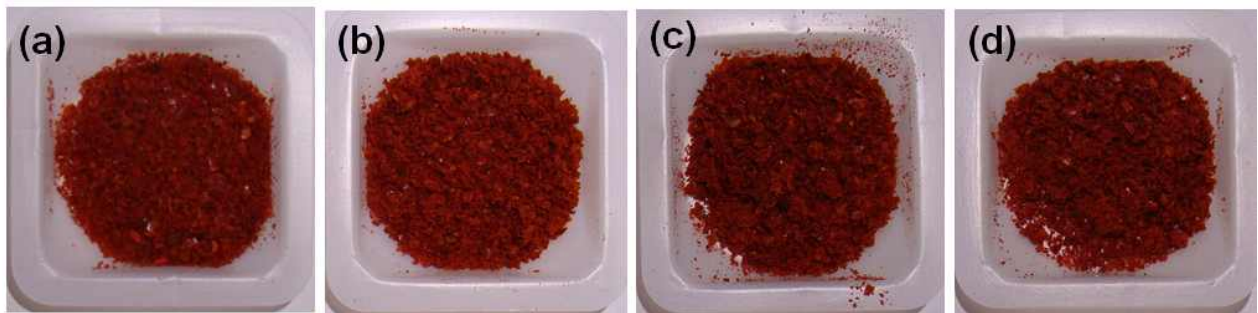


그림 3-3-5. 과열수증기의 온도에 따른 A 고춧가루의 외관 변화.
(a) 처리 전 시료, (b) 120℃ 12초, (c) 150℃ 8초, (d) 180℃ 3초.

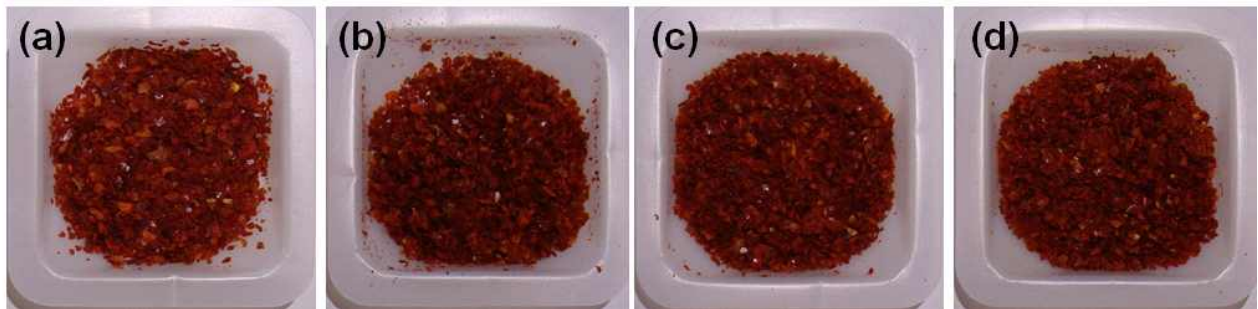


그림 3-3-6. 과열수증기의 온도에 따른 B 고춧가루의 외관 변화.
(a) 처리 전 시료, (b) 120℃ 5초, (c) 150℃ 3초, (d) 180℃ 3초.

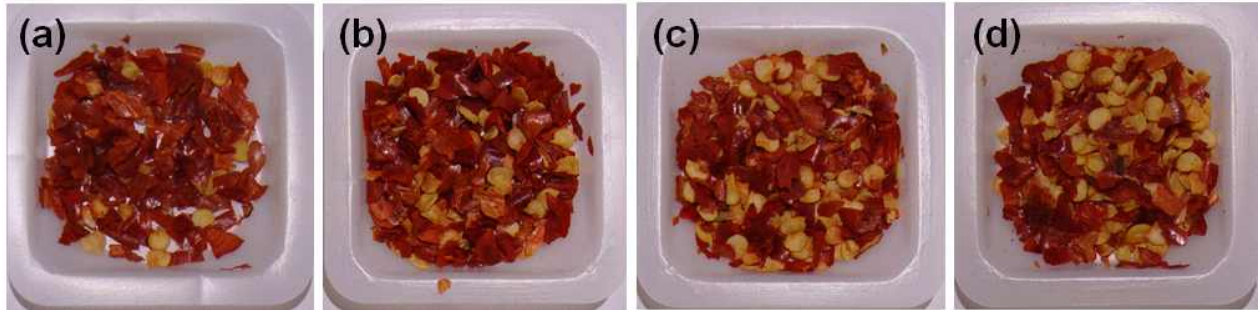


그림 3-3-7. 과열수증기의 온도에 따른 C 고춧가루의 외관 변화.
(a) 처리 전 시료, (b) 120°C 3초, (c) 150°C 3초, (d) 180°C 2초.

- 세 가지 고춧가루 모두 처리에 따른 외관 변화는 크지 않았다. 모든 시료에서 육안으로 관찰하였을 때 구별할 수 있는 변화는 나타나지 않았다. 하지만 시료의 크기가 작을수록 응축의 정도가 눈에 띄게 늘어나는 것을 알 수 있다.
- 처리온도에 따른 시료의 색도 변화를 표 3-3-1에 나타내었다. 외관과 마찬가지로 각 고춧가루별 위해균이 detection limit 이하로 저감화된 처리 시간 조건에서의 색도를 확인하였다.

표 3-3-1. 과열수증기 처리 시 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

		L	a	b
A	처리 전	39.04 ± 0.56 ^a	17.53 ± 0.57 ^a	13.42 ± 0.54 ^a
	120°C, 12초	38.00 ± 0.21 ^a	15.92 ± 0.65 ^b	11.65 ± 0.39 ^a
	150°C, 8초	38.22 ± 0.35 ^a	16.72 ± 0.45 ^{ab}	12.78 ± 0.54 ^a
	180°C, 3초	38.21 ± 0.24 ^a	16.32 ± 0.38 ^{ab}	12.37 ± 0.53 ^a
B	처리 전	39.41 ± 0.47 ^a	14.88 ± 0.42 ^a	11.18 ± 0.42 ^a
	120°C, 5초	37.74 ± 0.51 ^b	14.23 ± 0.68 ^a	11.55 ± 0.38 ^{ab}
	150°C, 3초	38.26 ± 0.31 ^{ab}	14.80 ± 0.54 ^a	11.75 ± 0.34 ^{ab}
	180°C, 3초	38.76 ± 0.74 ^{ab}	14.56 ± 0.67 ^a	12.67 ± 0.48 ^b
C	처리 전	44.15 ± 0.87 ^a	13.29 ± 0.81 ^a	17.11 ± 0.54 ^a
	120°C, 3초	43.21 ± 0.57 ^a	11.23 ± 0.85 ^a	14.98 ± 0.33 ^b
	150°C, 3초	44.53 ± 0.64 ^a	12.45 ± 0.59 ^a	15.43 ± 0.64 ^{ab}
	180°C, 2초	44.41 ± 0.51 ^a	13.11 ± 0.77 ^a	15.34 ± 0.97 ^{ab}

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며, 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

- 과일수증기 처리 후 모든 시료에서 L, a, b 값이 소폭 감소하는 경향이 나타났고, 특히 A 시료의 경우 a 값에서 유의적인 차이가 보였다. B 시료는 L 값과 b 값에서, C 시료는 b 값에서 유의적인 차이가 나는 것으로 나타났지만 육안으로 관찰하였을 때 구분이 되지 않았다.
- *Salmonella* 와 *E. coli*를 접종한 후 과일 수증기를 처리한 결과, 비교적 짧은 시간 내에 외관 변화 없이 7 log CFU/g 만큼 감소시킬 수 있었다. 본 연구에서 살펴 본 고춧가루의 품질은 외관과 색도 등 물리적 특성이며, 고춧가루의 이화학적인 특성 또한 살펴볼 필요가 있다. 고추의 품질을 좌우하는 요소는 색도와 맛 성분으로 고추에 대한 선호도는 주로 색도와 맛 성분에 의해 영향을 받는다. 고추의 맛 성분 중 가장 중요한 성분은 매운맛을 가진 지용성 성분인 캡사이신이 있다. 캡사이신의 주요 생리기능은 지질대사 증진 및 열 생산에 관여하는 체액성 면역증진, 암유전자 발현조절 등이 보고되어 있다(정중교 외, 2007). 하지만 캡사이신은 열안정성이 비교적 높아 100℃에서 10시간 가열할 때의 잔존율은 대기 중에서는 84.7%이고, 질소로 치환된 조건에서는 90.7%였다(배태진 외, 1991). 본 연구에서는 15초 이하의 단시간 내에 고춧가루를 처리하기 때문에 캡사이신의 양은 큰 변화 없을 것으로 사료된다.
- *Salmonella* 와 *E. coli*를 접종한 후 과일 수증기를 처리한 결과, 비교적 짧은 시간 내에 외관 변화 없이 7 log CFU/g 만큼 감소시킬 수 있었다. 본 연구에서 살펴 본 고춧가루의 품질은 외관과 색도 등 물리적 특성이며, 고춧가루의 이화학적인 특성 또한 살펴볼 필요가 있다. 고추의 품질을 좌우하는 요소는 색도와 맛 성분으로 고추에 대한 선호도는 주로 색도와 맛 성분에 의해 영향을 받는다. 고추의 맛 성분 중 가장 중요한 성분은 매운맛을 가진 지용성 성분인 캡사이신이 있다. 캡사이신의 주요 생리기능은 지질대사 증진 및 열 생산에 관여하는 체액성 면역증진, 암유전자 발현조절 등이 보고되어 있다(정중교 외, 2007). 하지만 캡사이신은 열안정성이 비교적 높아 100℃에서 10시간 가열할 때의 잔존율은 대기 중에서는 84.7%이고, 질소로 치환된 조건에서는 90.7%였다(배태진 외, 1991). 본 연구에서는 15초 이하의 단시간 내에 고춧가루를 처리하기 때문에 캡사이신의 양은 큰 변화 없을 것으로 사료된다.
- 본 연구에서 진행된 실험은 실험실 스케일의 살균 장치를 이용한 것으로 처리할 수 있는 고춧가루의 양이 1 g으로 제한되었다. 추후 pilot-scale의 살균 장치를 이용하여 그 장치에 맞는 처리 조건을 찾고, 그 때의 미생물 저감화 양상과 품질 변화를 측정할 필요가 있는 것으로 판단된다. 또한 그 결과와 본 연구의 결과를 비교하여 처리하는 양의 영향을 판단해 보고자 한다.
- 교차오염에 의한 위해균을 저감화시키는 시간 내에 고춧가루의 총균도 함께 저해하기 위해, 고춧가루로 분쇄하기 전의 건고추의 총균수를 줄여 고춧가루의 오염을 줄이고자 하였다. VITEK 2 (bioMerieux Inc., Durham, North Carolina, USA)를 이용하여 시중에 판매되고 있는 건고추에 오염되어 있는 균의 종류를 알아보았다(그림 3-3-8).

Slot	QC	Card Type	Bar Code	Accession #	Organism
1	<input type="checkbox"/>	BCL	3065		B. vallismortis
2	<input type="checkbox"/>	GP	1748		Staph. lentus
3	<input type="checkbox"/>	BCL	3067		B. vallismortis
4	<input type="checkbox"/>	GP	1750		Staph. lentus
5	<input type="checkbox"/>	GP	1751		Staph. lentus

그림 3-3-8. 건고추에 오염되어 있는 균의 종류.

- 건고추에 주로 *Staphylococcus lentus*와 *Bacillus vallismortis*가 주로 오염되어 있었다. *Staphylococcus lentus*는 *Staphylococcus sciuri*의 subspecies로, 아직 위해성이 보고된 바는 없다. *Bacillus vallismortis*는 유전적 특징이 *Bacillus subtilis*와 비슷하여 spore를 형성한다. *Staphylococcus lentus*와 마찬가지로 위해성은 보고된 바 없다.
- 실험에 사용한 건고추에 오염된 총균수는 약 3 log CFU/g이었으며 150℃의 과열수증기에서 5, 10, 15, 20초 처리하여 총균수의 저감화 양상을 살펴보았다(그림 3-3-9).

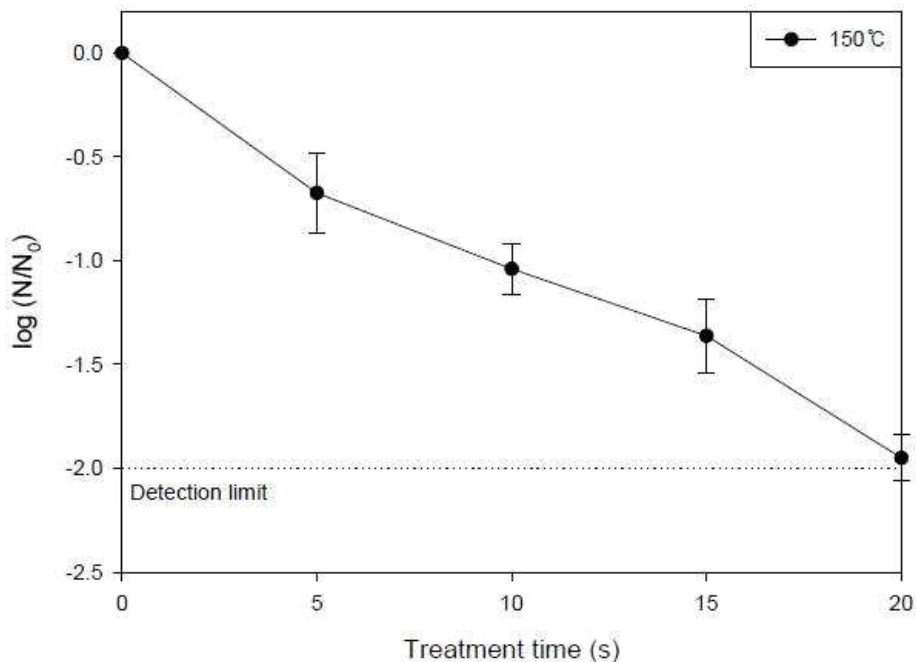


그림 3-3-9. 과열수증기에 대한 건고추의 총균수 저감화 양상.

- 150℃의 과열수증기로 처리한 결과, 20초 처리 후 총균은 detection limit 이하로 저감화되었다. 그에 따라 20초 처리한 후 시료의 외관 변화를 살펴 본 결과 그림 3-3-10과 같았다.

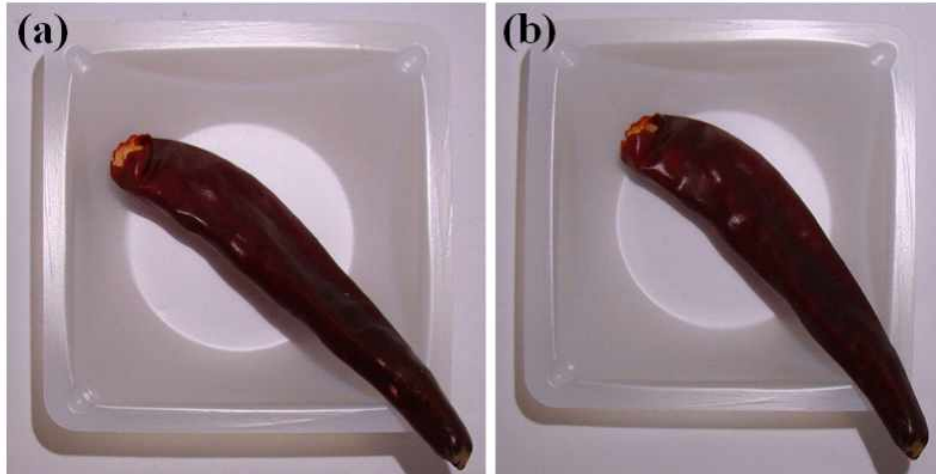


그림 3-3-10. 과열수증기 처리에 의한 건고추의 외관 변화.
(a) 처리 전, (b) 처리 후.

- 육안으로 보았을 때 구분할 수 있는 변화는 없었으나, 시료를 직접 만져보았을 때 그 단단함이 다른 것을 알 수 있었다. 이는 열처리에 의한 조직의 변화 또는 수분함량에 의한 변화인 것으로 사료된다. 하지만 추후 건고추는 분쇄의 단계를 거치기 때문에 단단함의 변화는 영향을 주지 않을 것으로 판단된다. 따라서 이 후 다른 온도의 과열수증기를 처리하여 그 결과를 비교해 보고자 한다.

4. 과열수증기 처리에 따른 (냉동)홍고추 표면의 미생물 저감화 양상

- 과열수증기 처리로 고춧가루의 품질 변화가 없는 시간 내에 고춧가루 자체에 오염되어 있는 내열성균과 포자를 사멸시키는 것의 한계를 극복하기 위해 고춧가루가 건조, 분쇄 되기 전의 원물 상태로의 홍고추를 살균하여 저감화 양상을 고춧가루 살균과 비교해보고자 하였다. 고춧가루에서 살균이 되지 않은 잔여균이 *Bacillus* 계통의 균이 포자를 형성하고, *Staphylococcus* 계통의 균이 바이오필름을 형성하여 내열성이 강해진 것으로 추정하였다. 이는 원물 상태에 있던 영양세포 상태의 균들이 건조, 분쇄 공정을 거치면서 공정 중 수분함량 감소, 온도 상승 등의 이유로 성장 환경이 열악해짐에 따라 포자, 바이오필름을 형성한 것으로 사료되어 홍고추 상태에서 영양세포를 살균을 하여 이후에 이 영양세포들이 내열성을 가지는 형태로의 전환을 막는데 효과가 있는지 확인하기 위한 실험을 진행하였다.
- 기존의 reacting cell은 고춧가루의 살균에 적합한 형태로서 홍고추 살균을 위해 reacting cell의 크기를 증가시킬 필요가 있었고, 이를 위해 size-up이 된 reacting cell을 홍고추를 살균하기 위해 이용하였고 외관은 그림 3-4-1과 같다.



그림 3-4-1. Size-up 된 reacting cell 실사(지름 30 cm).

가. 실험방법

- 고춧가루 자체에 오염되어 있는 총 호기성균과 교차오염에 의한 식중독 발생 가능성을 염두에 두고 위해균을 접종하여 과열수증기 처리를 했다.

(1) 시료 준비

- 냉동된 홍고추를 별도의 해동, 세척, 손질 과정 없이 처리를 하였다. 그리고 추가로 위해균 접종시 고추 내부로의 균이 침투된 것을 확인하기 위해 고추 손질을 하였다. 고추 손질 방법은 실제 산업에서 실시되고 있는 손질 방법으로 냉동되어 있는 홍고추의 씨와 태좌를 제거해주고, 깨끗한 물에 세척을 하며 해동을 한다. 세척 후 고추에 묻어있던 물기를 제거를 하여 실험에 사용하였다.

(2) 위해균 접종

- *Salmonella* Typhimurium (ATCC 19585)와 *Escherichia coli* (MG1655)를 각각 Tryptic Soy Broth (TSB, Difco, Franklin Lakes, New Jersey, USA) 5 mL에 넣고 37°C에서 24시간 배양하였다. 그 후 각 배양액을 합하여 4,000×g, 4°C에서 20분간 원심분리시킨 후 0.2%(w/v) peptone water로 세척하였다. 이후 peptone water를 10 mL 가하여 현탁액을 만들고, 현탁액을 지퍼백에 담긴 홍고추에 접종한 후 1분간 손으로 균질화하여 biosafety hood에서 2시간 동안 건조시켰다. 손질을 하지 않은 홍고추에 접종된 *S. Typhimurium*과 *E. coli*의 최종 농도는 각각 8.01±0.42 log CFU/g, 8.36±0.31 log CFU/g로 계수되었고, 손질이 된 홍고추에 접종된 *S. Typhimurium*과 *E. coli*의 최종 농도는 각각 8.42±0.08 log CFU/g, 8.36±0.18 log CFU/g로 계수되었다.

(3) 과열수증기 온도 및 처리시간

- 과열수증기 처리 온도는 120, 150, 180°C를 온도 범위로 선택하였고, 처리시간은 10초 간격으로 하여 50초까지 처리하였다.

(4) 과열 수증기 처리

- 과열수증기가 reacting cell에 의해 응축되는 것을 방지하기 위하여 시료를 넣지 않은 reacting cell을 과열수증기 장치에 부착한 상태로 5분간 예열하였다. 그 후 고추를 그림 3-4-2와 같이 reacting cell에 넣고 120, 150, 180℃의 과열수증기를 정해진 시간 동안 처리하여 고추에 원래 존재하던 총 호기성균과 접종된 위해균이 얼마나 저감되었는지 살펴보았다. 이 때 모든 처리 사이에는 reacting cell을 세척한 후 5분간 예열하는 과정을 거쳐서 진행하였으며, 살균 처리한 시료는 처리 직후 멸균된 stomacher bag에 담았다.

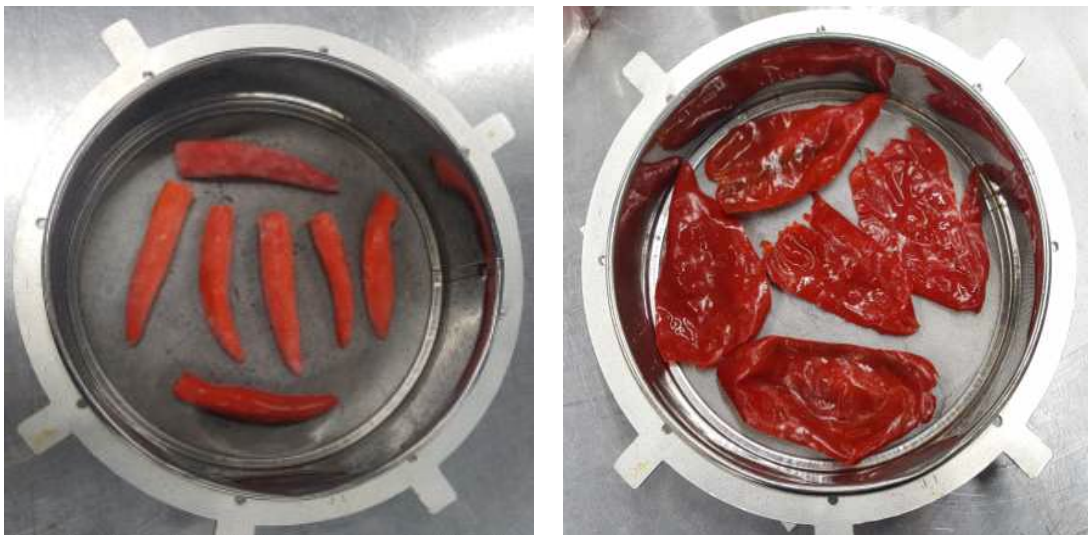


그림 3-4-2. 과열수증기 처리 전 reacting cell에 적재된 시료.
(좌 : 냉동홍고추, 우 : 손질된 세척 홍고추).

(5) 균 계수

- 살균 처리된 시료를 1/4배 희석이 되게 0.2%(w/v) peptone water를 추가한 후 stomacher를 이용하여 speed 9 에서 2분간 균질화하였다. 그 후 균질화된 시료 1 mL를 9 mL의 peptone water를 이용하여 10^{-1} 배에서부터 10^{-7} 배까지 차례로 희석하였으며, 희석된 시료 1 mL를 총균 계수를 위해 Tryptic Soy Agar (TSA, MB cell, Seoul, Korea) 배지에 도말을 하였고, *Salmonella* 선택배지(xylose lysine desonycholate agar, XLD, OXOID, Basingstroke, UK)와 *E. coli* 선택배지(Sorbitol-MacConkey agar, HiMedia, Mumbai, India)에 각각 도말하였다. 도말된 배지는 37℃의 인큐베이터에서 배양하였으며 24시간 후 형성된 콜로니를 계수하였다.

(6) 외관 및 색도 측정

- 살균 전 고추와 각 조건에서 살균 처리한 고추를 수집하여 사진촬영을 진행하였다.
- 고추를 CR-A50에 적재하여 Chromameter CR-400(with accessory CR-A50, KONICA

MINOLTA, USA)을 이용하여 L(lightness), a(redness), b(yellowness) 값을 3회 측정하여 평균값을 데이터로 하였다. 이 과정을 3번 반복 수행하였으며, 그 결과를 SPSS 프로그램을 이용하여 Tukey 법으로 유의적인 차이를 확인하였다.

나. 연구결과

(1) 위해균 저감화 확인

- 냉동홍고추와 씨와 태좌를 분리한 후 세척한 손질된 홍고추를 120, 150, 180°C의 과열수증기를 처리한 결과는 각각 그림 3-4-3, 3-4-4와 같다.

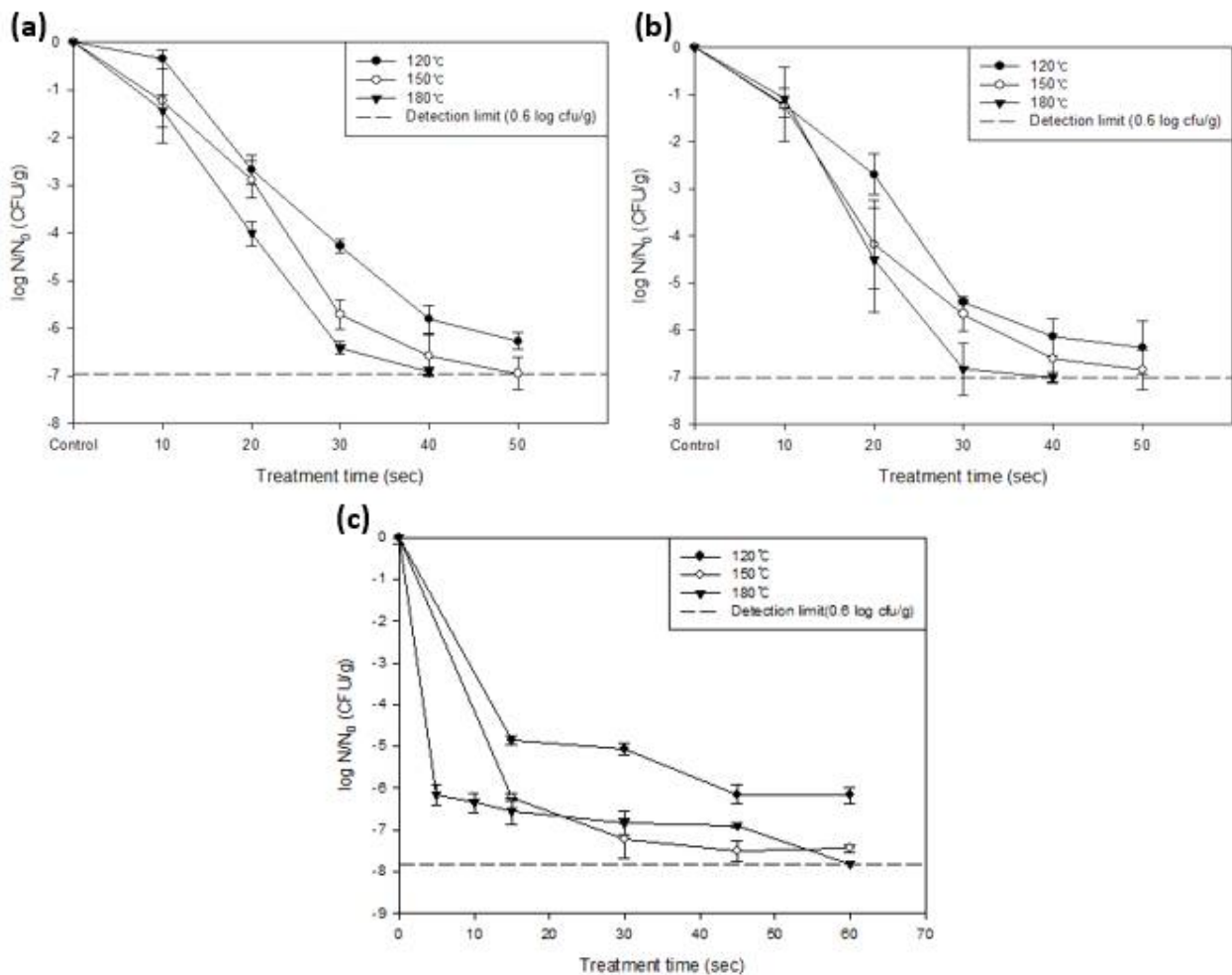


그림 3-4-3. 과열수증기에 대한 냉동홍고추 표면의 미생물 저감화 양상.

(a) *Salmonella*, (b) *E. coli*, (c) 총 호기성균.

- 과열수증기 온도가 증가할수록 위해균의 저감화 속도가 빨라짐을 알 수 있었고 *Salmonella*와 *E. coli*의 저감화 양상은 비슷하였다. 하지만 일정 시간이 지난 이후에도 detection limit 이하로 저감화되지 않는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 접촉시에 고추의 내부로 위해균이 접촉되어 들어갔을 것이라고 예상을 하고 이를 확인하기 위해 냉동홍

고추를 손질을 하여 실험을 진행하였다. 고추 손질 방법은 기존에 사용되어지고 있는 방법으로 고추의 씨와 태좌를 제거하고 깨끗한 물에 세척을 한 고추이며 그 결과는 그림 3-4-4와 같다.

- 총 호기성균 저감화 양상을 봤을 때, biphase model이 관찰이 되었다. 총 호기성균 측정 은 접종에 의한 것이 아니기 때문에 냉동건조 조건하에 포자 및 내열성 균이 존재하였을 것이라고 추측할 수 있었다. 과열수증기 처리시간이 길어질수록 더 많이 저감화 되었지만 그 효과가 크진 않았다. 과열수증기 60초를 처리한 결과 180℃에서만 detection limit 이하로 저감화 되었다.

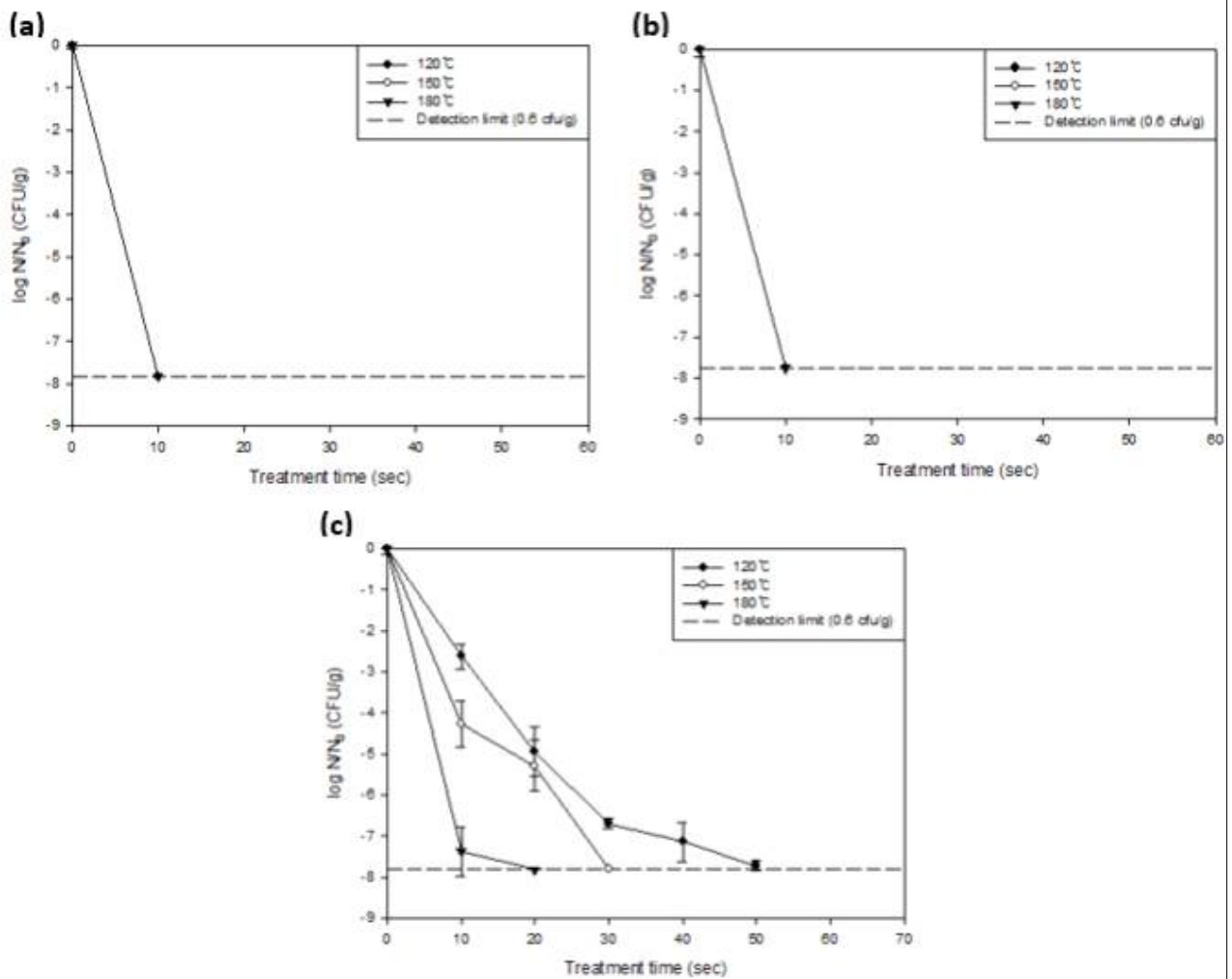


그림 3-4-4. 과열수증기에 대한 손질된 홍고추 표면의 미생물 저감화 양상.
(a) *Salmonella*, (b) *E. coli*, (c) 총 호기성균.

- 고추 내부로 *Salmonella*와 *E. coli*가 접종되어 과열수증기의 열에너지를 직접적으로 받지 않았을 것으로 추정되었던 것을 확인하기 위해 고추 손질을 하여 접종을 하여 실험을 다시 진행하였다. 그 결과 냉동홍고추 살균의 경우 30초 이후에도 접종되었던 위해

균이 사멸되지 않은 것에 비해 손질된 홍고추의 경우에는 120, 150, 180℃의 과열수증기 온도에서 10초에 위해균이 모두 검출되지 않았다. 총 호기성균은 120℃, 50초에서 약 7 log 이상 감소하여 detection limit 이하로 저감되었고, 150℃에서는 30초 만에 저감되었다. 180℃에서는 20초 만에 저감되었다.

- 냉동홍고추의 총 호기성 미생물 살균과는 다르게 홍고추를 손질한 후 살균했을 때 미생물의 저감화가 효율적으로 잘 이루어졌다. 씨와 태좌를 분리하고 세척을 하면서 홍고추에 수분이 가해졌고, 이 수분에 의해 *Bacillus* 계통의 포자와 내열성 균의 열 저항성이 줄어들어 살균이 잘 이루어진 것으로 판단된다(Alderton, G., & Snell, N, 1970).

(2) 외관 및 품질변화 확인

- 처리온도에 따른 시료의 외관 변화를 그림 3-4-5, 3-4-6에 나타내었다. 과열수증기의 각각의 온도에서 위해균이 5 log CFU/g 이상 저감화 된 조건에서 안전성 확보를 위해 처리시간을 추가하였고 그 때의 품질을 확인하였다.

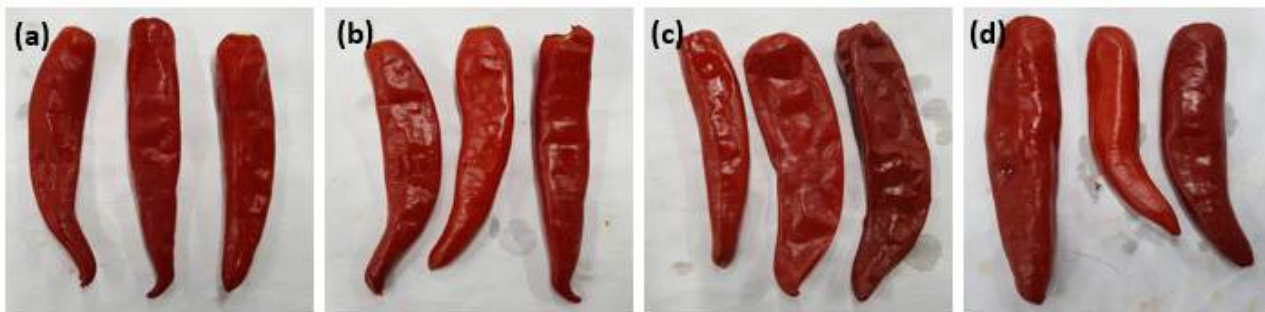


그림 3-4-5. 과열수증기 처리에 따른 냉동홍고추의 외관 변화.
(a) 처리 전 시료, (b) 120℃ 70초, (c) 150℃ 60초, (d) 180℃ 50초.

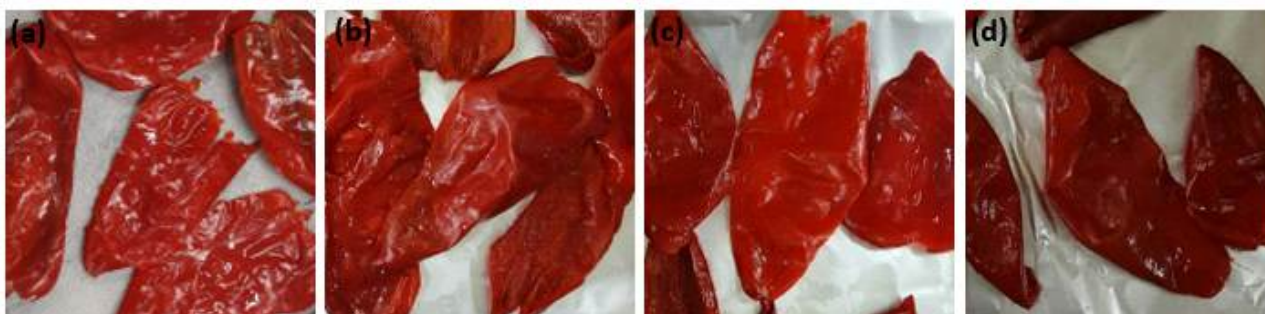


그림 3-4-6. 과열수증기 처리에 따른 손질된 홍고추의 외관 변화.
(a) 처리 전 시료, (b) 120℃ 50초, (c) 150℃ 30초, (d) 180℃ 20초.

- 120, 150, 180℃의 온도에서 과열수증기로 각각 70, 60, 50초를 처리한 후 냉동홍고추의 외관 변화(그림 3-4-5)는 크지 않았다. 모든 시료에서 육안으로 관찰하였을 때 구별할 수 있는 변화는 와 같이 나타나지 않았다.

- 손질된 홍고추에 과열수증기를 처리하였을 때도, 냉동홍고추를 처리했을 때와 마찬가지로 육안으로 관찰되는 외관 변화(그림 3-4-6)는 나타나지 않았다.
- 처리온도에 따른 시료의 색도 변화를 표 3-4-1에 나타내었다. 외관과 마찬가지로 홍고추의 위해균이 사멸되는 처리 조건에서 안전성을 위해 추가시간 처리를 하였고 색도를 확인하였다.

표 3-4-1. 과열수증기 처리 시 고춧가루의 색도 변화 ^{1,2}

		L	a	b
냉동홍고추	처리 전	38.16 ± 1.77 ^a	37.09 ± 2.69 ^a	21.02 ± 1.69 ^a
	120℃, 70초	37.65 ± 3.38 ^a	38.90 ± 2.16 ^a	24.23 ± 3.30 ^a
	150℃, 60초	36.24 ± 1.20 ^a	34.36 ± 1.33 ^a	19.52 ± 3.48 ^a
	180℃, 50초	36.72 ± 1.23 ^a	35.07 ± 1.70 ^a	18.75 ± 1.13 ^a
손질, 세척 홍고추	처리 전	39.10 ± 0.18 ^a	38.31 ± 3.48 ^a	20.80 ± 1.59 ^a
	120℃, 50초	35.83 ± 0.47 ^b	30.77 ± 1.96 ^b	14.17 ± 0.86 ^{ab}
	150℃, 30초	37.34 ± 1.62 ^{ab}	33.37 ± 2.36 ^{ab}	20.08 ± 5.39 ^{ab}
	180℃, 20초	35.28 ± 1.21 ^b	32.38 ± 0.97 ^{ab}	16.59 ± 1.93 ^b

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며, 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

- 과열수증기 처리 후 모든 시료에서 L, a, b 값이 소폭 감소하는 경향이 나타났고, 특히 A 시료의 경우 a 값에서 유의적인 차이가 보였다. B 시료는 L 값과 b 값에서, C 시료는 b 값에서 유의적인 차이가 나는 것으로 나타났지만 육안으로 관찰하였을 때 구분이 되지 않았다.
- *Salmonella* 와 *E. coli*를 접종한 후 과열 수증기를 처리한 결과, 원물 상태의 홍고추에 있는 위해균의 저감화는 과열수증기 처리로 비교적 짧은 시간 내에 외관 변화 없이 7 log CFU/g 만큼 감소시킬 수 있었다. 뿐만 아니라 냉동홍고추 상태로 과열수증기 처리를 했을 때 총 호기성균 저감화가 biphasic model을 보인 결과로 포자 등의 내열성 균이 존재함을 확인하였다. 따라서 홍고추를 고춧가루로 만들기 위한 건조, 분쇄 공정 이전

에 고추 원물에 있는 이물질질을 제거하고, 총 호기성균 저감효과를 위한 이유뿐만 아니라 냉동홍고추에 있던 내열성 균을 효율적으로 살균하기 위해 세척공정이 필수적이라는 결론을 얻을 수 있었다.

IV. 과열수증기 처리 조건에 따른 저장성 측정

1. 고춧가루 SHS 처리시 위해균(살모넬라,대장균) 저장실험

가. 실험방법

○ 과열 수증기 처리 후 오랜 저장 기간이 지난 후에도 품질 변화 없이 위해균의 생장이 억제되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 위해균을 접종하고 과열수증기를 처리하여 위해균이 detection limit 이하로 저감된 조건의 시료들을 보관하여 저장성을 살펴보았다. 고춧가루를 폴리에틸렌 지퍼백에 담아 일반적인 보관 온도인 25°C와 4°C에서 저장하였다. 8주 후, 각 시료들에서의 위해균 성장과 시료의 외관, 색도 변화를 살펴보았다. 균의 계수 및 외관, 색도는 모두 앞선 방법과 동일한 방법으로 측정하였다.

나. 연구결과

(1) 위해균 성장 확인

○ 세 종류의 고춧가루를 120, 150, 180°C의 과열수증기 처리 후, 8주 후 미생물의 성장을 살펴본 결과는 표 4-1-1, 4-1-2와 같다.

표 4-1-1. 과열수증기 처리 및 4°C에서 8주 저장 후 위해균 성장 확인

(좌: *Salmonella*, 우: *E. coli*)

	A	B	C		A	B	C
180°C	N.D. ¹	N.D.	N.D.	180°C	N.D.	N.D.	N.D.
150°C	N.D.	N.D.	N.D.	150°C	N.D.	N.D.	N.D.
120°C	N.D.	N.D.	N.D.	120°C	N.D.	N.D.	N.D.

¹ N,D, : Non-Detected

표 4-1-2. 과열수증기 처리 및 25°C에서 8주 저장 후 위해균 성장 확인

(좌: *Salmonella*, 우: *E. coli*)

	A	B	C		A	B	C
180°C	N.D.	N.D.	N.D.	180°C	N.D.	N.D.	N.D.
150°C	N.D.	N.D.	N.D.	150°C	N.D.	N.D.	N.D.
120°C	N.D.	N.D.	N.D.	120°C	N.D.	N.D.	N.D.

¹ N,D, : Non-Detected

- 모든 시료에서 4°C와 25°C 두 온도 모두 8주 동안 *Salmonella*와 *E. coli*는 생장하지 않았다. 이를 통해 과열수증기를 이용하여 고춧가루를 살균 시 위해균을 잘 저감화 되었음을 알 수 있다.

(2) 시료의 외관 및 색도 확인

- 세 종류의 고춧가루에 각각 120, 150, 180°C의 과열수증기 처리 후, 8주 후 외관과 색도 변화를 살펴본 결과를 그림 4-1-1, 4-1-2, 표 4-1-3, 4-1-4, 4-1-5에 나타내었다.

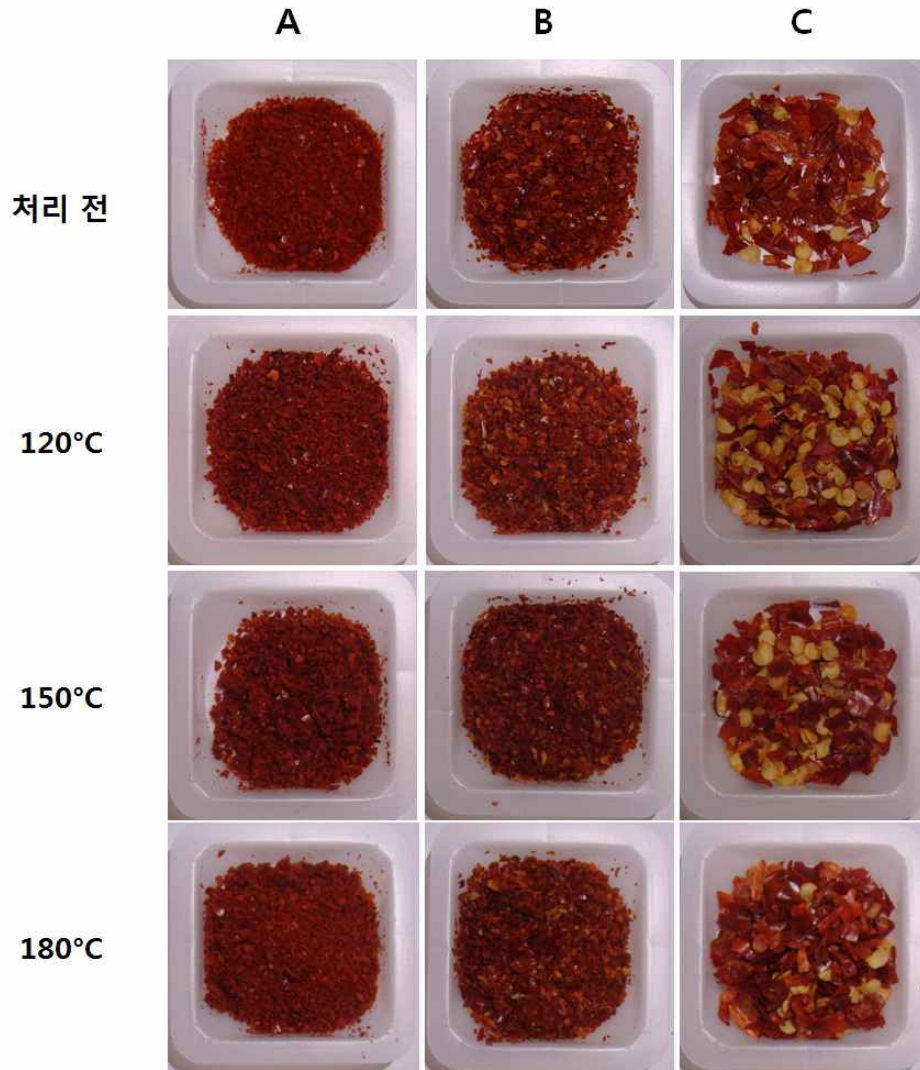


그림 4-1-1. 과열수증기 처리 및 4°C에서 8주 저장 후 관찰한 각 고춧가루의 외관.

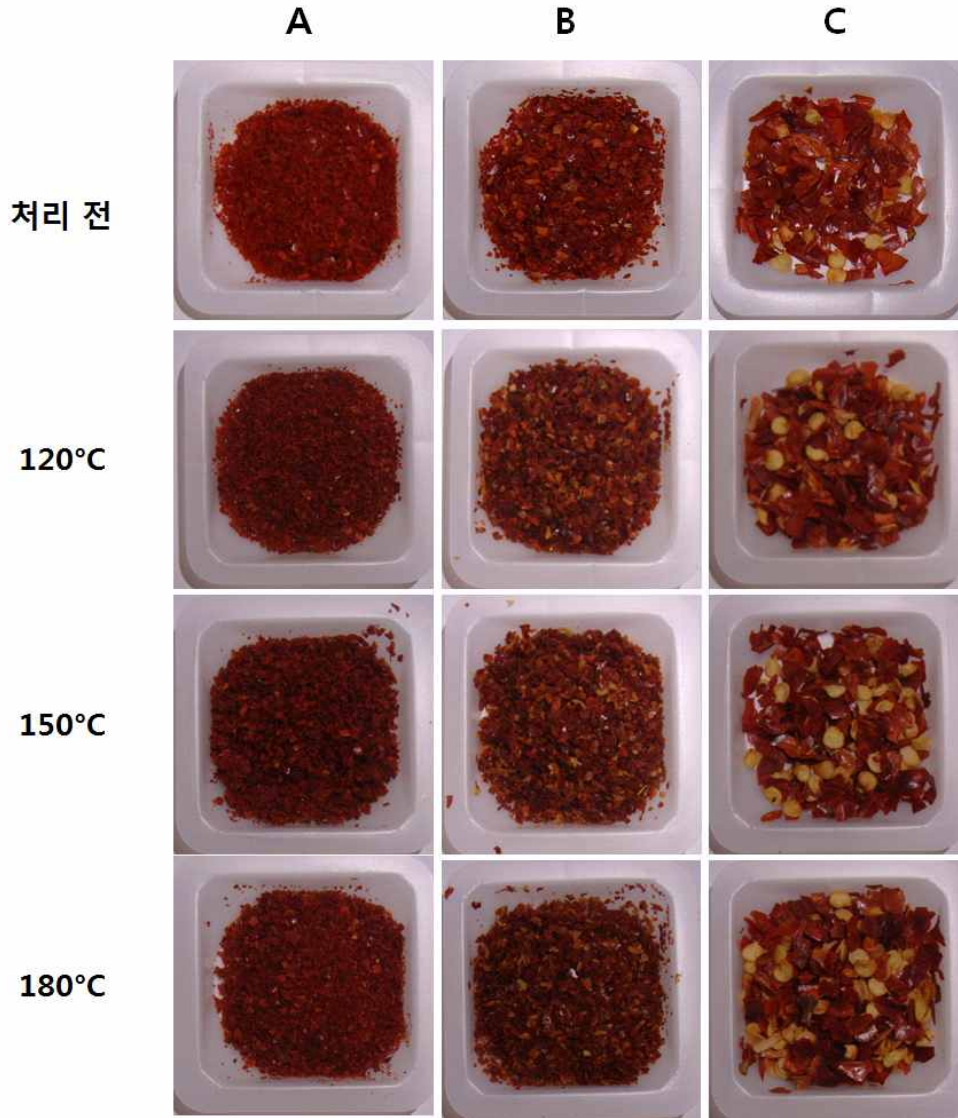


그림 4-1-2. 과열수증기 처리 및 25°C에서 8주 저장 후 관찰한 각 고춧가루의 외관.

○ 세 종류의 고춧가루 모두 4°C, 25°C 온도에서 저장하였을 때 육안으로 관찰되는 변화는 나타나지 않았다.

표 4-1-3. 과열수증기 처리 후 A 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

		L	a	b
120°C	처리 전	39.04 ± 0.29 ^a	17.53 ± 0.23 ^a	13.42 ± 0.13 ^a
	처리 후	38.00 ± 0.21 ^a	16.92 ± 0.65 ^a	11.65 ± 0.39 ^a
	4°C 저장	38.45 ± 0.35 ^a	16.62 ± 0.39 ^a	12.52 ± 0.16 ^a
	25°C 저장	39.02 ± 0.31 ^a	16.44 ± 0.12 ^a	11.65 ± 0.33 ^a
150°C	처리 전	39.04 ± 0.29 ^a	17.53 ± 0.23 ^a	13.42 ± 0.13 ^a
	처리 후	38.22 ± 0.35 ^{ab}	17.42 ± 0.45 ^a	12.78 ± 0.54 ^a
	4°C 저장	38.04 ± 0.20 ^{ab}	16.88 ± 0.22 ^a	12.61 ± 0.28 ^a
	25°C 저장	37.72 ± 0.23 ^b	17.22 ± 0.28 ^a	12.42 ± 0.19 ^a
180°C	처리 전	39.04 ± 0.29 ^a	17.53 ± 0.23 ^a	13.42 ± 0.13 ^a
	처리 후	38.21 ± 0.24 ^a	16.32 ± 0.38 ^b	12.37 ± 0.53 ^a
	4°C 저장	38.18 ± 0.33 ^a	16.27 ± 0.31 ^b	12.20 ± 0.31 ^a
	25°C 저장	38.87 ± 0.33 ^a	17.05 ± 0.15 ^{ab}	12.06 ± 0.14 ^a

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며, 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

표 4-1-4. 과열 수증기 처리 후 B 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

		L	a	b
120°C	처리 전	39.41 ± 0.47 ^a	13.88 ± 0.42 ^a	11.18 ± 0.42 ^a
	처리 후	37.74 ± 0.51 ^a	14.35 ± 0.68 ^a	11.55 ± 0.38 ^a
	4°C 저장	38.41 ± 0.15 ^a	14.11 ± 0.19 ^a	11.42 ± 0.22 ^a
	25°C 저장	38.21 ± 0.26 ^a	14.32 ± 0.18 ^a	11.78 ± 0.18 ^a
150°C	처리 전	39.41 ± 0.47 ^a	13.88 ± 0.42 ^a	11.18 ± 0.42 ^a
	처리 후	38.26 ± 0.31 ^a	14.80 ± 0.54 ^a	11.75 ± 0.34 ^a
	4°C 저장	38.55 ± 0.22 ^a	14.17 ± 0.12 ^a	12.17 ± 0.26 ^a
	25°C 저장	38.32 ± 0.16 ^a	14.51 ± 0.15 ^a	11.64 ± 0.22 ^a
180°C	처리 전	39.41 ± 0.47 ^a	13.88 ± 0.42 ^a	11.18 ± 0.42 ^a
	처리 후	38.45 ± 0.74 ^a	14.56 ± 0.67 ^a	12.67 ± 0.48 ^a
	4°C 저장	38.41 ± 0.16 ^a	13.98 ± 0.23 ^a	12.32 ± 0.14 ^a
	25°C 저장	38.64 ± 0.29 ^a	14.11 ± 0.22 ^a	12.75 ± 0.38 ^a

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며, 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

표 4-1-5. 과열 수증기 처리 후 C 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

		L	a	b
120°C	처리 전	44.15 ± 0.15 ^a	13.29 ± 0.25 ^a	17.11 ± 0.20 ^a
	처리 후	43.21 ± 0.57 ^a	11.23 ± 0.85 ^a	14.98 ± 0.33 ^a
	4°C 저장	43.88 ± 0.27 ^a	12.33 ± 0.30 ^a	15.91 ± 0.35 ^a
	25°C 저장	43.76 ± 0.38 ^a	11.23 ± 0.31 ^a	14.44 ± 0.34 ^a
150°C	처리 전	44.15 ± 0.15 ^a	13.29 ± 0.25 ^a	17.11 ± 0.20 ^a
	처리 후	44.53 ± 0.64 ^a	12.45 ± 0.59 ^a	15.43 ± 0.64 ^a
	4°C 저장	44.32 ± 0.19 ^a	12.35 ± 0.24 ^a	16.24 ± 0.34 ^a
	25°C 저장	44.11 ± 0.14 ^a	12.75 ± 0.20 ^a	15.61 ± 0.13 ^a
180°C	처리 전	44.15 ± 0.15 ^a	13.29 ± 0.25 ^a	17.11 ± 0.20 ^a
	처리 후	44.34 ± 0.51 ^a	13.11 ± 0.77 ^a	15.34 ± 0.97 ^a
	4°C 저장	43.96 ± 0.33 ^a	13.21 ± 0.11 ^a	16.57 ± 0.16 ^a
	25°C 저장	44.41 ± 0.28 ^a	13.56 ± 0.11 ^a	15.54 ± 0.11 ^a

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며, 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

○ A 고춧가루에서는 150°C 과열 수증기 처리 후 lightness에서, 180°C에서는 redness에서 유의적인 차이를 보였으나 육안으로 관찰하였을 때에 큰 변화가 없는 것을 확인하였다. B, C 고춧가루에서는 모든 시료에서 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이를 육안으로 확인하였다.

○ *Salmonella* 와 *E. coli*를 접종한 후 과열 수증기를 처리하여 일반적인 저장 온도인 4°C의 냉장온도와 25°C의 실온에서 저장하여 관찰해보았다. 그 결과, 두 저장 온도 모두 위해균의 생장은 나타나지 않았으며, 외관 및 색도 또한 두 저장 온도에서는 변화가 나타나지 않았다.

2. 홍고추의 과열수증기 처리 공정 이후 제조된 고춧가루의 저장실험

○ 과열수증기로 살균 처리된 2종의 고추(원료: 국산 홍고추, 중국산 냉동고추)를 65°C에서

24시간 건조시킨 후 분쇄된 고춧가루의 품질 변화를 관찰하는 실험을 진행하였다. 2종의 고춧가루(원료: 국산 홍고추, 중국산 냉동고추)를 폴리에틸렌 지퍼백에 담아 4℃와 25℃에서 12주간 저장하였다. 저장기간 동안 색도 및 외관 변화 측정을 하였고 실험 방법은 이전 저장실험과 동일하게 진행하였다.

가. 실험방법

(1) 균 계수

- 고춧가루 2 g을 18 mL의 0.2%(w/v) peptone water를 가한 후 stomacher를 이용하여 speed 9 에서 2분간 균질화하였다. 균질화된 시료 1 mL과 9 mL의 peptone water를 이용하여 10⁻¹배에서부터 10⁻²배까지 희석하여 Tryptic Soy Agar (TSA, MB cell, Seoul, Korea) 배지에 도말하여 37℃ 인큐베이터에서 24시간 배양 후 형성된 콜로니를 계수하였다.

(2) 수분함량 측정

- 수분함량은 Daood, 2006 의 방법을 참고하였다. 시료를 담은 칭량병은 건조에 들어가기 전 65℃ dry oven에서 약 1시간 건조시켜준 뒤 데시케이터에 약 40분간 방냉시켜 항량을 맞추었다. 건조된 칭량병의 무게를 재고, 고춧가루 시료 2 g을 담은 칭량병 무게를 잰 뒤 105℃ dry oven에서 24시간 건조시켜주었다. 건조 후 데시케이터에서 약 40분 식힌 뒤의 무게와 건조 전 무게를 비교하였고 수분함량은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{moisture content}(\%) = \frac{\text{건조 전 무게} - \text{건조 후 무게}}{\text{조건 무게}} \times 100$$

*칭량병+ 시료의 무게이다.

나. 연구결과

(1) 색도 및 외관 관찰

- 두 종류의 고춧가루에 각각 4℃와 25℃에 12주간 저장했을 시의 외관과 색도 변화를 살펴본 결과를 그림 4-2-1, 4-2-2, 4-2-3 표 4-2-1, 4-2-2에 나타내었다.



그림 4-2-1. 저장 전 고춧가루 외관.

(좌 : 홍고추, 우 : 냉동고추).

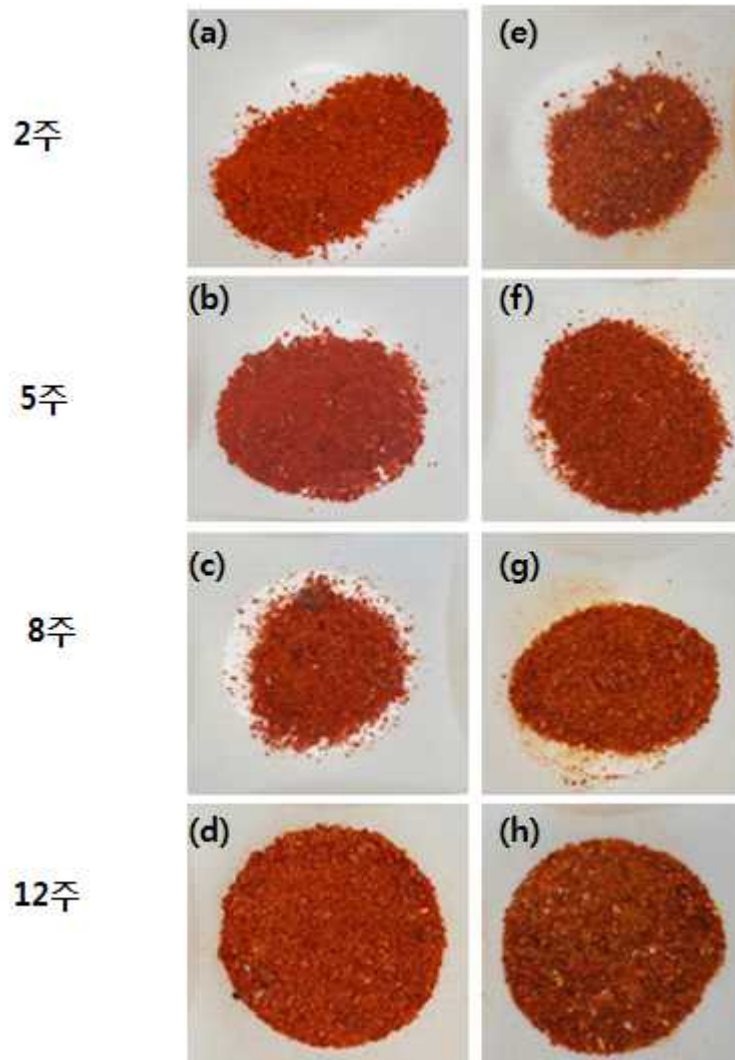


그림 4-2-2. 저장 기간 중 홍고추 고춧가루의 외관변화.
(a)-(d) 4°C 보관 시료, (e)-(h) 25°C 보관 시료.

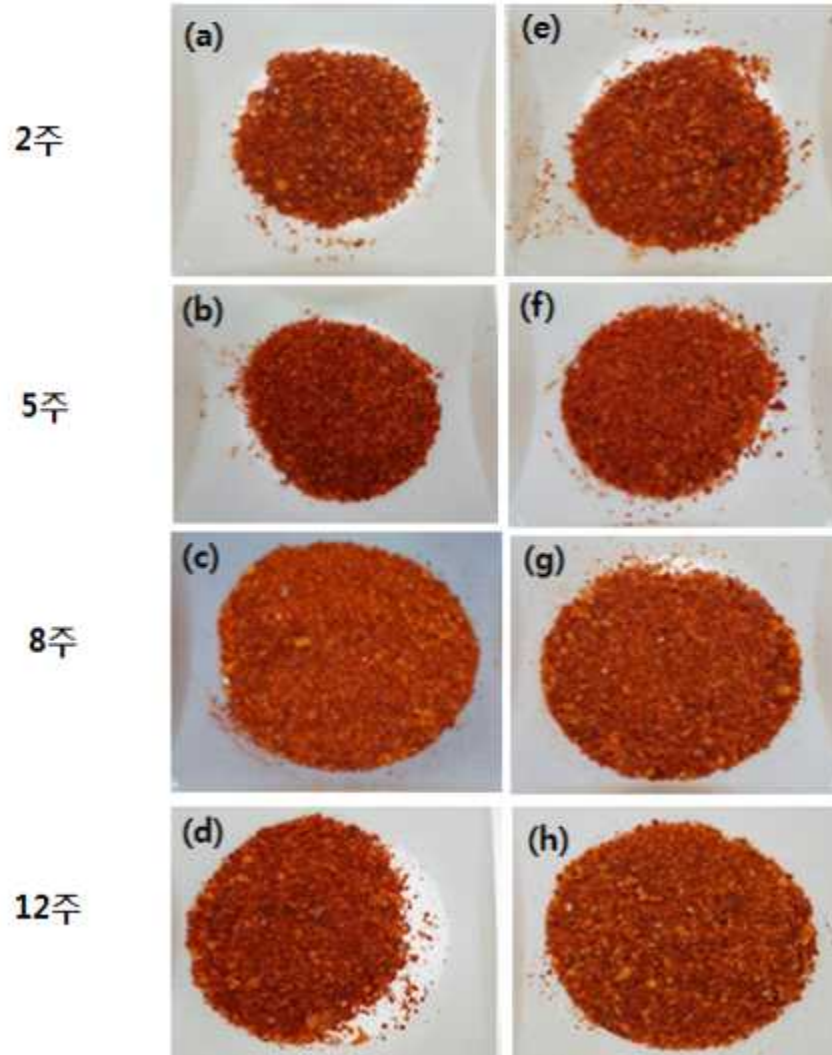


그림 4-2-3. 저장 기간 중 냉동고추 고춧가루의 외관변화.
 (a)-(d) 4℃ 보관 시료, (e)-(h) 25℃ 보관 시료.

표 4-2-1. 저장 기간에 따른 홍고추 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

Week	Temp.(°C)	L	a	b
0	Control	44.58 ± 0.65	23.29 ± 0.61 ^a	19.58 ± 0.52 ^a
1	4	45.60 ± 1.00 ^{ab}	23.93 ± 0.54 ^a	20.96 ± 1.36 ^{ab}
	25	46.30 ± 0.62 ^{bc}	22.79 ± 0.27 ^a	19.43 ± 0.46 ^a
2	4	44.81 ± 0.66 ^a	23.38 ± 0.87 ^a	22.74 ± 1.32 ^b
	25	44.85 ± 0.53 ^{ab}	21.34 ± 0.52 ^b	19.32 ± 0.65 ^a
3	4	45.31 ± 0.55 ^{ab}	23.83 ± 0.66 ^a	20.50 ± 0.46 ^{ab}
	25	46.78 ± 0.26 ^c	20.49 ± 0.40 ^b	22.03 ± 0.49 ^b
6	4	45.15 ± 0.60 ^{ab}	23.83 ± 0.57 ^a	20.34 ± 0.45 ^a
9	4	45.66 ± 0.65 ^{ab}	23.05 ± 0.80 ^a	21.14 ± 0.71 ^{ab}
11	4	47.02 ± 0.85 ^b	22.94 ± 0.32 ^a	21.76 ± 0.70 ^{ab}
	25	47.69±0.80 ^c	18.35±0.26 ^c	22.92±0.85 ^b
12	4	47.06±0.29 ^b	22.78±0.54 ^a	21.84±0.70 ^{ab}
	25	47.44±0.48 ^c	18.72±0.65 ^c	22.14±0.97 ^b

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며, 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

표 4-2-2. 저장 기간에 따른 냉동고추 고춧가루의 색도 변화^{1,2}

Week	Temp. (°C)	L	a	b
0	Control	44.15 ± 0.40	21.27 ± 0.12 ^a	20.32 ± 0.62 ^{a(bc)}
1	4	43.92 ± 0.43 ^a	20.21 ± 0.33 ^{ab}	19.63 ± 0.59 ^{ab}
	25	44.15 ± 0.68 ^a	21.19 ± 0.36 ^a	19.63 ± 0.65 ^{ab}
2	4	45.31 ± 0.54 ^a	19.56 ± 0.51 ^b	18.09 ± 0.17 ^b
	25	44.29 ± 0.44 ^a	20.18 ± 0.47 ^{ab}	18.95 ± 0.58 ^a
3	4	44.00 ± 0.27 ^a	21.08 ± 0.28 ^{ab}	19.68 ± 0.46 ^{ab}
	25	44.36 ± 0.57 ^a	20.59 ± 1.09 ^{ab}	19.87 ± 0.67 ^{abc}
4	4	43.76 ± 0.61 ^a	20.93 ± 0.60 ^{ab}	19.62 ± 0.51 ^{ab}
	25	44.13 ± 0.13 ^a	20.86 ± 0.37 ^a	20.25 ± 0.24 ^{abc}
6	4	44.19 ± 0.38 ^a	20.50 ± 0.56 ^a	19.53 ± 0.72 ^{ab}
	25	44.65 ± 0.43 ^a	21.27 ± 0.43 ^a	20.37 ± 0.44 ^{abc}
8	4	43.84 ± 0.67 ^a	21.25 ± 0.67 ^a	20.00 ± 0.93 ^a
	25	44.98 ± 0.42 ^a	21.39 ± 0.36 ^a	21.17 ± 0.41 ^{bc}
10	4	43.94 ± 0.75 ^a	21.26 ± 0.44 ^a	19.60 ± 0.55 ^{ab}
	25	45.12 ± 0.71 ^a	20.65 ± 0.16 ^{ab}	21.41 ± 0.72 ^c
12	4	43.99 ± 0.74 ^a	20.58 ± 0.88 ^{ab}	19.39 ± 0.90 ^{ab}
	25	44.73 ± 0.64 ^a	19.27 ± 0.40 ^b	20.25 ± 0.95 ^{abc}

¹ 평균 ± 표준편차 값으로 나타내었으며, 같은 알파벳은 유의적인 차이가 없음(P > 0.05).

² L, a, b 는 각각 lightness, redness, yellowness를 나타냄.

○ 고춧가루를 12주간 저장 했을 때 육안으로 확인한 변화는 관찰되지 않았지만, 두 종류의 고춧가루 모두 25°C에서 저장한 시료에 비해 4°C에 보관한 시료가 색이 더

선명히 잘 유지되는 것을 확인하였다. 고춧가루 색 변화의 요인으로는 고추 품종, 건조 온도, 산소와의 접촉, 저장 온도, 수분함량 등이 있다(Addala, 2015). 저장 기간이 길어지고 저장 온도가 높아질수록 고춧가루의 붉은 색이 옅어지고 노란입자가 늘어나는 것으로 보아 고춧가루 내 주요 붉은색소인 capsanthin이 분해되어 나타나는 현상으로 사료된다(Kim, 2004).

- 고춧가루의 품종별로는 같은 조건 하에서 냉동고추를 분쇄한 고춧가루가 홍고추 원료 고춧가루에 비해 본연의 색을 더 잘 유지하였는데, 이는 고추의 품종이나 전처리 등의 차이로 인해 발생하였을 것으로 판단된다.

(2) 수분함량 관찰

- 두 고춧가루를 12주간 4℃와 25℃에 보관한 뒤의 수분함량 변화는 그림 4-2-4와 같다.

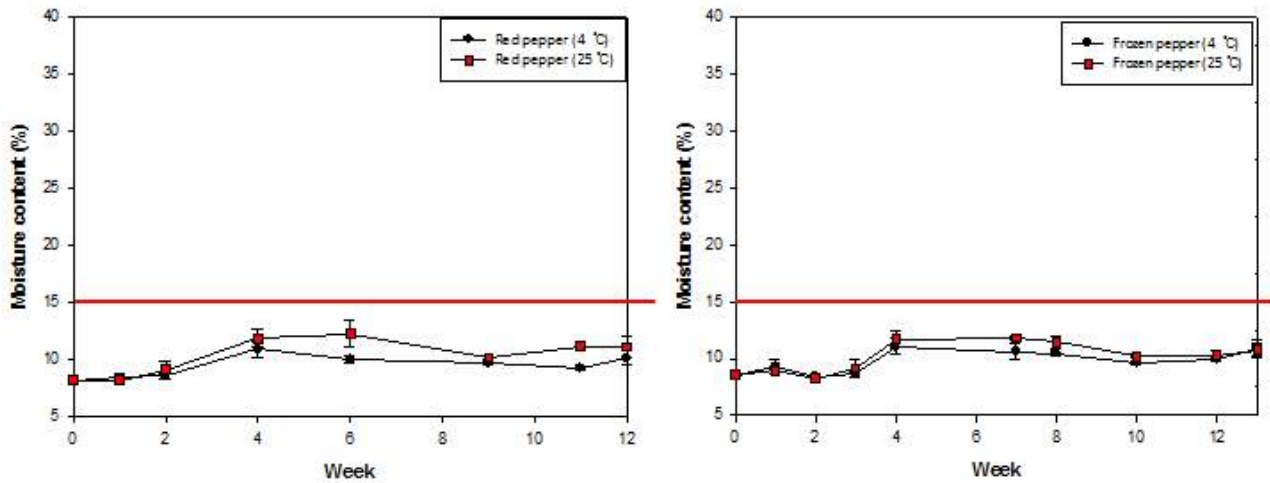


그림 4-2-4. 저장기간 중 두 고춧가루의 수분함량.
(좌 : 홍고추, 우 : 냉동고추).

- 현행 식품공전에서는 고춧가루의 수분함량 규격을 15% 이하로 규정하고 있다(Jeong, 2013). 두 종류의 고춧가루 모두 12주 동안 4℃와 25℃에서 수분함량 15% 이하로 잘 유지되었다.

(3) 총 호기성균 관찰

- 두 종류의 고춧가루를 4℃, 25℃에 보관했을 시, 12주 후 미생물의 생장을 살펴본 결과는 표 4-2-3과 같다.

표 4-2-3. 저장 12주 후 두 고춧가루에서의 미생물 성장 여부 확인

	Control	4℃	25℃
홍고추	N.D.	N.D.	N.D.
냉동고추	N.D.	N.D.	N.D.

- 12주 동안 저장 실험을 한 결과, 두 종류의 고춧가루에서 미생물이 모두 검출되지 않았고, 이를 통해 살균이 잘 이루어졌음을 확인하였다.

3. 처리온도별 최적처리시간에 따른 저장실험

가. 실험방법

- 본 연구에서는 냉동고추를 과열수증기 처리했을 시 외관의 변화가 최소화되고, 균 또한 저감화 되는 최적조건을 찾아 저장성을 평가하는 실험을 진행하였다. 과열수증기 처리 온도로는 120, 150, 180℃로 각각 70, 60, 50 초 과열수증기 처리 한 후 건조와 분쇄과정을 거친 후 저장하였다. 세 가지 다른 조건으로 처리된 고춧가루 시료의 저장성 차이를 분석하였다.
- 일반적으로 고춧가루는 장기간의 보존을 하는 만큼 그 유통기한을 정확히 예측하는데 상당한 시간이 요구된다. 따라서 저장온도를 상승시켜 증가된 변화율로부터 획득한 데이터를 아레니우스 방정식(Arrhenius equation)을 사용하여 정상 저장 조건 (4℃, 25℃)을 외삽하여 구하였다. 고춧가루의 품질지표로는 명도(L) 값을 설정하였는데, 고춧가루의 전체적인 외관 변화를 가장 잘 나타낸다고 사료되기 때문이다. 고춧가루가 본연의 선명한 붉은 빛을 잃고 외관변화를 감지할 수 있는 명도(L)로는 53±1을 설정하였다.
- 가속실험으로는 1)저장온도별 저장기간에 따른 각 품질지표의 함량 변화를 분석하였다. 2) 시료의 저장온도별 저장기간에 따른 품질지표의 함량변화 방정식을 산출하였다. 3) 2단계에서 산출한 온도별 K 값을 이용하여 활성화 에너지를 산출하였다. 4) 저장온도 및 유통기한을 계산하였다.
- 아레니우스 방정식의 계산은 Excel을 이용한 계산하였고 그 결과를 SPSS 프로그램을 이용하여 Tukey 법으로 유의적인 차이를 확인하였다.

나. 연구결과

(1) 아레니우스 방정식을 이용한 가속실험

- 65, 50, 37℃ 보관 시료는 세 처리 조건 모두에서 각각 7, 14, 21 일 만에 색 변화를 나타내었고, 25℃ 보관 시료는 저장기간 동안 외관상의 색변화는 관찰되지 않았다. 저장 전과 비교해 저장 후 외관변화는 그림 4-3-1 와 그림 4-3-2에 나타내었다.

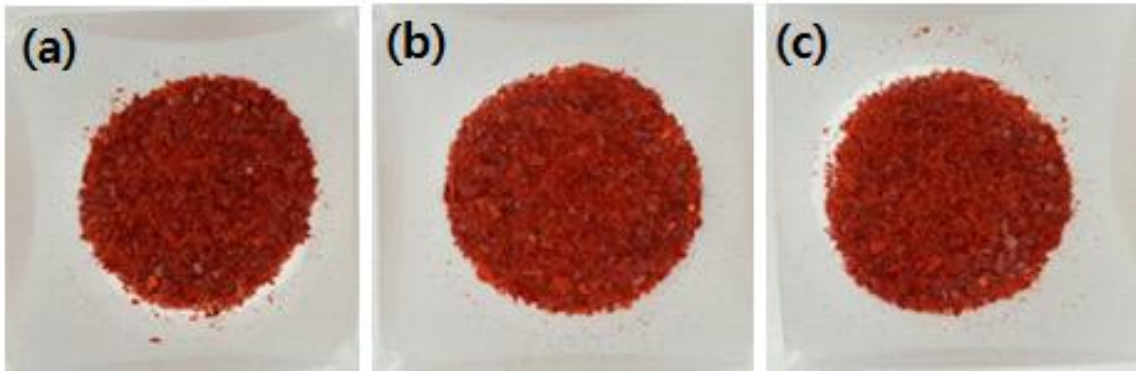


그림 4-3-1. 저장 전 고춧가루의 외관.
 (a) 120℃ 70초, (b) 150℃ 60초, (b) 180℃ 50초.

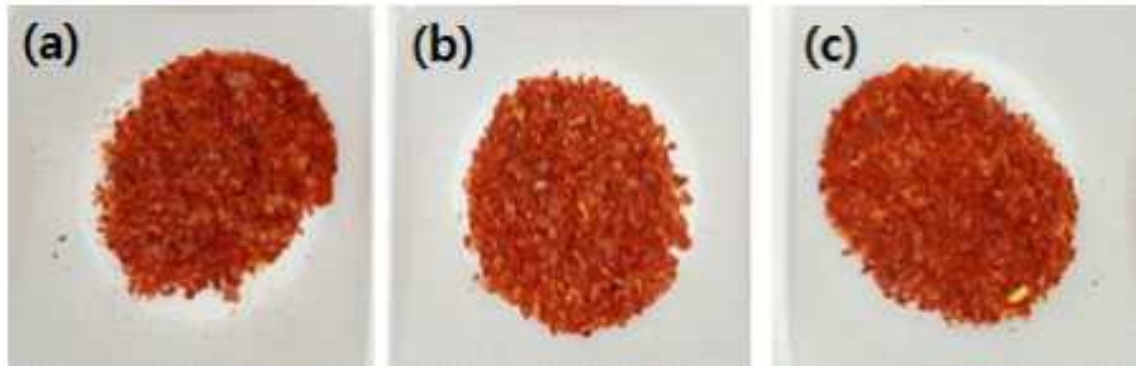


그림 4-3-2. 저장 후 색이 변한 고춧가루의 외관.
 (a) 120℃ 70초, (b) 150℃ 60초, (b) 180℃ 50초.

○ 120℃에서 70초 처리한 시료를 저장일수 - 품질지표 변화율간의 그래프를 그려본 결과 25, 37, 50, 65℃에서 모두 0차 반응을 나타내었고 따라서 반응속도상수 $K =$ 직선의 기울기가 된다. 4개의 가속온도로부터 이를 바탕으로 $\ln K$ 를 Y축으로 $1/T$ 을 X축으로 하여 선형회귀분석한 후 나타낸 그래프의 방정식은 $y = -7195.9x + 21.382$ ($r = 0.9115$)이다.

○ Arrhenius equation : $-(E_a/R)(1/T) + \ln A$ 이를 이용해 활성화 에너지 $E_a = \text{slope} \times R$ (기체상수: 1.987 cal/mol)을 구해주면, -14297.5가 된다.

○ 식약처에서 발간한 주요식재료검수도감에 의하면, 고춧가루의 유통온도는 상온 (15~25℃)다. 0차 반응식으로부터 25℃ 저장 시 유통기한을 예측해보면 $t = \frac{A_0 - A_t}{s_{+I}}$ (이때,

$e^{\frac{s}{T} + I} = K$)이므로, $t = (|46.92 - 54.12|) / 0.045 = 160$ (일) 이 나온다. 위의 방정식에 $T=4℃$ 일 때 $1/T = 1/277K$ 을 구하면 $y = -4.939$ 이고 이때의 $K=0.007$ 이다. 이를 마찬가지로

가지로 $t = \frac{0 - A_t}{s} = (|46.92 - 54.12|) / 0.007 = 1029$ (일) ≈ 2.9 년이 나온다. 이로써

고춧가루의 일반적인 유통기한은 1년으로 알려져 있지만, 낮은 온도에서 저장 시 저장 안정성이 증가함을 확인하였다.

- 위와 같은 방법으로 과열수증기 150°C에서 60초 처리한 시료에 대해서 유통기한을 구해보면, $\ln K$ 를 Y축으로 $1/T$ 을 X축으로 하여 선형회귀분석한 후 나타낸 그래프의 방정식은 $y = -7048x + 20.949$ ($R^2 = 0.8898$)이다. 25°C에 보관 시 유통기한 $t = (|46.93 - 54.41|) / 0.046 = 163$ (일)이 나온다. 위와 마찬가지로의 방법으로 4°C보관 시 반응상수를 구하면 $K = 0.01$ 이고, $t = (|46.93 - 54.41|) / 0.011 = 748$ (일) ≈ 1.9 (년)이다.
- 위와 같은 방법으로 과열수증기 180°C에서 50초 처리한 시료에 대해서 유통기한을 구해보면, $\ln K$ 를 Y축으로 $1/T$ 을 X축으로 하여 선형회귀분석한 후 나타낸 그래프의 방정식은 $y = -6849.4x + 20.388$ ($R^2 = 0.8965$) 이다. 유통기한 $t = (|46.93 - 54.38|) / 0.052 = 143$ (일) 이 나온다. 위와 마찬가지로의 방법으로 4°C보관 시 반응상수를 구하면 $K = 0.01$ 이고, $t = (|46.93 - 54.38|) / 0.013 = 573$ (일) ≈ 1.6 (년)이다.
- 고춧가루의 색 변화를 기준으로 유통기한을 설정하였을 때, 세 가지 다른 조건으로 과열수증기 처리 하였을 시, 각각 약 2.9년, 1.9년, 1.6년의 유통기한을 산출하였다.

4. 목표달성도 및 관련분야 기여도

D-06

4-1. 목표달성도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2013)	과열수증기를 이 용한 분말제품 살 균 조건의 최적화	○ 시판 고춧가루의 오염도 조사	100	- 고춧가루 위생관리 수준에 따라 분류하고 시료의 오염도를 조사함.
		○ Lab-scale 연구용 과열 수증기 장치 제작	100	- 정밀 살균이 가능한 실험실 규모 의 과열수증기 살균 장치를 제작 함.
		○ 과열수증기 살균의 기초 연구	100	- 다양한 분(립)체 제품에 대한 과 열수증기 살균의 적용성 탐색. - 과열 수증기의 처리온도와 처리 시간에 따른 살균 효과와 품질 변 화 연구.
2차 년도 (2014)	과열수증기를 이 용한 분체식품의 미생물 위해성 저 감화 기술 개발	○ 미생물 위해인자 저감화 를 위한 SHS 처리조건 최적화	100	- 과열수증기에 대한 위해 미생물 의 살균 kinetic 결정.
			100	- 과열수증기 처리 조건에 따른 미생물 저감화, 품질변화 및 저장 성 측정.
3차 년도 (2015)	과열수증기를 이 용한 분체식품의 미생물 위해성 저 감화 기술 개발	○ Pilot SHS을 이용한 냉 동홍고추의 살균 조건 최적화	100	- SHS 처리온도와 처리시간이 일 반 미생물, 대장균군 뿐만 아니라 유해 미생물의 살균에 미치는 영 향을 연구. - SHS 처리가 시료의 품질지표에 미치는 영향 분석.
		○ Pilot SHS 처리 시료의 저장성 연구	100	- 저장실험을 통하여 파이롯 장치 에서 생산된 SHS 살균처리 제품 의 저장 중 미생물의 증식 여부 및 품질변화 등을 분석.

4-2. 관련분야 기여도

- 현재까지 식품산업에서 분(립)체 식품의 살균 공정의 확립이 미비한 실정이다. 분말 식품은 방사선 조사 외에는 유의미한 살균 방법이 정립되지 못하고 있는데다가 방사선 조사 식품에 대한 부정적인 소비자들의 인식 때문에 살균이 어려워 식중독 등의 잠재적 위험 요소가 있다. 따라서 본 연구에서 과열수증기 살균 기술이 분말 식품 살균에의 적용 가능성을 탐색해보았고, 실제 산업에 적용하기 위한 과열수증기 살균 공정의 중요한 기초자료로 활용 가능하다.
- 기존에는 과열수증기를 이용한 drying, blanching, roasting, frying 위주의 연구가 주를 이룬 반면 본 연구에서는 해당 기술의 살균 분야 연구를 통하여 과열수증기 살균 기술을 식품산업에 적용시킬 수 있는 가능성을 제시하였다.

5. 연구결과의 활용계획

D-07

- 효과적인 살균기술이 정립되지 않은 분말(분립체) 식품에 새로운 미생물 저감기술로 과열수증기 기술을 이용하기 위한 학문적인 기초 자료를 제시할 수 있음.
- 분체식품에 존재하는 미생물의 포자 등의 내열성을 가진 위해균의 사멸을 위해 단일 기술뿐만 아니라 다른 기술과 복합하여 살균하는 연구나 포자를 germination 시키기 위한 연구가 필요하며 과열수증기 살균의 기초 연구 내용으로 사용 가능함.
- 과열수증기로 고온 단시간 내에 처리를 하여 색도, 외관, 미생물 증식 여부, 수분함량 등의 품질저하를 최소한으로 하며 장시간 유통, 저장이 가능함.
- 표면 살균이 필요한 다양한 식품 전반에 걸쳐 활용 분야가 넓은데 반해 국내에서는 그 연구가 많이 진행되어 있지 않아 추후 과열수증기의 적용 특성과 저감효과를 규명하고 산업에 실질적으로 적용시키기 위한 방안을 설계하는데 도움이 될 것으로 전망함.
- 안전한 기술인 동시에 분말(분립체) 식품에 잠재적 위험요소가 있는 포자를 포함하여 오염된 유해 미생물을 제어하여 식중독 발생을 최소화 하여 국민건강증진에 기여할 수 있음.
- 고춧가루 등의 분말(분립체) 식품의 미생물 및 효소 활성을 저해시킴으로써 식품을 해외로 수출하여 국내식품의 글로벌화에 기여할 수 있음.

6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

D-08

1. Addala R, Vasavada M, Dong J, Subramanian S. (2015). Effect of Storage Conditions on Rate of Color Degradation of Paprika based Products. J Food Process Technol. 6:3,

- 파프리카계 식품군의 저장 중 색 변화에 대해서 저장 조건이 미치는 영향을 연구한 논문이다. 파프리카, 고추, 고춧가루 세가지 시료로 진행된 연구에서 6개월간 4가지 다른 조건하에 저장하면서 수분함량과 수분활성도, 추출색도(ASTA),와 표면색도(Hunter L, a, b) 값을 분석하였다. 시료 중 ethoxyquin을 함유 시 유의적으로 낮은 추출색도의 손실이 있었고, 방사선 조사된 시료가 유의적으로 높은 표면색도 손실을 나타내었다. 높은 온도와 습도에 보관된 시료는 상온에 보관된 시료보다 빠른속도로 색변화가 진행되었다. 냉장·냉동 보관된 시료는 최소한의 색도 손실을 나타내었다. 파프리카계 식품군의 장기간의 저장 중 안정성을 확인할 수 있었다.

2. Fine, Frédéric, and Patrick Gervais. (2005). A new high temperature short time process for microbial decontamination of seeds and food powders. Powder technology 157.1: 108-113

- 단시간(0.1초-30초) 고온(200-600℃)처리 후 초저온 기체(-80℃)처리로 씨와 분체식품의 열처리 과정에 관한 연구논문이다. *Bacillus subtilis*의 포자와 *Saccharomyces cerevisiae*에 대해서 실험이 진행되었다. 초기 수분활성도에 대해 5-8 log 의 미생물 저감효과가 있었다. 본 연구에서는 포자와 영양세포의 열 안정성이 초기 수분활성도 값이 0.3-0.5 일 때 크게 증가된다는 것을 확인하였다. 또한 미생물의 분포와 분체의 입자정도가 미생물의 저감화 효율에 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

3. Head, D. S., Cenkowski, S., Holley, R., & Blank, G. (2008). Effects of superheated steam on *Geobacillus stearothermophilus* spore viability. Journal of applied microbiology, 104(4), 1213-1220.

- *Geo-bacillus stearothermophilus* ATCC 10149 포자에 대한 과열수증기의 효과에 관한 논문이다. 105-175℃의 과열수증기에 노출된 미생물의 D-값과 z-값, 과열수증기 노출 사이의 냉각의 영향성에 관한 연구가 진행되었다. 과열수증기 처리는 미생물의 접종양에 영향을 받고, 간헐적인 냉각을 거친 뒤 과열수증기 처리 되었을 시 열안정성이 높은 미생물을 저감화 시키는데 그 효과가 높다는 것을 확인하였다. 본 연구는 기존의 열풍건조와 대비해 높은 열 효율과 저감화 효과를 갖는 과열수증기의 효과를 검증했다는데 의의가 있다.

4. KIM S, PARK J, HWANG I.K. (2004). Composition of Main Carotenoids in Korean Red Pepper (*Capsicum annum*, L.) and Changes of Pigment Stability During the Drying and Storage Process, JOURNAL OF FOOD SCIENCE, 69:1.

- 홍고추의 주요 카로티노이드를 확인하고 건조와 저장기간 동안의 색소 안정성을 연구한 논문이다. LC/MS 방법으로부터 사포닌계로 추출한 주요 색소로는 capsanthin, zeaxanthin, β -cryptoxanthin, β -carotene 와 capsorubin 이 확인되었고, 비-사포닌계 색소로는

myristoylcapsanthin, lauroylmyristoylcapsanthin, and myristoylpalmitoylcapsanthin이 확인되었다. Capsanthin의 안정성에 대해서는 저장 2개월까지 시료의 건조 온도가 가장 큰 영향을 미쳤고, 이후로는 저장 온도가 주요 요인임을 확인하였다. 저장 중 myristoylpalmitoylcapsanthin은 myristoylcapsanthin에 비해 안정적으로 유지되었다.

7. 연구개발결과의 보안등급

	D-09
<input type="radio"/> 해당없음	

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	코드번호		D-10	
					구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호

해당없음

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

D-11

1. 실험실 안전관리 개요

가. 목 적

서울대학교 이공계 실험실 및 미술대학 작업장의 안전사고 예방과 연구 활동종사자를 보호하기 위하여 환경안전교육, 실험실 안전점검, 안전사고 대응 대책수립 등 안전한 실험실 환경조성 및 연구활동종사자의 건강보호와 안전을 확보

나. 법적근거

- 1) 연구실 안전환경 조성에 관한 법률
- 2) 원자력안전법
- 3) 유전자변형생물체의 국가 간 이동 등에 관한 법률
- 4) 산업안전보건법
- 5) 수질 및 수생태계 보전법
- 6) 화학물질관리법
- 7) 위험물안전관리법
- 8) 소방법
- 9) 전기안전법
- 10) 폐기물관리법
- 11) 고압가스안전관리법
- 12) 서울대학교 연구실안전환경관리규정
- 13) 서울대학교 방사선안전관리규정

2. 연구 · 실험실 안전관리 추진 계획

가. 연구활동종사자 환경안전교육 실시

1) 개요

- 「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」 및 「환경안전관리규정」에 의거 안전한 실험실 환경조성과 연구활동종사자를 대상으로 사고예방을 위한 환경안전교육 실시
- 교육 대상자 : 이공계(미대 포함) 대학 학부생, 대학원생, 연구원, 교수 및 직원 등

가) 신규교육 및 정기교육

- 석/박사 신규교육: 2015년 2월, 8월 (매 학기 당 이틀 간 14시간)
- 석/박사 정기교육: 서울대학교 환경안전원 홈페이지와 교직원 홈페이지에 사고사례 및 안전교육 동영상 공개
- 학부생 신규교육: 신입생 오리엔테이션에서 환경안전교육 진행, 실험실 안전 동영상 제공
- 학부생 정기교육: 연구개발인력교육원에서 개발한 연구실 안전 온라인 콘텐츠를 서울대 온라인 강좌 기반 시스템에 접목하여 실시

나) 수시교육: 수시(기관의 요청에 의해 실시)

다) 병원체 및 LMO 실험실 안전교육

- 내용: 생물안전에 관한 이론교육(3시간) 및 실무교육 병행
- 기간: 2015년 2월 ~ 8월(총20회)

라) 방사선 안전교육:

- 내용: 방사선안전이론교육(6시간)과 방사선취급 실습교육 병행
- 기간: 2015년 2월, 8월(총 6회)

나. 실험실 안전점검 실시

1) 개요

- 연구실 안전환경 조성에 관한 법률에 의거 이공계 대학, 연구소 실험실 및 미술대학 작업장을 [표1]과 같이 실험 특성에 따라 유형별로 분류하여 일상점검, 정기점검, 특별안전점검, 정밀안전진단 실시

[표1] 안전점검 실험실 수(2014년)

A유형 실험실	B유형 실험실	C유형 실험실	D유형 실험실	합계
376	441	143	408	1,368

* 실험실 분류 기준 :

- A형 : 미생물 및 동물(LMO), 방사성동위원소 물질 등을 사용하는 실험실
- B형 : 화학약품 등을 사용하는 실험실
- C형 : 기계·전기 설비 등을 사용하는 실험실
- D형 : 실험·실습을 수행하지 않는 설계·컴퓨터 관련 등의 실험실

가) 일상점검

- 연구개발 활동 전 연구개발 활동에 사용되는 실험 약품 및 장비의 이상 유무 점검
- 기간 : 년중
- 실시자 : 연구활동종사자
- 내용 : 실험실별 특성에 맞는 점검표 작성 후 점검 실시

나) 정기점검

- 실험실 안전점검 체계[붙임 1]에 따라 매년 정기점검실시하고, 그 결과 「서울대학교 실험실안전 白書」를 배포하여 부적합 사항에 대하여 개선요구
- 기간 : 2015년 4월 ~ 7월
- 실시자 : 환경안전원
- 내용 : 실험실 안전점검 프로그램을 사용하여 분야별 항목 점검

다) 특별안전점검

- 폭발사고, 화재사고 등 연구활동종사자의 안전에 치명적인 위험을 야기할 가능성이 있을 것으로 예상되는 경우에 총장의 지시에 의해 실시
- 기간 : 년중 필요시

- 실시자 : 환경안전원 실시 또는 외부기관에 의뢰
- 내용 : 위험요인별 점검

라) 정밀안전진단

- 정기점검 실시 후 도출된 위해요인에 대하여 외부 전문기관에 진단을 의뢰하여 위해요인의 개선방향 및 안전관리방안 수립
- 기간 : 2015년 11월
- 실시자 : 외부전문 진단기관
- 내용 : 정기점검 후 선정된 중점 점검항목 및 '연구실 안전환경 조성에 관한 법률'에 규정된 점검항목 진단

다. 실험실 안전사고 대응 및 예방

- 1) 실험실 안전사고 대응조직을 설치하여 대응 및 처리 매뉴얼 보완 및 사고 대응 훈련 실시하여 유사사고 발생 시 대응능력 향상
- 2) 실험실 안전사고에 대한 경각심을 높이고 유사사고를 예방하기 위하여 사고사례를 이메일을 통해 전파
- 3) 실험실 사고처리 흐름도 및 비상연락스티커 제작 배포

라. 실험실 환경개선사업 실시

- 실험실 안전사고 예방과 실험종사자 보호를 위해 안정장비 확충, 시설 및 설비, 노후 기자재 교체 등 실험실 환경 개선 유도

마. 실험폐기물관리 강화

- 실험실에서 발생하는 실험폐수 관리를 위해 처리의뢰부터 반출까지의 이력을 추적 관리하는 실험폐수처리내역 프로그램 구축하고 실험폐기물 발생 저감을 위해 환경안전교육 실시

바. 공기오염도 조사 실시(2015년 11월 ~ 12월)

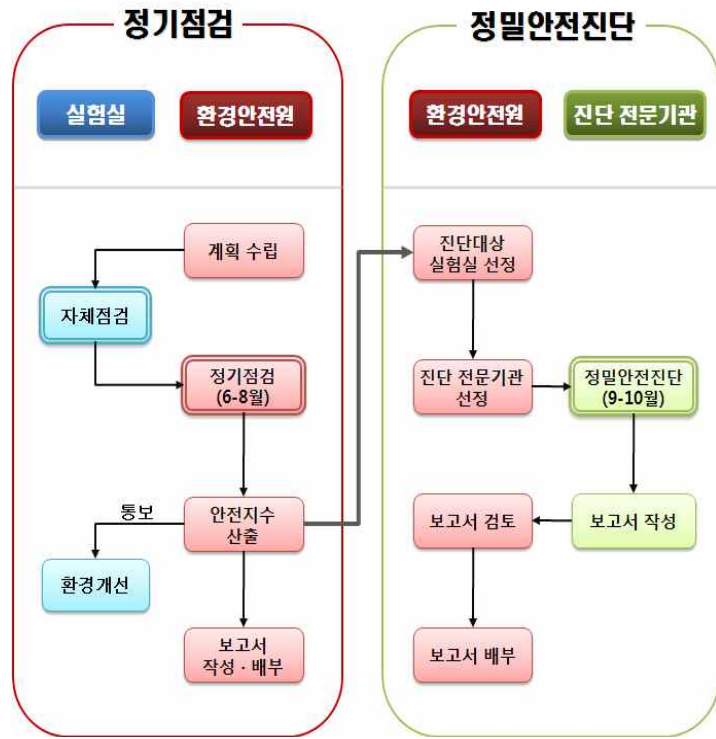
- 내용: 미세먼지, 휘발성유기화합물, 포름알데히드, 이산화탄소 등 7가지 항목

사. 연구활동종사자 특수건강검진 실시 및 보험가입

- 「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」 제18조 4항에 따라 「산업안전보건법 시행령」 제29조 및 동법 시행규칙 별표 12의2 「특수건강진단 대상 유해인자」 및 바이러스 등에 노출될 위험성이 있는 연구활동종사자를 모니터링하여 특수건강검진 실시
- 매년 정기적으로 보험가입 및 갱신처리를 지속적으로 이행함
- 보험가입현황

구분	학부생	대학원생		연구원	보조연구원	계
		석사/박사	연구생			
2015. 6. 12. - 2016. 6. 12.	8,837	7,415	3,442	173	218	20,085

<붙임 1> 실험실 안전점검 체계



10. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	D-12	
								사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1									

○ 해당없음

11. 기타사항

	코드번호	D-13
○ 해당없음		

12. 참고문헌

D-14

- Addala R, Vasavada M, Dong J, Subramanian S. (2015). Effect of Storage Conditions on Rate of Color Degradation of Paprika based Products. J Food Process Technol. 6:3,
- Alderton, G., & Snell, N. (1970). Chemical states of bacterial spores: heat resistance and its kinetics at intermediate water activity. Applied microbiology, 19(4), 565-572.
- Cserhalmi, Z., Vidacs, I., Beczner, J., & Czukor, B. (2002). Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus cereus* by pulsed electric fields technology. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 3(1), 41-45.
- Daood H. G., Kapitány J, Biacs P, Albrecht K. (2006). Drying temperature, endogenous antioxidants and capsaicinoids affect carotenoid stability in paprika (red pepper spice), J. Sci. Food Agr, 86:14, 2450 - 2457.
- Edwards, J. L., Busta, F. F., & Speck, M. L. (1965). Thermal inactivation characteristics of *Bacillus subtilis* spores at ultrahigh temperatures. Applied microbiology, 13(6), 851-857.
- Elviss, N. C., Little, C. L., Hucklesby, L., Sagoo, S., Surman-Lee, S., De Pinna, E., & Threlfall, E. J. (2009). Microbiological study of fresh herbs from retail premises uncovers an international outbreak of salmonellosis. International journal of food microbiology, 134(1), 83-88.
- Feeherry, F. E., Munsey, D. T., & Rowley, D. B. (1987). Thermal inactivation and injury of *Bacillus stearothermophilus* spores. Applied and environmental microbiology, 53(2), 365-370.
- Fine, Frédéric, and Patrick Gervais. (2005). A new high temperature short time process for microbial decontamination of seeds and food powders. Powder technology 157.1: 108-113.
- Han, Y., Linton, R. H., Nielsen, S. S., & Nelson, P. E. (2000). Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 on surface-uninjured and-injured green pepper (*Capsicum annuum* L.) by chlorine dioxide gas as demonstrated by confocal laser scanning microscopy. Food microbiology, 17(6), 643-655.
- Head, D. S., Cenkowski, S., Holley, R., & Blank, G. (2008). Effects of superheated steam on *Geobacillus stearothermophilus* spore viability. Journal of applied microbiology, 104(4), 1213-1220.
- Jeong M.S., Ahn J.J., Akram K, Kim G.R., Im J.G., Kwon J.H., (2013). Microbiological and Physicochemical Quality Characterization of Commercial Red Pepper Powders. J. Fd Hyg. Safety, 28:1, 1-6.
- Kim, J.H., & Naylor, H. B. (1966). Spore production by *Bacillus stearothermophilus*. Applied microbiology, 14(4), 690.
- KIM S, PARK J, HWANG I.K. (2004). Composition of Main Carotenoids in Korean Red Pepper (*Capsicum annuum*, L.) and Changes of Pigment Stability During the Drying and Storage Process, JOURNAL OF FOOD SCIENCE, 69:1.

- Prachayawarakorn, S., Prachayawasin, P., & Soponronnarit, S. (2006). Heating process of soybean using hot-air and superheated-steam fluidized-bed dryers. *LWT-Food Science and Technology*, 39(7), 770-778.
- Setlow, P. (2006). Spores of *Bacillus subtilis*: their resistance to and killing by radiation, heat and chemicals. *Journal of applied microbiology*, 101(3), 514-525.
- Syahrul, S., Dincer, I., & Hamdullahpur, F. (2003). Thermodynamic modeling of fluidized bed drying of moist particles. *International Journal of Thermal Sciences*, 42(7), 691-701.
- Valero, M., Hernández-Herrero, L. A., Fernández, P. S., & Salmerón, M. C. (2002). Characterization of *Bacillus cereus* isolates from fresh vegetables and refrigerated minimally processed foods by biochemical and physiological tests. *Food Microbiology*, 19(5), 491-499.
- Van Opstal, I., Bagamboula, C. F., Vanmuysen, S. C., Wuytack, E. Y., & Michiels, C. W. (2004). Inactivation of *Bacillus cereus* spores in milk by mild pressure and heat treatments. *International journal of food microbiology*, 92(2), 227-234.
- Murrell, W. G., & Scott, W. J. (1966). The heat resistance of bacterial spores at various water activities. *Journal of General Microbiology*, 43(3), 411-425.
- 배태진, 최옥수, 박재림, 김무남, 한봉호. (1991). 향신재료를 이용한 Oleoresin 제조에 관한 연구-2. 고추 Oleoresin 의 품질안정성. *한국식품영양과학회지*, 20(6), 609-614.
- 우혜임, 김종배, 최지희, 김은혜, 김동술, 박건상, 김은정, 은종방, 엄애선. (2012). 고춧가루 제조, 가공업체의 시설 및 공정별 미생물학적 오염도 평가. *한국식품위생안전성학회지*, 27(4), 427-431.
- 정중교, 이상조, 박승우, 김우균, 문성일. (2007). 대구·경북지역에서 생산 유통되는 고춧가루 제품의 기호적 특성. *보건환경연구보*, 20, 39-58.
- 한국보건산업진흥원. (2005) 고춧가루 제조·가공업소 HACCP적용 일반모델 개발

IV. 보안성 검토

○ 해당없음

제2 협동 위탁연구개발보고서(서울여자대학교)

보고서 요약서

과제고유번호	313031-3	해 당 단 계 연 구 기 간	2015.11.20.~2 016.11.19.(3년)	단 계 구 분	(3 단계)/ (총 3 단 계)
연구사업명	중 사업명	고부가가치식품기술개발사업			
	세부 사업명				
연구과제명	대 과제명	분말제품의 고효율 저탄소 살균 기술 및 장치 개발			
	세부 과제명	Cold plasma를 이용한 분체식품의 미생물 위해성 저감화 기술 개발			
연구책임자	민세철	해당단계 참 여 연구원 수	총: 3 명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연 구 개 발 비	정부: 20,000천원 민간: 천원 계: 20,000천원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총: 7 명 내부: 명 외부: 명	총 연구개발비	정부: 60,000천원 민간: 천원 계: 60,000천원
위탁연구	연구기관명: 서울여자대학교			연구책임자: 민세철	
				보고서 면수	

국문 요약문

		D-01			
연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구의 목적: 비가열 살균기술로서 cold plasma 살균기술을 양과분말 살균에 적용하여 위해 미생물 저감화 공정 시스템을 구축하고, 다양한 공정 요인들을 최적화함으로써 실제 식품공정 및 산업에 적용할 수 있는 cold plasma 살균기술 및 시스템의 실용화 기반을 마련한다. ○ 연구의 내용 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 양과분말의 미생물 저감화를 위한 cold plasma 처리 parameter 결정 및 분말 식품 살균 용 lab-scale cold plasma 살균 시스템 제작 ▪ Cold plasma 살균 처리 조건 최적화 ▪ 양과 분말 살균을 위한 pilot-scale의 cold plasma 살균 시스템 설계 				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양과분말의 잠재적 위해 세균과 부패 미생물 오염도 조사 및 오염 미생물 저감화 수준 설정 ○ 양과분말의 미생물 저감화를 위한 cold plasma 처리 parameter 확립 ○ Cold plasma 처리를 위한 가스 종류, 가스 흐름 속도, 처리 에너지 등의 기본 parameter 중 저감화 효과에 유의적 영향을 주는 parameter 확립 ○ 분말식품 살균 용 lab-scale cold plasma 살균 시스템 제작 ○ Lab-scale의 cold plasma 살균 시스템을 이용한 살균조건 확립 및 살균 효과 검증 완료 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 식품 위해 균(<i>Salmonella</i> spp, <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Bacillus cereus</i> 등)의 효율적 저해 ▪ 분말의 품질에 영향을 미치는 수분함량, particle size, 원료의 성분 등이 미생물 사멸효과에 미치는 영향 파악 ▪ Cold plasma 살균 시스템의 최적 살균조건 분석 및 데이터베이스화 ○ Cold plasma 살균 시스템의 scale-up에 요구되는 주요 장비 구축 완료 ○ 식품산업체에 적용 가능한 pilot-scale의 cold plasma 살균 장치 개발 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 연속 공정이 가능한 컨베이어 시스템 제작 ○ 분체 식품의 cold plasma 처리를 위한 살균 가이드라인 확립 				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분체 식품용 cold plasma 처리 시스템을 이용한 고품질 양과 분말 생산 ○ Pilot scale의 살균장치 개발성공으로 양산용 장비 개발 및 기술 실용화에 기여 ○ Cold plasma 식품 살균이라는 새로운 산업 창출 				
중심어 (5개 이내)	cold plasma	비 가열 살균	분체 식품	양과 분말	

< SUMMARY >

		D-02			
Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> ○ Objectives: To develop cold plasma treatment systems and technologies for microbial decontamination of onion powder and to establish pilot plant scale systems by optimization of cold plasma process parameters ○ Contents <ul style="list-style-type: none"> ▪ Determination of cold plasma treatment parameters for microbial inhibition in onion powder ▪ Optimization of cold plasma treatment conditions ▪ Design of pilot-scale cold plasma treatment systems for powdered foods 				
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ Investigation of microbial contamination level of onion powder and establishment of recommended level of inhibition for potentially harmful bacteria ○ Determination of cold plasma treatment parameters for microbial reduction of onion powder ○ Establishment of critical parameters that significantly influence the effectiveness of the cold plasma treatment for microbial decontamination of onion powder ○ Production of lab-scale cold plasma treatment reactor for powder treatment. ○ Determination of treatment conditions and validation of microbial inhibitory effects of the treatment using a lab-scale cold plasma treatment reactor for powder treatment <ul style="list-style-type: none"> ▪ Effective microbial decontamination using the cold plasma treatment reactor for powder treatment ▪ Dependence of the effectiveness on the parameters of moisture content, particle size, and food composition ▪ Analysis and acquisition of the optimum treatment conditions ○ Determination of the requirement for scale-up of cold plasma treatment system construction ○ Development of pilot-scale reactor applicable to a large scale production <ul style="list-style-type: none"> ▪ Manufacturing a pilot-scale conveyor system ○ Establishment of guidelines for cold plasma treatment for microbial inhibition of powder 				
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> ○ Production of high quality onion powder by cold plasma treatment systems ○ Contribution of developed cold plasma technologies from this research to a large scale microbial inhibition of powdered foods ○ Creation of new food industry making use of the cold plasma treatment for powdered food manufacture 				
Keywords	cold plasma	non-thermal treatment	onion powder	powder food	foodborne pathogens

1. 국내외 기술개발 현황

- 국내외적으로 식품에 적용된 cold plasma 연구는 플라즈마를 발생시키는 에너지원에 따른 장치별, 처리 식품별, 목표 미생물의 종류에 따라 다양한 연구가 진행되어 왔다.
- 식품에 적용 연구되는 플라즈마 장치는 주로 <Table 1>와 같이 다양한 시스템을 lab scale로 제작하여 사용 연구 중에 있으며, 적용 가능한 품목과 효율성을 극대화 할 수 있는 변수 조건이 설계 연구되고 있다.
- 마이크로웨이브 시스템의 콜드플라즈마 기술과 유전체 장벽 콜드플라즈마 기술(Dielectric barrier discharge, DBD)은 국내외적으로 가장 많이 적용되는 기술이라고 할 수 있다.
- DBD CP 기술은 물질 표면을 처리하는데 널리 이용되고 있으며 이러한 표면 처리를 통해서 인쇄나 접착 특성이 더 좋은 표면을 만들 수 있다. 유전체 장벽은 대기압과 상온에서 방전 가능하기 때문에 물질 표면 처리의 경우 유전체 장벽 방전 기술이 적합하다. 이러한 DBD CP system을 식품에 적용하는 경우, 현재 연구 진행 중인, 식품의 포장 단계에서 포장재를 통한 식품 살균에 응용 가능할 것으로 보여진다.
- Hertwig (2015) 등은 통후추의 살균에 일정 거리를 둔 마이크로웨이브 콜드플라즈마 시스템과 조사되는 거리가 비교적 가까운 radio frequency (RF) plasma jet의 살균 효과를 비교한 결과, 마이크로웨이브 콜드플라즈마 시스템에서 위해균의 살균 효과가 더 탁월하다는 결과를 얻은 바 있다. Fernandez 등(2013)의 보고에 의하면, 질소 가스를 이용하여 15 분 동안 1 W의 전력으로 DBD cold plasma 처리 시, 양상추, 딸기, 감자에서 *S. typhimurium*의 감소율이 각각 2.7 ± 0.3 , 1.8 ± 0.7 , and 0.9 ± 0.3 log CFU/sample 였다. Bermúdez-Aguirre 등(2013)은 대기압 하에서 아르곤을 이용하여 12.83 kv로 토마토와 양상추에 접종된 대장균을 약 1.6 log CFU/g 저해하였다. Wang 등(2012)은 고전압의 500 V와 직류 전류를 이용하여 대기압에서 2 분 동안 CP처리하여 슬라이스 당근에 접종된 살모넬라균(10^6 CFU/mL)을 90% 저해하였다.
- 최근, 포장 단계에서도 cold plasma 살균에 대한 연구가 진행되고 있다. Ziuzina 등(2013)에 따르면 포장재 안에 액체 상태로 부유된 균주에 DBD 방식의 cold plasma를 조사하였을 때, *E. coli* 가 약 7 log CFU/mL까지 감소함을 보였다.
- Cold plasma의 식품 기술적용과 관련된 기술상 위치는 도입기로 예상되어진다. 식품용 플라즈마 멸균기는 아직까지 도입된 사례가 없으나, 현재 미국 농무성(USDA)에서 활발히 연구 진행되어 식품별 플라즈마 장치의 구현이 현실화 되었으며, 국내에서도 축적된 연구와 기반 시설을 통틀어, 현 연구 상황으로 미루어보아 상용화를 위한 기술 구현은 멀지 않았다고 예상되는 바이다. 기술의 상용화와 관련하여 식품의약품안전처의 cold plasma 식품 사용과 관련된 규제 정립이 시급하다.

Table 1. Different types of cold plasma treatments applied in food product

콜드플라즈마 장치	장치별 조건 변수 및 사용가스	처리농산물 및 식품	감균율	출처
Low pressure cold plasma	Air gases, sulfur hexafluoride (SF ₆), 5-20 min	nut	<i>Aspergillus parasiticus</i> (air: 5 min ⁻¹ log CFU/g, SF ₆ plasma: ~5 log CFU/g)	Basaran et al, 2008 (Turkey)
		grains, legume	<i>Aspergillus</i> spp. and <i>Penicillium</i> spp (15 min, ~3 log CFU/g)	Selcuk et al, 2008 (Turkey)
Microwave-powered cold plasma	400-900 W, 5-20 min/N ₂ , N ₂ -O ₂ mixture, and He)	양상추, 양배추, 상추	<i>E. coli</i> O157:H7 and <i>Salmonella</i> (~2.8 log CFU/g)	Song et al, 2015; Kim et al, 2013 (Korea)
	400-900 W, 20 min/He-O ₂ mixture	분유	<i>Cronobacter sakazakii</i> (약 0.9 log CFU/g)	Oh et al, 2015 (Korea)
	900 W, 20 min/He	고춧가루	<i>Aspergillus</i> (약 2.5 log spores/g) <i>B. cereus</i> (약 3.5 log spores/g, 열과의 병합처리)	Kim et al, 2014 (Korea)
	900 W, 20 min/He	양파분말	<i>B. cereus</i> (약 1log spores/g, 열과의 병합처리)	Oh et al, 2015 (Korea)
Dielectric barrier discharge	Atmospheric cold plasma (ACP), generated with a 60 kV dielectric barrier discharge (DBD) pulsed at 50 Hz /5 min	딸기	aerobic mesophilic bacteria (2.4 log CFU/g), yeast and mould (3.3 log CFU/g)	Misra et al, 2014 (Ireland)
	N ₂ gas (CP121 Plasma Demonstrator, OMVE BV, Netherlands)	lettuce, strawberry, potato	<i>Salmonella enterica</i> serovar Typhimurium (2.72 log reduction)	Fernandez et al, 2013 (UK)
	Atmospheric pressure, 15.5, 31, and 62 W for 2-60 s, sealed LLDPE bags containing 30% oxygen and 70% argon	sliced ready-to-eat (RTE) meat product (bresaola)	<i>Listeria innocua</i> (약 1.7 log CFU/g)	Rød et al, 2012 (Denmark)
Plasma jet	Pulse frequency (47 kHz), 549 W, 0-20 s	almonds, nut	<i>E. coli</i> O157:H7 and <i>Salmonella</i> (~1.34 log CFU/mL)	Niemira, 2012 (USA)
	Atmospheric pressure plasma jets, 1-2 min, He, He O ₂ , N ₂ , or N ₂ O ₂ ,	processed meat surfaces (slices of cooked chicken breast and ham)	<i>Listeria monocytogenes</i> (1.37~6.52 log)	Lee et al, 2011 (Korea)

1. 1차 년도 연구수행 내용 및 결과 (서울여대 위탁)

<연구 내용>

가. 양파분말의 미생물 저감화를 위한 cold plasma 처리 parameter 결정 및 분말식품 살균용 lab-scale cold plasma (CP) 살균 시스템 제작

(1) 양파분말의 잠재적 위해 세균과 부패 미생물 오염도 조사 및 오염 미생물 저감화 수준 설정

(가) 시료 준비

○ 양파 분말은 태경농산(Seoul, Korea)으로부터 제공받았다. 분말은 탈피된 양파를 300 ppm 으로 희석한 차아염소산나트륨 살균액으로 4-5 분 동안 살균하였고, 60-65°C에서 7-8 시간 동안 열풍 건조시킨 후 분말화 공정을 통해 제조되었다.

(나) 미생물 분석

○ 5 g의 양파 분말을 취하여 45 g의 0.1% (w/v) peptone water가 들어있는 멸균백에 넣어 스토마커(Stomacher Lab Blender Model 400)로 3 분 동안 blending시켰다. 희석액을 10 배수로 희석 한 후에 plate count agar (PCA, Difco, Sparks, MD, USA), potato dextrose agar (PDA, Difco), mannitol-egg yolk-polymyxin B agar (MYPP, Difco), Xylose lysine desoxycholate agar (XLD, Difco), MacConkey agar (Difco), Baird parker agar (Difco), TSC agar (Difco), 그리고 Petrifilm (3M Corporation, MN, USA)에 배양하였다. *Clostridium perfringenes* 선택배지에는 spot on lawn 방법으로 중첩시켜, 혐기적 조건에서 배양하였다. 각 미생물의 선택배지와 배양조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. The information on selective agar and incubation condition of microorganisms.

Microorganisms	Selective agar	Incubation condition
<i>Bacillus cereus</i>	Mannitol-egg yolk-polymyxin B agar	37°C, 18-24 hours
<i>Salmonella typhimurium</i>	Xylose lysine desoxycholate agar	37°C, 48 hours
<i>E. coli</i> O157:H7	MacConkey agar	37°C, 24 hours
<i>Staphylococcus aureus</i>	Baird parker agar	37°C, 24 hours
<i>Clostridium perfringenes</i>	Tryptose Sulfite Cycloserine agar	37°C, 18-24 hours

(2) 양파 분말 미생물 저감화를 위한 CP 처리 parameter 결정

(가) 시료 준비

○ 양파 분말은 태경농산(Seoul, Korea)의 ‘분말 A’와 본 실험실에서 직접 생양파를 구매하여 제작한 ‘분말 B’를 이용하였다. ‘분말 A’는 탈피된 양파를 300 ppm으로 희석한 차아염소산나트륨 살균액으로 4-5 분 동안 살균하였고, 60-65°C에서 7-8 시간 동안 열풍 건조

후 분말 화한 샘플이었다. '분말 B'는 생 양파를 구매하여 탈피 후 수돗물 세척하여 4 등 분으로 절단한 후 알루미늄 tray에 고르게 퍼 수분함량이 8% 이하가 될 때까지 85°C에서 8-10 시간 동안 열풍 또는 진공 건조시켰다. 건조된 양파는 편칭기를 이용하여 입자당 0.5 cm × 0.5 cm의 크기로 분말화 하였다.

(나) 접종원 준비 및 접종

- *B. cereus* 포자는 Finley 그리고 Fields (1962)의 연구에 따라 준비되었다. *B. cereus* 영양세포가 배양된 tryptic soy broth (TSB, Difco)를 0.1 mL 취하여 tryptic soy agar (TSA, Difco)에 도말 한 후에 37°C에서 7 일 동안 배양시켰다. 각 종(strain) 별로 5 개의 TSA plate에 도말 배양시켰다. 7 일 후에 영양세포의 80%가 포자가 되었음을 현미경 관찰을 통해 확인하였다. *B. cereus* 포자가 자란 TSA에 2 mL의 0.1% (w/v) peptone water를 분주하여 멸균된 백금으로 현탁하였다. 현탁액은 15 mL tube에 취하여 80°C에서 10 분 동안 항온수조에서 열처리되었다. 열처리된 현탁액을 원심분리(3,600 × g, 20 분, 4°C)하여 세포를 분리시켰고, 0.1% (w/v) peptone water를 이용하여 3회 세척하였다. 각 종(strain)별로 세척된 세포에 0.1% (w/v) peptone water를 첨가하여 현탁액을 조성하였다. 포자 접종원 제조와 농도는 영양세포 접종원과 동일하게 만들어졌다.
- *Aspergillus flavus* (ATCC 200026, American Type Culture Collection, Manassas, VA, USA)는 20°C에서 5 일 동안 PDA에 배양되었다. *A. flavus*가 자란 PDA에 10 mL의 0.1% (w/v) Tween 80을 분주하여 멸균된 백금으로 현탁 하였다. 현탁액을 15 mL cornical tube (SPL Life Science Co., Pocheon, Korea)에 취한 뒤 멸균된 거즈로 여과시켜 hemocytometer (Paul Marienfeld GmbH & Co. KG, Lauda-Konigshofen, Germany)를 이용해 계수하였다. 실험에 사용될 접종원의 농도는 0.1% (w/v) peptone water (Difco)로 희석하여 7 log spores/g이었다.
- *S. typhimurium* DT 104와 *E. coli* O157:H7 ATCC 35150은 서울대학교 농업생명공학부 식품생명공학 실험실(Agricultural Biotechnology Culture Collection, Seoul, Korea)에서 분양 받았다. *S. typhimurium*와 *E. coli* O157:H7이 37°C에서 24 시간 동안 배양된 TSB를 centrifugal tube에 취하여 원심분리(10,000 rpm, 2 분)하였다. 원심분리 된 후 상등액을 버리고 침전물이 있는 centrifugal tube에 0.1%(w/v) peptone water를 첨가하여 원심분리(10,000 rpm, 2 분)하여 세척하였다. 이 과정을 2 회 반복하였으며, 최종적으로 생성된 미생물 현탁액을 접종 농도로 희석하여 접종원으로 준비하였다. *S. typhimurium* 접종원의 농도는 7-9 log CFU/g였고, *E. coli* O157:H7은 약 8 log CFU/g이었다.
- 접종법: 양파 분말 A (200 g)를 250 mL 유리병에 넣어 121°C에서 15 분 동안 멸균시켰다. 멸균시킨 양파 분말(5 g)를 Teflon 재질의 plate (25 cm×25 cm)에 16 cm×16 cm 면적으로 고르게 폈다. 준비된 미생물 접종원을 멸균시킨 유리 분무기(BT1270S-100, Joylab Co., Seoul, Korea)를 사용하여 1 g 분무 접종하였다.

양과 분말 B에는 10 μL 스폿팅 접종하였다. 양과 분말 B에 접종할 경우에는 입자당 1-2 μL 씩 접종하였다. 접종된 각 시료들은 laminar flow biohazard hood ($22\pm 2^\circ\text{C}$)에서 1 시간 동안 건조되었다. 양과 분말에 존재하는 호기성 미생물에 대한 저해효과를 알아보기 위해 사용된 시료에는 미생물을 접종하지 않았다.

(다) CP 처리

○ Fig. 1에 나타난 position A와 B는 각각 저밀도 마이크로웨이브 CP 처리(low microwave density CP treatment, LMCPT)와 고밀도 마이크로웨이브 CP 처리(high microwave density CP treatment, HMCPT)가 진행되는 위치로 결정되었다. Position B의 경우 시료가 놓여있는 Teflon plate로부터 24 cm의 높이에 위치하였다(Fig. 1). LMCPT와 HMCPT의 microwave power density 값은 COMSOL software (COMSOL Inc., Palo Alto, CA, USA)를 이용한 시뮬레이션을 통해 알아보았다. RF (radio frequency) module을 사용하였으며, Maxwell's equations으로 electromagnetic waves (2.45 GHz, 900 W, TE₁₀)를 시뮬레이션 하였다. LMCPT와 HMCPT의 microwave power density 값은 각각 0.17 W/m^2 와 0.25 W/m^2 였다. Table 2에 나타난 사용기체, 처리 전력, 처리시간, 처리압력 등을 변수로 하여 CP 처리를 하였다.

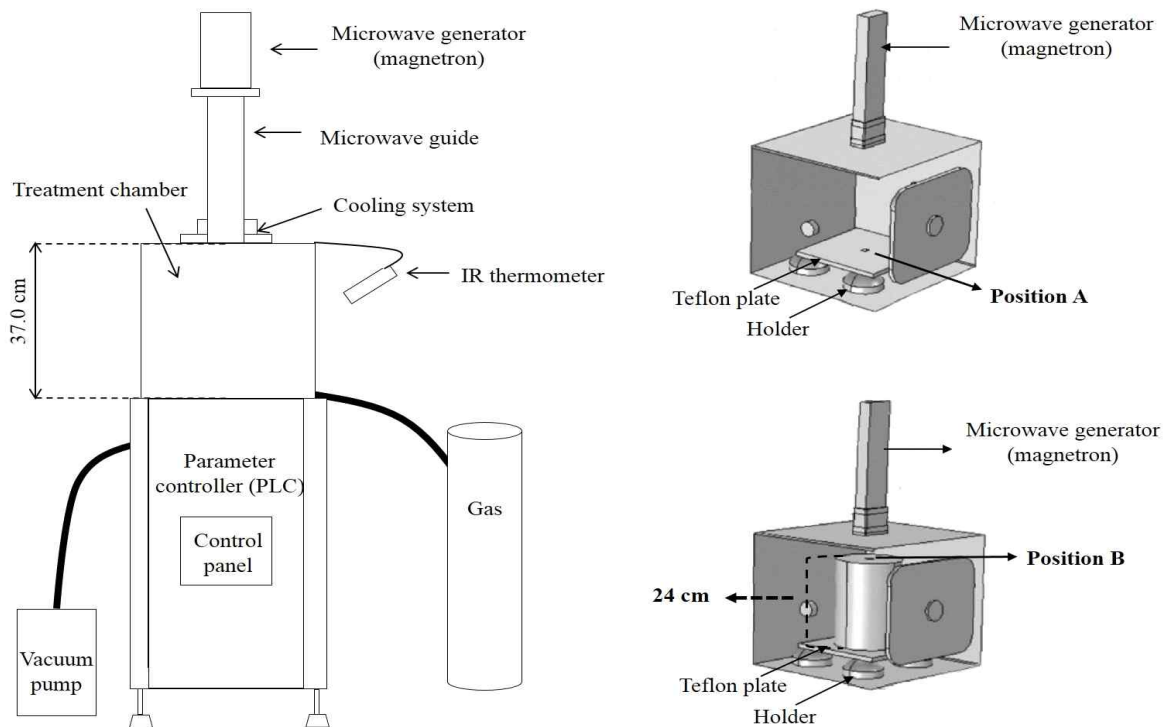


Fig. 1 CP treatment system (SWU-2) and positions

Table 2. The range of gas, power, treatment time and pressure

Plasma forming gas	Treatment power (W)	Treatment time (min)	Treatment pressure (torr)
Nitrogen			
Helium			
Nitrogen-oxygen mixture I (nitrogen:oxygen = 4:1)			
Nitrogen-oxygen mixture II (nitrogen:oxygen = 99.3:0.7)	400-900	10-40	5, 10
Helium-oxygen mixture (helium:oxygen = 99.8:0.2)			
Argon			
Oxygen			

- **호기성 미생물에 대한 살균:** 양파 분말 A을 3 g 취하여 Teflon 재질의 plate에 고르게 편 후, 처리 전력 900 W에서 20 분 동안 질소 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 헬륨 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 질소-산소 혼합가스 I(질소:산소 = 4:1, 진공도: 10 torr, flow rate: 2,500 sccm), 질소-산소 혼합가스 II(질소:산소 = 99.3:0.7, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 헬륨-산소 혼합가스(헬륨:산소 = 99.8:0.2, 진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm) 아르곤 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm), 또는 산소 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)로 LMCPT를 하였다. 처리 전후의 시료를 0.1%(w/v) peptone water로 10 배 희석하여 3 분간 blending한 후 PCA와 PDA에 배양하였다. PCA는 24 시간 동안 37°C, 그리고 PDA는 2-5 일 동안 25°C에서 배양되었다.
- ***B. cereus* spores, *A. brasiliensis* (*A. niger*), 그리고 *E. coil* O157:H7에 대한 살균:** 양파 분말 A, B을 Teflon 재질의 plate에 고르게 편 후, 처리 전력 900 W에서 20 분 동안 헬륨 가스(진공도: 5 torr, flow rate: 1,000 sccm)를 사용하여 LMCPT 또는 HMCPT하였다. 이 때, 양파 분말 B의 경우 분말화 전 건조방법이 CPT의 미생물저해효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 열풍 건조 또는 진공 건조된 양파로 제조하여 총 2 가지 샘플을 준비하였다.
- 열풍 건조는 열풍 처리기(C-DF, Chang Shin Scientific Co., Seoul, Korea)를 사용하였고, 진공 건조는 진공 건조기(OV-11, Jeio Tech Co., Ltd., Seoul, Korea)를 사용하였다. 또한, *A. brasiliensis* (*A. niger*), 그리고 *E. coil* O157:H7에 대한 CPT의 저해효과가 초기 미생물 농도의 영향을 받는지 알아보았다.

- 처리 전후의 시료를 0.1%(w/v) peptone water로 희석하여 3 분간 blending한 후 TSA, PDA, 그리고 MaConkey agar에 배양하였다. TSA는 37°C에서 48 시간 동안 배양되었으며, PDA는 2-5 일 동안 25°C에서, 그리고 MacConkey agar는 37°C에서 24 시간 동안 배양되었다.
- 열처리와 CP 처리에 의한 *B. cereus* spores 살균: 접종된 양과 분말 A 3 g을 멸균백 (19 cm×30 cm, Nasco WHIRL-PAK®, Fort Atkinson, WI.)에 넣은 후, 항온수조에 침지시켜 열처리하였다. 열처리 조건 중 온도는 80°C와 90°C였고, 시간은 1, 3, 5, 10, 그리고 30 분이였다. 열처리된 양과 분말 A는 Teflon 재질의 plate에 고르게 편 후, 헬륨 가스로 LMCPT되었다. 이 때 사용된 유속, 처리 전력, 시간, 그리고 압력은 각각 1 L/min, 900 W, 0.7 kPa, 그리고 20 분이였다. 처리 전후의 시료를 0.1%(w/v) peptone water로 희석하여 3 분간 blending한 후 TSA에 배양하였다. TSA는 37°C에서 48 시간 동안 배양되었다.

(라) 미생물 저해 model 구축 및 model parameter들 결정

- 양과 분말에 접종시킨 *B. cereus* spores가 HMCPT에 의해 저해되는 현상을 잘 설명하는 모델이 무엇인지 알아보기 위해 1차 반응 속도 모델들(식 (2), (3)), Fermi 모델(식 (4)) (Peleg, 1995), 그리고 Weibull 모델(식 (5))에 미생물 저해 데이터를 피팅(fitting) 시켰다. 이 때 1 차 반응 속도 모델들과 Fermi 모델은 Minitab 15 (ver. 15, Minitab, Inc., State College, PA, USA) 프로그램을 이용하였고, Weibull 모델은 GInaFiT (Geeraerd and Van Impe Inactivation Model Fitting Tool) 프로그램을 이용하였다. 비열 플라즈마 처리 전과 후의 미생물 농도로 저해되지 않은 미생물 농도(RM)를 구하였다(식 (1)).

$$RM = A/A \quad \text{식 (1)}$$

A: 처리구의 미생물 농도(log CFU/cm³), A₀: 대조구의 미생물 농도(log CFU/cm³).

$$\ln(RM) = -k_n E \quad \text{식 (2)}$$

E: 처리 전력(W), k_n: 1 차 반응상수.

$$\ln(RM) = -k_n t \quad \text{식 (3)}$$

t: 처리 시간(분), k_E: 1 차 반응상수.

$$RM = \frac{1}{1 + e^{(-E)/a}} \quad \text{식 (4)}$$

E: 처리 전력(W), E_h: RM이 0.5가 되는 처리 전력(W),

a: E_h 주위 곡선의 기울기를 나타내는 인자.

$$\log N = \log N_0 - (t/\delta)^s \quad \text{식 (5)}$$

δ: 크기 인자, s: 모양 인자.

(마) Lab scale system 에서의 미생물 살균 최적조건 확립

○ 모든 실험은 2회 반복되었다. 분산분석법(analysis of variance)으로 각 표본 평균값의 차이를 분석하였고, 유의차가 있는 경우 Duncan 다범위 검증을 실시하였다. 분산분석법과 유의차 검증은 SAS 프로그램(SAS[®] version 9.2, SAS Institute Inc., Raleigh, NC, USA)을 이용하였다. 시료 간의 유의차는 5% 수준에서 검증되었다. *B. cereus* spores 저해, 처리 전력, 그리고 처리 시간의 상관관계는 SAS의 Pearson correlation을 이용하여 결정하였다. 양과 분말에 접종시킨 *B. cereus* spores를 저해할 때 처리 전력과 시간이 주는 영향을 알아보기 위하여 변수가 2개인 중심합성계획법 (two variable second-order center composite RSM design)으로 Minitab 프로그램을 이용하여 실험을 계획하였으며, 이때 중심점과 구간을 각각 5 개와 13개로 설정하였다(Table 3). 독립변수는 처리 전력(X_1 , 400, 474, 650, 828, 900 W)과 처리 시간(X_2 , 10, 14, 25, 36, 40 분)이었다. 실험결과 분석은 SAS 프로그램을 이용한 반응표면분석을 통해 이루어졌으며, 모델 식은 다음과 같이 2차 회귀모형을 사용하였다.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_{12} + b_{22}X_{22} \quad \text{식 (6)}$$

Y는 종속변수로서 *B. cereus* spores의 저해농도(log CFU/cm^g)이고, b_n 는 회귀계수이며, X_1 와 X_2 는 각각 처리전력(W)과 처리 시간(분)이다. *B. cereus* spores 저해에 대한 최적조건은 Minitab의 Response optimizer function을 사용하여 결정하였다. 분산분석법과 회귀분석을 이용하여 모델 인자들(k_b , k_E , E_b , a) 값들을 예측하였다.

Table 3. Experimental variables and their values for the determination of optimum CP treatment conditions for inhibiting *B. cereus* spores on onion powder

Experiment number	Explanatory variables			
	Treatment power: X_1, C_1 ; Treatment time: X_2, C_2			
	Coded value		Real value	
	X_1	X_2	C_1	C_2
1	- 1.4	0	400	25
2	- 1	1	474	36
3	- 1	- 1	474	14
4	0	0	650	25
5	0	0	650	25
6	0	0	650	25
7	0	0	650	25
8	0	0	650	25
9	0	1.4	650	40
10	0	- 1.4	650	10
11	1	- 1	828	14
12	1	1	828	36
13	1.4	0	900	25

- **온도와 수분활성도 변화 측정:** 처리 전과 후의 양과분말 표면 온도, 수분활성도, 그리고 수분함량을 측정하였다. 표면 온도는 thermocouple (Type K, 1.6-mm diameter, Fisher Scientific, Fair Lawn, NJ, USA)로 측정되었으며, 수분활성도는 water activity meter (Pawkit water activity meter, Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA)로 측정되었다. 수분함량은 수분함량 분석기를 사용하여 측정되었다.
- **시료 표면 관찰 :** 열풍 건조 또는 진공 건조된 양과 분말 표면을 관찰하였다. 페트리디쉬(10060, SPL)의 뚜껑에 각 시료들을 미생물이 접종된 표면이 위로 향하도록 접착시킨 후, 뚜껑을 덮어 접착된 시료들이 페트리디쉬 바닥과 평행이 되도록 하였다. 페트리디쉬 바닥에는 1% osmium tetroxide (19192, Electron Microscopy Sciences, PA, USA) 1 mL 이 고르게 스폿팅되어 있었다. 24 시간 동안 fume hood (22±2°C)에서 건조되었다. 건조된 시료를 알루미늄 재질의 마운트(mount)에 고정시킨 뒤, 백금(Pt)으로 코팅시켜 scanning electron microscopy (Field emission-SEM, FE-SEM, S-4700, Hitachi, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다.

<연구 결과>**가. 양파분말의 미생물 저감화를 위한 CP 처리 parameter 결정 및 분말식품 살균 용 lab-scale CP 살균 시스템 제작****(1) 양파 분말 미생물 저감화를 위한 CP 처리 parameter 결정****(가) 양파 분말의 잠재적 위해 세균과 부패 미생물 오염도 조사 및 오염 미생물 저감화 수준 설정**

○ ‘분말 A’ 중 국내산 양파 분말에서는 총 호기성 미생물이 $4.1 \pm 0.3 \log \text{CFU/g}$ 이 존재하였다. 그 중 곰팡이 및 효모는 $3.7 \pm 0.4 \log \text{CFU/g}$ 이었고, *Bacillus* 속은 $2.5 \pm 0.3 \log \text{CFU/g}$ 가 존재하는 것으로 나타났다(Table 4).

Table 4. Microbial contamination of onion powder.

Microorganisms	Microbial concentration (log CFU/g)	
	Domestic sample	Imported sample
Total aerobic microorganisms	4.2 ± 0.3	4.8 ± 0.3
<i>Bacillus</i> spp.	2.5 ± 0.3	3.6 ± 0.1
Yeast and molds	3.7 ± 0.4	
<i>E. coli</i> O157:H7		
<i>Salmonella</i> spp.		
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND	ND
Coliform		
<i>Clostridium</i> spp.		

ND: not detected (detection limit: 10 CFU/g)

○ 국외산 양파 분말에서는 총 호기성 미생물이 $4.8 \pm 0.3 \log \text{CFU/g}$ 이 존재하였다. 그 중 *Bacillus* 속은 $3.6 \pm 0.1 \log \text{CFU/g}$ 가 존재하는 것으로 나타났으며, 곰팡이 및 효모는 검출되지 않았다(Table 4). 이 외에 *Salmonella* 속, *E. coli* O157:H7, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, 그리고 Coliform은 검출되지 않았다(detection limit: 10 CFU/g). Schweiggert 등(2007)에 따르면 양파 분말과 같은 향신료에 3-7 log CFU/g의 호기성 균이 존재하고, 2-4 log CFU/g의 곰팡이 및 효모, 그리고 2-4 log CFU/g의 coliform이 존재한다. 향신료들은 원재료를 수확하고 가공하는 동안 미생물이 오염되기 때문에(Pezzutti et al., 2005) 최종 분말 제품 내 미생물 농도가 높게 나타나고 있다.

(나) 양파 분말 미생물 저감화를 위한 CP 처리 parameter 결정

○ 호기성 미생물에 대한 저해효과: 양파분말을 모든 가스를 사용하여 900 W에서 20 분 동안 LMCPT한 결과, 가스 종류에 상관없이 모든 처리에서 유의적인 저해가 나타났지만 ($P < 0.05$), 그 저해 정도는 약 1 log CFU/g으로 낮게 발생되었다(Table 5).

Table 5. Effects of CP treatment on the inhibition of indigenous aerobic microorganisms in onion powder

	Reduction rate (log CFU/g)	
	Total aerobic bacteria	Yeast and molds
Untreated sample	0.0±0.0	0.0±0.0
Nitrogen	0.4±0.2	0.4±0.2
Nitrogen-oxygen (4:1)	0.5±0.1	0.5±0.2
Nitrogen-oxygen (99.3:0.7)	0.6±0.2	0.5±0.2
Gases		
Helium	0.6±0.1	0.6±0.3
Helium-oxygen (99.8:0.2)	0.6±0.2	0.4±0.0
Argon	0.6±0.2	0.5±0.2
Oxygen	0.5±0.2	0.5±0.3

○ Kim 등(2014)이 고춧가루 내 호기성 미생물에 대한 LMCPT (질소, 질소와 산소 혼합가스, 헬륨, 헬륨과 산소 혼합가스, 900 W, 20 분)의 저해효과를 관찰한 결과, 고춧가루에는 호기성 미생물이 약 6 log CFU/g 존재하였는데, 그 중 *B. cereus* 포자가 3.6±0.2 log spores/g이 검출되었다. 본 연구에서 사용된 '분말 A'에서도 *Bacillus* 속이 검출되었다. 또한 '분말 A'에서 검출된 곰팡이는 검은 환 모양으로 균사체가 보여 양파의 흑균병(Black Rot disease)의 원인 미생물인 *A. brasiliensis* (*A. niger*)로 추정되었는데, 이는 UV light에 대해 저항성이 매우 높은 것으로 나타났다(Vijayanandraj et al., 2006). 따라서 LMCPT의 낮은 저해효과는 열처리, 방사선 조사, 또는 화학 물질 처리 등에 대해 높은 저항성을 가진 *B. cereus* 포자와 *A. brasiliensis* (*A. niger*) 포자가 양파분말에 존재하였기 때문이다.

○ *B. cereus* spores에 대한 저해효과: '분말 A'에 접종된 *B. cereus* 포자를 헬륨 가스로 900 W에서 20 분 동안 LMCPT와 HMCPT하였을 때, 각각 0.4±0.1와 0.5±0.1 log spores/g 저해되었다($P < 0.05$). 본 연구에서는 CPT 전에 *B. cereus* 포자의 저항성이 낮아지도록 80°C에서 10 분과 30 분, 그리고 90°C에서 1, 3, 5, 10, 그리고 30 분 동안 열처리하였다. 열처리 후에 나타난 발아율은 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Germination rate of *B. cereus* spores inoculated on onion powder after heat treatments

Temp. (°C)	Time (min)	Microbial concentration (log CFU/g)		Germination rate (%)
		Spores	Germinated spores	
0	0	5.6±0.1	0.0±0.0	0
80	10	5.2±0.1	1.7±0.2	97.81
	30	5.0±0.2	2.4±0.2	99.61
90	1	5.2±0.1	2.1±0.1	99.27
	3	4.7±0.1	2.3±0.1	99.52
	5	4.5±0.1	2.6±0.1	99.75
	10	3.9±0.1	< 1 log	99.99
	30	< 1 log	< 1 log	99.99

○ 모든 온도에서 처리 시간이 길어질수록 포자의 발아율이 높아졌으며, 90°C에서는 10 분 이상 처리 시 모든 포자가 영양세포로 발아한 것으로 사료되었다. 포자의 발아수준을 고려하여 열 처리 조건을 80°C에서 5 분과 90°C에서 1 분으로 결정하였다. 열 처리 직후에 LMCPT 또는 HMCPT한 결과는 Table 7에 나타나있다. 열 처리와 CPT 또는 열 처리와 HMCPT한 후에 나타난 저해효과에서 상승효과가 관찰되지 않았다. 앞서 고춧가루에 접종된 *B. cereus* 포자는 90°C에서 30 분간 열 처리 한 후에 CPT하여 3.4±0.7 log spores/g의 높은 저해가 발생되었다. 하지만, 양과분말에 접종한 경우에는 유사한 결과가 나타나지 않았다. 이는 열 처리 조건과 CPT에서 사용된 가스, 그리고 *B. cereus* 포자가 접종된 식품의 특성, 즉 미생물에 영향을 주는 수분, pH, 그리고 항균 물질 등의 차이 때문인 것으로 사료되었다.

○ Mafart 그리고 Leguérinel (1997)와 Baker 그리고 Griffiths (1993)은 손상을 받은 포자가 회복하는데 있어 온도, pH 등 환경적 요인의 영향을 받는 것으로 보고하였다. 따라서 *B. cereus* 포자가 고춧가루 또는 양과 분말에 접종되어 열처리 된 후 회복하는 과정에서 저항성에 차이가 생긴다면 LMCPT 또는 HMCPT를 통해 얻을 수 있는 저해효과가 다를 것이라고 사료되었다.

Table 7. Concentration of *B. cereus* spores inoculated on onion powder treated by heat treatment combined with LMCPT (HT-LMCPT) and HMCPT (HT-HMCPT).

(Unit: log spores/g)

Untreated sample	LM-CPT	HM-CPT	Heat treatment (HT)		90 HT-LMCPTa	80 HT-LMCPTb	90 HT-HMCPTc	80 HT-HMCPTd
			90°C, 1 min	80°C, 5 min				
			5.6±0.1	5.2±0.1				

ac Heat treatment (90°C, 1 min) and CPT (helium gas, 900 W, 20 min) or HMCPT (helium gas, 900 W, 20 min)

bd Heat treatment (80°C, 5 min) and CPT (helium gas, 900 W, 20 min) or HMCPT (helium gas, 900 W, 20 min)

○ 기존 양파분말 제조 공정에 따르면 열풍 건조된 양파를 사용하여 분말을 얻게 된다. CPT를 살균공정으로 적용하는데 있어 양파의 건조 방법이 CPT의 *B. cereus* 포자에 대한 저해효과에 주는 영향을 알아보려고 하였다. 열풍 건조기와 진공 건조기를 사용하여 lab-scale로 제작된 ‘분말 B’에 *B. cereus* 포자를 접종한 후 각각의 LMCPT와 HMCPT의 저해효과를 알아보았다(Table 8).

Table 8. Effects of drying methods on inhibition of *B. cereus* spores on onion powder with by the LMCPT and HMCPT (helium gas, 900 W, 20 min).

(Unit: log spores/cm²)

Samples	Drying methods	
	Vacuum	Hot air
Untreated powder	4.8±0.3 a	5.1±0.1 a
LMCP treated powder	3.6±0.1 d	4.2±0.1 b
HMCP treated powder	3.3±0.2 e	4.0±0.1 c

a Mean values in columns were analyzed for significant differences ($\alpha = 0.05$).

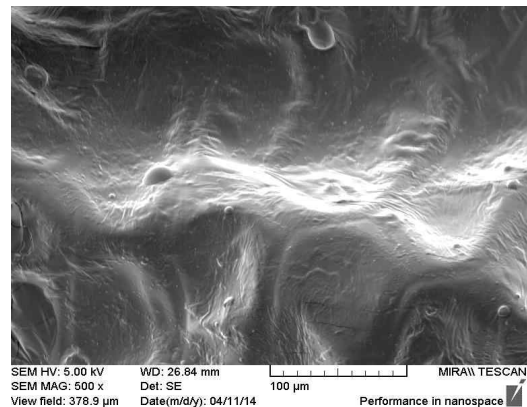
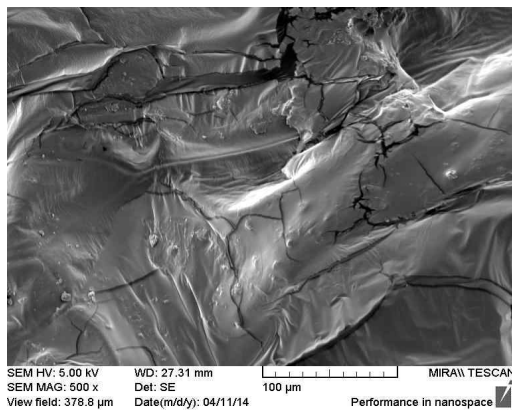


Fig. 4. Scanning electron micrographs of onion powder. Left, uninoculated far infrared dried onion powder; right, uninoculated vacuum dried onion powder

- 이 때 LMCPT와 HMCPT는 헬륨 가스를 사용하여 900 W에서 20 분 동안 진행되었다. 그 결과 열풍 건조된 시료에 접종된 포자 보다 진공 건조된 시료에 접종된 포자가 더욱 많이 저해되었다. SEM을 이용하여 관찰된 각 양파분말의 표면을 관찰한 결과, 열풍 건조 처리된 양파분말의 표면은 균열이 나타났고, 진공 건조된 양파분말에서는 매끄러운 표면이 관찰되었다(Fig. 4).
- 열풍 건조 된 시료에 오염된 미생물들은 균열이 난 틈에 존재할 가능성이 높기 때문에 plasma의 영향을 균일하게 받지 못했을 것으로 사료되었다. 열풍건조는 일반적으로 사용되는 과채류의 건조 방법으로 알려져 있지만 건조 시간이 길어 에너지 효율이 낮고, 식품의 색과 영양성분의 감소가 문제점으로 나타났다(Bazyma et al., 2006; Maskan, 2000). 이에 반해 진공건조는 식품을 산소에 노출시키지 않기 때문에 산화작용을 억제시켜주는 장점이 있다. 또한 열풍건조에 비해 짧은 처리 시간과 낮은 온도 범위에 의해 관능적 및 영양적 성분에 영향을 주지 않는 것으로 보고되었다(Wu et al., 2007). 따라서 살균 처리에 대한 미생물 저해효과를 높이고 품질을 유지하기 위해서 양파 분말 제조 시 양파 건조 방법을 진공 건조 처리로 대체할 것을 권장하는 바이다.

Table 9. Effects of treatment time on inhibition *B. cereus* spores on onion powder by LMCPT and HMCPT

Treatment power (W)	Treatment time (min)	Reduction rate (log spores/cm ²)	
		LMCP treated powder	HMCPT treated powder
900	20	1.2±0.1	1.4±0.2
	30	1.1±0.1	1.5±0.1
	40	1.2±0.1	2.1±0.2

- 진공건조 된 양파로 제조된 분말에 *B. cereus* 포자를 접종한 뒤 처리 시간(20, 30, 그리고 40 분)에 따른 LMCPT와 HMCPT의 저해효과를 알아보았다(Table 9). LMCPT에서는 처리 시간의 증가에 따른 저해효과의 증가가 나타나지 않았고($P>0.05$), 30 분 이상 HMCPT시 저해효과가 유의적으로 증가하였다($P<0.05$). 많은 연구들에서도 plasma 처리 시간이 증가함에 따라 미생물 저해효과가 높아지는 것은 증명된바 있다(Hong et al., 2009; Roth et al., 2010). 이는 plasma 내 미생물을 사멸에 이르게 하는 주요 라디칼의 영향을 받는 시간이 증가되었기 때문으로 사료된다. 덧붙여 HMCPT가 LMCPT에 비해 높은 저해를 일으킨 것은 high microwave power density에 의한 것으로 사료되었다. Microwave power density가 높으면 헬륨 원자로부터 자유 전자의 생성량이 많아져 살균 인자인 RS도 많이 생성된다. 뿐만 아니라 high microwave power density에 의해 전자의 방출이 가속되어 *B. cereus* 포자가 더욱 많이 저해된 것으로 사료되었다.

○ Korachi 등(2009)은 물에 존재하는 *E. coli*에 대해 plasma 처리하였을 때 처리 시간이 증가함에 따라 저해가 많이 발생하였다고 보고하였고, Song 등(2009)의 연구결과에서도 슬라이스 치즈와 햄에 접종된 *Listeria monocytogenes*에 대한 저해가 plasma 처리 시간이 증가할수록 높게 나타났다. 본 연구에서 40 분 처리 시 처리 전후의 식품 표면 온도 변화는 $5.4\pm 1.2^{\circ}\text{C}$ 였고, 초기 온도는 $27.3\pm 1.2^{\circ}\text{C}$ 였다. 미생물을 저해하는데 온도의 영향이 없었으므로 HMCPT가 비열 살균 처리 공정임을 알 수 있었다. 독립 변수인 처리 전력과 처리 시간이 종속 변수인 *B. cereus* 포자의 저해(log spores/cm²)에 주는 영향을 알아보았다(Table 10).

Table 10. Experimental variables and their values for the determination of optimum CP treatment conditions for inhibiting *B. cereus* spores on onion powder

Experiment number	Explanatory variables -				Response variable
	Treatment power: X1,C1;		Treatment time: X2,C2		
	Coded value		Real value		Reduction (log spores/cm ²)
X1	X2	C1	C2		
1	- 1.4	0	400	25	1.5±0.1
2	- 1	1	474	36	2.3±0.1
3	- 1	- 1	474	14	0.5±0.1
4	0	0	650	25	1.1±0.1
5	0	0	650	25	1.1±0.1
6	0	0	650	25	1.0±0.1
7	0	0	650	25	0.9±0.1
8	0	0	650	25	1.1±0.1
9	0	1.4	650	40	1.5±0.1
10	0	- 1.4	650	10	0.9±0.1
11	1	- 1	828	14	1.2±0.1
12	1	1	828	36	1.6±0.2
13	1.4	0	900	25	1.7±0.1

○ Pearson's correlation coefficient를 통해 처리 시간과 *B. cereus* 포자의 저해가 양의 상관관계를 갖고 있음을 알 수 있었다($r=0.71$, $P<0.0001$). 즉 처리 시간이 *B. cereus* 포자의 저해에 유의적으로 영향을 주었다. 처리 전력은 *B. cereus* 포자의 저해에 유의적으로 영향을 주지 않았다($r=0.32$, $P>0.05$). 각 처리 전력에서 사용된 처리 시간이 *B. cereus* 포자의 저해에 주는 영향을 Fig. 5에 나타냈다.

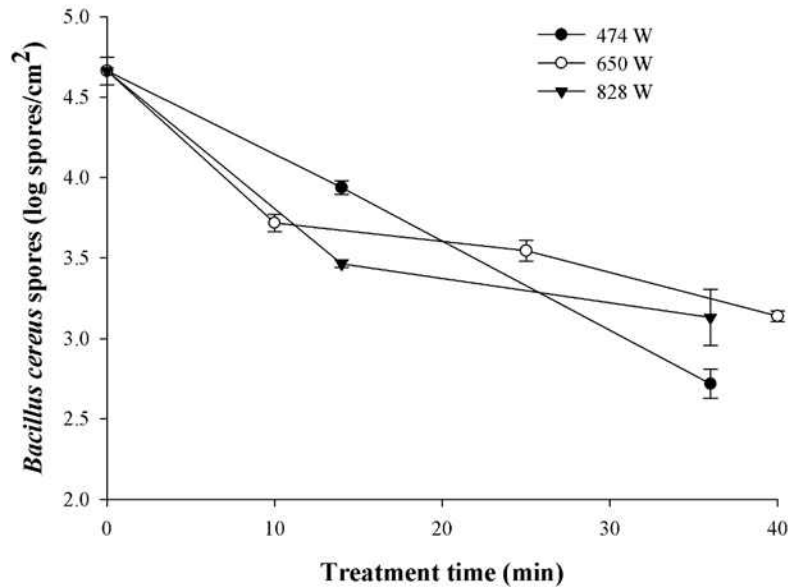


Fig. 5. Effect of the treatment time and power on the concentration of *B. cereus* spores with HMCPT using helium

- 처리 시간이 14 분일 경우에는 828 W에서 저해가 가장 많이 되었지만, 36 분 동안 처리 시 처리 전력이 474 W일 때 가장 높은 저해가 나타났다. 이는 식품 내 수분과 plasma의 microwave power density가 관련이 있을 것으로 사료되었다. 헬륨 가스는 에너지에 의해 이온화 되면서 UV photon을 만들고, 식품 내 수분(H₂O)과 반응하여 hydroxyl기와 hydrogen기와 같은 reactive species (RS)를 생성한다(Akitsu, 2005). UV photon의 경우에는 화학반응을 일으킬 수 있지만 낮은 침투성을 갖고 있어 미생물을 저해하는데 직접적인 영향을 주지 않는다.
- 그러나 UV photon이 포자의 coat를 구성하는 disulfide protein의 결합을 변형시키기 때문에 자유 라디칼, atoms, 또는 들뜬 분자 등은 포자의 core에 침투할 수 있다(Boucher 1980). RS의 생성에 있어 828 W, 650 W, 그리고 474 W에서 생성된 plasma의 microwave power density, 즉 수분이 이온화되는데 영향을 주는 에너지가 중요하게 작용할 것으로 사료되었다. 828 W, 650 W, 그리고 474 W에서 생성된 plasma의 microwave power density는 각각 0.23, 0.18, 그리고 0.13 W/m²이었다. 처리 전력이 828 W (0.23 W/m²)일 때 *B. cereus* 포자의 생존 곡선을 살펴보면 14 분에서 가파른 형태(1.2±0.1 log spores/cm²)로 감소되었고, 14 분과 36 분을 비교하였을 때는 농도가 완만하게(0.4±0.1 log spores/cm²)감소되었다. 처리 시간이 14 분일 때 *B. cereus* 포자 농도가 가파르게 감소된 것은 828 W의 높은 전력이 순간적으로 가해지면서 헬륨 원자의 이온화가 가속화되면서 자유전자들이 생성되고, 이들이 양과분말로부터 증발된 수분에 에너지를 전달하며 RS의 생산속도가 증가되었기 때문으로 사료되었다.

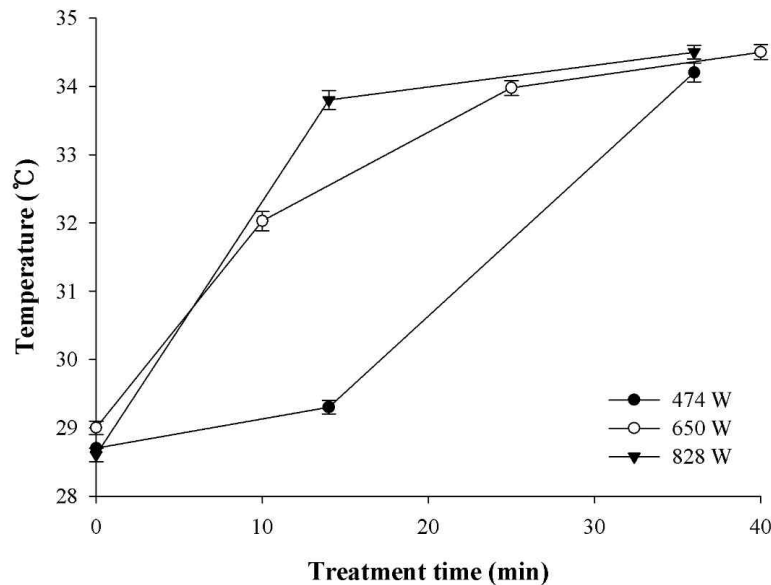


Fig. 6. Effect of treatment time and power on the surface temperature of onion powder during HMCPT using helium

- 474 W, 650 W, 그리고 828 W에서 처리되는 동안 측정된 시료 표면의 온도는 처리 전력과 시간이 증가될수록 높아졌다(Fig. 6). Purevdorj 등(2002)의 연구에서도 1.47, 2.63, 그리고 4.21 W/cm³로 증가할수록 온도가 각각 45, 51, 그리고 58°C로 증가되었다. 474 W, 650 W, 그리고 828 W에서 측정된 최대 온도는 각각 34.2, 34.5, 그리고 34.5°C이었다. 이를 통해 본 연구에서 사용된 HMCPT는 *B. cereus* 포자를 저해하는데 있어 열을 사용하지 않는 비열 살균 처리임을 증명할 수 있었다.
- 새로운 살균 방법을 상업적으로 적용하기 위해서는 미생물 저해를 예측하는 모델을 결정하는 것이 필수적이다(Fröhling et al., 2012). 저해 예측 모델들의 적합성은 각 모델들의 R²값을 비교함으로써 판단되었다. 처리 전력 또는 시간을 변수로 한 일차반응속도모델 (first-order model)(식 (2), (3)), Fermi's model (식 (4)), 그리고 Weibull 모델 (식 (5))의 R²값은 각각 75.8, 87.0, 73.2, 그리고 92.6이었다. 사용된 모든 모델 식에서 R²값이 0.7 이상으로 높게 나타났고, 처리 전력 값이 변수로 사용되는 모델(식 (2), (4))은 처리 시간을 변수로 사용하는 모델(식 (3), (5))에 비해 R²값이 낮았다. Weibull 모델이 CPT에 의한 양과 분말에 접종된 *B. cereus* 포자의 저해를 가장 적절히 예측해주었다. 따라서 R²값이 0.8 이상인 처리 시간이 변수인 일차반응속도 모델과 Weibull 모델 ($\delta= 20.66$, $s=0.41$)은 CPT에 의한 고춧가루에 접종된 *A. flavus*의 저해를 잘 성립시키는 것으로 나타났다.

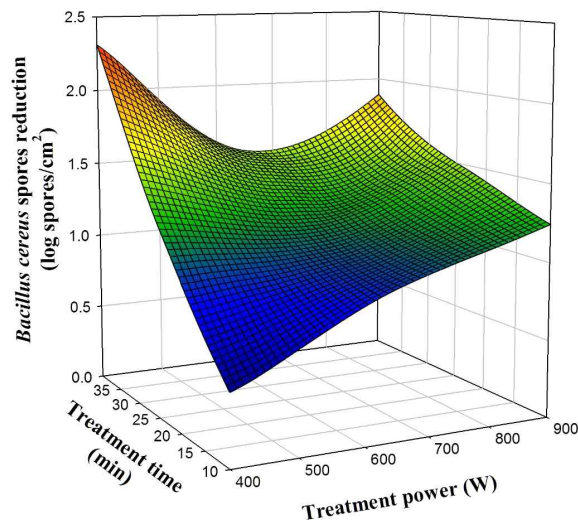
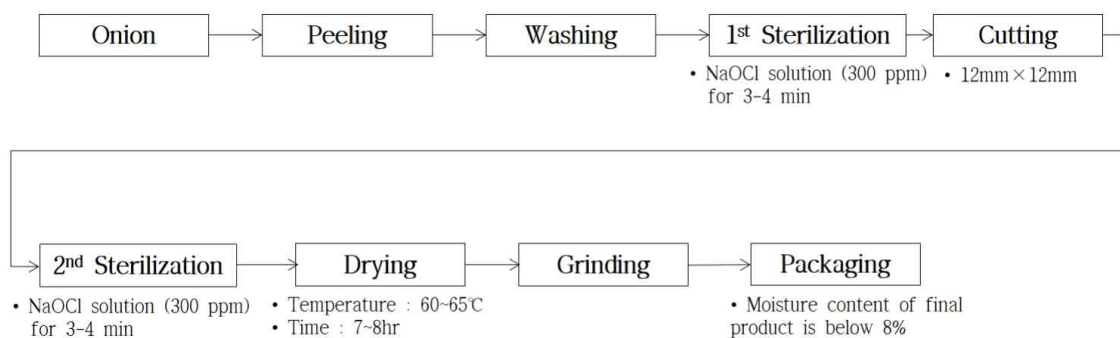


Fig. 7. Response surface plots generated with treatment power, time, and the reduction of *B. cereus* spores

- Fig. 7에 나타난 각 처리 전력에서는 처리 시간이 10 분에서 40 분으로 증가될수록 *B. cereus* 포자의 저해도 증가되었다. 그리고 처리 시간이 0-25 분 일 경우에는 처리 전력이 증가함에 따라 *B. cereus* 포자의 저해도 linear하게 증가되었지만, 25-40 분에서는 처리 전력의 영향을 받지 않는 것으로 관찰되었다. 최대 처리 시간인 36 분에서는 900 W에 비해 400 W에서 처리되었을 때 더욱 높은 미생물 저해가 관찰되었고, 이는 실제 실험을 통해 얻었던 데이터와 유사하게 나타났다. 이전 실험에서 양과 분말에 접종된 *B. cereus* 포자를 900 W에서 40 분 동안 처리하였을 때 약 2.1 log spores/cm² 저해되었고, 474 W에서 36 분 처리하였을 때는 약 2.3 log spores/cm²이 저해되었다.
- 900 W에서 진행되었을 때보다 400 W일 경우 *B. cereus* 포자의 저해가 많이 발생한 것은 plasma 내 생성된 RS의 종류와 UV photon의 파장이 *B. cereus* 포자를 저해하는데 영향을 많이 미쳤기 때문으로 사료되었다. Plasma 내 RS과 UV photon는 미생물 저해에 중요한 영향을 미치는 인자이다. 이 인자는 모든 미생물에 대해 동일한 저해 효과를 보이지 않는다. 같은 가스를 사용하여 동일한 처리 조건(power, time, flow rate, pressure)으로 CP 처리를 하였음에도 미생물 종류별 저해 효과는 다르게 나타난다. 본 연구에서 사용된 처리 챔버 내부에는 처리 가스로 사용된 헬륨과 시료로부터 증발되거나 휘발된 물 분자와 disulfide, 그리고 챔버 내부를 진공상태로 만들 때 잔류하였던 질소와 산소 등이 있을 것이다. 이들이 이온화되기 위해 요구된 에너지의 정도는 모두 다른데, *B. cereus* 포자의 저해에 영향을 주는 RS이 생성되는데 900 W가 아닌 400 W가 요구된 것으로 사료되었다. 또한, plasma 내 UV photon의 파장에 따라 미생물 저해도가 다른 것으로 나타났다.: (1) 200 nm에서 380 nm 까지의 UV, (2) 200 nm 이하의 VUV (대기 중 산소에 흡수가 되기 때문에 그렇게 불림).

- UV 영역은 UV-A, UV-B, 그리고 UV-C로 나뉠 수 있으며, 현재까지 이들과 관련된 많은 광생물학 연구들이 이루어져왔는데, 그 중 하나로 UV에 의한 DNA 손상으로 인한 세포의 돌연변이화와 사멸에 관한 연구가 있다. 254 nm의 UV-C는 수년간 표면 살균의 용도로 사용되어왔으며 특히 식품 산업분야와 의료 기구 설비 분야에서 많이 쓰여 왔으나, 그 효과에 대해서는 의문을 가져왔었다(Lidwell et al., 1994; Shimomura et al., 1995; Taylor et al., 1995; Jay, 1997). 원자외선(100-200 nm)은 plasma로부터 방출되는 VUV의 중요한 구성 요소인데, 이러한 광자들은 유기 분자들에 존재하는 모든 화학 결합의 에너지보다 더 높은 에너지를 가지고 있기 때문에 미생물의 세포막을 보호하는 분자 결합들을 끊음으로써 미생물을 파괴시킬 수 있으며(Wertheimer et al., 1999), UV 조사는 plasma를 이용한 표면 살균에 있어서 가장 큰 살균 효과를 가지고 있다고 할 수 있다(Soloshenko et al., 1999). 따라서 400 W에서 생성되는 RS 종류와 UV photon의 파장이 *B. cereus* 포자를 효과적으로 저해시키는데 가장 적합했던 것으로 사료되었다.
- 양파 분말에 접종된 *B. cereus* 포자를 가장 많이 저해시킬 수 있는 최적 처리 조건으로 400 W와 40 분이 결정되었다. 이 때의 저해 예측 값은 2.22 log spores/cm²으로 예측되었고, 이는 실험 값(1.9±0.3 log spores/cm²)과 유사하였다. 본 연구결과를 통해 새로운 양파분말 제조 공정도를 Fig. 8에 제시하였다. 진공 건조된 양파를 이용하여 분말화를 한 후 HMCPT를 400 W에서 40 분 동안 진행한다면 *B. cereus* 포자에 대한 안전성이 높은 양파 분말 제품을 생산할 수 있을 것으로 사료되었다.

(A)



(B)

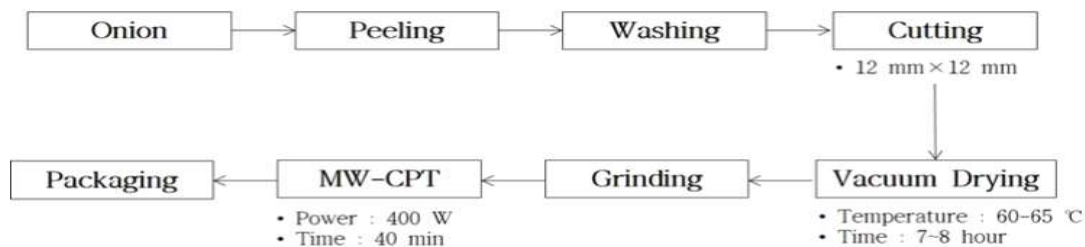


Fig. 8. Conventional onion powder manufacturing flow chart (A) and suggested onion powder manufacturing flow chart (B)

- *A. brasiliensis*에 대한 저해효과: *A. brasiliensis*는 검은 썩음병(Black Rot disease)을 일으키는 원인 미생물로 알려져 있으며(Brien et al. 1959; Van Konijnenburg et al., 1994), 식품의 품질에 영향을 줄 뿐만 아니라 인체에도 위해 한 것으로 나타났다. 양과 분말 제조 공정 중 살균되지 않아 최종 분말 제품에 잠재되어 있을 가능성이 있으므로 중요하게 관리되어야 하는 미생물로 사료되었다.
- ‘분말 B’에 *A. brasiliensis* 포자를 접종한 후 *B. cereus* 포자에 대한 최적 처리 조건인 400 W와 40 분을 사용하여 HMCPT하였다. 이 때 ‘분말 B’는 열풍 건조 또는 진공 건조된 양과를 사용하여 2 가지 시료로 만들었다. 먼저 열풍 건조된 양과 분말에서 *A. brasiliensis* (*A. niger*)가 검출되는 농도에 따라 나타난 저해효과를 관찰하였다(Table 11).

Table 11. Effects of the inoculum concentration of HMCPT using helium at 400 W for 40 min

Inoculum concentration	Microbial concentration (log CFU/cm ²)	
	Untreated powder	HMCP treated powder
6.5±0.1	5.5±0.1 a	4.7±0.1 b
5.5±0.1	4.7±0.1 b	3.8±0.1 c

a Mean values in columns were analyzed for significant differences (a= 0.05).

- 접종 농도가 5.5 log CFU/cm²일 경우에는 0.7±0.1 log CFU/cm²저해되었고, 4.7 log CFU/cm²일 때는 1.0±0.1 log CFU/cm²가 저해되었다. 식품에 존재하는 미생물 초기 농도가 plasma 처리의 저해효과에 영향을 줄 것으로 나타났다. 초기 미생물 농도가 높을수록 plasma 내 작용기들이 세포 당 가할 수 있는 영향이 줄어들기 때문이다(Fernandez et al., 2011). 이로 인해 CPT에 의한 미생물 저해 수준과 미생물 초기 농도간의 관계를 알아본 연구들이 보고된 바 있다(Burts et al., 2009, Deng et al., 2005, Fridman et al., 2007).
- 열풍 건조되거나 진공 건조된 양과분말에 *A. brasiliensis* 포자가 약 4.7 log CFU/cm²가 검출되도록 접종한 후 HMCPT하였다. 그 결과 각각 0.8±0.1 log CFU/cm²와 1.5±0.1 log CFU/cm²이 저해되었고, 진공 건조된 양과 분말에서 더욱 많이 저해되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 *B. cereus* 포자를 열풍 건조와 진공 건조된 고춧가루에 접종하여 HMCPT 후 나타난 저해결과와 유사하였다. 본 연구에서 *A. brasiliensis* 포자에 대한 저해효과가 *B. cereus* 포자의 저해효과(1.9±0.3 log CFU/cm²)보다 낮게 나타났다.

- 미생물 저항성은 세균 포자가 곰팡이 포자에 비해 높고, 곰팡이 포자는 영양세포에 비해 높다고 알려져 있다. 하지만 Raballand 등(2008)의 보고에 따르면 UV radiation에 대한 저항성에서 *A. niger* 포자가 *B. atrophaeus* 포자에 비해 높게 나타났다. Raballand 등(2008)은 plasma 이온 소스(plasma ion source)로부터 생성되는 UV radiation에 의해 *A. niger* 포자와 *B. atrophaeus* 포자가 각각 1.19 log spores와 4 log spores 저해되었고, 이는 *A. niger*의 포자 외피에서 UV가 흡수되기 때문으로 보고하였다. Vijayanandraj 등(2006)의 연구 결과에 따르면 양과로부터 동정된 *A. niger* 포자를 오존으로 살균처리 하였을 때, 저해효과가 나타나지 않았다고 보고하였다. 본 연구 결과를 통해 HMCPT가 양과분말에 오염된 *A. brasiliensis* 포자를 저해하는데 효과적인 살균 처리 방법임을 알 수 있었다. 또한 HMCPT는 양과분말 제조 공정 시 진공 건조 후 분말화 전에 적용된다면 *B. cereus* 포자 외에도 *A. brasiliensis* 포자에 대한 안전성이 있는 제품을 생산할 수 있을 것으로 사료되었다.
- *S. typhimurium* 및 *E. coli* O157:H7에 대한 저해효과: *S. typhimurium*과 *E. coli* O157:H7는 수분활성도가 낮은 식품에서도 생존이 가능하였기 때문에(Park and Beuchat, 2000), 향신료에서도 검출되고 있다(Little et al., 2003). 따라서 양과분말에 *S. typhimurium*과 *E. coli* O157:H7를 접종하여 CPT와 HMCPT의 저해효과를 알아보았다. ‘분말 A’에 접종된 *S. typhimurium*의 경우 아무 처리 하지 않았음에도 검출되지 않았다(detection limit: 10 CFU/g). Johnson 등(1969)에 따르면 양과 분말이 첨가된 배양액에서 *S. typhimurium*와 *E. coli* O157:H7를 접종하였을 때 D 값이 각각 1.8 시간과 6.8 시간으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 인위적으로 양과 분말에 *S. typhimurium*를 접종하였을 때 검출되지 않은 것은 항균 효과가 있는 양과에 *E. coli* O157:H7 보다 *S. typhimurium*가 민감한 것으로 사료되었다. 이는 직접 구매한 양과 분말 내 미생물 농도를 검출하였을 때 *S. typhimurium*과 *E. coli* O157:H7이 검출되지 않은 것을 통해서도 두 미생물의 양과 분말 내 항균물질에 대한 저항성이 낮을 것으로 사료되었다.
- 열풍 건조된 양과 분말에 초기 *E. coli* O157:H7 농도가 4.3 log CFU/cm²과 5.0 log CFU/cm²가 검출되도록 하여 HMCPT한 결과를 Table 12에 나타내었다. 접종 농도에 상관없이 모두 1 log CFU/cm²의 저해가 나타났고, 유의적으로 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 앞서 *A. brasiliensis* 포자의 경우와는 다른 경향인데, 이는 *E. coli* O157:H7이 양과 분말이 함유하고 있는 강한 항균 물질에 의해 접종된 농도와 상관없이 저항성이 낮아졌을 것으로 사료되었다.

Table 12. Effects of the inoculum concentration of HMCPT using helium at 400 W for 40 min

Inoculum concentration	Microbial concentration (log CFU/cm ²)	
	Untreated powder	HMCP treated powder
6.2±0.1	5.0±0.1 a	3.7±0.1 c
5.5±0.1	4.5±0.1 b	3.3±0.1 d

- 열풍 건조와 진공 건조된 시료에 접종된 *E. coli* O157:H7 (4.8±0.1 log CFU/cm²)는 HMCPT한 후에 각각 1.1±0.1 log CFU/cm²와 약 4 log CFU/cm²이상 저해되었다. 이는 앞서 *B. cereus* 포자와 *A. brasiliensis* 포자에 대한 연구들을 통해 얻었던 결과와 같이 진공 건조된 샘플에서 저해가 더욱 많이 발생되었다. 미생물 저항성은 영양세포가 세균과 곰팡이의 포자에 비해 가장 낮은 것으로 알려져 있으며, 본 연구결과에서도 *E. coli* O157:H7이 이는 앞서 관찰한 *B. cereus* 포자와 *A. brasiliensis* 포자에 비해 높은 수준으로 저해되었다. Kim 등(2012)은 RF(radio-frequency) heating을 사용하여 후추와 고춧가루에 접종된 *E. coli* O157:H7에 대한 저해효과를 관찰하였다. 이 때 처리 시간이 40-50 초였으며, 저해효과는 약 4 log CFU/g 이상이었는데, 처리 중 표면의 온도를 측정한 결과 후추의 경우 최대 67°C, 고춧가루는 최대 79°C까지 도달하였다. 본 연구에서 사용된 HMCPT에서도 진공 건조된 양파 분말에서 유사한 수준의 저해효과(> 4 log CFU/cm²)가 관찰되었지만, 처리 중 최대 온도는 35°C이었다. 따라서 HMCPT는 식품에 유입되는 열을 최소화 하여 열에 의해 발생될 수 있는 품질 변화를 최소화할 수 있기 때문에 분말 제품 외에도 *E. coli* O157:H7의 오염이 빈번하게 발생하는 과채류, 즉 샐러드용 채소 등에도 적용이 가능할 것으로 판단되었다

2. 2차 년도 연구수행 내용 및 결과 (서울여대 위탁)

<연구 내용>

가. CP 살균 처리 조건 최적화

(1) Lab-scale의 CP 살균 시스템을 이용한 살균조건 확립 및 살균효과 검증

(가) 1차 년도에 제작된 분말 살균 용 CP 처리 장치의 처리 parameter들이 미생물 저해 효과에 미치는 영향 분석

- 시료 준비: 양파(*Allium cepa* L.)를 구매하여 탈피하고 수돗물로 세척하여 12 mm × 12 mm 크기로 절단한 후 알루미늄 트레이에 고르게 펴 수분함량이 8% 이하가 될 때까지 진공 건조기를 이용하여 건조시켰다. 진공 건조는 진공 건조기(OV-11, Jeio Tech Co., Ltd., Seoul, Korea)를 사용하였다.
- 미생물 분석: 10 개의 양파 분말을 취하여 1.5 mL의 0.1% (w/v) peptone water가 들어 있는 멸균백에 넣어 스토마커(Stomacher Lab Blender Model 400)로 3 분 동안 blending 시켰다. 희석액을 10 배수로 희석 한 후에 100 μ L, 250 μ L 또는 1 mL 취하여 Xylose lysine desoxycholate agar (XLD, Difco), MacConkey agar (Difco), 그리고 TSA (Difco) 에 배양 하였다. 각 미생물의 선택배지와 배양조건은 Table 13에 나타내었다.

Table 13. Selective agar media and their incubation conditions used for the microbial analysis of different microorganisms.

Microorganisms	Selective agar	Incubation condition
<i>S. enteritidis</i>	Xylose lysine desoxycholate agar (XLD) agar	37°C, 48 hours
<i>E. coli</i> O157:H7	MacConkey agar	37°C, 24 hours
<i>L. monocytogenes</i>	BHI	37°C, 24 hours

- **접종원 준비:** *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7 ATCC 35150, 그리고 *L. monocytogenes* 19115는 서울대학교 농업생명공학부 식품생명공학 실험실(Agricultural Biotechnology Culture Collection, Seoul, Korea)에서 분양 받았다. *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes*가 37°C에서 24 시간 동안 배양된 TSB를 centrifugal tube에 취하여 원심분리(10,000 rpm, 2 분)하였다. 원심분리 된 후 상등액을 버리고 침전물이 있는 centrifugal tube에 0.1%(w/v) peptone water을 첨가하여 원심분리(10,000 rpm, 2 분)하여 세척하였다. 이 과정을 2 회 반복하였으며, 최종적으로 생성된 미생물 현탁액을 접종 농도로 희석하여 접종원으로 준비하였다. *S. enteritidis*, *L. monocytogenes* 접종원의 농도는 7-9 log CFU/g였고, *E. coli* O157:H7은 약 8 log CFU/g이었다.
- **접종:** 양과 분말 10개에 1000 μ L의 접종원을 1분간 침지 접종하였다. 접종 후 각 시료들은 laminar flow biohazard hood (22 \pm 2°C)에서 1 시간 동안 건조되었다.
- **Cold plasma (CP) 처리:** *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7 그리고 *L. monocytogenes*가 접종된 양과 분말을 2차년도에 새롭게 제작된 DBD CP treatment system (SWU-4) (Fig. 9)에서 플라즈마 형성 가스로 유속을 조정하여 SWU-4의 chamber 안에 유입시켰다. AC power supply의 전압을 설정한 뒤 반응기에 전압을 걸어주면 반응기 내부에 플라즈마가 형성되는데, 이 플라즈마를 이용하여 일정 시간동안 양과 분말 시료를 CP 처리하였다. 처리 전후의 시료를 0.1%(w/v) peptone water로 희석하여 3 분간 blending한 후 XLD, MacConkey agar, 그리고 TSA에 배양하였다. XLD는 37°C에서 48 시간 동안 배양되었으며 MacConkey agar와 TSA는 37°C에서 24 시간 동안 배양되었다. CP 처리가 되는 동안 infrared radiation 온도계를 이용하여 chamber 표면의 온도 상승도를 확인하였다. 또한, 시료의 처리 전 후의 표면 온도를 측정하였다.

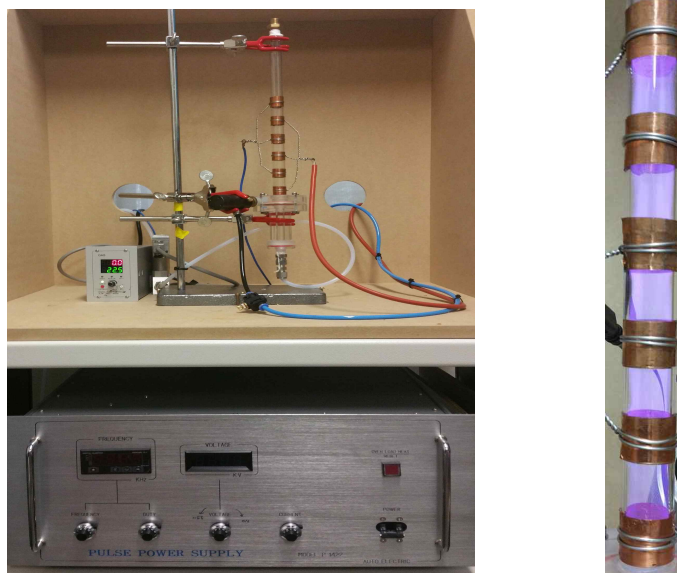


Fig. 9. Dielectric Barrier Discharge (DBD) CP treatment system (SWU-4), developed in the second year of research

- 수분활성도가 CP 처리에 의한 양과 분말에 접종된 미생물 저해 효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 water activity meter (Pawkit water activity meter, Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA)를 이용하여 양과 분말의 초기 수분활성도를 측정하고 양과 분말을 Ammonium sulfate (RH 80%)가 과포화된 용액을 담은 데시케이터에 24시간 저장하여 0.8의 수분활성도를 갖는 양과 분말을 제조하여 수분활성도가 다른 2가지 샘플을 준비하였다.
- 양과 분말의 입자 크기에 따른 CP 처리의 미생물 저해 효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 건조된 양과를 펀칭기를 이용하여 입자당 0.5 cm × 0.5 cm 그리고 1 cm × 1 cm 크기로 분말화 하였다.
- 식중독균 저해 예측에 적합한 model 및 model parameter 값들의 결정: 양과 분말에 접종시킨 *S. enteritidis*가 CP 처리에 의해 저해되는 현상을 잘 설명하는 모델이 무엇인지 알아보기 위해 1차 반응 속도 모델들(식 (2), (3)), Fermi 모델(식 (4)) (Peleg, 1995), 그리고 Weibull 모델(식 (5))에 미생물 저해 데이터를 피팅(fitting) 시켰다. 이 때 1 차 반응 속도 모델들과 Fermi 모델은 Minitab 15 (ver. 15, Minitab, Inc., State College, PA, USA) 프로그램을 이용하였고, Weibull 모델은 GInaFiT (Geeraerd and Van Impe Inactivation Model Fitting Tool) 프로그램을 이용하였다. 비열 플라즈마 처리 전과 후의 미생물 농도로 저해되지 않은 미생물 농도(RM)를 구하였다(식 (1)).

$$RM = A/A \quad \text{식 (1)}$$

A : 처리구의 미생물 농도(log CFU/cm²), A_0 : 대조구의 미생물 농도(log CFU/cm²).

$$\ln(RM) = -k_n E \quad \text{식 (2)}$$

E : 처리 전력(W), k_n : 1 차 반응상수.

$$\ln(RM) = -k_n t \quad \text{식 (3)}$$

t : 처리 시간(분), k_E : 1 차 반응상수.

$$RM = \frac{1}{1 + e^{(-E)/a}} \quad \text{식 (4)}$$

E : 처리 전력(W), E_h : RM 이 0.5가 되는 처리 전력

a : E_h 주위 곡선의 기울기를 나타내는 인자.

$$\log N = \log N_0 - (t/\delta)^s \quad \text{식 (5)}$$

δ : 크기 인자, s : 모양 인자.

(나) CP 처리에 의한 양파분말의 이화학적 특성의 분석

- **비타민 C:** CP 처리 전후의 양파 분말의 비타민 C 함량은 Kim 등 (2009)의 방법을 활용하였다. 비타민 C 검출용 시료는 처리 전후의 각 분말 양파 분말(0.5 g)에 15 mL의 증류수를 첨가한 후 100°C에서 30 분간 시료를 흔들며 주며 추출하였다. 그 후 추출물을 원심분리(15,000 rpm, 15 분)하였다. 원심분리 된 후 상등액을 Syringe를 사용하여 추출물을 취한 뒤, syringe filter (DISMIC-25CP, cellulose acetate, pore size: 0.45 μ m, ADVANTEC MFS, Inc., CA, USA)로 여과하였다. HPLC 분석 조건은 column으로 Symmetry C18 (5 μ m, 4.6 mm \times 250 mm I.D, Waters Co., MA, USA)을 사용하였고 유속은 0.6 mL/min이었으며 이동상은 0.1% trifluoroacetic acid를 사용하였다. 시료의 주입량은 20 μ L로 SPC-10Avp (UV-Vis detector, Shimadzu Co., Kyoto, Japan) detector로 254 nm의 파장에서 비타민 C를 검출하였다. Vitamin C (L-ascorbic acid)의 표준물질은 Sigma Chemical Co. (St Louis, Mo., USA)에서 구매하였다.
- **색도:** CP 처리 전후의 양파 분말의 표면의 색도를 알아보기 위하여 CIELab 값으로 colorimeter (Minolta Chroma Meter CR-400)를 사용하여 L* (lightness), a* (redness), b* (yellowness) 값을 측정하였다.
- **향기 성분:** CP 처리 후 양파분말의 향기성분 분석을 위하여 양파분말 시료 0.1 g을 10 mL vial에 넣은 다음 90°C에서 10 분간 350 rpm으로 교반하고 90 °C의 주입구 온도를 유지한 가운데 주입하였다. Headspace 분석 시 syringe purge는 9.9 초를 유지한 후 thermostatted tray holder에 놓은 후 2.5 mL를 취하여 시료로 사용하였으며 headspace system을 이용하여 시료의 기체성분을 분석하였다. 시료의 향기성분의 분석은 Hong 등 (2011)의 방법에 의해 분석되었다. 취해진 시료는 자동시료채취기가 연결된 전자코 (SMart Nose 300, SMart Nose, Balzers Instruments, Marin-Epagnier, Switzerland)로 분석하였다.
- 분석에 사용된 전자코는 질량분석기(Quadrupole Mass Spectrometer, Balzers Instruments)가 연결되어 있으며 휘발성 물질들은 70 eV에서 이온화시켜 180 초 동안 생성된 이온물질을 사중극자(quadrupole) 질량 필터를 거친 후 특정 질량 범위(10-200 amu)에 속하는 물질을 정수단위로 측정하여 channel수로 사용하였다. 통계 처리는 각기 다른 channel의 intensity는 matrix형태(20 \times 20-30 \times 30)로 기록되었으며 이온화되어 얻어진 분자들의 질량별 검출량을 선택하되 가장 차별성을 높게 표현하는 분자량(m/z)을 갖는 variables 그룹을 20-30개 선정하여 판별함수분석(discriminantfunction analysis)을 실시하였다. 이때 사용된 소프트웨어는 SMart Nose® statistical analysis software를 사용하였다.

- Discriminant Function Analysis (DFA)는 판별함수 분석으로서 휘발성 향기성분으로부터 생성되는 10에서 200 amu의 ion fragment 중 각 시료 간에 차별성이 높은 5-20여 개의 fragment(m/z)를 독립 변수로 선택하였다. 선택된 독립변수의 해당 감응도 값을 이용하여 다음 식에 따라 판별함수분석(DFA)를 실시하였으며 종속변수에 영향을 주는 독립변수를 검정하였다.

$$DFA=B_0+B_1X_1+B_2X_2+B_3X_3\cdots\cdots\cdots+B_nX_n$$

- B₀는 constant값이고 B₁는 coefficients를, x는 각각의 amu값에서의 감응도를 나타낸다. 이들 독립변수 중에서 종속변수를 예측할 수 있는 판별함수 값은 DF₁, DF₂, DF₃DF_n으로 나타났다. 여러 독립변수들 중에서 종속변수에 영향력을 주는 순서를 기준으로 DF₁과 DF₂를 비교하여 각 시료 간의 휘발성분의 차이를 전체적인 패턴으로 나타내었다.
- 살균 효과 검증: CP에 의한 양파 분말의 살균 처리 실험을 토대로 대상 식중독균에 대한 저해도를 관찰한 후 살균 효과를 검증하였다.

<연구 결과>

가. CP 살균 처리 조건 최적화

(1) Lab-scale의 CP 살균 시스템을 이용한 살균조건 확립 및 살균효과 검증

(가) 양파분말의 잠재적 위해 세균의 오염도 모니터링

- 국내산 양파 분말에 총 호기성 미생물이 4.1 ± 0.3 log CFU/g이 존재하였다. 그 중 곰팡이 및 효모는 3.7 ± 0.4 log CFU/g이었고, *Bacillus* 속은 2.5 ± 0.3 log CFU/g가 존재하는 것으로 나타났다(Table 14). 국외산 양파 분말에서는 총 호기성 미생물이 4.8 ± 0.3 log CFU/g이 존재하였다. *Bacillus* 속은 3.6 ± 0.1 log CFU/g가 존재하는 것으로 나타났으며, 곰팡이 및 효모는 검출되지 않았다. *Salmonella* 속, *E. coli* O157:H7, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringenes*, 그리고 coliform은 검출되지 않았다(detection limit: 10 CFU/g). Schweiggert 등(2007)에 따르면 양파 분말과 같은 향신료에 3-7 log CFU/g의 호기성균이 존재하고, 2-4 log CFU/g의 곰팡이 및 효모, 그리고 2-4 log CFU/g의 coliform이 존재한다. 향신료들은 원재료를 수확하고 가공하는 동안 미생물이 오염되기 때문에(Pezzutti et al., 2005) 최종 분말 제품 내 미생물 농도가 높게 나타나고 있다.
- 기존에 발표된 선행 연구 자료 및 문헌을 통하여 시중에서 유통되고 있는 양파분말의 잠재적 식중독 및 부패 원인균을 조사 분석하여 대상 식중독균은 *Salmonella* 속, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes*로 선정하였다.

Table 14. Microbial contamination of onion powder

Microorganisms	Microbial concentration (log CFU/g)	
	Domestic sample	Imported sample
Total aerobic microorganisms	4.2 ± 0.3	4.8 ± 0.3
<i>Bacillus</i> spp.	2.5 ± 0.3	3.6 ± 0.1
Yeast and molds	3.7 ± 0.4	
<i>E. coli</i> O157:H7		
<i>Salmonella</i> spp.		ND
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND	
Coliform		
<i>Clostridium</i> spp.		

ND: not detected

(나) CP parameter들과 최적 살균 조건 결정

- CP 처리 전 후의 양파 분말 표면 온도 측정: CP 처리 중의 양파 분말 시료 표면의 온도를 측정하여 CP 처리 전압, 시간 등의 parameter를 결정하였다.
- CP 처리 시간이 10분 일 때 양파 분말 시료 표면의 온도는 27.5-37.8°C였고, 20분 일 때, 양파 분말 시료 표면의 온도 역시 30.5-37.8°C였다. 또한 CP 처리 중의 chamber는 chamber 내 구간마다 온도가 달랐는데 최대 온도는 57.1°C였다.

(다) CP 처리에 의한 양파 분말의 미생물 저해 효과

- *S. enteritidis* (접종 농도: 5 log CFU/mL)이 9 kV에서 처리 시간(0, 5, 10, 12, 15, 그리고 20 분) 동안 CP 처리되었을 때 저해 농도는 0.00-2.30 log CFU/cm²로 처리 시간이 증가됨에 따라 미생물 저해 효과가 높아지는 것을 관찰하였다. 하지만 처리 전압의 증가에 따른 미생물 저해 효과가 높아지는 현상은 관찰할 수 없었다(Table 15).
- *E. coli* O157:H7(접종 농도: 5 log CFU/mL)이 처리 전압(4, 5, 6, 7, 8, 그리고 9 kV)에 따른 CP 처리의 저해효과를 알아보았다. 모든 처리 전압 조건에서 10 분 처리되었을 때 저해 농도는 0.40-0.85 log CFU/cm²로 모든 처리군에서 저해 농도는 1 log CFU/cm² 이하로 저해 효과는 없었지만 처리 시간이 증가됨에 따라 미생물 저해 효과가 높아지는 것을 관찰하였다. Hong 등(2009)의 연구에 따르면 *E. coli*를 RF를 이용해 헬륨-산소 혼합 가스로 생성된 electrical discharge plasma로 처리하였을 때 처리 시간이 증가함에 따라 *E. coli*의 저해도가 증가하였다. Korachi 등 (2010)의 연구에서도 물에 존재하는 *E. coli*에 대해 DC (12 그리고 20 kV) 또는 AC (12 kV) 고전압을 이용한 atmospheric corona discharge plasma 처리를 하였을 때 처리 시간이 증가함에 따라 저해가 많이 발생하였다고 보고하였다. 이는 plasma 내 미생물을 사멸에 이르게 하는 주요 라디칼의 영향을 받는 시간이 증가되었기 때문으로 사료되었다.
- *L. monocytogenes* (접종 농도: 5 log CFU/mL)의 경우 9 kV에서 20분 처리되었을 때 0.70 log CFU/cm²로 최대 저해 농도를 보였지만 모든 처리 군에서 저해 농도가 1 log CFU/cm²이하로 저해되어 저해 효과가 없었다 (Table 15).

Table 15. Effects of CP treatment on inhibition microorganisms of the onion powder

Plasma forming gas	Flow rate (L/min)	Microorganisms	Treatment voltage (kV)	Treatment time (min)	Reduction rate (log CFU/cm ²)	Surface temp. (°C)
Helium	30	<i>S. enteritidis</i>	4	10	0.61	31.5
			5		0.70	33.1
			6		0.59	34.5
			7		1.21	35.1
			8		1.00	33.7
					0.85	32.8
			9	0	0.00	-
			5	0.23	34.8	
			12	1.02	31.8	
			15	1.57	32.5	
			20	2.30	31.0	
			<i>E. coli</i> O157:H7	4	10	0.40
		5		0.65		30.0
		6		0.83		34.1
		7		0.74		33.1
		8		0.87		35.0
				0.85		27.1
		9		0	0.00	-
		5		0.00	32.9	
		12		0.67	29.5	
		15		1.13	31.9	
		20		1.38	32.0	
		<i>L. monocytogenes</i>		9	0	0.00
			5	0.00	28.4	
10	0.03		33.6			
12	0.00		34.2			
15	0.53		36.8			
20	0.70		35.2			

- 양파 분말의 수분활성도(Fig. 10)가 0.4, 0.6, 그리고 0.8이었을 때, *E. coli* O157:H7의 저해율은 각각 1.4 ± 0.2 , 1.7 ± 0.3 , 그리고 2.2 ± 0.1 log CFU/cm²이었고($p < 0.05$), *S. enteritidis*의 저해율은 2.2 ± 0.1 , 2.6 ± 0.3 , 그리고 2.5 ± 0.1 log CFU/cm²이었다($p > 0.05$). 또한, *L. monocytogenes*도 수분활성도가 0.4에서 0.6, 그리고 0.8로 증가했을 때 0.7 ± 0.2 에서 1.5 ± 0.6 , 그리고 1.9 ± 0.3 log CFU/cm²의 저해율을 보여 양파 분말의 수분활성도 증가가 미생물 억제 향상에 도움이 되는 것을 알 수 있었다. CP 처리에 의한 미생물 억제 정도는 식품 시료의 수분활성도, pH, 구성 성분(예, 지방 함량), 그리고 표면 구조 등에 영향을 받는다. 미생물 세포벽은 수분활성도가 0.2-0.6으로 낮을 때 단백질 상호 결합이 안정화되어 CP 처리에 대해 저항성이 생길 수 있다. Lee 등도 건무화과의 수분활성도가 0.7에서 0.9로 증가할 때 CP 처리에 의한 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes* 저해율이 각각 0.5에서 1.3 log CFU/g으로 그리고 1.0에서 1.6 log CFU/g으로 증가하여 처리 시료의 수분활성도가 높을 때 억제 정도도 증가한다는 결과를 보고하였다.

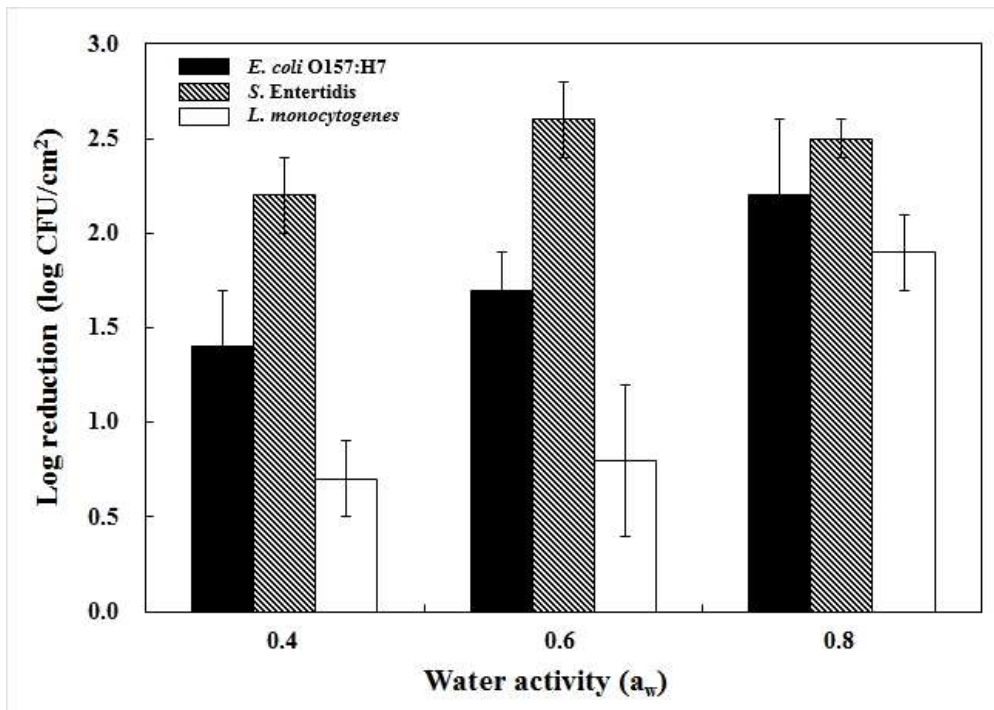


Fig. 10. Effects of water activity on the inhibition of microorganisms on onion powder by helium cold plasma treatment at 9 kV for 10 min

- 양파 분말의 입자 크기가 0.3 cm²에서 0.6 cm², 그리고 1.0 cm²로 증가하였을 때, *E. coli* O157:H7의 저해율도 1.2 ± 0.3 log CFU/cm²에서 1.6 ± 0.2 log CFU/cm², 그리고 2.3 ± 0.4 log CFU/cm²로 증가하는 경향을 보였다($p < 0.05$) (Fig. 11). 양파 분말의 입자 크기가 0.3 cm²에서 0.6 cm², 그리고 1.0 cm²로 증가하였을 때 *S. enteritidis*와 *L. monocytogenes*의 저해율은 각각 1.5 ± 0.2 log CFU/cm², 1.9 ± 0.2 log CFU/cm², 그리고 2.1 ± 0.1 log CFU/cm²의 저해율과 0.5 ± 0.1 , 1.3 ± 0.2 , 그리고 1.6 ± 0.1 log CFU/cm²의 저해율을 보여 양파 분말의 크기가 클수록 억제가 잘 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

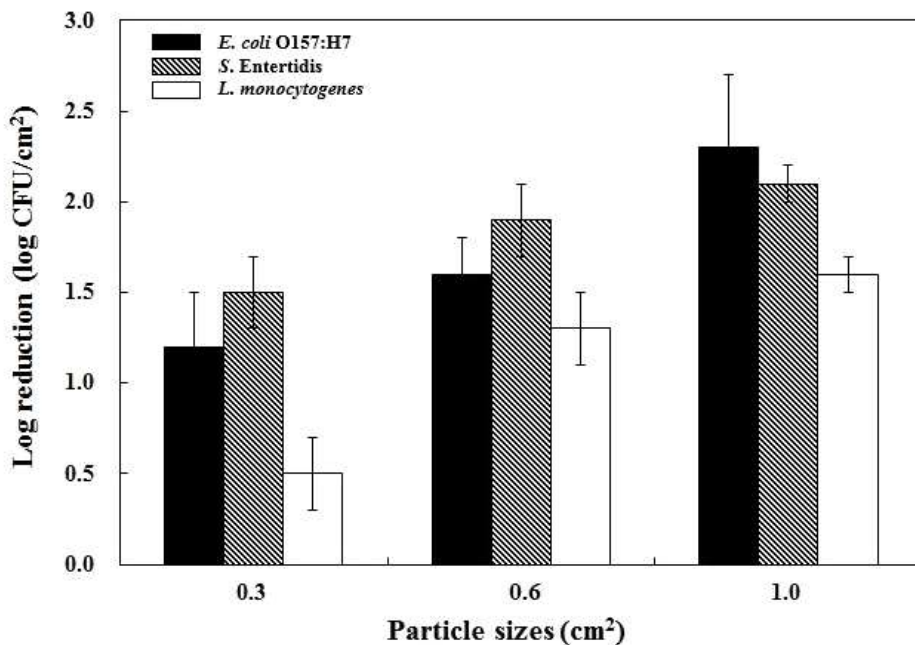


Fig. 11. Effects of particle sizes of onion powder on the inhibition of microorganisms by helium cold plasma treatment at 9 kV for 10 min

(라) 식중독균 저해 예측에 적합한 model 및 model parameter 값들의 결정

○ 새로운 살균 방법을 상업적으로 적용하기 위해서는 미생물 저해를 예측하는 모델을 결정하는 것이 필수적이다(Fröhling et al., 2012). 저해 예측 모델들의 적합성은 각 모델들의 R^2 값을 비교함으로써 판단되었다. 처리 시간을 변수로 한 일차반응속도모델(first-order model)(식 (2), (3)), Fermi's model (식 (4))의 R^2 값은 각각 81.44, 81.53, 그리고 91.23이었다. 사용된 모든 모델 식에서 R^2 값이 0.7 이상으로 높게 나타났고, Fermi's model이 CP에 의한 양과 분말에 접종된 *S. enteritidis*의 저해를 가장 적절히 예측해주었다. 따라서 R^2 값이 0.8 이상인 처리 시간이 변수인 일차반응속도 모델과 Fermi's model은 CP에 의한 양과분말에 접종된 *S. enteritidis*의 저해를 잘 성립시키는 것으로 나타났다.

○ CP 살균 시스템의 최적 살균조건 및 scale-up, 실용화에 필요한 자료 데이터베이스화: 처리 전압이 7, 8, 9, 그리고 10 kV였을 때 양과 분말의 *E. coli* O157:H7 수는 7.3 ± 0.1 log CFU/cm²에서 각각 1.0 ± 0.4 , 0.8 ± 0.3 , 0.9 ± 0.1 , 그리고 1.4 ± 0.5 log CFU/cm²만큼 감소되었다 (Fig. 12). 모든 처리 전압에서 *E. coli* O157:H7은 유의적으로 억제되었으나($p > 0.05$), CP 전압과 *E. coli* O157:H7 억제 간 뚜렷한 비례관계는 보이지 않았다. *S. enteritidis* (초기 수: 5.1 ± 0.4 log CFU/cm²)의 경우에는 처리 전압이 7, 8, 9, 그리고 10 kV으로 증가했을 때 그 수가 각각 0.7 ± 0.4 , 1.1 ± 0.2 , 1.2 ± 0.3 , 그리고 1.4 ± 0.3 log CFU/cm²만큼 감소하여($p > 0.05$) 전압 증가에 따른 억제 증가 경향이 나타났다. *L. monocytogenes*은 7, 8, 9, 그리고 10 kV 전압의 CP 처리에 의하여 0.9 ± 0.0 , 0.5 ± 0.1 , 0.9 ± 0.3 , 그리고 0.6 ± 0.3 log CFU/cm²만큼 억제되어($p < 0.05$), 모든 처리 전압에서 1 log CFU/cm²미만의 억제 효과를 보였다(초기 농도: 7.4 ± 0.2 log CFU/cm²).

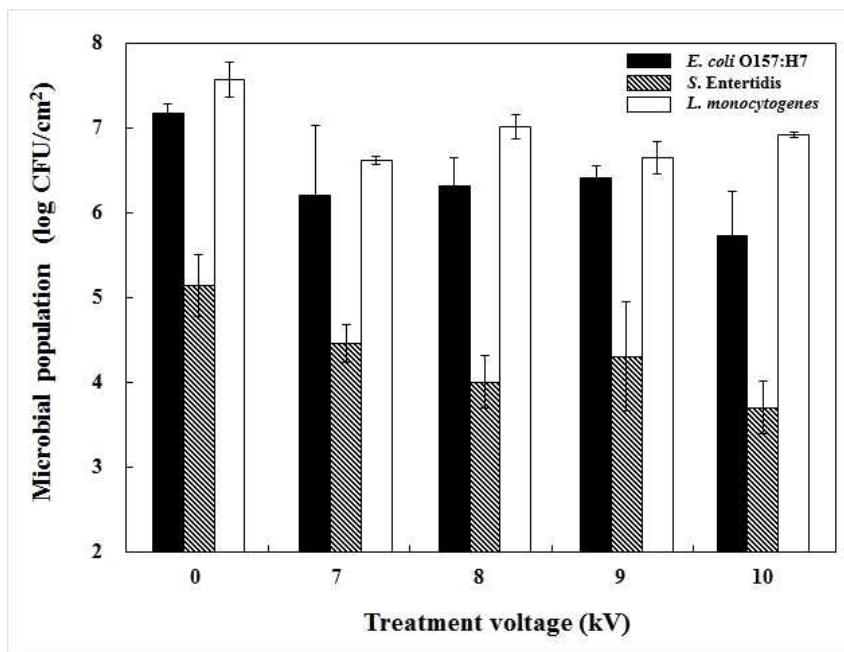


Fig. 12. Effects of treatment voltage on the inhibition of microorganisms on onion powder by helium cold plasma treatment for 10 min

○ 플라즈마 처리 시간에 따른 미생물 억제 효과를 알아보기 위해 5-20 분간 CP 처리하였다(Fig. 13). *E. coli* O157:H7가 접종된 양파 분말을 5, 10, 15, 그리고 20 분간 처리하였을 때 각각 0.4 ± 0.1 , 0.8 ± 0.3 , 0.9 ± 0.1 , 그리고 1.4 ± 0.5 log CFU/cm²만큼 억제되었고, 15 분 이상 처리에서 유의적으로 억제가 이루어졌다($p > 0.05$). *S. enteritidis*의 경우에는 10 분 이상의 처리를 통해 유의적인 억제 효과를 얻을 수 있었다($p > 0.05$). *L. monocytogenes*의 경우에는 20 분 처리에서만 유의적인 억제를 확인할 수 있었다

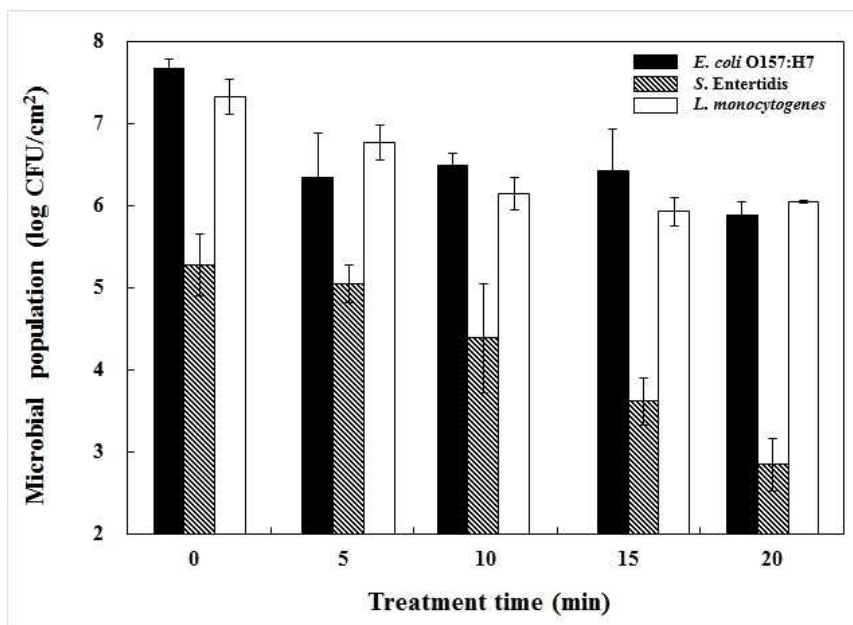


Fig. 13. Effects of treatment time on the inhibition of microorganisms on onion powder by helium cold plasma treatment at 9 kV

(2) CP 처리에 의한 양파분말의 이화학적 특성의 분석

(가) 비타민 C

○ CP 처리 후 양파 분말 내 비타민 C의 함량에 대한 결과를 Table 16에 나타내었다. CP 처리된 직후에 측정된 비타민 C의 경우 처리되지 않은 양파 분말의 비타민 C에 비해 낮은 농도로 검출되었는데, 이는 CP 처리시 생성되는 플라즈마 내 reactive species와 자유 라디칼 등의 활동성이 높아 자유 라디칼 등과 강한 환원성을 가진 비타민 C는 산화 환원 작용을 하여 비타민 C가 산화되어 CP 처리에 의해 비타민 C의 함량이 감소되었을 것으로 사료되었다.

Table 16. Effects of CP treatment (helium gas, 9 kV, 20 min) on the concentrations of vitamin C of the onion powder.

Vitamin C (mg/10g)	
Untreated sample	CP treated sample
6.20±0.02	5.80±0.04

(나) 색도

○ CP 처리 후 양파 분말 내 색도에 대한 결과를 Table 17에 나타내었다. Rico (2010)은 양파 분말을 살균하는데 있어 높은 온도의 살균 처리는 양파 분말의 색도를 감퇴시켜 품질에 영향을 준다고 하였다. CP 처리 직후 양파 분말의 표면의 온도는 27.1-36.8°C로 처리 후의 시료 표면의 L*, a* 그리고 b* 값이 증가되는 현상은 보이지 않았다.

Table 17. Effects of dielectric barrier discharge cold plasma treatments (helium gas, 9 kV) on the color (CIE Lab) of the onion powder

Treatment time (min)	Color (CIE Lab)		
	L*	a*	b*
0	65.4±2.5 a	5.6±0.8 a	23.8±1.3 a
5	61.7±3.2 a	5.4±1.1 a	21.0±1.7 a
12	65.7±1.1 a	5.0±0.1 a	22.0±1.6 a
20	64.0±5.0 a	5.0±0.7 a	19.6±1.8a

1) Different letter within a row are significantly different ($p < 0.05$).

(다) 향기 성분

○ CP 처리 후 양파 분말의 향기성분에 대한 결과를 Fig. 14에 나타내었다. DF1과 DF2를 비교하여 볼 때, DF1의 F값은 289.48, DF2의 F값은 100.03로 약 3배에 해당하는 차이가 나타나는 것으로 보아 주로 DF1에 의한 영향력을 받는 것을 알 수 있다. 냄새를 갖지 않은 공기를 대조구로 보았을 때 공기가 양의 방향에 위치하였고, 양파 시료가 음의 방향에 위치하는 것으로 볼 수 있다. 때문에 DF1의 음의 방향으로 이동할수록 향기성분이 증가한다고 볼 수 있다. DF1 기준으로 CP처리한 양파 시료는 control 시료와 DF1의 방향으로 비교적 가까운 거리차를 가지고 있어서 휘발 성분의 양이 비슷한 것으로 사료된다. 즉, CP처리한 양파 시료는 CP 처리하지 않은 시료(control sample)와 DF1의 방향으로 비교적 가까운 거리차를 가지고 있어서 휘발 성분의 양이 비슷한 것으로 사료되어 CP 처리는 양파 분말의 향기 성분에 큰 영향을 미치지 않았다.

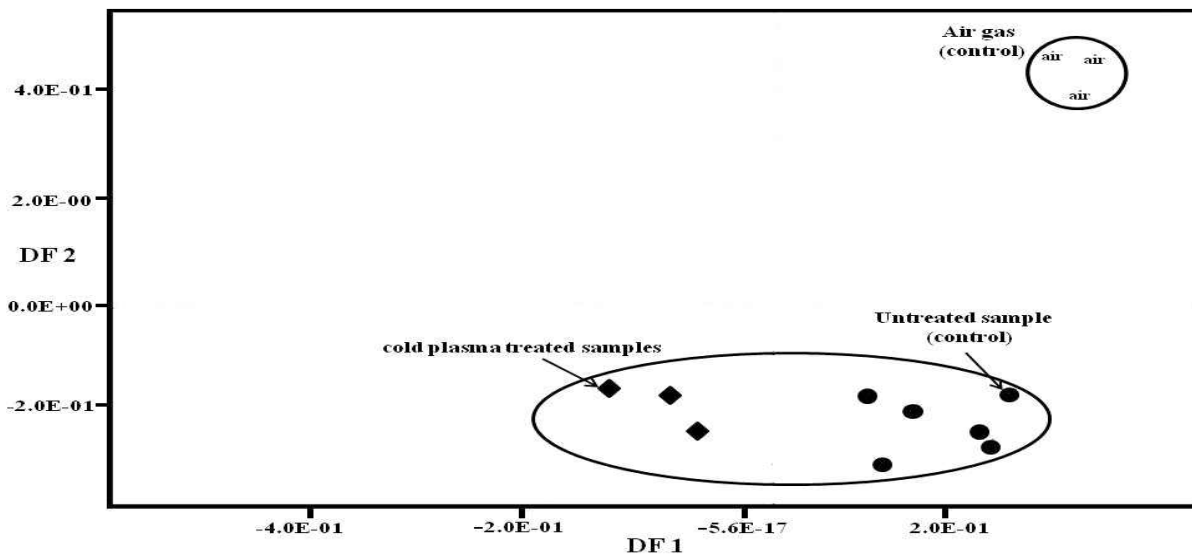


Fig. 14. Discriminant Function Analysis (DFA) plots of the results from the analysis of onion samples; air gas (control), untreated sample (control), CP treated sample.

(라) 살균 효과 검증

○ 처리 시간, 처리 전력을 변수로 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes*를 양파 분말에 접종하여 CP 처리 하였을 때(Fig. 15), 처리 전압에 따른 미생물 저해 효과의 차이는 없었고 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7의 경우 처리 시간이 길어질수록 미생물 저해 효과가 커지는 것을 관찰하였다. 또한 *S. enteritidis*를 접종한 양파 분말은 처리 전압이 가장 높았던 9 kV에서 최대 처리 시간인 20 분 CP 처리 하였을 때 미생물 저해 효과가 높았다. 본 연구 결과를 통해 진공 건조 된 양파를 시료화 한 후 SWU-4 system에서 9 kV에서 20 분간 CP 처리 한다면 *S. enteritidis*에 대한 안전성이 높은 양파 분말 제품을 생산할 수 있을 것으로 보인다.

(마) 2차년도 CP 실험 장치

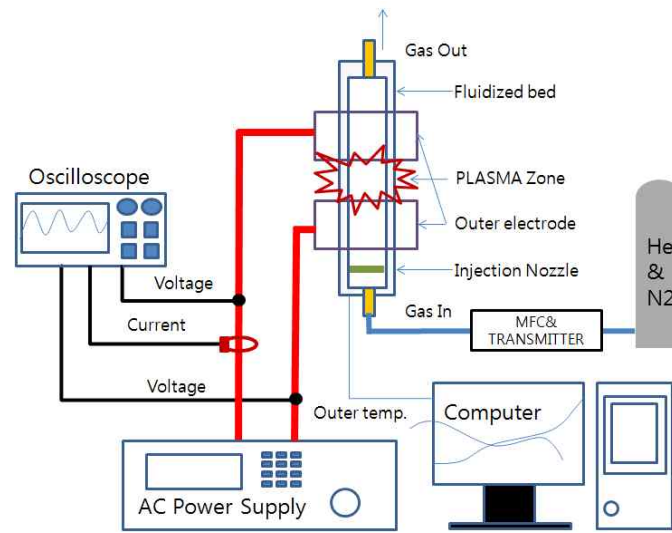


Fig. 15. DBD CP system

3. 3차년도 연구수행 내용 및 결과 (서울여대 위탁)

<연구 내용>

가. 양파 분말 살균을 위한 pilot-scale의 CP 살균 시스템 설계

(1) 식품산업체에 적용 가능한 pilot-scale의 CP 살균 시스템 설계

(가) CP 살균시스템은 플라즈마 입력 변수(전력, Frequency, 가스의 종류 및 유량 등)에 따른 멸균효과 분석

- **시료:** 신선한 양파(*Allium cepa* L.)는 수돗물로 깨끗이 세척하여 12 × 12 cm 크기로 절단한 후, 진공 건조기(Fisher Isotemp Vacuum Oven Morel 281, Fisher Scientific, Pittsburgh, PA, USA)를 이용하여 진공 건조(28 kPa, 60-65°C, 8-10 시간)하였다. 건조된 양파는 0.5 × 0.5 cm (0.3 cm²)의 크기로 분말화한 후 desiccator에 저장하여 상대습도 (relative humidity, RH)를 13±3.0%로 조절해 주었다.
- **접종원 준비:** *S. Enteritidis* (CCARM 8040), *E. coli* O157:H7 (ATCC 43890), *Listeria monocytogenes* (KCTC 3569)는 tryptic soy agar (TSA; Difco., Sparks, MD, USA)와 tryptic soy broth (TSB; Difco.)에 37°C에서 24 시간 동안 계대 배양하였다. TSB에 배양시킨 각각의 미생물을 원심분리(4,000 ×g, 15 분, 22°C)한 후 0.1% (w/v) 펩톤수(Difco.)로 세 번 세척하였다. 세척된 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes* (약 9 log CFU/mL)를 0.1% 펩톤수(Difco.)로 6 log CFU/mL만큼 희석하여 접종원으로 사용하였다. *Aspergillus brasiliensis* (KCCM 160404)와 *Bacillus cereus* 혼합 균주 (ATCC 10876, ATCC 13061, W-1)는 tryptic soy agar (TSA; Difco., Sparks, MD, USA)와 tryptic soy broth (TSB; Difco.)에 37°C에서 24시간 동안 계대 배양하였다. TSB에 배양시킨 각각의 미생물을 원심분리(4,000 ×g, 15 분, 22°C) 후 0.1% (w/v) 펩톤수(Difco.)로 3 회 세척하였다. 세척된 *A. brasiliensis*와 *B. cereus* (약 9 log CFU/mL)를 0.1% 펩톤수(Difco.)로 6 log CFU/mL만큼 희석하여 접종원으로 사용하였다.
- **미생물 접종:** 접종 전, 양파 분말(10 개, 2.5 cm²)의 양면을 각각 30분 동안(총 1시간) ultra-violet (UV) 살균하였다. 살균된 양파에 1 mL의 접종원(약 6 log CFU/mL)을 1분 동안 침지 접종하였다. 접종된 양파 분말 시료는 25±2°C에서 1시간 동안 건조시켰다.
- **유전체 장벽 (dielectric barrier discharge) CP (CP) 처리:** 본 연구에서 사용한 CP 처리 시스템은 3차 년도에 개발된 pilot scale의 반응기였다(Fig. 16). 플라즈마 형성 가스는 헬륨(helium, He)이었으며 He과 humidified He이 plasma reactor으로 유입되는 속도는 각각 23.5와 1.5 L/min이었다. 처리 전압은 2차년도에서 최적화된 9 kV를 사용하였다. CP 처리 공정 파라미터의 영향을 관찰하기 위해 사용한 처리 frequency는 15, 25, 그리고 35 kHz이었고, 처리 시간은 2, 5, 10, 그리고 20분이었다.
- **표면 온도:** CP 처리 전후의 양파 분말의 표면 온도는 infrared thermometer (DT 44L, DIAS Infrared GmbH, Dresden, Germany)를 이용하여 측정하였다.

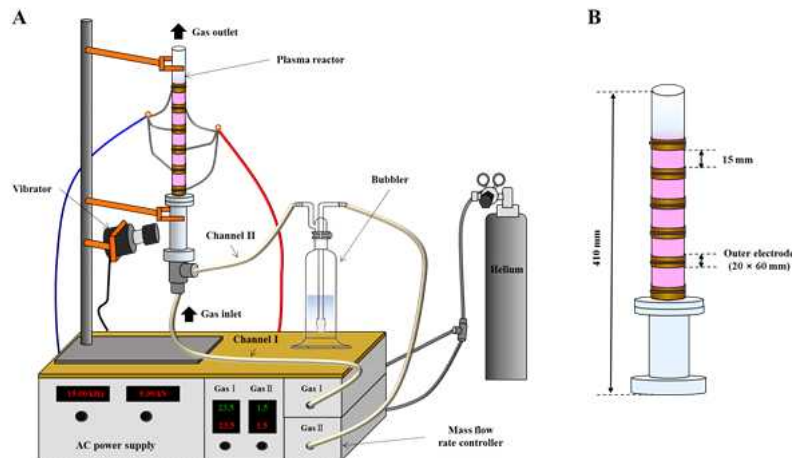


Fig. 16. Illustration of the dielectric discharge CP treatments system used in the current study (A) and CP formation in the plasma reactor (B)

- **미생물 분석:** CP 처리 전후의 양과 분말을 2 mL의 0.1% 펩톤수(Difco.)를 가하여 3분 동안 blending하였다. 0.1% 펩톤수(Difco.)를 이용하여 균체를 희석시킨 후 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes*를 검출하기 위해서 각각 xylose lysine deoxycholate agar (XLD; Difco.), Sorbitol MacConkey agar (SMAC, Difco.), 그리고 TSA에 도말하였다. 각각의 플레이트는 37°C에서 24-36시간 동안 배양하였다. *A. brasiliensis*와 *B. cereus*의 포자를 검출하기 위해서 각각 potato dextrose agar (PDA; Difco.)와 TSA (Difco.)에 도말하였다. TSA의 플레이트는 37°C에서 24-36시간 동안 배양하였고, PDA의 플레이트는 25°C에서 5-7일 동안 배양하였다.
- **미생물 저해 모델링:** CP 처리 시간의 영향을 미생물 저해 모델링을 통해 알아보았다. 모델 미생물은 식중독균인 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*이었고, parameter는 처리 시간(2, 5, 10, 20 분)이었고, 처리 전압과 frequency는 각각 9 kV와 15 kHz로 고정하였다. CP 처리 전후의 미생물의 농도로 Eq. 1을 이용해 residual microbial concentration (RM)을 구하였다. 데이터들은 first-order kinetics model (Eq. 2), Fermi's model (Eq. 3), 그리고 Weibull model (Eq. 4)에 적용하였다.

$$RM = N / N_0 \quad \text{Eq. 1}$$

N: microbial concentration after CPT, N_0 : microbial concentration without CPT

$$\ln (RM) = -kt \quad \text{Eq. 2}$$

t: treatment time (min), k: first-order kinetic constant

$$RM = 1/1+\exp (t-t_h/a) \quad \text{Eq. 3}$$

t_h : treatment time (min) when RM is 0.5,

a: the parameter indicating the slope of the curve around t_h

$$\log N = \log N_0 - (t / \delta) s \quad \text{Eq. 4}$$

δ : scale parameter, s: shape parameter

- **Optical emission spectroscopy (OES):** 수증기 유입 여부에 따른 플라즈마 내 excited species는 optical emission spectrometer (Ocean optics spectrometer, HR4000CG-UV-NIR, Ocean Optics, FL, USA)를 이용해 측정하였다.
- **수분 함량:** CP 처리 전후의 양파 시료(3.5 g)를 수분 함량 측정기(i-Thermo 163 L, Bel Engineering Inc., Milan, Italy)를 이용하여 105°C까지 건조시켜 수분 함량을 측정하였다.
- **색도:** CP 처리에 의한 색도 변화는 색도계(Minolta Chroma Meter, model CR-400, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였다. 시료(3 g)를 가득 채운 Petri dish (지름: 35 mm)를 표준 백색판(Calibration Plate CR-400)에 올려 양파 분말 표면의 명도(lightness, L*), 적색도(redness, a*), 황색도(yellowness, b*) 값을 측정하였다.
- **Ascorbic acid:** 양파 시료 내 ascorbic acid는 다음과 같이 분석하였다. 양파 시료 0.3 g을 100% methanol 3 mL에 넣어 30 분 동안 진탕하여 ascorbic acid를 추출하고 원심분리(1,000 ×g, 20 분) 한 후 상층액을 0.45 μm nylon syringe filter (Whatman 6750-2504 syringe filter, Picataway, NJ, USA)로 여과하였다. 양파에서 추출한 ascorbic acid 시료는 1.0 mL/min의 유속으로 흐르는 100% methanol에 20 μL만큼 주입하여 high performance liquid chromatography (HPLC, Agilent 1100 series, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)와 UV-vis detector (SPC-10Avp, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 254 nm의 파장에서 분석하였다. 컬럼(Symmetry® C18, 5 μm, 4.6 × 250 mm I.D., Waters Co., Milford, MA, USA)의 온도는 컬럼 오븐(G1316A, Agilent Technologies)을 이용하여 23±2°C로 유지시켰다.
- **Quercetin:** 양파 내 quercetin은 다음과 같이 분석하였다. 양파 분말(0.5 g)을 각각 5 mL의 3차 증류수와 acetonitrile(Samchun Chemical Co., Ltd., Seoul, Korea)에 순서대로 넣고 30 분 동안 진탕 배양하여 quercetin을 추출하였다. 추출물을 Whatman filter paper (No. 2; Whatman Ltd.)로 여과시킨 후 0.45 μm nylon syringe (Whatman Ltd.)로 한 번 더 여과하였고 HPLC (Agilent Technologies)를 사용하여 분석하였다. 1.0 mL/min 유속으로 흐르는 1% trifluoroacetic acid가 첨가된 50% acetonitrile/deionized water (1:1, v/v)에 20 μL의 시료를 주입하여 370 nm의 파장에서 시료 내 quercetin을 분석하였다. 컬럼(Waters Co.)의 온도는 40±2°C로 유지시켰다.
- **표면 미세 구조:** 양파 분말의 표면 미세 구조는 다음과 같은 방법으로 관찰하였다. Petri dish안에 양파 분말을 넣고 1 mL의 1% (w/v) osmium tetroxide (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 분주한 후, osmium tetroxide의 증기를 이용하여 하루 동안 시료를 25±2°C에서 고정시켰다. 양파 분말의 표면 미세 구조를 관찰하기 위한 field emission-scanning electron microscopy (FE-SEM; S-4700, Hitachi, Tokyo, Japan)의 측정 조건은 5 kV와 300 ×배율이었다.

- 통계 분석: CP 처리의 미생물 저해 효과를 보기 위한 실험은 3 회 반복하였고, 측정의 반복은 3 회였다(n=9). CP 처리에 의한 양파 분말의 수분 함량, 색도, 그리고 ascorbic acid와 quercetin 함량의 변화를 알아보기 위한 실험은 2 회 반복하였고, 측정의 반복은 3 회 이루어졌다(n=6). 평균값의 차이를 SPSS (ver. 23.0.0; IBM SPSS Inc., New York, NY, USA)의 일원 배치 분산 분석법(one-way analysis of variance, ANOVA)을 사용하여 분석하였고, 유의차가 있는 경우는 Tukey 다중 범위 검증(Tukey's multiple range test)를 실시하였다($\alpha=0.05$).

나) Pilot-scale의 plasma reactor

1, 2 차 년도 수행된 내용을 토대로 CP 살균 시스템의 최적 살균조건 및 scale-up, 실용화에 필요한 자료의 데이터베이스화, 처리 시간, 처리 전력을 변수로 pilot scale의 DBD CP 처리 하였을 때, 처리 전압에 따른 미생물 저해 효과의 차이는 없었고 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7의 경우 처리 시간이 길어질수록 미생물 저해 효과가 커지는 것을 관찰하였다. 이를 토대로 scale-up과 실용화를 위하여 처리 시간 증가에 따른 CP system의 플라즈마 형성 안정화를 위해 온도 조절 시스템을 도입하여 CP 처리하였다. pilot scale의 DBD CP system은 다음 Fig. 17 과 같다.

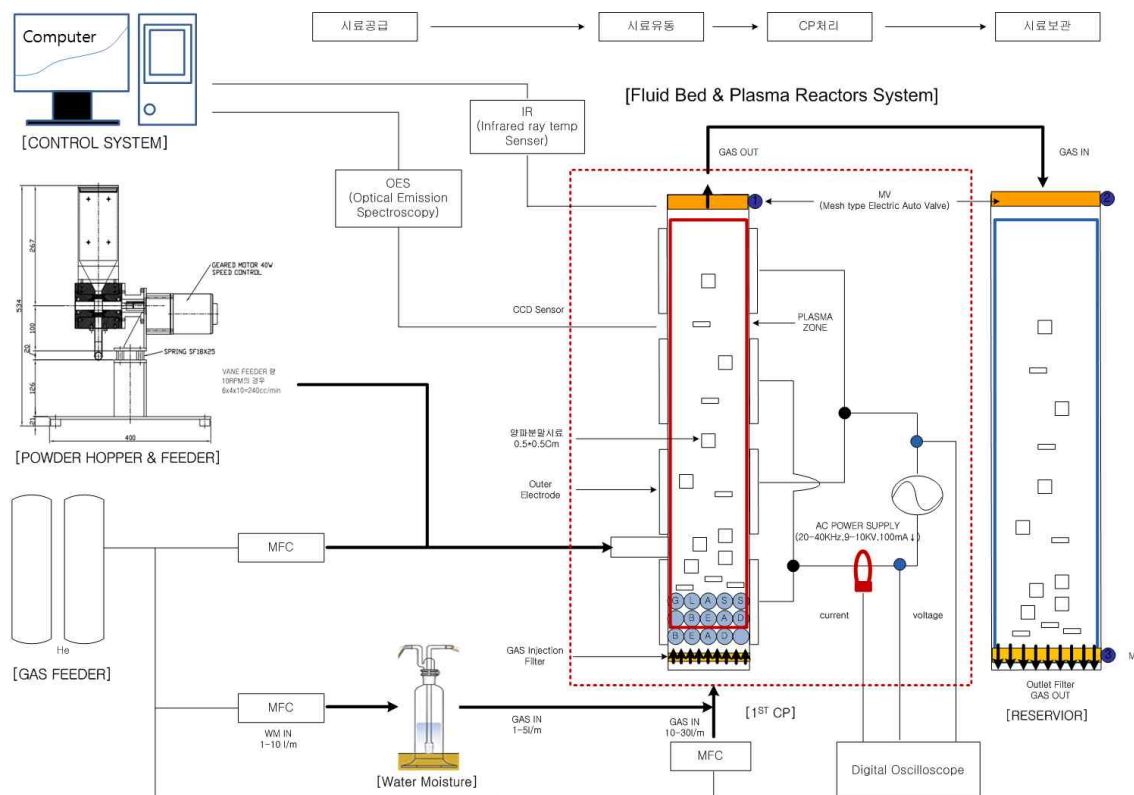


Fig. 17. Diagram of the pilot scale system developed in the third year of research

(3) 식품제조공정의 CP 살균 가이드라인 확립

(가) 연구 결과를 종합하여 CP 살균 시스템의 산업적 적용에 요구되는 분말 살균 가이드라인 확립

- 식품에서의 CP 살균 연구와 분체식품에서의 적용 가능성을 알아보았고, 식품 적용을 위한 현 대응방안과 관련 정부 규제, 국내외 동향 등을 조사하여 CP 살균 시스템을 분체식품 등 다양한 식품에 적용하기에 앞서 정부와 기업에서의 규제방안과 기준을 제시하였다.
- 1차 년도부터 3차 년도까지의 연구결과를 바탕으로 분체 식품에 적용 가능한 파일릿 장비의 설계요소와 식품가공 단계에서의 제조 공정을 제안하였다.

<연구 결과>

(1) 식품산업체에 적용 가능한 pilot-scale의 CP 살균 시스템 설계

(가) Pilot-scale cold plasma reactor를 이용한 양파 분말 식중독균 저해

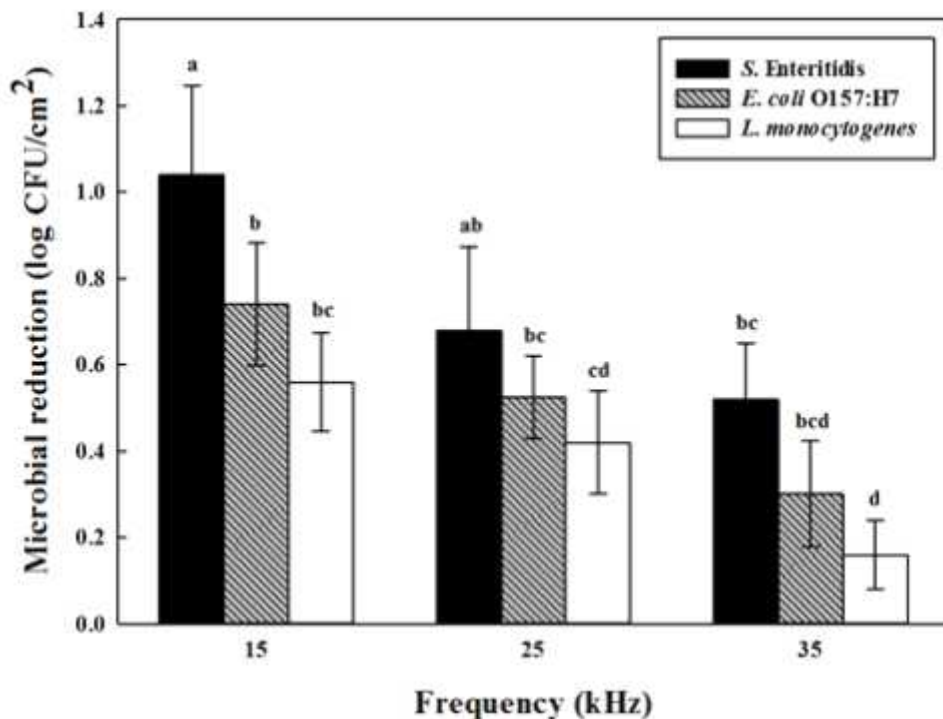


Fig. 18. Effects of treatment frequency on the inactivation of *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* on onion powder by water vaporization-combined helium dielectric discharge barrier CP treatment at 9 kV for 5 min. Error bars denote standard deviation (n=9). Different letters refer to significance among the levels of treatment frequency and the types of microorganisms.

- 처리 frequency에 따른 미생물 저감 효과: CP 처리 (9 kV, 5분)의 frequency (15, 25, 35 kHz)에 따른 미생물 저해 효과를 나타내었다. 모든 미생물에서 처리 frequency가 낮아질수록 미생물 저해 효과가 증가하였다(Fig. 18)
- *E. coli* O157:H7과 *Listeria monocytogenes*의 저해율은 모든 처리 frequency에서 1 log CFU/cm²이하로 CP 처리 (9 kV, 5 min)에 의한 유의적인 저해 효과가 없었다(Fig. 18).
- *S. enteritidis*의 경우에는 15 kHz에서 처리하였을 때 90% 이상 유의적으로 저해하였고, CP 처리에 의한 미생물 저해 효과는 *S. enteritidis* > *E. coli* O157:H7 > *Listeria monocytogenes* 순서대로 높은 결과를 보였다. 이는 *S. enteritidis*와 *E. coli* O157:H7은 세포벽이 두꺼운 그람 양성균인 *Listeria monocytogenes*와 달리 CP에 대한 민감성이 비교적 큰 것이라고 판단되었다.

- 처리 frequency가 높아질수록 미생물 저해 효과가 감소하였는데 이는 고주파 영역에서는 오히려 주파수가 증가할수록 와전류 손실(Eddy current loss)이 증가하여 전류가 흐를 가능성이 낮기 때문에 미생물 저해 효과가 감소하는 것으로 판단되었다. 미생물을 효과적으로 저해시키기 위한 최적 CP 처리 frequency 조건은 15 kHz로 결정하였다.
- 처리 시간에 따른 미생물 저감 효과: CP (9 kV, 15 kHz) 처리 시간(2, 5, 10, 20 분)에 따른 미생물 저해 효과를 Fig. 19에 나타내었다.

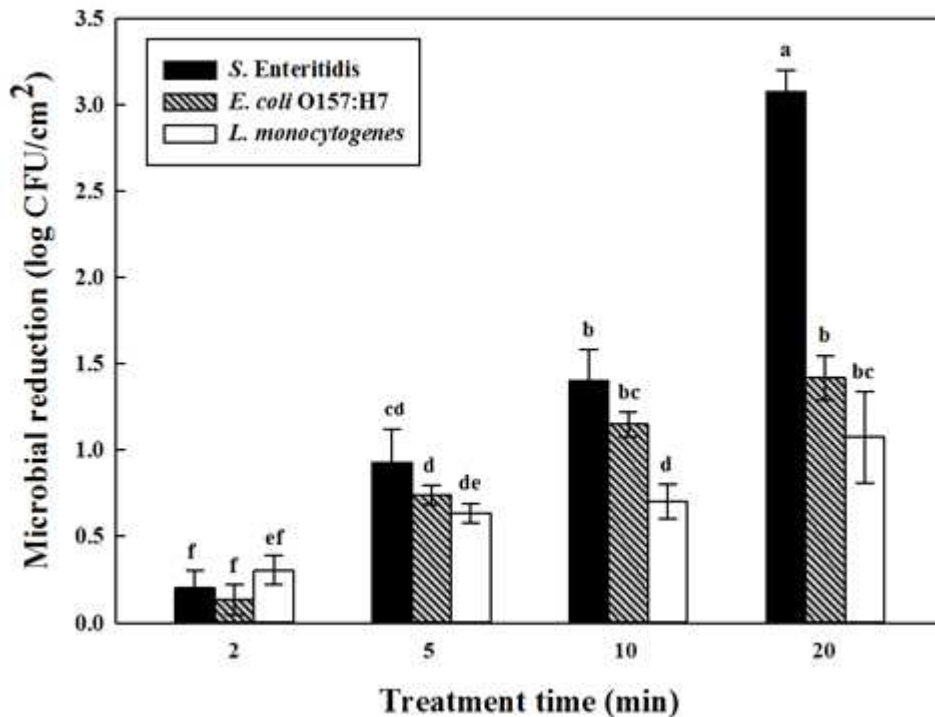


Fig. 19. Effects of treatment time on the inactivation of *Salmonella enteritidis*, *Escherchia coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* on onion powder by water vaporization-combined helium dielectric discharge barrier CP treatment with 15 kHz at 9 kV. Error bars denote standard deviation (n=9). Different letters refer to significance between the levels of treatment frequency and the types of microorganisms.

- 미생물 저해율은 처리 시간이 길어짐에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 10 분 동안 CP 처리하였을 때 *S. enteritidis*와 *E. coli* O157:H7를 90% 이상 저해시켰다. 20 분 동안 CP 처리에 의해 *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes*를 각각 3.1 ± 0.1 , 1.4 ± 0.1 , 그리고, 1.1 ± 0.3 log CFU/cm²만큼 저해시켰다(Fig. 19).
- 세 가지 식중독균의 미생물 저해율은 20 분 동안의 CP 처리조건에서 최대였으며, *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*는 90% 이상 저해되었고, *S. enteritidis* 같은 경우에는 3 log 이상의 높은 저해율을 보였다. 따라서, 미생물을 효과적으로 저해시키기 위한 최적의 CP 처리 시간은 20 분으로 결정하였다.

- CP 처리 시간을 변수로 한 미생물 저해 결과는 처리 frequency를 변수로 하였을 때와 마찬가지로 CP 처리에 대한 민감성은 *S. enteritidis* > *E. coli* O157:H7 > *L. monocytogenes* 순서로 높은 것을 확인하였다.
- 최적 CP 처리 조건(9 kV, 15 kHz, 20분)은 양파 분말에 접종된 *A. brasiliensis*와 *B. cereus*의 포자를 모두 $0.2 \pm 0.1 \log \text{ spores/cm}^2$ 만큼 저해하여 유의적인 저해 효과를 확인하지 못했다.
- **표면 온도 변화:** *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*을 가장 효과적으로 처리하기 위한 수증기 유입식 CP 처리의 최적 조건은 9 kV, 15 kHz, 그리고 20 분이었다. 최적 조건(9 kV, 15 kHz, 20 분)의 CP 처리 전 후의 양파 분말의 표면 온도는 $25.0 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 에서 $39.6 \pm 0.8^\circ\text{C}$ 까지 상승하여 15°C 내외의 온도 상승을 보였다.
- CP 처리에 의한 양파 분말의 온도 상승은 전류가 전극에 흐르는 동안 전극의 온도 상승으로 인한 것으로 사료되었다. CP 처리에 의한 온도 상승은 그 자체로서 미생물 저해 병합 처리로서 작용하거나 CP 내 excited species들의 분해를 촉진하여 CP 처리 효율을 높였을 가능성이 있다.
- 본 연구에서 구축된 최적 CP 처리 조건은 양파 분말의 비가열 살균 처리로서 적용할 수 있는 가능성을 보여주었다.
- **미생물 저해 모델링:** 살균 처리 기술을 상업적으로 적용하기 위해서는 저해 대상 미생물의 저해 효과를 예측할 수 있는 미생물 저해 모델을 제시하는 것이 반드시 필요하다.

Table 18. Fit between mathematical models and inactivation data for *S. enteritidis*, *E. coli* O157:H7, and *L. monocytogenes* assessed using correlation coefficients (R^2) and p-Value

Models	Strains					
	<i>S. enteritidis</i>		<i>E. coli</i> O157:H7		<i>L. monocytogenes</i>	
	p-Value	R^2	p-Value	R^2	p-Value	R^2
First model	0.000	0.96	0.000	0.85	0.014	0.32
Fermi's model	0.000	0.94	0.000	0.86	0.000	0.84
Weibull model	NA ^a	0.82	NA	0.80	NA	0.34

- 모든 식중독균에 대한 first-order kinetics model과 Fermi's model은 변수들의 관계를 적절하게 설명할 수 있었다(Table 18). CP 처리에 의한 *S. enteritidis*의 저해 효과는 first-order model, Fermi's model ($t_h=0.26$, $a=2.82$), 그리고 Weibull model ($\delta=9.25$, $s=1.29$)에 의해서 적절하게 설명되었다(Table 18). *E. coli* O157:H7의 CP 처리에 의한 저해 효과는 first-order model, Fermi's model ($t_h=1.03$, $a=6.52$), 그리고 Weibull model ($\delta=11.73$, $s=0.69$)에 의해서 적절하게 설명되었다(Table 18).
- *L. monocytogenes*의 저해 효과의 경우에는 first-order model과 Weibull model ($\delta=102.40$, $s=0.29$)에 의해서 잘 설명되지 않았으나 Fermi's model ($t_h=0.55$, $a=3.09$)에 의해서 적절하게 설명되었다(Table 18).
- Fermi's model은 미생물 종류와 상관없이 CP 처리 시간에 따른 미생물 저해 효과를 예측하기에 가장 적절한 저해 모델이었다. 향후 세 가지 미생물의 저해 효과는 본 연구를 통해 구축된 미생물 저해 모델을 적용하여 예측 가능할 것으로 사료되었다.
- OES 분석: He-CP 내에서 He과 H₂O 외에 N, N₂O, O₂, O₃, OH, 그리고 H₂등이 검출되었고(Fig. 20), 질소는 상압 CP 처리 중 대기압에서 유입되었을 것으로 판단되었다.
- 수증기를 유입시킨 He-CP내에는 O, O₃, OH등의 reactive oxygen species (ROS)와 H₂의 양이 증가한 것을 확인하였다(Fig. 20).
- 수증기 유입에 의해서 He-CP 내 증가한 ROS에 의해서 미생물 저해 효과가 향상된 것으로 사료되었다.

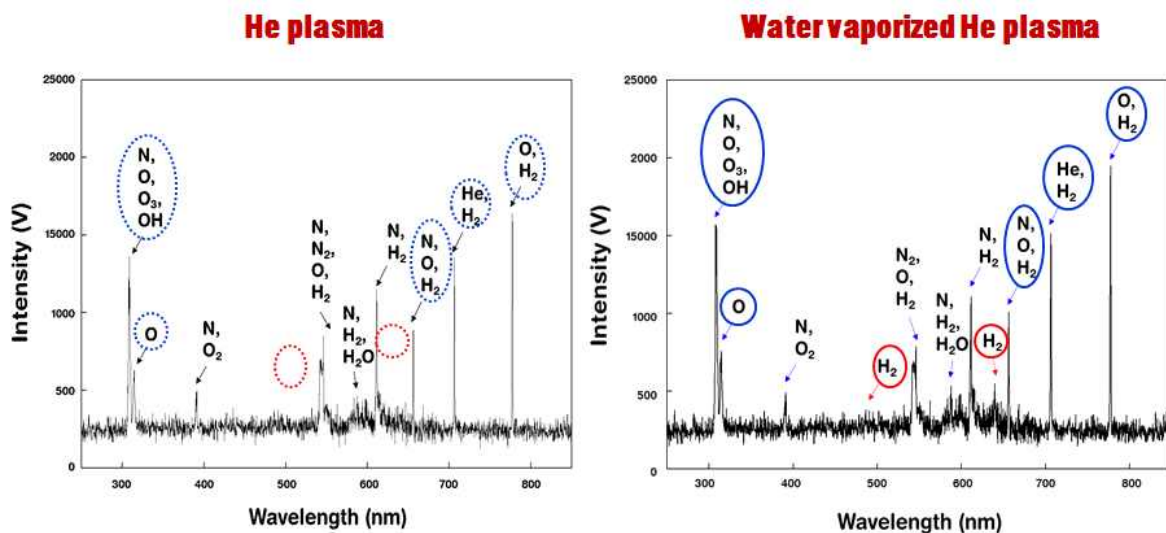


Fig. 20. Optical emission spectra during the helium dielectric discharge barrier CP treatment without (A) and without (B) water vaporization after 20 min exposure (250–850 nm).

(나) 이화학적 특성

○ CP 처리는 식품의 표면에 존재하는 비타민, 기능성 물질, 또는 영양 성분과 반응할 가능성이 있으므로 식품의 이화학적 특성에 대한 CP의 영향을 분석할 필요가 있다. 그러므로 본 연구에서는 양파 분말의 수분 함량, 색도 및 외관, ascorbic acid와 quercetin 함량, 그리고 표면 미세 구조와 같은 이화학적 특성에 대한 최적 He-CP 처리 (9 kV, 15 kHz, 20 분)의 영향을 관찰하였다.

Table 19. Effects of the water vaporization-combined dielectric barrier discharge helium CP (CP) treatment on the moisture content, color, ascorbic acid, and quercetin of onion powder

Treatment	Parameter ^a					Quercetin concentration (mg/100 g)
	Moisture content (%)	CIE color value			Ascorbic acid concentration (mg/g)	
		<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *		
Untreated	4.01±0.48 ^a	42.6±1.9 ^a	11.6±0.7 ^a	26.8±1.4 ^a	1.3±0.2 ^a	35.8±1.1 ^a
CP-treated ^b	4.30±0.45 ^a	42.8±3.1 ^a	11.7±0.3 ^a	26.6±1.2 ^a	1.3±0.4 ^a	36.3±1.6 ^a

^a Means±standard deviations from replication (n=6). Values with the same letter in the same column are not significantly different ($p>0.05$).

^b CP-forming gas, treatment voltage, frequency, and time were helium, 9 kV, 15 kHz, and 20 min, respectively.

○ **수분 함량:** 대조군과 CP 처리군 시료의 3.01-4.39 범위에서 측정되었고, CP 처리 여부에 따른 유의적인 차이는 없었다($p>0.05$; Table 19). SWU-3 시스템은 수증기 유입이 water bubbler를 이용하여 간접적으로 이루어졌는데, 이와 같은 수증기 주입 방식은 양파 분말의 수분 함량에 유의인 영향을 끼치지 않았다. 본 연구에서 수증기 유입식 CP 처리는 양파 분말의 수분 함량을 증가시키지 않는 분체 식품의 품질 저하를 유도하지 않는 살균 공정으로서의 가능성을 보여주었다.

○ **색도:** 대조군과 CP 처리군 양파 분말의 외관은 육안으로 보았을 때 다르지 않았다(Fig. 21). 양파 분말의 명도, 적색도, 그리고 황색도의 값은 각각 42.6-42.8, 11.6-11.7, 그리고 26.6-26.8으로 CP 처리 유무에 따른 유의적인 차이는 관찰되지 않았다($p>0.05$; Table 19). CP 처리가 가열 살균을 대체하게 된다면 분말 살균을 위한 가열 살균 공정 시 일어나는 분체 식품의 색도 변화로 인한 품질 저하를 해결할 수 있을 것이라고 기대되었다.



Fig. 21. Effects of water vaporization-combined CP treatment on the appearance of onion powder. Representative images of untreated onion powder (left) and treated onion powder (right) are shown. The plasma-forming gas, treatment voltage, frequency, and time were helium, 9 kV, 15 kHz, and 20 min, respectively.

- **Ascorbic acid:** 대조군과 CP 처리한 양파 분말 내 ascorbic acid 함량은 유의적인 차이가 없었다($p>0.05$; Table 19). He-CP 내 존재하는 오존이 ascorbic acid의 파괴가 유도될 만큼 충분하지 않았기 때문에 ascorbic acid의 함량의 변화가 없는 것으로 판단되었다. 본 결과를 통해서 He-CP 처리가 양파 분말의 영양 성분을 파괴하지 않는 것을 증명하였다.
- **Quercetin:** CP 처리 유무에 따른 양파 분말의 quercetin 함량은 유의적으로 다르지 않았다($p>0.05$; Table 19). He-CP 내 UV-B가 quercetin 함량에 영향을 줄만큼 충분하지 않았기 때문이라고 추측되었다. 본 결과를 통해 He-CP 처리가 양파 분말 내 유용한 기능성 물질인 quercetin의 함량에 유의적인 영향을 주지 않는 것을 확인하였다.

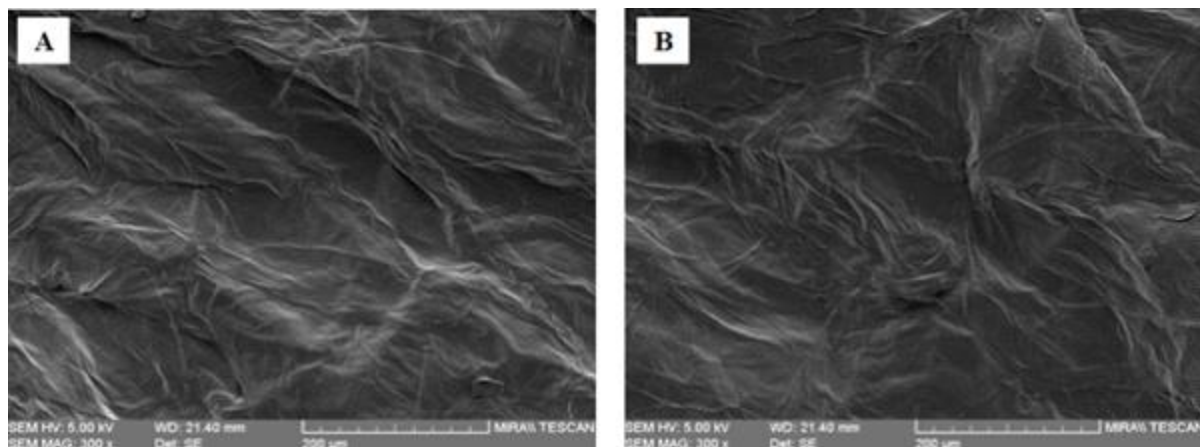


Fig. 22. Effects of the water vaporization-combined CP treatment on onion powder surface SEM. Representative FE-SEM micrographs of untreated onion powder (A) and treated onion powder (B) are shown. The plasma-forming gas, treatment voltage, frequency, and time were helium, 9 kV, 15 kHz, and 20 min, respectively.

○ 대조군과 CP 처리군의 양파 분말의 표면 미세 구조는 주사전자현미경 관찰 결과 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 22). CP 처리에 의한 양파 분말의 표면 거침 현상, crack 또는 구멍이 관찰되지 않은 이유는 He-CP 내 존재하는 ROS가 etching의 효과를 유도하기에 부족하였기 때문이라고 판단되었다. 본 결과를 통해 He-CP 처리는 양파 분말의 표면 미세 구조에 영향을 끼치지 않는 살균 공정이라는 것을 확인하였다.

○ 양파분말의 CP처리를 위한 3차 년도 pilot 장치의 운영 순서와 배치는 다음과 같다(Fig. 23)

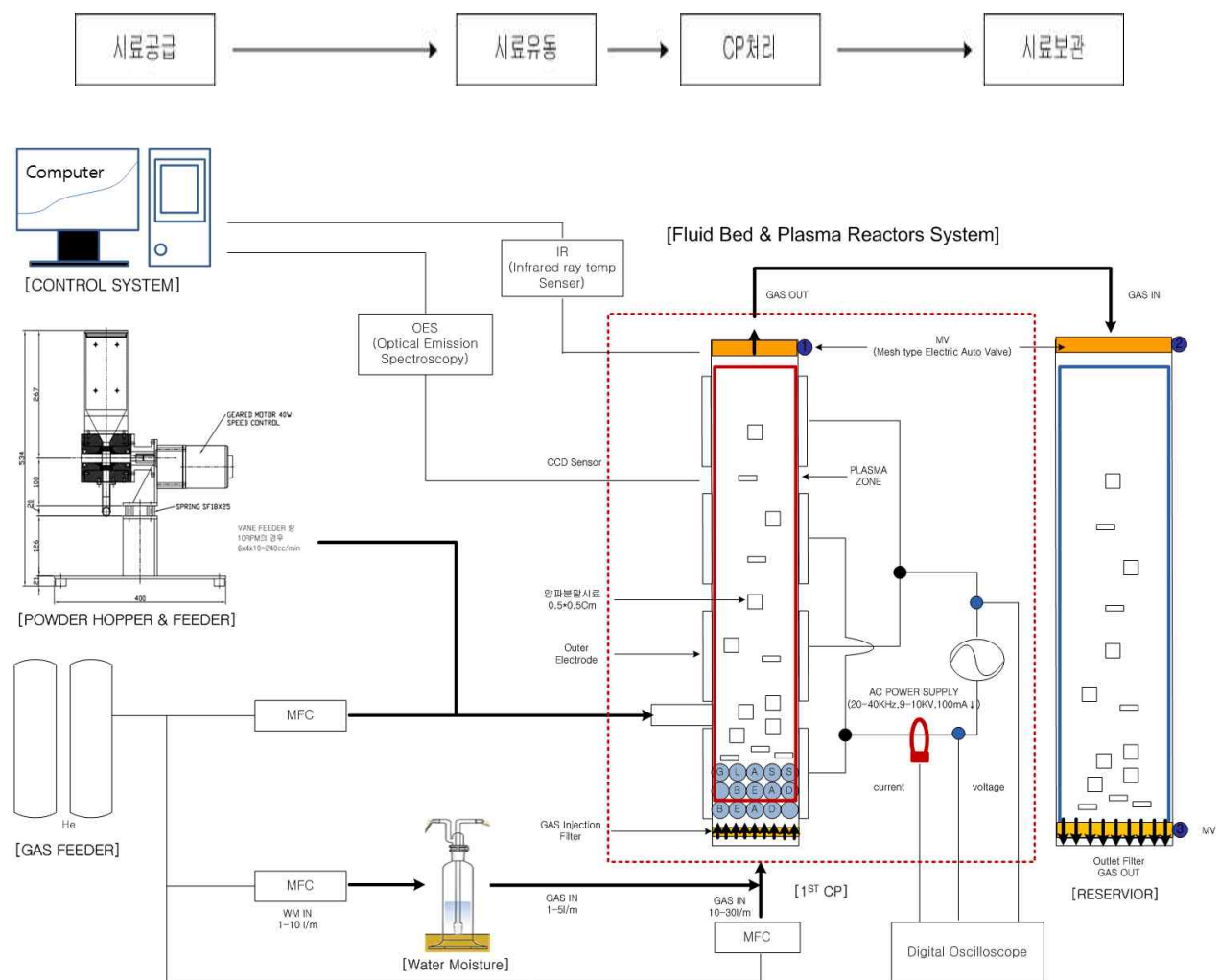


Fig. 23. Program operation sequence in the final pilot scale system

3) 식품제조공정의 CP 살균 가이드라인 확립: <별첨-가이드라인확립 > 참고

- 1차 년도부터 3차 년도까지의 연구결과를 바탕으로 CP 살균 시스템의 분체 식품 적용에 있어 파일럿 장비 설계요소와 분체 가공 공정 중 CP 적용 방법을 제안하였다.
- CP 기술의 개요 및 특징, 그리고 식품 살균에의 적용 연구 등을 알아보았고 특히, 분체 식품의 살균 연구와 응용분야 및 파급효과에 대하여 조사하였다.
- CP 식품과 관련된 정부 규제와 국내외 동향을 파악하였고, CP 살균 시스템을 분체식품에 적용할 때 살균 처리된 식품과 관련된 규제안 및 기준 방안을 제시하였다.

4. 목표달성도 및 관련분야 기여도

D-06

1. 목표달성도

가. 연구개발의 최종 목표

구분 (연도)	세부과제 명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2013)	제2협동 Cold plasma를 이용한 분체식품 의 미생물 위해성 저감화 기술 개발	양과 분말의 잠재적 위해 세균과 부패 미생물 오염도 조사 및 오염 미생물 저감화 수준 설정	100	○ 식품 시료별 잠재적 식중독 원인균 및 부패 원 인균 확인: <i>B. cereus</i> , 곰팡이 및 효모가 약 3 log CFU/g 존재하였음. ○ 대표 target 위해 미생물 결정: <i>B. cereus</i> 및 <i>Aspergillus niger</i> 선정
		양과 분말 미생물 저감화를 위한 cold plasma 처리 parameter 결정	100	○ Cold plasma 처리 parameter 결정 ○ 사용기체: 질소, 헬륨, 질소-산소 혼합(질소:산소 =80:20), 질소-산소 혼합(질소:산소=99.3:0.7), 헬륨- 산소 혼합(헬륨:산소=99.8:0.2), 아르곤, 산소 ○ 처리 전력: 400-900 W ○ 처리 시간: 10-40 분 ○ 처리 압력: 5 torr, 10 torr
		분말 식품 살균 용 lab-scale cold plasma 살균 시스템 제작	100	○ 분말 식품 살균을 위한 장비(SWU-3) 제작
2차 년도 (2014)	제2협동 Cold plasma 살균 처리 조건 최적화	Lab-scale의 cold plasma 살균 시스템을 이용한 살균조건 확립 및 살균효과 검증	100	○ 식품 시료별 잠재적 식중독 원인균 및 부패 원 인균 확인 ○ 대표 target 위해 미생물 결정: <i>S. enteritidis</i> 및 <i>E. coli</i> O157:H7, <i>L. monocytogenes</i> 선정 ○ 식중독균 피해 예측에 적합한 model 및 model parameter 값들의 결정 ○ lab scale 살균 장치의 자동화 및 연속식 시스 템화
		Cold plasma 살균 시스템의 자동화 및 연속식 시스템화	100	
3차 년도 (2015)	제2협동 양과 분말 살균을 위한 pilot-scal e의 cold plasma 살균 시스템 설계	Cold plasma 살균 시스템의 scale-up에 요구되는 주요 장비필요사항 결정	100	○ 처리량, 소요 전력 등 주요 장비필요사항을 1-2차년도에 연구 및 개발된 lab-scale에 대 한 연구 결과들을 분석하여 결정. ○ CP 변수(전력, Frequency, 가스의 종류 및 유 량 등)에 따른 멸균효과를 보다 면밀히 분석 하고 연속 공정이 가능한 컨베이어시스템과 plasma reactor를 pilot-scale로 제작. ○ 연속적으로 분말 원료를 살균할 수 있는 시스 템을 자동제어로 동작시키고, 분말의 모든 면 적에 radical이 침투할 수 있도록 chamber를 제작. ○ 연구 결과를 종합하여 cold plasma 살균 시스 템의 산업적 적용에 요구되는 양과 분말 살균 가이드라인 확립.
		식품산업체에 적용 가능한 pilot-scale의 cold plasma 살균 시스템 설계	100	

5. 연구결과와 활용계획

	D-07
<ul style="list-style-type: none"> ● 본 연구에서 개발된 분체식품 살균장치와 본 연구에서 결정된 분체식품에 대한 효율적인 미생물 저해의 최적 조건은 현재 트렌드인 간편한 분말식품과 같은 다양한 분체 식품가공을 위해 활용될 수 있음. ● 유전체 장벽 방전 기술을 더욱 활용하여 포장된 분체 식품의 살균도 가능할 수 있음 	

6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

	코드번호	D-08
<ul style="list-style-type: none"> ● Niemira 등(2008)은 사과에 콜드플라즈마를 처리하여 위해 미생물인 <i>E. coli</i> 와 <i>Salmonella</i>에 대하여 3 분 처리시, 2.6-3.7 log CFU/mL 의 감소를 확인하였다. ● Kim 등(2014)에 의하면, 플라즈마 형성가스로서 헬륨(He)을 사용하여 900 W에서 20 분 동안 처리한 결과, <i>Aspergillus flavus</i>를 2.5±0.3 log spores/g까지 억제하였으며, 마이크로파의 병합처리는 <i>Bacillus cereus</i>의 포자를 3.4±0.7 log spores/g까지 저해하여 콜드플라즈마 처리가 고춧가루 살균에 효과적임을 밝힌 바 있다. ● Hertwig et al. (2015)는 통후추의 살균에 일정 거리를 둔 마이크로웨이브 콜드플라즈마 시스템과 조사되는 거리가 비교적 가까운 radio frequency (rf) plasma jet의 살균효과를 비교한 결과, 마이크로웨이브 콜드플라즈마 시스템에서 위해균의 살균 효과가 더 탁월하다는 결과를 얻었다. ● 포장 단계에서의 콜드플라즈마 살균에 대한 연구를 한 Ziuzina et al (2013)에 따르면 포장재 안에 액체 상태로 부유된 균주에 DBD 방식의 콜드플라즈마를 조사하였을 때, <i>Escherichia coli</i> 가 약 7 log CFU/mL 까지 저해함을 보였다. ● Fernandez 등(2013)의 보고에 의하면, 질소 가스를 이용하여 15 분 동안 1 W의 전력으로 DBD 콜드플라즈마 처리 시, 양상추, 딸기, 감자에서 <i>Salmonella typhimurium</i>의 감소율이 각각 2.7±0.3, 1.8±0.7, and 0.9±0.3 log CFU/sample였다. ● Bermúdez-Aguirre 등(2013)은 대기압 하에서 아르곤을 이용하여 12.83 kv로 토마토와 양상추에 접종된 <i>E. coli</i>를 약 1.6 log CFU/g 저해하였다. ● Wang 등(2012)은 고전압의 500 V와 직류 전류를 이용하여 대기압에서 2 분 동안 콜드플라즈마 처리하여 슬라이스 당근에 접종된 살모넬라균(10^6 CFU/mL)을 90% 저해하였다. 		

7. 연구개발결과의 보안등급

	코드번호	D-09
○ 해당사항 없음		

8.

등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	D-10	
							비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호
서울여자 대학교 산학협력 단	서울여자대 학교 식품공학과/ HPLC	Agilent Technologies / HPLC	1	2015-02-11	31,360,000원	02-970-5804	서울특별 시 노원구 화랑로 621 제1과학관 서울여자 대학교 제1과학관 1층 118	NFEC-201 5-03-2000 61

9. 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

D-11

- 실험실 정기점검: 해당과제 연구기관의 연구실험실은 안전 확보를 위하여 연구실험실 정기점검을 실시하고 있음. 주요 점검 사항으로는, 일상점검 및 안전교육 실시(이수), 약품 등 관련대장 작성 비치, 시설 및 장비 점검, 정리정돈 등이 있으며, 항시 연구실 안전관리 준수사항 이행 하고 있음.
- 안전 교육 훈련: 실험실의 안전을 확보하고 연구원의 건강을 보호하여 실험 및 연구활동에 기여하고, 또한 연구실 안전환경조성에 관한 법률에 의거하여 실험실의 환경안전교육이 의무화됨에 따라 이공계열 대학원생 및 관련자 전원은 1년에 2회 안전교육을 의무적으로 수강하고 있음
- 연구실 화재 안전과 시약관리 점검은 매년 2회 실시되며 소방안전 교육에 참여하고, 분기별 소방점검을 실시함.
- 건강 검진: 인체에 치명적인 위험물질 및 위해균 등에 노출될 유해인자를 상시 취급하는 참여연구원에 대해 년 2회 건강검진을 실시
- 교육 훈련: (주) 리노셈과 서울여자대학교에서는 연구원들과 대학원생들의 안전과 연구실 및 실험실 안전에 대하여 안전 관리 교육을 다음과 같이 시행하고 있음.

교육 과정	교육 대상	교육 시간	교육 내용
정기 교육·훈련	연구 활동 종사자	매월 실시	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연구실 안전 환경 조성 법령에 관한 사항 ■ 연구실 내 유해·위험 요인에 관한 사항 ■ 안전한 연구 개발 활동에 관한 사항 ■ 그 밖에 연구실 안전관리에 관한 사항
신규 채용에 따른 교육·훈련	신규 채용된 연구 활동 종사자 (계약직 포함)	8 시간 이상	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연구실 안전 환경 조성 법령에 관한 사항 ■ 연구실 내 유해·위험 요인에 관한 사항 ■ 보호 장비 및 안전장치 취급과 사용에 관한 사항 ■ 연구실 사고사례 및 사고예방 대책에 관한 사항 ■ 안전표지에 관한 사항 ■ 물질안전자료에 관한 사항 ■ 그 밖에 연구실 안전관리에 관한 사항
	대학·연구기관 등에 채용된 자 외의 자로서 신규로 연구 개발 활동에 참여하는 연구 활동 종사자 (대학생·대학원생)	2 시간 이상	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연구실 내 유해·위험 요인에 관한 사항 ■ 안전한 연구 개발 활동에 관한 사항 ■ 물질안전자료에 관한 사항 ■ 그 밖에 연구실 안전관리에 관한 사항
특별 안전 교육·훈련	중대 연구실사고 발생 및 연구내용 변경 등의 경우 연구책임자가 필요하다고 인정하는 연구 활동 종사자	2 시간 이상	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연구실 내 유해·위험 요인에 관한 사항 ■ 안전한 연구 개발 활동에 관한 사항 ■ 물질안전자료에 관한 사항 ■ 그 밖에 연구실 안전관리에 관한 사항

10. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지 / 특허등록국 가	Impact Factor	논문게재일 / 특허등록일	D-12	
								사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	논문	콜드 플라즈마 처리를 이용한 분유와 양파분말 살균	서울여자 대학교	주저자, 교신저 자	한국식품 과학회지		2015.07.19	단독사사	비SCI
2	논문	Microbial decontamination of onion powder using microwave-powere d cold plasma treatments	서울여자 대학교	주저자, 교신저 자	Food Microbiol ogy	3.682	2016.10.03	단독사사	SCI
3	논문	유전체 방벽 방진 콜드 플라즈마 기술을 이용한 양파 분말 미생물 안전성 향상 및 품질 보존	서울여자 대학교	주저자, 교신저 자	한국식품 과학회지		2016.08.05	단독사사	비SCI

11. 기타사항

코드번호	D-13
○ 해당사항없음	

12. 참고문헌

D-14

- Finley, N., Fields, M. L., 1962. Heat activation and heat-induced dormancy of *Bacillus stearothermophilus* spores. Applied and environmental microbiology, 10, 231 - 236.
- Schweiggert, U., Carle, R., Schieber, A., 2007. Conventional and alternative processes for spice - a review. Trends in food science and technology, 18, 260 - 268.
- Pezzutti, A., Marucci, P. L., Sica, M. G., Matzkin, M. R., Croci, C. A.. 2005. Gamma-ray sanitization of Argentinean dehydrated garlic (*Allium sativum L.*) and onion (*Allium cepa L.*) products. Food research international, 38, 797-802.
- Vijayanandraj, V. R., Nagendra Prasad, D., Mohan, N., Gunasekaran, M., 2006. Effect of ozone on *Aspergillus niger* causing black rot disease in onion. Ozone: Science and engineering, 28, 347-350.
- Mafart, P., Leguérinel, I., 1997. Modelling the heat stress and the recovery of bacterial spores. International journal of food microbiology, 37, 131-135.
- Baker, J. M., Griffiths, M. W., 1993. Predictive modeling of psychrotrophic *Bacillus cereus*. Journal of food protection, 56, 684-688.
- Bazyma, L. A., Guskov, V. P., Basteev, A. V., Lyashenko, A. M., Lyakhno, V., Kutovoy, V. A., 2006. The investigation of low temperature vacuum drying processes of agricultural materials. Journal of food engineering, 74, 410-415.
- Maskan, M., 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. Journal of food engineering, 44, 71-78.
- Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y., Tagawa, A., 2007. Vacuum drying characteristics of eggplants. Journal of Food Engineering, 83, 422-429.
- Hong, Y. F., Kang, J. G., Lee, H. Y., Uhm, H. S., Moon, E., Park. Y. H., 2009. Sterilization effect of atmospheric plasma on *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* endospores. Journal of applied microbiology, 48, 33 - 37.
- Roth, S., Feichtinger, J., Hertel, C., 2010. Characterization of *Bacillus subtilis* spore inactivation in low-pressure, low-temperature gas plasma sterilization processes. Journal of applied microbiology, 108, 521 - 531.
- Korachi, M., Turan, Z., Şentürk, K., Şahin, F., Aslan, N., 2009. An investigation into the biocidal effect of high voltage AC/DC atmospheric corona discharges on bacteria, yeasts, fungi and algae. Journal of electrostatics, 67, 678-685.
- Song, H. P., Kim, B, Choe, J. H., Jung, S., Moon, S. Y., Choe, W., Jo, C., 2010. Evaluation of atmospheric pressure plasma to improve the safety of sliced cheese and ham inoculated by 3-strain cocktail *Listeria monocytogenes*. Food microbiology, 26, 432 - 436.
- Akitsu, T., Ohkawa, H., Tsuji, M., Kimura, H., Kogoma, M., 2005. Plasma sterilization using glow discharge at atmospheric pressure. Surface and coatings technology, 193, 29-34.
- Boucher, R. M. G., 1980. U.S. Patent No. 4,207,286. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Purevdorj, D., Igura, N., Hayakawa, I., Ariyada, O., 2002. Inactivation of *Escherichia coli* by microwave induced low temperature argon plasma treatments. Journal of food engineering, 53, 341-346.

- Fröhling, A., Baier, M., Ehlbeck, J., Knorr, D., Schlüter, O., 2012. Atmospheric pressure plasma treatment of *Listeria innocua* and *Escherichia coli* at polysaccharide surfaces: Inactivation kinetics and flow cytometric characterization. *Innovative food science and emerging technologies*, 13, 142-150.
- Brien, R. M., Chamberlin, E.E., Dye, D.W., Harrison, R.A., Smith, H.C., 1959. Diseases and pests of onions in New Zealand and their control. *Department of Scientific and Industrial Research Bulletin*, 24, 9-12.
- Van Konijnenburg, A., Pozzo Ardizzi, M. C., 1994. Variables which influence the occurrence of black mould (*Aspergillus niger*) on onion bulb in the rop negro valley. In I International symposium on edible alliaceae, 433, 635-638.
- Fernandez, A., Shearer, N., Wilson, D. R., Thompson, A., 2011. Effect of microbial loading on the efficiency of cold atmospheric gas plasma inactivation of *Salmonella enterica serovar Typhimurium*. *Journal of food microbiology*, 152, 175 - 180.
- Burts, M. L., Alexeff, I., Meek, E. T., McCullers, J. A., 2009. Use of atmospheric non-thermal plasma as a disinfectant for objects contaminated with methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *American journal of infection control*, 37, 729-733.
- Deng, X. T., Shi, J. J., Shama, G., Kong, M. G., 2005. Effects of microbial loading and sporulation temperature on atmospheric plasma inactivation of *Bacillus subtilis* spores. *Applied physics letters*, 87, 153901.
- Fridman, G., Brooks, A. D., Balasubramanian, M., Fridman, A., Gutsol, A., Vasilets, V. N., Ayan, H., Friedman, G., 2007. Comparison of direct and indirect effects of non thermal atmospheric pressure plasma on bacteria. *Plasma processes and polymers*, 4, 370-375.
- Raballand, V., Benedikt, J., Wunderlich, J., Von Keudell, A., 2008. Inactivation of *Bacillus atrophaeus* and of *Aspergillus niger* using beams of argon ions, of oxygen molecules and of oxygen atoms. *Journal of physics D: Applied physics*, 41, 115-207.
- Park, C. M., Beuchat, L. R., 2000. Survival of *Escherichia coli* O157: H7 in potato starch as affected by water activity, pH and temperature. *Letters in applied microbiology*, 31, 364-367.
- Lee, H, Kim, J, E, Chung, M., Min, S. C., 2015, Cold plasma treatment for the microbiological safety of cabbage, lettuce, and dried figs. *Food microbiology*. 51: 74-80.
- Little, C. L., Omotoye, R., Mitchell, R. T., 2003. The microbiological quality of ready-to-eat foods with added spices. *International journal of environmental health research*, 13, 31-42.
- Kim, S. Y., Sagong, H. G., Choi, S. H., Ryu, S., Kang, D. H., 2012. Radio-frequency heating to inactivate *Salmonella Typhimurium* and *Escherichia coli* O157: H7 on black and red pepper spice. *International journal of food microbiology*, 153, 171-175.
- Peleg, M., 1995. A model of microbial survival after exposure to pulsed electric fields. *Journal of the science of food and agriculture*, 67, 93-99.

분체 식품의 미생물 오염도 조사

1. 고춧가루

- 시판 고춧가루의 미생물 오염도 실태를 조사하기 위해 제조사 및 원산지가 다른 총 21가지의 고춧가루를 수집하여 본 실험에 사용하였다(표 1-2-1). 각 고춧가루는 HACCP 적용 유무, 생산공정 및 위생(청결)관리 부분의 표기, 포장상태 및 국내외산 구별에 따라 상급, 중급, 하급으로 분류하여 오염도를 비교하고자 하였다. HACCP을 적용하였고, 홈페이지에 생산공정 및 위생관리 관련 내용이 표기되어 있으며 제품 포장에 위생관리 부분을 표기하였으면 상급으로, 기타 정보 없이 HACCP만 적용되어 있으면 중급, 재래시장에서 구입한 제품은 하급으로 분류하여 오염도를 확인해보았다.

표 1-2-1. 오염도 조사 대상 고춧가루 시료의 분류

분류	Aerobic bacteria	Coliform group	<i>E. coli.</i>
상	9.7×10^5	ND	ND
	6.9×10^5	ND	
	9.1×10^5	1.1×10^4	
	4.5×10^5	ND	
	1.2×10^5	ND	
	7.7×10^6	ND	
	4.5×10^7	ND	
	4.6×10^6	ND	
	5.4×10^6	1.75×10^2	
	4.1×10^6	ND	
중	3.1×10^6	ND	ND
	2.0×10^4	ND	
	1.5×10^5	ND	
하	3.1×10^6	ND	ND
	9.1×10^5	1.4×10^3	
	6.7×10^5	5.3×10^2	
	1.2×10^6	3.0×10^2	
	2.0×10^4	ND	
	1.0×10^5	8.7×10^2	
	2.3×10^6	ND	
1.3×10^6	ND		

- 본 연구에서 자체적으로 분류한 시료의 상중하 등급에 상관없이 모든 시료에서 약 $10^5 \sim 10^7$ CFU/g의 일반 세균이 오염되어 있는 것으로 나타났으며, 재래시장에서 구입한 제품과 대형마트에서 구입한 제품의 오염도는 큰 차이가 없었다. 대장균군은 시료에 따라 오염 정도가 달랐지만 주로 하급으로 분류된 시료에서 약 10^2 CFU/g의 오염도를 나타냈다. 대장균은 모든 시료에서 검출되지 않았다.

표 1-2-2. 고춧가루의 미생물 오염도 측정 결과

단위: CFU/g

분류	Aerobic bacteria	Coliform group	<i>E. coli.</i>
상	9.7×10^5	ND	ND
	6.9×10^5	ND	
	9.1×10^5	1.1×10^4	
	4.5×10^5	ND	
	1.2×10^5	ND	
	7.7×10^6	ND	
	4.5×10^7	ND	
	4.6×10^6	ND	
	5.4×10^6	1.75×10^2	
	4.1×10^6	ND	
	3.1×10^6	ND	
중	2.0×10^4	ND	
	1.5×10^5	ND	
	3.1×10^6	ND	
하	9.1×10^5	1.4×10^3	
	6.7×10^5	5.3×10^2	
	1.2×10^6	3.0×10^2	
	2.0×10^4	ND	
	1.0×10^5	8.7×10^2	
	2.3×10^6	ND	
	1.3×10^6	ND	

2. 현미의 오염도 조사

표 1. 현미 시료.

시료번호	품종	원산지	재배년도
1	혼합	충북 청원	2013
2	동진	전북 부안	2013
3	추청	충북 청원	2013
4	오대	양구 오대	2013
5	백진주	경북 안동	2012

표 2. 현미의 미생물 오염도

단위: CFU/g

시료순번	Aerobic bacteria	Coliform group	<i>E. coli.</i>	Yeast	Mold
1	1.78×10^6	2.43×10^3	ND	ND	16.17×10^3
2	8.97×10^5	2.0×10^3	ND	ND	4.17×10^2
3	1.25×10^6	2.0×10^3	ND	ND	1.42×10^3
4	1.10×10^6	4.0×10^2	ND	ND	1.03×10^4
5	1.34×10^5	2.2×10^2	ND	ND	4.27×10^3

- 품종 및 재배지역별 현미 5종의 오염도 조사 결과 약 10^5 CFU/g 의 일반세균에 오염되어 있으며, 대장균군은 약 10^3 CFU/g, 곰팡이는 약 $10^3 \sim 10^4$ CFU/g 정도 오염도를 확인할 수 있었다. 또한 대장균과 효모는 모든 시료에서 검출되지 않았다. 위의 결과로부터 현미의 품종 및 재배지역에 따라 오염도의 차이는 없는 것으로 확인되었다.

3. 메밀의 오염도 조사

- 국내에서 유통되고 있는 통메밀 및 거피메밀의 미생물 오염도를 조사하였다. 메밀의 오염도 실태를 조사하기 위해 재배지역 및 판매처에 따라 각기 다른 통메밀과 탈피메밀을 각각 5종씩 수집하여 시료로 사용하였다.

표 5. 메밀 시료.

분류	시료번호	원산지	생산연도
통메밀	1	국내(봉평)	2013
	2	국내(예천)	2013
	3	수입	2013
	4	국내	2103
	5	국내(봉평)	2103
거피메밀	6	국내(예천)	2013
	7	중국	2013
	8	국내(봉평)	2013
	9	국내(변산)	2103
	10	국내(봉평)	2103

표 4. 통메밀 및 거피메밀의 미생물 오염도.

단위: CFU/g

시료번호	일반세균	대장균군	<i>E. coli</i>	효모	곰팡이
1(통, 봉평)	7.96×10^6	ND	ND	ND	4.07×10^3
2(통, 예천)	3.58×10^5	5.00×10	ND	ND	4.73×10^3
3(통, 수입)	5.47×10^5	ND	ND	ND	3.43×10^5
4(통, 국산)	6.62×10^6	7.17×10^4	ND	ND	3.30×10^2
5(통, 봉평)	4.73×10^6	3.53×10^4	ND	ND	1.23×10^5
6(거피, 예천)	2.14×10^5	6.00×10	ND	ND	ND
7(거피, 중국)	2.70×10^4	8.77×10^2	ND	ND	1.10×10^2
8(거피, 봉평)	2.26×10^5	ND	ND	ND	5.66×10^2
9(거피, 변산)	5.07×10^4	ND	ND	ND	ND
10(거피, 봉평)	1.02×10^3	1.20×10^2	ND	ND	ND

- 재배 지역 및 판매처별로 각기 다른 통메밀 및 거피메밀의 오염도 조사 결과, 도정 전 상태인 통메밀의 경우 일반세균수는 평균(n=5) 4×10^4 CFU/g, 대장균군수는 2개의 시료에서 5.4×10^4 CFU/g로 비교적 높게 나타났다. *E. coli*와 효모는 전 시료에서 검출 되지 않았다. 한편 곰팡이는 모든 시료에서

검출되었으나 시료 간 상당한 차이가 있어 오염도는 $3.30 \times 10^2 \sim 3.43 \times 10^5$ CFU/g 범위였다.

- 메밀 껍질을 탈피한 거피메밀의 경우 일반세균수는 시료에 따라 다소 차이가 있어 $1.02 \times 10^3 \sim 2.26 \times 10^5$ CFU/g 범위였다. 대장균수는 시료 5종 중 2종에서 약 10^2 CFU/g 정도로 검출되었으며, 통메밀에서와 동일하게 *E. coli*와 효모는 전 시료에서 검출 되지 않았다. 곶팥의 경우 통메밀과는 달리 시료 5종 중 2종에서만 약 10^2 CFU/g 정도 검출되었다.
- 거피메밀의 일반세균수는 통메밀에 비하여 (1-2)log 정도 감소하였으나 여전히 오염도가 높음을 알 수 있다. 이와 같은 결과로 미루어 볼 때 메밀에 존재하는 오염미생물은 주로 과피 내부와 외부 및 거피메밀의 표면에 부착하여 있음을 알 수 있다.

4. 참깨 및 마늘분말

- 참깨의 경우, 총 10여종의 제품으로 백화점, 마트, 재래시장 등에서 골고루 구입하였으며 원산지 역시 국산과 수입산(중국, 인도, 아프리카)이 골고루 포함되도록 구입하였으며, 이 때 볶음 공정을 거친 참깨와 거치지 않은 참깨 각 5종씩을 선정하여 오염도 조사를 수행하였음.
- 마늘분말은 라면스프나 소스 등을 제조하는 업체에 공급되는 B-to-B 제품으로, 백화점이나 마트, 시장에서는 쉽게 구할 수 없어 본 협동과제의 참여기업인 태경농산에서 공급받은 마늘 분말 1종을 이용해 오염도 조사를 수행하였음.
- 두 원료의 총균, 대장균군, 곰팡이·효모 오염도를 파악한 결과는 [표 2-1]과 같음.
- 참깨의 경우, 볶음 공정을 거친 제품(시료 번호 1, 2, 4, 5, 6)에는 미생물이 검출되지 않았으나 볶음 공정을 거치지 않은 제품에서는 모두 10^{4-5} CFU/g 의 미생물(일반세균, 대장균, 곰팡이·효모)이 검출되었으며 백화점, 마트, 재래시장 제품 간의 차이는 보이지 않는 것으로 확인되었음.
- 마늘분말의 경우 오염 미생물이 대부분 곰팡이·효모 균(10^3 CFU/g)인 것을 확인하였고, 1차 가공을 거친 제품으로서 참깨에 비해 대장균군의 오염정도는 비교적 낮은 것으로 확인되었음.

[표 2-1] 참깨 및 마늘분말 오염도 조사

원료	원료 번호	구입처/원산지	오염도 (CFU/g)		
			일반세균	대장균군	곰팡이, 효모
참깨	1	백화점/국산	-	-	-
			-	-	-
			-	-	-
	2	백화점/국산	-	-	-
			-	-	-
			-	-	-
	3	백화점/국산	8.0×10^5	1.5×10^5	1.2×10^5
			6.6×10^5	5.0×10^4	1.3×10^5
			2.6×10^5	2.0×10^5	2.0×10^5
	4	마트/수입산*	-	-	-
			-	-	-
			-	-	-
	5	마트/수입산*	-	-	-
			-	-	-
			-	-	-
	6	마트/국산	-	-	-
			-	-	-
			-	-	-
	7	시장/국산	4.7×10^4	5.5×10^4	2.9×10^4
			4.0×10^4	3.0×10^4	5.5×10^4
			3.5×10^4	9.0×10^4	1.0×10^5
	8	시장/중국산	6.0×10^5	5.5×10^5	1.4×10^5
			8.6×10^5	1.2×10^5	5.1×10^5
			3.5×10^5	2.4×10^5	2.0×10^5
	9	시장/아프리카산	1.7×10^5	2.6×10^5	8.4×10^3
			1.8×10^5	2.4×10^4	8.0×10^3
			3.0×10^5	1.0×10^4	2.0×10^4
	10	시장/인도산	4.0×10^5	1.5×10^5	3.3×10^4
			2.9×10^5	3.2×10^4	2.6×10^4
			2.3×10^5	2.0×10^4	3.0×10^4
마늘 분말	1	태경농산/국산	8.5×10^3	7.0×10^1	2.0×10^3
			1.6×10^3	1.0×10^1	5.0×10^3
			2.4×10^3	1.0×10^2	4.0×10^3

수입산*: 정확한 원산지가 표기되어 있지 않음

- : 미생물 검출되지 않음

5. 후추

- 실험에 사용한 후추는 전주지역의 채래시장(한약방 포함), 유기농 시장, 그리고 대형할인 마트에서 판매되고 있는 29종의 후추를 구매하여 분석에 사용하였음
- 후추의 종류는 색상에 따라 흑후추, 백후추 2종과, 형태에 따라 통후추, 가루후추의 2종류를 수거하였으며, 판매하는 장소에 따라 3군으로 나누었음
- A군은 전통시장에서 판매하는 후추로 10종, B군은 대형마트에서 판매하는 후추로 16종, C군은 유기농 매장에서 판매하는 3종의 후추를 분석에 사용하였음
- 총 29종의 후추는 시료번호, 구매한 곳, 후추의 종류, 원산지에 따라 분류하였음 (표 4-14)

표 4-14. 후추 29종에 대한 분류 (시료번호, 구매한 곳, 후추의 종류, 원산지)

	구매한 장소	후추의 종류	후추의 형태	원산지
A1	남부시장, 원광약초 상회	흑후추	통후추	베트남
A2	남부시장, 남부식품	흑후추	통후추	말레이시아
A3	남부시장, 제일상회	흑후추	통후추	중국산
A4	남부시장, 영신당 한의원	흑후추	통후추	베트남
A5	모래네 시장, 큰집종합약초	흑후추	통후추	중국산
A6	남부시장, 보화당 한의원	흑후추	통후추	인도네시아
A7	남부시장, 모범약초	흑후추	통후추	말레이시아
A8	남부시장, 금산약초	흑후추	통후추	중국산
A9	중앙시장, 지정약초	흑후추	통후추	중국산
A10	중앙시장, 여수상회	흑후추	통후추	말레이시아
B1	청정원, 요리 통흑후추	흑후추	통후추	베트남
B2	오뚜기, 통흑후추	흑후추	통후추	인도네시아
B3	TESCO, grainder black pepper corn	흑후추	통후추	인도네시아
B4	TESCO, black pepper whole	흑후추	통후추	베트남
B5	TESCO, black pepper	흑후추	통후추	베트남
B6	이마트, 통백후추	백후추	통후추	베트남
B7	전원식품, 백후추	백후추	통후추	말레이시아
B8	이마트, 백후추가루	백후추	가루후추	베트남
B9	윽트리, 통흑후추	흑후추	통후추	말레이시아
B10	맷돌표, 통흑후추	흑후추	통후추	베트남
B11	청은, 흑후추가루	흑후추	가루후추	말레이시아
B12	맷돌표, 순흑후추가루	흑후추	가루후추	베트남
B13	윽트리, 흑후추가루	흑후추	가루후추	말레이시아
B14	청은, 백후추가루	백후추	가루후추	말레이시아
B15	맷돌표, 백후추가루	백후추	가루후추	베트남
B16	윽트리, 백후추가루	백후추	가루후추	말레이시아
C1	TESCO, organic black pepper	흑후추	통후추	인도
C2	자연드림마트, 통흑후추	흑후추	통후추	인도
C3	자연드림마트, 가루흑후추	흑후추	가루후추	인도

- 미생물 분석에 사용한 통후추는 분쇄기 (H3060-MSS-1B, HARIO, China)로 분쇄하여 사용하였음

표 4-15.. 전통시장에서 판매하는 후추의 미생물 오염도

(unit: CFU/g)

시료번호	Total aerobic bacteria		Yeast&Molds	
	range	Average	range	Average
A1	8.30 - 8.50×10 ⁵	4.55×10 ⁶	≤10	3.63×10 ¹
A2	1.67 - 1.85×10 ⁶		≤10	
A3	1.47 - 1.67×10 ⁷		ND	
A4	1.13 - 1.41×10 ⁶		≤10	
A5	6.00 - 8.50×10 ⁶		10 - 20	
A6	1.08 - 2.16×10 ⁶		ND	
A7	5.20 - 7.00×10 ⁶		≤10	
A8	4.25 - 6.50×10 ⁶		10 - 30	
A9	4.90 - 6.70×10 ⁵		≤20	
A10	5.20 - 7.00×10 ⁶		1.50 - 2.10×10 ²	

- 시료 A1은 일반세균이 8.30 - 8.50×10⁵, 효모 및 곰팡이는 ≤10 정도의 오염도를 보였으며 A2는 일반세균이 1.67 - 1.85×10⁶, 효모 및 곰팡이는 ≤10 오염도를 나타냈음
- 시료 A3은 일반세균이 1.47 - 1.67×10⁷로 시료 A중에서 가장 높은 오염도를 보였으며 효모 및 곰팡이는 검출되지 않았음
- 일반세균에서 시료 A4에서 A10까지는 대부분의 오염도가 10⁶정도 였으며 A9는 4.90 - 6.70×10⁵정도의 오염도를 보였음
- 효모 및 곰팡이는 A4과 A7은 ≤10, A5는 10 - 20, A6에서는 검출되지 않았으며 A8은 10-30 ,A9는 ≤20 정도였음
- A10는 1.50 - 2.10×10²의 오염도를 보였음
- 평균적으로 시장에서 판매하는 후추의 오염도는 일반세균이 4.55×10⁶, 효모 및 곰팡이는 3.63×10¹정도의 오염도를 알 수 있음

표 4-16. 대형마트에서 판매하는 후추의 미생물 오염도

(unit: CFU/g)

시료번호	Total aerobic bacteria		Yeast&Molds	
	range	Average	range	Average
B1	$8.00 \times 10^1 - 1.30 \times 10^2$	9.50×10^2	ND	4.1×10^3
B2	≤ 10		$4.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^3$	
B3	6.0×10^1		ND	
B4	$1.00 - 2.00 \times 10^1$		≤ 10	
B5	$2.40 - 3.70 \times 10^2$		$9.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^2$	
B6	$3.00 - 5.00 \times 10^1$		$3.90 - 4.00 \times 10^4$	
B7	$6.00 \times 10^2 - 1.24 \times 10^3$		$1.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^2$	
B8	$2.20 - 2.30 \times 10^2$		ND	
B9	$2.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^2$		ND	
B10	$2.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^3$		ND	
B11	$6.50 - 7.00 \times 10^3$		$3.00 \times 10^1 - 1.20 \times 10^2$	
B12	2.6×10^2		$1.40 \times 10^2 - 4.00 \times 10^2$	
B13	≤ 10		ND	
B14	$4.50 - 4.60 \times 10^3$		$4.50 - 4.60 \times 10^2$	
B15	$5.00 - 1.56 \times 10^3$		ND	
B16	$1.00 \times 10^1 - 2.00 \times 10^2$		≤ 10	

- 대형마트에서 판매하는 후추는 총 16종으로 일반세균의 오염도를 보면 시료 B1는 $8.00 \times 10^1 - 1.30 \times 10^2$, B2는 ≤ 10 , B3는 6.0×10^1 , B4는 $1.00 - 2.00 \times 10^1$ 정도의 오염도를 보였으며 효모 및 곰팡이는 B1과 B3에서는 검출되지 않았으며 B2는 $4.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^3$, B4는 ≤ 10 정도의 오염도를 보였음
- B5는 일반세균이 $2.40 - 3.70 \times 10^2$, B6는 $3.00 - 5.00 \times 10^1$, B7 $6.00 \times 10^2 - 1.24 \times 10^3$, B8 $2.20 - 2.30 \times 10^2$, B9은 $2.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^2$, B10에서는 $2.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^3$ 정도가 검출되었으며 효모 및 곰팡이는 B5가 $9.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^2$, B6는 $3.90 - 4.00 \times 10^4$ 시료 중 가장 높은 오염도를 나타냈으며 B7은 $1.00 \times 10^1 - 1.00 \times 10^2$, B8, B9, B10에서는 효모 및 곰팡이가 검출되지 않았음

표 4-17. 유기농 마트에서 판매하는 후추의 미생물 오염도

(unit: CFU/g)

시료번호	Total aerobic bacteria		Yeast&Molds	
	range	Average	range	Average
C1	$5.60 - 6.30 \times 10^4$	4.47×10^4	ND	1.0×10^1
C2	$1.40 - 3.30 \times 10^4$		≤ 10	
C3	$1.38 - 1.44 \times 10^4$		≤ 10	

- 유기농 마트에서 판매하는 시료는 총 3종으로 일반세균의 미생물 오염도는 평균 4.47×10^4 CFU/g 수준의 오염도를 나타냈음

- C1-C3까지 일반세균은 미생물의 오염도는 모두 10^4 정도였으며 효모 및 곰팡이는 C1은 검출되지 않았고 나머지 C2, C3 ≤ 10 검출되었음

표 4-18. 오염도가 높은 후추의 *Bacillus* 오염도 검사

(unit: CFU/g)

	<i>Bacillus</i>	SD	range
A2	4.0×10^6	$\pm 4.0 \times 10^6$	$10^3 - 10^6$
A6	5.2×10^6	$\pm 4.9 \times 10^6$	
B15	9.2×10^3	$\pm 2.0 \times 10^2$	
C3	1.6×10^4	$\pm 2.0 \times 10^4$	

- *Bacillus*에 대한 실험은 각 판매군 A, B, C 중에 미생물 오염도가 가장 높은 시료를 선택하여 실험하였음
- 시장에서 판매하는 후추인 A2, A6의 오염도는 4.0×10^6 , 5.2×10^6 CUF/g의 높은 오염도를 나타냈으며 시료 사이의 편차는 $4.0 \times 10^6 \pm 4.0 \times 10^6$, $5.2 \times 10^6 \pm 4.9 \times 10^6$ CUF/g로 나타났음
- 마트에서 판매하는 후추인 B15의 오염도는 9.2×10^3 CUF/g 정도였으며 각 시료사이의 표준 편차는 $9.2 \times 10^3 \pm 2.0 \times 10^2$ CFU/g 었음
- 유기농 마트에서 판매하는 후추 C3의 오염도는 1.6×10^4 CUF/g 었으며 시료 사이의 표준 편차는 $1.6 \times 10^4 \pm 2.0 \times 10^4$ CFU/g로 나타남
- *Bacillus*의 미생물 오염도 범위는 $10^3 - 10^6$ CFU/g 나타났음

○ 후추의 대장균군 오염도 검사

- 채래시장, 대형마트 유기농 마트에서 구입한 모든 시료에서 대장균은 유효치 이하로 검출되어 대장균군은 검출되지 않은 것으로 나타남

6. 향신료 4종 (생강, 계피, 산초, 울금)

- 미생물 오염도 분석에 사용한 향신료는 생강, 계피, 산초, 울금으로 4종이며, 전통시장, 대형마트에서 총 24종의 향신료를 구매 수거하였음.
- 판매하는 장소에 따라 전통 시장에서 구매한 시료는 a, b, c, d 이며 대형마트에서 구매한 시료는 a', b', c', d'으로 나누었음
- 전통시장에서 구매한 시료는 14종으로 생강 4종, 계피 4종, 산초 3종, 강황 3종이며 대형마트에서 구매한 시료는 9종의 생강 1종, 계피 4종, 산초 2종, 강황 2종을 사용하였음
- 총 24종의 후추는 시료번호, 구매한 곳, 시료의 종류, 원산지에 따라 분류하였음 (표 4-19)

표 4-19. 생강, 계피, 산초, 강황 24종에 대한 분류 (시료번호, 구매한 곳, 시료의 종류, 시료의 형태, 원산지)

	구매한 장소	시료의 종류	시료의 형태	원산지
a1	남부시장, 모범약초	생강	건강	중국산
a2	남부시장, 혜민당한약국	생강	건강	중국산
a3	남부시장, 혜민당한약국	생강	건강	국내산
a4	남부시장, 민속피부사랑	생강	생강분말	국내산
b1	남부시장, 혜민당한약국	계피	통계피	베트남산
b2	남부시장, 약초상회	계피	통계피	중국산
b3	남부시장, 남부식품	계피	통계피	중국산
b4	남부시장, 민속피부사랑	계피	통계피	베트남산
c1	남부시장, 민속떡집방앗간	산초	산초분말	중국산
c2	남부시장, 모범약초	산초	산초분말	중국산
c3	남부시장, 우리약초건강원	산초	산초	중국산
d1	남부시장, 혜민당한약국	강황	강황절편	중국산
d2	남부시장, 우리약초건강원	강황	강황절편	중국산
d3	남부시장, 우리약초건강원	강황	강황절편	국내산
a'1	전주홈플러스(전원식품), 생강분말	생강	생강분말	국내산
b'1	전주홈플러스(전원식품), 계피분말	계피	계피분말	베트남
b'2	전주이마트(㈜M&F), 아이에스에프 시나먼 파우더	계피	계피분말	인도네시아
b'3	전주이마트(CANNAMELA), 시나몬 분말	계피	계피분말	이탈리아
b'4	수원홈플러스(㈜티알아이), 계피분말	계피	계피분말	베트남
c'1	전주홈플러스(전원식품), 산초분말	산초	산초분말	중국산
c'2	전주필하우스(움트리), 산초분말	산초	산초분말	중국산
d'1	전주이마트(이마트), 강황	강황	강황분말	인도산
d'2	수원홈플러스(㈜티알아이), 강황분말	강황	강황분말	인도

표 4-20. 전통시장에서 판매하는 향신료의 일반세균 검사

(unit: CFU/g)

Total aerobic bacteria			
	samples	range	Average
ginger	a1	$\leq 7.0 \times 10^1$	1.60×10^7 CFU/g
	a2	$5.3 - 7.1 \times 10^7$	
	a3	$3.00 - 3.20 \times 10^2$	
	a4	$6.30 - 7.10 \times 10^4$	
cinnamon	b1	$2.79 \times 10^3 - 1.19 \times 10^4$	6.50×10^3 CFU/ml
	b2	$6.20 - 7.20 \times 10^3$	
	b3	$5.10 \times 10^2 - 3.70 \times 10^3$	
	b4	$9.60 \times 10^2 - 4.80 \times 10^3$	
chinese pepper	c1	$1.05 - 7.70 \times 10^3$	2.56×10^4 CFU/ml
	c2	$1.33 - 7.20 \times 10^3$	
	c3	$2.25 - 9.50 \times 10^3$	
turmeric	d1	$1.97 - 3.60 \times 10^6$	2.56×10^6 CFU/ml
	d2	$2.59 - 3.10 \times 10^5$	
	d3	$1.47 - 1.50 \times 10^6$	

- 시장에서 판매하는 향신료의 일반세균의 생균수는 $10^1 - 10^7$ CFU/g 정도 였으며, 평균적으로 생강이 1.60×10^7 , 계피가 6.50×10^3 , 산초는 2.56×10^4 , 강황은 2.56×10^6 의 오염도를 나타냈음
- 4가지 시료중에 생강이 가장 오염도가 높았으며, 다음은 생강, 산초, 계피의 오염도가 가장 낮았음
- 생강 시료에서 a1은 $\leq 7.0 \times 10^1$ 정도로 시장에서 구매한 시료임에도 미생물 오염도가 낮았으며 a2는 $5.3 - 7.1 \times 10^7$, a3은 $3.00 - 3.20 \times 10^2$, a4는 $6.30 - 7.10 \times 10^4$ 정도의 오염도를 나타냈음
- 계피는 b1이 $2.79 \times 10^3 - 1.19 \times 10^4$, b2가 $6.20 - 7.20 \times 10^3$, b3은 $5.10 \times 10^2 - 3.70 \times 10^3$, b4가 $9.60 \times 10^2 - 4.80 \times 10^3$ 오염도를 보였으며 대부분의 시료가 10^3 의 오염도를 나타냈음
- 강황의 오염도는 d1이 $1.97 - 3.60 \times 10^6$, d2가 $2.59 - 3.10 \times 10^5$, d3이 $1.47 - 1.50 \times 10^6$ 정도로 높은 오염도를 보였음

표 4-21. 전통시장에서 판매하는 향신료의 효모 및 곰팡이 검사

(unit: CFU/g)

Yeast&Molds			
	samples	range	Average
ginger	a1	ND	1.95×10 ²
	a2	ND	
	a3	ND	
	a4	1.10×10 ² -1.00×10 ³	
cinnamon	b1	ND	7.75×10 ¹
	b2	ND	
	b3	7.00-8.00×10 ¹	
	b4	5.00×10 ¹ -1.10×10 ²	
chinese pepper	c1	2.60×10 ² -1.90×10 ³	2.52×10 ²
	c2	2.90×10 ² -1.30×10 ³	
	c3	1.50-2.00×10 ²	
turmeric	d1	ND	1.15×10 ²
	d2	ND	
	d3	9.00×10 ¹ -1.40×10 ²	

- 효모 및 곰팡이는 생강에서 10¹-10³ CFU/g 정도가 오염되어 있으며 평균적으로 생강이 1.95×10², 계피는 7.75×10¹, 산초는 2.52×10², 강황은 1.15×10² 정도의 오염도를 나타냈음
- 생강은 a1-a3까지는 검출되지 않았으며 a4에서 1.10×10²-1.00×10³ 정도의 오염도를 나타냄
- 계피는 시료 b1, b2는 검출되지 않았으며 b3은 7.00-8.00×10¹, b4는 5.00×10¹-1.10×10² 정도의 오염도를 나타냈음
- 산초는 c1, c2, c3가 각각 2.60×10²-1.90×10³, 2.90×10²-1.30×10³, 1.50-2.00×10²의 오염도를 나타냈음
- 강황은 d1, d2에서는 검출되지 않았으며 d3에서는 9.00×10¹-1.40×10²가 검출되었음

표 4-22. 전통시장에서 판매하는 향신료의 대장균군 검사

(unit: CFU/g)

Coliforms			
	samples	range	Average
ginger	a1	ND	7.50×10 ¹
	a2	ND	
	a3	ND	
	a4	1.10×10 ² -1.00×10 ³	
cinnamon	b1	ND	ND
	b2	ND	
	b3	ND	
	b4	ND	
chinese pepper	c1	2.60×10 ² -1.90×10 ³	4.56×10 ³
	c2	2.90×10 ² -1.30×10 ³	
	c3	9.00×10 ² -1.90×10 ³	
turmeric	d1	ND	2.45×10 ⁴
	d2	1.84-3.40×10 ⁴	
	d3	3.50×10 ² -1.40×10 ³	

- 평균적으로 생강에서는 7.50×10¹, 계피에서는 검출되지 않았으며 산초는 4.56×10³, 강황은 2.45×10⁴ 정도의 오염도를 보였음
- 생강에서 a1-a3까지는 검출되지 않았으며 a4에서는 1.10×10²-1.00×10³ 정도가 검출 되었음
- 계피는 b1-b4까지 모두 검출되지 않았음
- 산초는 c1, c2, c3이 각각 2.60×10²-1.90×10³, 2.90×10²-1.30×10³, 9.00×10²-1.90×10³으로 대부분 10³의 오염도를 나타냈음
- 강황은 d1에서는 검출되지 않았으며 d2는 1.84-3.40×10⁴ 로 시료 중 가장 오염도가 높았으며 d3은 3.50×10²-1.40×10³ 정도의 오염도를 보였음

표 4-23. 대형마트에서 판매하는 향신료의 일반세균 검사

(unit: CFU/g)

Total aerobic bacteria			
	samples	range	Average
ginger	a1	$\leq 7.0 \times 10^1$	1.60×10^7 CFU/g
	a2	$5.3 - 7.1 \times 10^7$	
	a3	$3.00 - 3.20 \times 10^2$	
	a4	$6.30 - 7.10 \times 10^4$	
cinnamon	b1	$2.79 \times 10^3 - 1.19 \times 10^4$	6.50×10^3 CFU/ml
	b2	$6.20 - 7.20 \times 10^3$	
	b3	$5.10 \times 10^2 - 3.70 \times 10^3$	
	b4	$9.60 \times 10^2 - 4.80 \times 10^3$	
chinese pepper	c1	$1.05 - 7.70 \times 10^3$	2.56×10^4 CFU/ml
	c2	$1.33 - 7.20 \times 10^3$	
	c3	$2.25 - 9.50 \times 10^3$	
turmeric	d1	$1.97 - 3.60 \times 10^6$	2.56×10^6 CFU/ml
	d2	$2.59 - 3.10 \times 10^5$	
	d3	$1.47 - 1.50 \times 10^6$	

- 평균적으로 생강에서는 효모 및 곰팡이가 검출되지 않았으며 계피는 9.00×10^1 , 산초는 4.33×10^2 , 강황은 6.20×10^2 의 오염도를 나타냈음
 - 생강에서 시료 a'1에서는 효모 및 곰팡이가 검출되지 않았음
 - 계피는 b'1, b'2, b'4에서는 검출되지 않았으며 b'3에서는 $6.00 \times 10^1 - 1.20 \times 10^2$ 정도가 검출되었음
 - 산초에서 c'1, c'2는 각각 $3.20 - 6.00 \times 10^2$, $4.80 - 6.00 \times 10^2$ 의 오염도를 나타냈음
 - 강황에서는 d'1, d'1가 각각 $5.40 \times 10^2 - 5.00 \times 10^3$, $6.40 \times 10^2 - 9.00 \times 10^3$ 정도의 오염도를 나타냈음
- 대형 마트 및 유기농 마트에서 판매하는 향신료의 효모 및 곰팡이 검사

표 4-24. 대형마트에서 판매하는 향신료의 효모 및 곰팡이 검사

(unit: CFU/g)

Yeast & Molds			
	samples	range	Average
ginger	a'1	ND	ND
cinnamon	b'1	ND	9.00×10 ¹
	b'2	ND	
	b'3	6.00×10 ¹ -1.20×10 ²	
	b'4	ND	
chinese pepper	c'1	3.20-6.00×10 ²	4.33×10 ²
	c'2	4.80-6.00×10 ²	
turmeric	d'1	5.40×10 ² -5.00×10 ³	6.20×10 ²
	d'2	6.40×10 ² -9.00×10 ³	

- 생강은 <10¹ CFU/g 비교적 오염도가 낮았으며 평균 1.5×10¹ CFU/g로 나타났음
- 계피는 <10¹ CFU/g 생강과 마찬가지로 오염도가 낮았으며 평균적으로 4.3×10¹ CFU/g의 오염 수준을 보였음
- 산초는 오염도 범위는 <10² CFU/g 이며 평균적인 오염도는 4.3×10² CFU/g 정도였음
- 강황은 <10² CFU/g 다른 향신료에 비하여 오염도가 높았으며 평균 6.2×10² CFU/g를 나타냈음

표 4-25. 대형마트에서 판매하는 향신료의 대장균군 검사

(unit: CFU/g)

Coliforms			
	samples	range	Average
ginger	a'1	6.60-6.70×10 ⁵	6.65×10 ⁵
cinnamon	b'1	ND	8.50×10 ¹
	b'2	ND	
	b'3	9.00×10 ¹ -1.30×10 ²	
	b'4	4.00-8.00×10 ¹	
chinese pepper	c'1	1.10-1.90×10 ³	1.33×10 ³
	c'2	7.00×10 ² -1.03×10 ³	
turmeric	d'1	9.00×10 ¹ -1.00×10 ²	9.50×10 ¹
	d'2	ND	

- 대형마트에서 판매하는 생강, 계피, 산초, 강황의 평균적인 오염도는 6.65×10^5 , 8.50×10^4 , 1.33×10^3 , 9.50×10^4 정도의 오염도를 나타냈음
- 생강에서 시료 a'1은 $6.60-6.70 \times 10^5$ 정도로 비교적 높은 오염도를 나타냈음
- 계피는 b'1, b'2에서는 검출되지 않았으며 b'3, b'4에서는 각각 $9.00 \times 10^1-1.30 \times 10^2$, $4.00-8.00 \times 10^1$ 이 검출되었음
- 산초는 c'1, c'2가 $1.10-1.90 \times 10^3$, $7.00 \times 10^2-1.03 \times 10^3$ 오염도를 나타냈음
- 강황에서는 d'1에서는 $9.00 \times 10^1-1.00 \times 10^2$, d'2에서는 균이 검출되지 않았음
- 그러나 일부의 시료를 제외하고는 일반세균, 효모 및 곰팡이, 대장균군 모두 전통시장에서 판매하는 시료의 오염도가 마트나 유기농 마트에서 판매하는 시료보다 오염도가 높았음.

과열수증기 살균기술을 이용한 청결 고춧가루의 제조 가이드라인

1. 청결 고춧가루 제조의 필요성

- 고춧가루 생산공정은 종합처리장에 따라 차이가 있고, 각 공정에서 생산되는 고춧가루 제품의 물리화학적 품질 및 미생물 오염도도 다르다.
- 시판 고춧가루의 미생물 오염 분석결과, 일반세균이 $10^3 \sim 10^6$ CFU/g, 곰팡이는 $10^1 \sim 10^4$ CFU/g, 대장균군의 경우에는 $0 \sim 10^4$ CFU/g 사이로 검출되었다.
- 고춧가루 제조는 고추과피의 당성분으로 인하여 유해 미생물의 증식 가능성이 높아 미생물 관리를 통한 고춧가루의 안전성 확보 및 고품질화는 식품안전을 위한 필수요소라고 할 수 있다.
- 국내 고춧가루의 공정과정을 보면 원료의 세척공정 → 고추꼭지제거공정 → 건조공정 → 분쇄공정 → 금속성이물제거공정 → 살균공정 → 포장공정으로 이루어진다.
- 고춧가루 제조 · 가공업체의 제조 공정별 미생물학적 오염도 평가(한국식품위생안전성학회지, 27(4) 427-431(2012)) 자료를 보면 창고내 원재료, 투입 후, 이물선별 후, 분쇄 후, 살균 후 그리고 완제품에서 일반세균, 대장균군, 황색포도상구균이 검출되었다.
- 창고 내 원재료서 일반세균수는 $3.37 \pm 0.33 \log$ CFU/g 이었으며, 진균은 $3.27 \pm 1.05 \log$ CFU/g, 대장균군은 $0.70 \pm 1.14 \log$ CFU/g 이었다. 식품공전에 따르면 대장균과 황색포도상구균의 경우 검출되지 않아야 한다고 제시하고 있다.
- 일반세균의 경우, 분쇄기에 원재료를 투입기에 넣은 후 채취한 시료에서 약 29%가 증가하였으며, 대장균군 또한 129%가 증가하였다. 이는 제조실과 제조환경에 의한 교차오염으로 추측된다. 분쇄 후 채취한 시료에서 일반세균, 대장균군이 이물 선별 후 채취한 시료와 비교하여 각각 69%, 12.7%가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 분쇄 시 분쇄기 내부 온도가 5 $^{\circ}$ C까지 증가함에 따른 응결수가 발생할 수 있고 이로 인해 곰팡이 번식에 유리한 환경이 조성될 수 있다. 또한 자외선 살균 후 일반세균과 대장균군의 검사결과 살균효과는 없었으며, 완제품에서는 일반세균은 $5.14 \log$ CFU/g, 대장균군은 $1.5 \log$ CFU/g 정도 증가하였다.

표 7. 고춧가루 제조공장의 제조공정 단계별 미생물 변화

A공장		B공장		C공장	
공정단계	일반세균 (cfu/g)	공정단계	일반세균 (cfu/g)	공정단계	일반세균 (cfu/g)
원초	1.5×10^4	원초	3.0×10^4	원초	3.2×10^4
세척 후 건조 전	1.6×10^4	증기세척기 후	1.2×10^4	파쇄 공차	5.2×10^5
건조 후	4.5×10^3	꼭지 분리기	5.6×10^4	분리된 파괴	7.4×10^4
조파쇄 후 통밀투입 전	1.6×10^5	건조기 통과 후	4.2×10^3	통밀 통과 후 체선별기 투입 전	1.2×10^5
통밀통과 후 선별체 전	3.2×10^5	혼합저장탱크 통밀 투입 전	5.7×10^5	체선별기 후 7번통 채투입전의 큰 입자	5.9×10^4
최종	3.0×10^5	체선별기 (원형정선기)	3.2×10^5	체선별 거처 자외선 살균 후	8.5×10^5
		최종	7.2×10^5	분쇄완료 가공품 윗가루 제거 후	2.2×10^6
		완제품 (소포장)	1.1×10^6	저장고(완제품)	3.3×10^6

(고춧가루 제조·가공업체 HACCP적용 일반모델 개발, 한국보건산업진흥원, 2005)

- 포장 전 자외선 살균의 경우, 대부분의 고춧가루 업체들은 포장되기 전 보관하는 저장탱크에 자외선 살균기를 설치하였는데, 자외선의 영향이 미치는 고춧가루의 표면부분만 살균이 됨에 따라 자외선 설치가 미생물 감소에 영향을 미치지 못하고 있는 것으로 나타났다. 현재 고춧가루 제조업체에서 사용되고 있는 살균 공정의 자외선 조사시간이 미생물 감소에 효과적이지 못하므로, 완제품의 수분함량을 조절하기 위해 사용되고 있는 열풍건조 시 자외선 살균을 조사하면 대장균군의 1/10 정도의 감소 효과가 있다고 보고하였다.

2. 고춧가루의 미생물 위해 기준 및 현황

가. 고춧가루의 미생물 위해기준

- 현재 식품공전에 총균수 (일반세균수) 기준은 없으나 곰팡이수가 20%를 초과하지 못하도록 되어 있다.
- 식품의약품안전청 고시 제2008-18호 (2008.04.28) 고춧가루에 대한 「식품 위해요소 중점관리기준에 의하면 HACCP 인증을 위해서는 *B. cereus* 등 병원성 미생물이 검출되지 않아야 한다고 규정되어 있다.
 - ① 수분함량: 15% 이하,
 - ② 병원성미생물: *B. cereus* 등 음성.
 - ③ 잔류농약에 대한 검사성적서 확인
- 일반세균의 경우, 유해 미생물이 아니란 이유로 식품공전에 따로 정해진 규정은 없으나 교육부는 학교급식 위생관리지침에서 10^5 CFU/g으로 제시하였다. 그러나 식품 중 일반세균수

는 10^4 CFU/g 이하일 때 안전하다고 판단되며 10^5 - 10^6 CFU/g일 때를 초기부패 단계로 보는 것이 일반적 견해이다

표 1. 국내 고춧가루의 품질 규격

항목	식품공전	한국산업표준	전통식품표준
성상	고유의 색택을 가지고 이미, 이취가 없어야 하며 황백색 및 황갈색 이어서는 아니 된다.	고유의 색택으로 균일하고, 이미, 이취가 없어야 한다.	고유의 색택을 가지고 이미, 이취가 없어야 한다.
수분(%)	15.0 이하	13.0 이하	15.2 이하
회분(%)	7.0 이하	8.0 이하	8.0 이하
산불용성 회분(%)	0.5 이하	1.5 이하	1.5 이하
위해물	불검출	불검출	불검출
곰팡이수 (%)	20 이하 (하워드곰팡이 계수장치에 의한 곰팡이 양성비율 %)	-	-
타르색소	불검출	불검출	불검출
캡사이신 (mg%)	-	순한맛 : 42.3 이하 매운맛 : 42.3 이상	-
입도(%)	-	○굵은 고춧가루 2mm: 10%미만 남고 850 μ m: 40%이상 남을 것 ○보통 고춧가루 850 μ m: 40%미만 남고 425 μ m: 60%이상 남을 것 ○고운 고춧가루 850 μ m: 5%미만 남고 425 μ m: 60%이상 남을 것	○굵은 고춧가루 850 μ m: 45%이상 남을 것 ○보통 고춧가루 850 μ m: 60%이상 통과 425 μ m: 60%이상 남을 것 ○고운 고춧가루 425 μ m: 95%이상 통과
이물	-	없어야 한다.	없어야 한다.
아플라톡신(B1)	10 μ g/kg		

나. 가공 및 유통 중 미생물 위해요소 현황

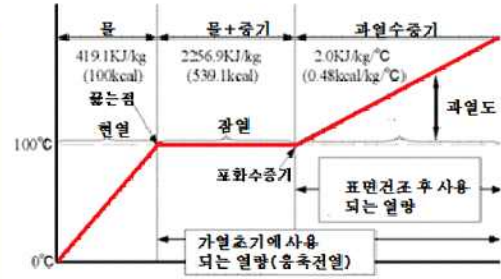
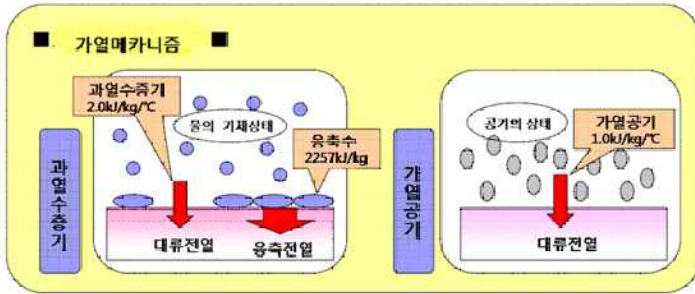
- 한국식품연구원이 수행한 정량적 위험분석기법을 이용한 산지형 고춧가루공정업체의 안전관리 기술 개발 (2011) 보고서에 의하면 시판 고춧가루의 미생물학적 품질을 분석한 결과 *B. cereus*를 제외하고 위해미생물인 살모넬라, 황색포도상 구균, 스테리아 모노사이토제네스, 아플라톡신 생성 곰팡이 등은 검출되지 않았으며, 일반세균류는 분쇄공정에서 현저히 증가, 자외선 살균공정에서는 균수가 감소되지 않아 거의 살균효과가 없는 것으로 알려져 있다.

교차오염 제품의 최종 균수는 $10^5 \sim 10^6$ CFU/g 수준으로 원재료 10^4 CFU/g 수준에 비하여 제조공정을 거치는 동안에 오히려 약 10~100배 증가하며, 이는 제조공정에서의 교차오염이 심각한 상황임을 의미하고 있다.

3. 과열수증기 살균기술

- **과열수증기(superheated steam) 살균**은 과열수증기와 분립체 원료를 순간적으로 접촉시킴으로서 원료의 수분을 거의 변화시키지 않으면서 더욱이 품질의 열화를 최소한으로 하면서 병원성 미생물을 살균할 수 있는 초단위의 살균기술이다. 과열수증기는 습열살균과 건열살균의 효과를 모두 가지고 있어 살균속도가 열풍살균보다 약 10배 빠르므로 매우 짧은 시간(5-30초)에 내부의 가열변성을 억제하면서 표면의 균수를 $(5 \sim 6) \log \text{CFU/g}$ 에서 $(2 \sim 3) \log \text{CFU/g}$ 정도로 감소시킬 수 있다.
- **과열수증기란** 물을 끓여 기화시킨 포화수증기(1기압의 경우 100°C 의 수증기)를 더욱 가열한($120 \sim 250$) H_2O 가스를 의미한다. 일반적으로 우리가 수증기(steam)라 부르는 증기는 보통 아주 작은 물방울을 함유하고 있는 습한 증기로 우리 눈에 희게 보인다. 이 습한 증기를 1기압을 그대로 유지하면서 100 이상으로 더욱 가열하면 우리 눈에 보이지 않는 무색투명한 기체상태의 과열수증기가 된다.
- **과열수증기에 의한 가열메커니즘** 과열수증기 가열과 보통 수증기(포화수증기) 가열의 차이점은 과열수증기는 100 이상의 현열(sensible heat)을 가지고 있다는 점이다.
 - ▷ 포화수증기로 분체식품을 가열하는 경우 초기에는 식품의 온도가 낮기 때문에 식품표면에 수증기가 응축한다. 이때 2256.9kJ/kg (539.1kcal/g)의 큰 응축잠열을 식품 표면에 주게 되며 이를 응축전열이라 한다. 응축전열속도는 매우 빨라 식품표면은 급속히 가열되며 식품표면이 응축수로 젖어 있기 때문에 습열가열 상태이다. 계속 가열하여도 포화수증기의 온도는 100 이므로 응축수는 증발하지 않으며 식품은 젖은 상태이다.
 - ▷ 그러나 과열수증기로 분립체를 살균할 경우 상술한 바와 같이 초기에는 분립체의 표면에 응축수가 형성되면서 높은 응축잠열이 표면에 부착하여 있는 미생물에 순간적으로 전달되어 미생물을 사멸시키는 습열살균 일어난다(응축과정). 과열수증기의 온도는 100 이상이므로 식품표면 온도가 100 에 도달한 이후에도 현열에 의하여 표면 응축수가 다시 증발하고(증발복원과정), 응축수가 모두 증발한 이후에는 표면은 건조되고 온도는 100 이상으로 상승한다(증발건조과정). 이 기간에는 과열수증기의 현열에 의하여 오염미생물이 사멸되므로 건열살균이라 할 수 있다.
- 다시 말하면 **과열수증기 살균**은 습열살균과 건열살균의 효과를 모두 가지고 있어 살균속도가 매우 빨라 표면의 순간살균이 가능하다. 상술한 분체식품의 과열수증기 처리과정을 정리하면 ① 응축과정, ② 증발복원과정, ③ 증발건조과정으로 정리할 수 있다. 특히 식품표면에 수분이 응축되어 있는 기간에 미생물이 주로 사멸되며 이 시간은 매우 짧기 때문에

적절히 제어하는 것이 중요하다.



과열수증기에 의한 가열메커니즘

그림 1. 과열수증기 처리의 원리

- 과열수증기 살균의 우수성: 지금까지의 연구에 의하면 과열수증기 살균은 ①수분감소를 최소화 할 수 있으며, ②과열수증기 분위기는 산소가 거의 없는 상태이므로 유지, 비타민 등의 산화가 억제되고, ③과열수증기 처리는 기체 상태에서 처리이므로 영양성분이 용출되지 않으며, ④농산물 표면에 부착하여 있던 농약과 기름성분의 제거, 불쾌취의 제거 등으로 품질이 개선되고, ⑤과열수증기로 가열한 제품은 색이 선명하고 식감이 좋은 것으로 평가되고 있다.

4. 과열수증기 살균 system

- 과열수증기 처리장치는 일반적으로 과열수증기 발생장치와 처리장치로 구성된다. 즉, 과열수증기 발생장치에서 생성된 증기를 처리목적과 시료의 형태에 따라 다양한 형식의 처리장치에 공급한다.

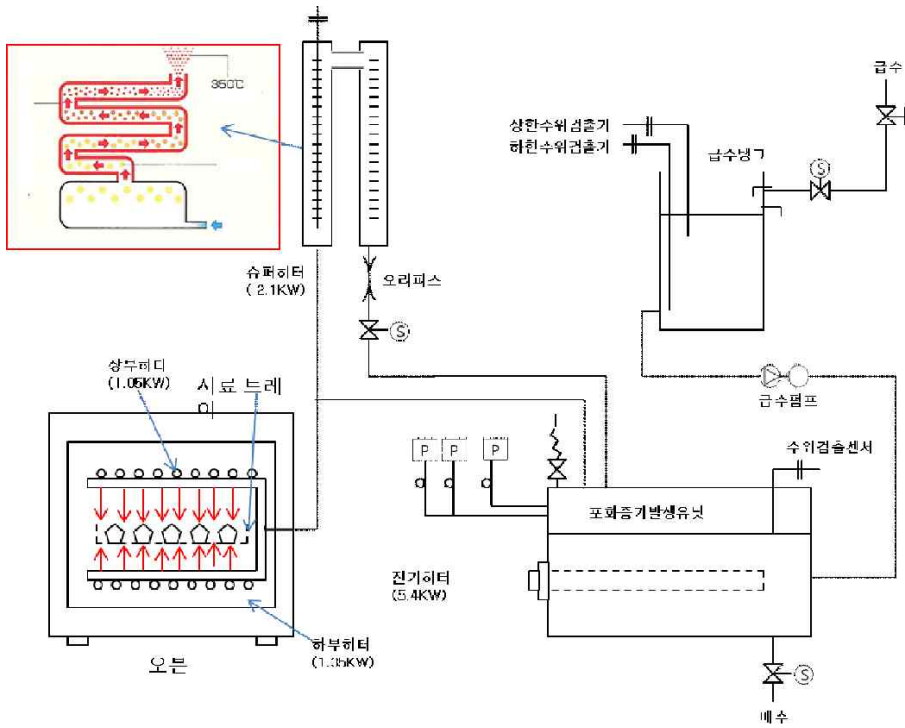


그림 2. 과열수증기 발생장치 구성도



그림 3. 분리형 과열수증기 발생장치와 와류형 유동층 처리장치



그림 4. 과열수증기 발생장치 일체형 오븐형 처리장치



그림 4. 과열수증기 발생장치 일체형 컨베이어형 처리장치

5. 무균 고춧가루의 제조

- 과열 수증기를 이용하여 홍고추를 180℃에서 1분간 처리하면, 대장균군을 포함한 일반 미생물이 전혀 검출되지 않으며, 품질에도 변화가 없었다. 이러한 살균 홍고추를 이용하여 무균적으로 관리된 건조, 분쇄 과정을 거치면 일반 미생물과 대장균군이 전혀 검출되지 않고,

품질도 전혀 이상이 없는 매우 위생적인 고춧가루의 생산이 가능하다.

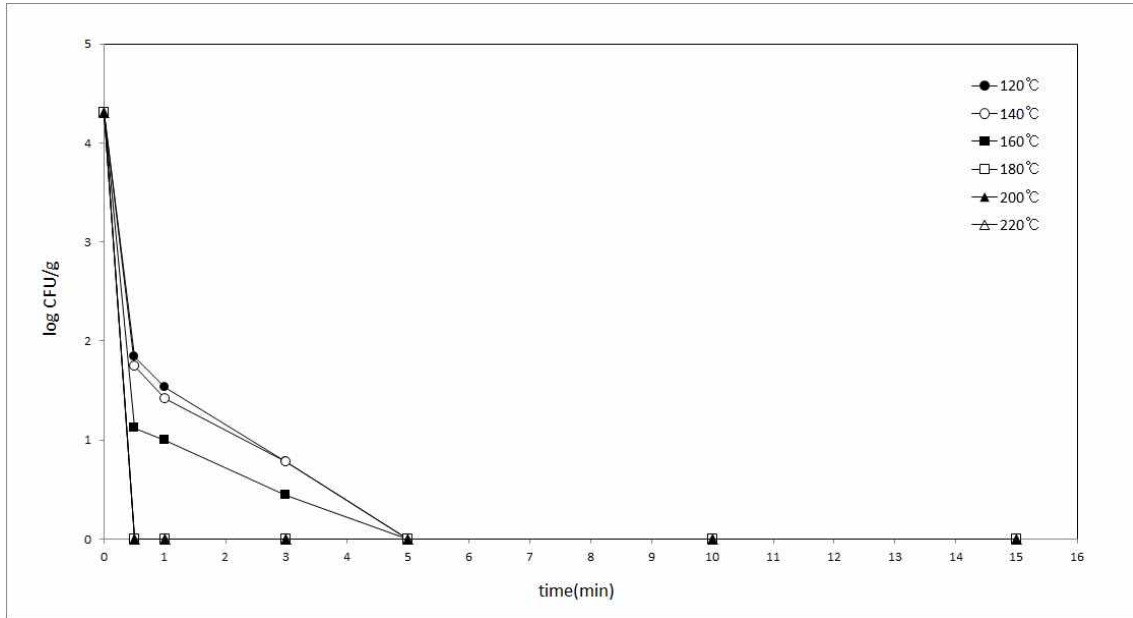











그림 5. 과열수증기 처리에 의한 홍고추의 잔존 미생물수의 변화

표 2 무균 고춧가루 생산공정별 잔존 미생물

		control	세척	과열수증기처리 (180°C, 1min)	건조 (60°C, 30H)	분쇄 (40mesh)
오븐형과 열수증기	사진					
	일반미생물(1 og CFU/g)	5.16	3.59	N/D	N/D	N/D
	대장균군(log CFU/g)	1.08	0.85	N/D	N/D	N/D
	수분함량(%)	87.13	89.03	86.11	13.06	13.11
컨베이어 형 과열수증 기	사진					
	일반미생물(1 og CFU/g)	5.16	3.56	N/D	N/D	N/D
	대장균군(log CFU/g)	1.08	0.78	N/D	N/D	N/D
	수분함량(%)	87.13	89.04	85.51	12.84	13.02

광펄스 기술을 이용한 분체 살균 가이드라인

제 1 장 광펄스 기술

가) 기술 개요 및 특징

광펄스 기술은 ‘intense pulsed light (IPL)’, ‘pulsed white light (WHL)’, ‘broad-spectrum white light’ 등 여러 가지 이름으로 불리며, 광펄스에서 사용되는 빛의 영역은 170-2,600 nm의 범위로서 자외선(UV, ultraviolet) 영역 뿐만 아니라 근적외선(NIR, near infra-red) 영역까지 포함한다는 점에서 기존의 자외선 살균과 구분된다. 광펄스 살균 시스템은 고전압을 발생시킬 수 있는 전원 장치, 전기 에너지를 저장할 수 있는 축전지, 그리고 xenon 기체로 충전되어 있는 lamp로 구성되어 있다. IPL 장치의 작동 원리는 DC의 전원 장치에서 발생된 전기에너지가 축전지에 축전되고 일정량의 전압이 지속적으로 램프에 흐른다. Xenon과 같은 불활성 기체가 충전되어 있는 램프에는 trigger 전원이 연결되어 있고, trigger 전원이 아주 짧은 시간(수 μ s)동안 램프에 인가가 되면 일정량의 전원에 의해 지속적으로 흐르는 전압에 의해 약간의 여기 상태에 있던 가스가 순간적으로 크게 발광을 하면서 강한 빛을 발생하게 된다. 개략도는 그림 1과 같다.

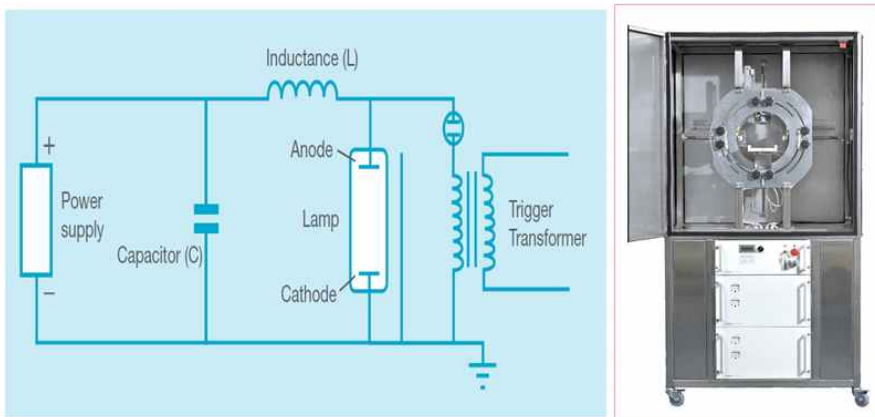


그림 1. Intense pulsed light system의 개략도

이렇게 발생한 강한 빛(햇빛보다 15000배 이상)을 짧은 시간동안 식품의 표면에 강하게 조사하여 식품 내에 존재하는 미생물을 사멸시킴으로서 보존 기간을 늘리는 기술은 광펄스 기술이라고 한다.

현재 광펄스 처리에 가장 많이 쓰이는 램프는 xenon flash lamp로 미생물의 불활성에 가장 중요한 부분은 UV-C part이지만, 식품과 밀접한 미생물(*Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, *Pseudomonas aureginosa*, *Saccharomyces cerevisiae*)의 불활성화에 대한 연구가 보고되고 있는데 pulsed UV flash 처리의 경우에 약 5-6 log의 사멸 효과를 보였으나, UV light에 의해서는 1-2 log 정도의 사멸 효과만을 나타내어 IPL이 UV보다 높은 사멸 효과를 나타내는 것으로 보고되고 있다.

광펄스에 의한 미생물의 살균 기작은 photothermal 또는 photochemical 효과에 의한 것으로 어느 하나에 의한 것이라기 보다는 두 효과가 함께 영향을 미친다. 많은 연구자들은 주된 살균 기작을 photochemical 효과에 의한 것으로 보고하고 있으며, 일부의 실험 결과에 의하면 IPL 처리시 온도 상승은 1°C 미만으로 photothermal 효과는 거의 없는 것으로 나타났다. IPL에 의한 미생물의 사멸은 CW UV에 의한 미생물 사멸 처럼 pyrimidine dimer의 형성에 의한 세포 복제 저해, photoproduct의 형성에 의한 single strand와 double strand의 파괴, cyclobutane dimer의 형성 등에 의한 것으로 보고되고 있다. Photothermal 효과를 주장하는 연구결과도 있는데 광펄스를 조사하게 되면 미생물이 열을 흡수하여 사멸하게 되고, 식품의 표면층이 광펄스의 에너지를 흡수하여 식품 내의 미생물을 사멸시킨다고 보고되고 있으나, 이 에너지의 양이 식품 전체를 가열시킬 정도의 열은 아니다. 일부의 연구자는 램프로부터의 나오는 에너지가 0.5 J/cm²를 넘을 경우, 세포의 변형과 파괴를 일으키는 열 사멸 효과를 보인다고 하기도 하였으며, 그 이외에 DNA의 구조 변화, 세포막의 손상 등도 사멸 기작으로 보고되고 있다

나) 기술 개발의 필요성

현재 국내외적으로 분말형 식품(스프류, 향신료, 각종 분말류)에 사용되는 살균 방식은 훈증처리, 방사선 조사, 초고온 증기 살균, 전자파 조사, 고주파 가열법, 그리고 자외선 조사 방식 등이 사용되고 있다. 그러나 발암성 물질의 생성, 소비자들의 비선호, 경제적 부담, 식품의 변질 및 영양소 파괴 등의 이유로 분말형 식품의 효율적인 살균에 많은 제약이 존재해 왔다. 최근, 자외선 조사 방식이 주로 생산라인에 적용되고 있으나 분체 식품 내 미생물 저해효과는 불확실한 것으로 보고되고 있다.

대부분의 분말형 식품은 농산물 또는 원예 산물의 수확물을 여러 번 가공하여 최종 분말제품으로 포장되므로, 가공라인에서의 수확 후 오염이 가장 빈번한 식품 중 하나이다. 또한, 현대사회의 식습관 형태와 건강과 다이어트에 대한 관심은 액상 형태에 녹여 간편히 섭취할 수 있는 분말형 식품의 수요를 폭발적으로 증가시키고 있는 실정이다. 그러므로 다양한 가공을 거치면서 영양분과 관능적 특성의 손실을 최소화하고 효율적인 미생물 저해를 위한 분말형 식품의 살균 기술은 계속적으로 요구되고 있다. 이러한 트렌드에 부합하여 분말형 식품의 살균에 효율적이면서 안전하게 적용할 수 있는 신기술 개발이 요구되고 있다.

제 2장 광펄스 기술의 식품 적용 연구

가) 국내외 동향 및 식품에의 적용 연구

미국의 PurePulse Technologies사는 광펄스 장치인 PureBright를 개발하여 이를 의약품, 의료기기, 포장재, 생수 등의 살균에 적용하고 있으며, 이 회사에서 개발된 장치에 의해 발생하는 펄스의 세기는 지구표면에 작용하는 태양광선에 비해 20,000배 정도가 되는 것으로 보고되고 있다. 또한 이 장치를 이용하여 다양한 종류의 세균(숙주세포 및 포자), 곰팡이, 바이러스 등 각종 미생물에 대한 살균효과를 광범위하게 고찰하고 있는 것으로 알려지고 있다. 이 장치는 여러 종류의 식품 및 포장재 살균에 적용하였는데, 일반적으로 토마토는 냉장보관을 해도 금방 물러지기 쉽지만 Pure Bright 장치를 적용한 후 냉장보관을 하였을 때 토마토가 30일 정도 신선하게 보관이 되었으며, 식빵의 포장지를 광펄스 살균을 한 후 사용하였을 경우에는 식빵이 2주 이상 신선한 상태를 유지하였으나 광펄스 살균을 하지 않은 포장지에 넣은 식빵의 경우엔 같은 기간에 곰팡이가 많이 발생했다는 연구 결과를 발표하였다. Dunn 등은 다양한 빵류의 제품에 광펄스 살균을 적용하여 곰팡이를 효과적으로 살균함으로써 유통기한을 연장할 수 있다는 연구결과를 보고하였고, 새우를 광펄스 처리를 한 후 7일간 냉장 저장하였을 때는 양호한 상태를 유지하였으나 광펄스 처리를 하지 않고 냉장 저장하였을 때는 변색, 이취 등이 발생하여 식용할 수 없는 상태가 된 것으로 보고하였다. Dunn 등은 또한 계육, 핫도그, 치즈 등 여러 종류의 식품에 존재하는 *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Listeria innocua*, *Salmonella*, *Pseudomonas* 등의 살균에 광펄스 기술을 적용하여 관능적 변화를 최소화 하면서 효과적으로 유통기한을 연장할 수 있다는 연구결과를 발표하였다. 미국 FDA에서는 광펄스 살균 기술의 사용 권고 기준을 마련해 놓았는데 (Food and Drug Administration Issues Approval for Pulsed UV Light in the Production, Processing and Handling of Food [Code 21CFR179.41]) 여러 문헌에서의 광펄스 살균 기술의 기준과 미국 FDA의 권고 기준의 차이는 표 1과 같다. 2000년 이후부터 광펄스의 미생물 사멸작용에 대한 mechanism을 규명하기 위하여 여러 연구팀들이 이에 대한 연구를

시작하였다. 초기에는 광펄스에 의한 미생물 사멸작용이 UV 파장에 속하는 광펄스에 의해 UV에 의한 살균효과와 동일한 것으로 판단하였으나 차후 다양한 실험에 의해 광펄스에 의한 사멸작용이 photothermal mechanism과 photochemical mechanism이 동시에 작용하여 나타난다고 보고되었다. 그러나 광펄스에 의해 시료의 온도가 상승하지 않는 것으로 볼 때 photothermal mechanism에 대한 이견이 대두되어 현재까지도 정확한 사멸기작을 해명하지 못하고 있는 실정이다. 광펄스 적용시 DNA 상에서의 thymine dimer 생성, DNA single strand break에 의해 미생물이 사멸되는 것으로 현재 이론이 정립되고 있으며 미생물 세포막의 파괴에 의해 세포 내용물이 유출되면서 미생물이 사멸되는 data도 보고되고 있다. 최근에는 photosensitizer를 사용하여 광펄스를 적용시켰을 때 미생물의 사멸율이 상승한다는 보고가 있어 photosensitization에 관한 연구가 대두되고 있다.

표 1. 식품 살균에 사용하기에 적합한 광의 특성

	이론상 기준	FDA 권고 기준
Wavelength	170 - 2,600 nm	200 - 1,000 nm
에너지 밀도	0.01 - 50 J/cm ²	12 J/cm ²
pulse range	1 μs - 0.1 s	2 ms 이하

광펄스 처리의 식품 적용 사례로 가장 많이 연구되고 있는 것이 과일 및 야채류에 존재하는 미생물을 사멸하는 것이다. Hoornstra 등은 배추, 부추, 파프리카, 당근, 케일등의 야채에 0.6 J/cm²의 IPL 처리를 한 결과 1.6~2.6 log CFU/cm²의 미생물수를 감소시켰으며, 각 야채의 관능적 품질에는 큰 영향을 주지 않고, 7°C와 20°C의 온도에서 7일 이상을 유지하였다고 보고하였다. Marquenie등은 딸기와 체리같은 과일류에 존재하는 곰팡이인 *B. cinerea*와 *M. fructigena*에 IPL 처리를 하여 최대 3~4 log 감소되었으며, 역시 딸기의 품질에는 아무런 영향을 주지 않았다고 보고하였다.

광펄스 처리가 분말 식품이나 종자의 오염을 처리하는 기술로서의 적용도 연구가 되고 있다. Choi 등은 분말 이유식에 *Listeria monocytogenes*, *Enterobacter sakazakii*를 접종하여 IPL 처리한 결과 각각 4 log, 5 log 이상의 사멸효과를 보이는 것으로 보고하였으며, Jun 등은 옥수수에 접종한 *A. niger* 포자를 처리하여 약 5 log,

Fine and Gervais는 밀가루와 후추의 *S. cerevisiae*를 처리하여 1 log 정도의 사멸 효과를 거두었다고 보고하였다.

또 다른 적용분야로서 최근 수산물의 오염균을 저감하는 기술 개발이 이루어지고 있다. Shin 등은 연어, 광어, 새우등에 *E. coli*, *L. monocytogenes*, *P. aeruginosa*등을 접종해서 IPL을 처리했을 경우 1~3.5 log 정도 사멸하는 결과는 얻었으며, Ozer과 Demirci도 연어의 *L. monocytogenes*가 0.86~1.09 log 정도 사멸한다고 보고하였다. 이외에도 육류, 치즈, 케익, 새우등에 적용하는 연구사례가 보고되고 있다.

제 3장. 광펄스 분말(분체) 살균

가) 광펄스 살균 기술의 허가

식품 공전 상에 분말류 식품으로는 고춧가루, 밀가루, 생식, 시리얼, 영유아용 곡류 조제식, 영아용 조제식, 전분류, 체중조절용 조제식품, 향신료 가공품 등이 있다. 각 원료별, 형태별 식품에 대하여 식품별 규격 기준 항목 지침은 완제품에서의 위해 미생물의 규격과 잔류농약, 중금속 수치, 그리고 제조와 가공기준 등이 공전 상에 마련 되어 있다. 또한, 식품일반의 기준 및 규격에 명시된 식품 조사 처리 기준에서 현재 국내에 허용되는 선종은 감마선과 전자선이며, 그에 대한 허용한계가 명시되어 있다. 광펄스 살균은 미국 FDA가 이미 그 공정을 허용하여 일부의 품목에 적용되어 상용화되어 있으며, 중국에서는 분말 제품의 살균에 적용된 장치가 제작되어 판매되고 있다. 따라서 국내에서도 광펄스 살균의 현장 적용에는 큰 문제가 없을 것으로 보인다. 하지만 국내외적으로 광펄스에 의한 분말 식품에의 적용에 대한 연구는 부족한 실정이며, 특히 국내에서는 광펄스 공정의 연구는 매우 부족한 상태이며, 산업적 현장 적용도 이제 첫 단계 수준에 머물러 있어 살균 장치의 기준이나 법적 허가 부분에 대해서 향후 다각적인 논의가 필요할 것으로 보인다. 다만 미국 FDA의 Code Federal Regulation (CFR)의 식품 조사 부분에서 광펄스 살균 기술을 허가(그림 2)하고 있어 이의 기준을 준용한다면 국내 적용에도 큰 문제는 없을 것으로 판단된다.

[Code of Federal Regulations]
[Title 21, Volume 3]
[Revised as of April 1, 2016]
[CITE: 21CFR179.41]

TITLE 21--FOOD AND DRUGS
CHAPTER I--FOOD AND DRUG ADMINISTRATION
DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES
SUBCHAPTER B--FOOD FOR HUMAN CONSUMPTION (CONTINUED)
PART 179 -- IRRADIATION IN THE PRODUCTION, PROCESSING AND HANDLING OF FOOD
Subpart B--Radiation and Radiation Sources
Sec. 179.41 Pulsed light for the treatment of food.

Pulsed light may be safely used for treatment of foods under the following conditions:
(a) The radiation sources consist of xenon flashlamps designed to emit broadband radiation consisting of wavelengths covering the range of 200 to 1,100 nanometers (nm), and operated so that the pulse duration is no longer than 2 milliseconds (msec);
(b) The treatment is used for surface microorganism control;
(c) Foods treated with pulsed light shall receive the minimum treatment reasonably required to accomplish the intended technical effect; and
(d) The total cumulative treatment shall not exceed 12.0 Joules/square centimeter (J/cm².)

그림 2. CFR- Code of Federal Regulations Title 21

나) 광펄스 분말 식품 살균 연구

광펄스 장치를 이용한 분말 식품 살균의 적용은 그리 많지 않으나 최근 들어 국내외 연구에서 보고되고 있다. Bae 등(2013)은 광펄스를 이용하여 여러 종류의 분말 식품의 살균에 적용 연구를 하였는데, 선식분말의 경우에는 광펄스 처리를 3분 하였을 경우 약 1.3 log CFU/g이 감소하였으며, 고춧가루를 처리하였을 경우에는 5분 처리로 0.3 log CFU/g의 감소효과를 나타낸 것으로 보고하였다. 또한 파슬리 분말은 5분 처리시 0.4 log CFU/g, 커피 파우더는 0.3 log CFU/g의 감소 효과를 보이는 것으로 보고하였다. 선식 분말의 경우에는 1 log 이상의 감소효과를 보였는데 반면에 향신료는 긴 시간을 처리하여도 0.3-0.4 log 이상의 감소효과를 보이지는 않았는데, 처리 조건 중 펄스 폭을 1.2 ms로 늘려 2분 처리하였을 경우에는 0.7 log가 감소하였고, 1.3 ms 에서는 0.8 log가 감소하여 펄스 폭이 살균에 큰 영향을 미치는 인자라고 보고하였다. Cheigh 등은 분말 이유식에 *Enterobacter sakazaki* 균을 접종하여 광펄스 처리를 하였을 경우 약 4-5 log 이상의 높은 사멸 효과를 보이는 것으로 보고하기도 하였다. Nicoleta Aron Maftei et al. (2014) 에 따르면 두 종의 wheat grain 의 자연 발생한 곰팡이를 광펄스로 처리하였을 때, 최고 조건인 51.2 J/g 로 광펄스 처리 하였을 때, Romanian wheat grain의 mold가 4 log 감소였으나, 같은 조건에서 Romanian wheat grain의 발아율은 85%로 대조군 보다 15% 감소함을 보여, 유의적인

차이를 보이지 않은 것으로 보고하였으며, R.R SHARMA et al. (2003) 에 따르면 *Escherichia coli* O157:H7을 접종한 alfalfa 씨앗 10 g을 8 cm 높이에서 1260 J/cm² 의 에너지로 처리 한 후, *Escherichia coli* O157:H7은 3.14 log 감소를 보였다고 하였다.

제 4 장 광펄스 (Intense Pulsed Light) 분말 식품 살균 적용

분말(분체) 식품 살균에 있어 광펄스 장치는 고전압 발생장치와 미국 FDA가 승인한 xenon 가스가 충전된 램프로 구성된 장치를 선정하였다. 식품의 특성에 따라 처리 시간, 처리 전압, 에너지량을 다르게 설정하며 장치의 전압(빛의 세기), 펄스 수, duty ratio (펄스 폭)은 조절이 가능하도록 하였다. 전압의 범위를 triggering 전압은 15 kV 이상, 상시전압은 램프의 크기에 따라 다르지만 일반적으로 600 V 이상이 되도록 하고, 전체 처리 에너지량은 12 J/cm²가 넘지 않도록 한다. 광펄스 살균에 있어서 중요한 것 중 하나는 처리 용기로서 회분식 처리용기가 효과가 좋으나 연속적 처리를 위해서는 유동층 방식 또는 cyclone 방식의 처리용기를 도입할 수 있다. 또한 처리용기는 그 재질과 두께에 따라 차이가 많이 나기 때문에 용기 재질의 선별에 있어서도 신중을 기해야 한다. 경우에 따라 열처리와 병합하여 이용을 할 수도 있다.

가) 광펄스 살균 시스템의 설계

광펄스 살균시스템은 전원공급부(power supply), 펄스발생기(pulse generator), 펄스변압기(transformer), 광원(light source) 그리고 처리용기(treatment chamber)로 구성되어 있다(그림 3). 전원 공급부는 AC 220 V 입력 전원을 고전압 변압기를 통해 승압하고 DC로 정류하여 최대 DC 50 kV 전원을 발생시킬 수 있으며, 최대 허용치 전력은 50 kW이다. 펄스 발생기는 광원에 펄스를 구성시킬 수 있는 펄스 발생망(pulse forming network, PFN)과 고전압의 전기를 순간적으로 방전시킬 수 있는 스위치로 구성되어 있다. 펄스 발생망은 광원에 인가되는 펄스의 형태와 길이를 결정하는 중요한 부분으로서 전원 공급부에서 공급된 전원을 충전하고 펄스의 상승시간(rising time)을 결정하는 축전지(capacitor, 1800 pF/each), 펄스의 길이와 하강시간(falling time)을 조절하는 방전 지연 유도기(discharge delay inductor, 2-20 μ H)로 되어 있으며, exponential decay pulse와 square wave pulse를 발생시킬 수 있도록 구성되었다. 축전 방식은 resonance charging이며 축전지에 충전된 고전압의 power를 순간적으로 방전

하는 switch는 열음극방전관(thyratron, 50 kV)을 사용하였으며, 방전시 발생하는 열은 cooling device를 사용하여 방출하였다. 광펄스 시스템 controller는 펄스의 폭을 0.5-4.5 ms까지, 광원 주파수는 1-20 Hz, trigger 전압을 최대 35 kV까지 쉽게 가변할 수 있도록 제작되었다(그림 4). 일반적으로 광펄스 처리 장치에 사용되는 광원은 대부분 xenon 가스 또는 krypton 가스가 고압으로 충전되어 있는 quartz 재질의 lamp를 사용한다. 광원 lamp는 소량 살균시 type NL4006 또는 대량 살균시에는 59 kPa의 압력으로 xenon을 충전한 quartz 재질의 Heraeus Noble light XAP series(type NL9553)를 사용하도록 하였다(그림 5). Xenon flash lamp는 xenon gas로 충전되어 있어 lamp로부터 빛을 발생시키게 하기 위해서는 xenon gas를 여기(excitation) 시켜 plasma를 형성시켜야 하며, 이를 위한 최소 전압은 16 kV이며 lamp에는 상시적으로 600-2100 V의 전압이 공급되어야 한다.

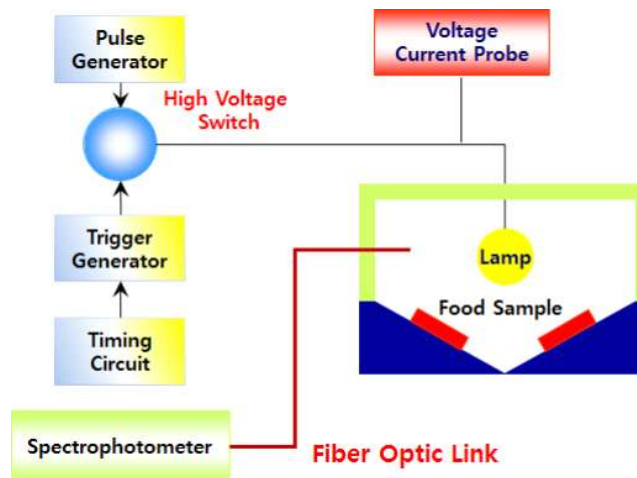


그림 3. Schematic diagram of high-intensity pulsed light system



그림 4. 고전압펄스 트리거 발생 하드웨어(위) 와 광펄스 시스템 controller 외형(아래).



그림 5. 광원 lamp type NL9553(위, 27.1 cm) 과 type NL4006(아래, 14.5 cm).

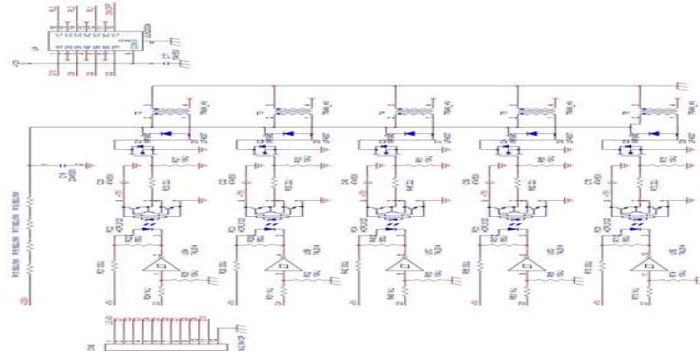


그림 6. 고전압펄스 트리거 발생장치 회로도

나) Sample treatment chamber의 설계

Sample treatment chamber는 광펄스 처리 중 살균 대상식품이 실제로 광에너지를 받는 부분으로서 균일한 빛이 분체(분말) 식품 개별입자에 골고루 조사될 수 있도록 설계되어야 하며, 고전압이 인가되는 장치이므로 안전성 확보가 중요시 된다. 회분식과 연속식의 두 종류를 생각해 볼 수 있는데, 회분식의 경우 시료의 상단부만이 광원을 직접적으로 받게 되고 하단부는 처리를 받지 못하여 시료가 균일하게 광원에 노출되지 않아 처리가 불완전해지는 현상이 나타난다. 이런 단점을 보완하기 위해 chamber 내 광원 위치를 시료의 상단부와 하단부, 좌우에 설치하는 방안을 고려해 볼 수 있으나 이는 비효율적으로 고가의 장치비용이 드는 단점이 있다. 따라서 시료를 광원에 최대한 노출시킬 수 있는 디자인의 chamber가 필요하다. 본 연구에서는 이러한 점들을 고려하여 분체(분말) 살균을 위한 sample treatment chamber를 설계하여 제작하였는데 개발된 장치는 크게 sample container, treatment chamber, 그리고 chiller로 이루어져 있으며 전체적인 장치 모식도는 (그림 7)과 같다. 살균 처리를 위한 분체(분말) 시료는 기기 하단부의 hopper에 들어가며, 최대 3 L의 분체 시료를 담을 수 있

도록 설계되어 있다(그림 8). 분체 시료는 air compressor에 의해 파이프를 따라 기기 상단부의 acrylic cyclone chamber로 이송되어 chamber 위에서 아래로 떨어지게 되는데 이 때 진공 상태의 chamber 내에서 분체는 cyclone을 형성하며 떨어지도록 하여, 분체가 chamber 내에 머물러 있는 시간을 증가시킬 뿐만 아니라 광원을 받는 분체(분말) 시료의 표면적을 최대화시킬 수 있도록 하였다. 떨어진 시료는 일정한 속도로 작동되는 rotary valve에 의해 일정량이 hopper에 다시 모이게 되고 다시 파이프를 따라 chamber 내로 이송되어 연속적으로 살균 처리가 가능하도록 제작되었다. 광원 램프는 chamber 내 중앙부에 위치한 석영관 재질의 노즐 장치 내부에 장착되어 있는데, 석영관 내부로는 냉각수가 순환할 수 있는 chiller 장치가 연결되어 살균 처리 중 램프에서 과도한 열이 발생하는 것을 막아주고 chamber 내 온도를 일정하게 유지시킬 수 있도록 제작되었다.

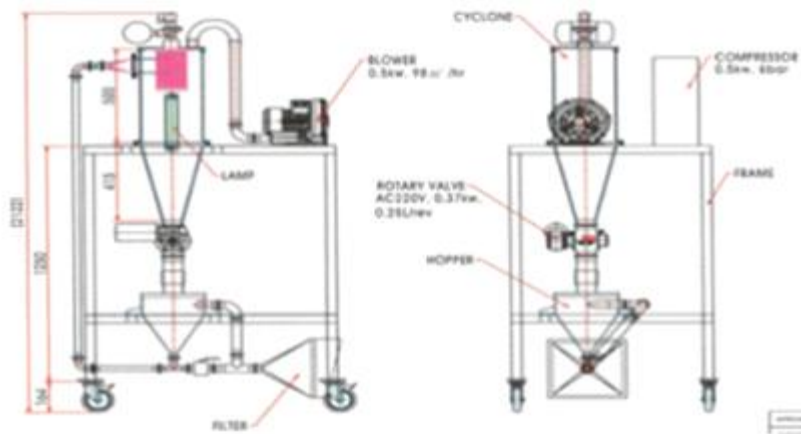


그림 7. 분체(분말) 살균용 광펄스 살균장치 설계도

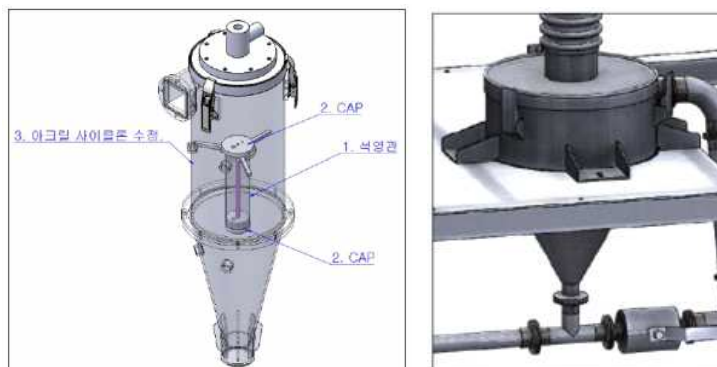


그림 8. acrylic cyclone chamber(위) 와 hopper (아래)

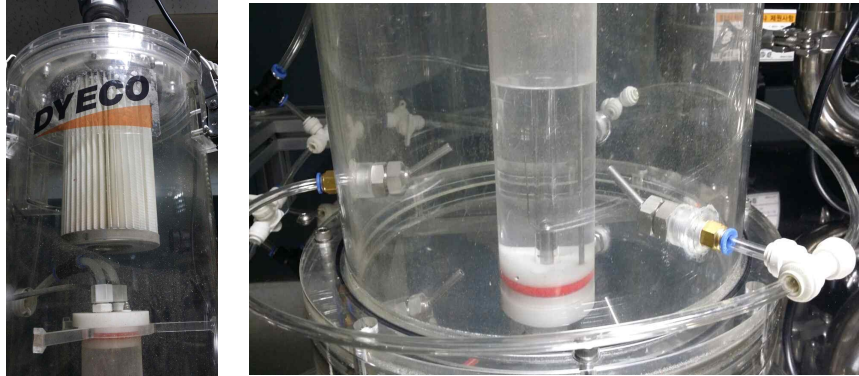
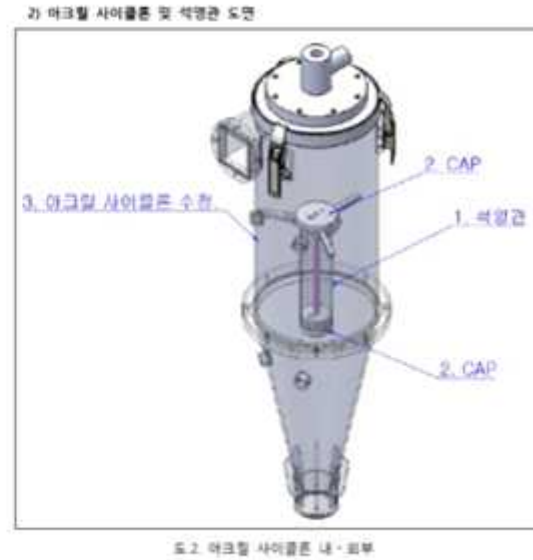
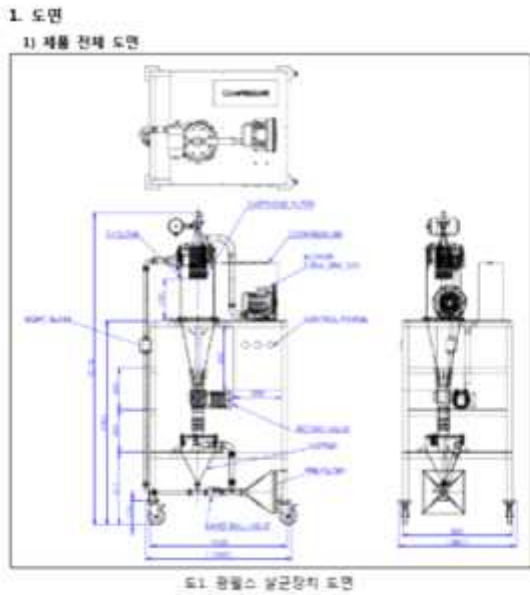


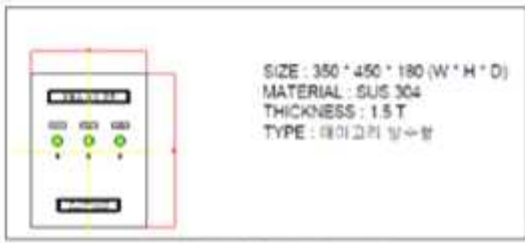
그림 9. 분체(분말)용 광펄스 필터 장치와 스폿 에어노즐 장치

다) 장비 매뉴얼

개발된 장비의 안전한 사용을 위한 장비의 매뉴얼은 다음과 같다.



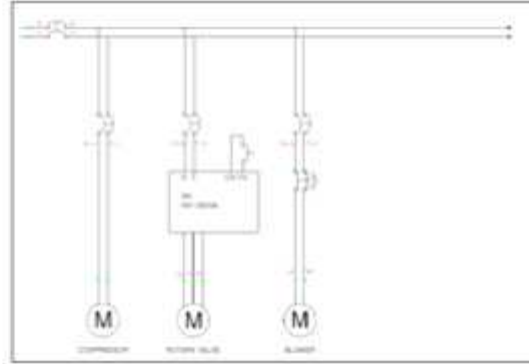
3) 전기 도면



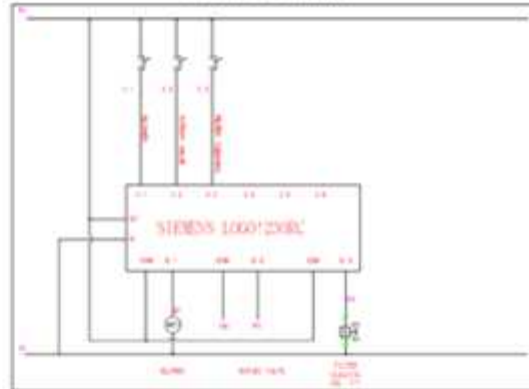
도 3 광필스 살균장치 CONTROL PANEL



도 4 PANEL ACCESSORY



도 5 ELECTRIC DRAWING



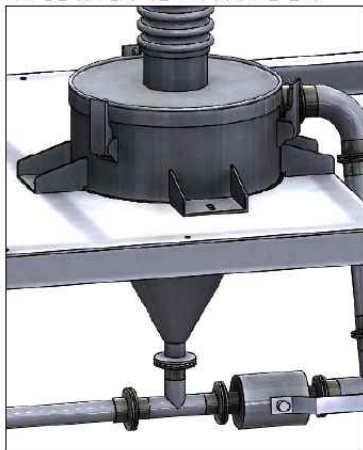
도 6 PLC DIAGRAM

2. 장비 사양

항목	사양
메인 전원	220V, 1P, 1.2kW
전체 Size	1000(W) x 2214(H) x 800(D)
Ring Blower	0.5kW, 2P, 1HP, 220V, 60Hz
Rotary Valve	Sanitary, Stainless Steel 304, Φ80, IP65
Compressor	500W, Max. 8bar, 89L/min air생산

3. 시료 준비

- 광필스 살균장치에 넣을 분체 준비
- 시료량 : 200~300g
- 시료 넣는 곳 : 장비 하단 호퍼 (아래 그림 참조)



도 7. 호퍼

4. FILTER CLEANING 타임 설정 방법

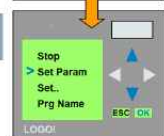
TIME BLOCK

B01
FILTER CLEANING
TIME 설정

1. 초기화면에서 먼저 ESC 버튼을 누른다.



2. 화면이 전환되면 상, 하 화살표(▲▼) 키를 이용하여 커서를 Set Param. 으로 이동시킨 후 OK 키를 누른다.



TIME BLOCK

B01
FILTER CLEANING
TIME 설정

3. 화면이 전환되면 상, 하 화살표(▲▼) 키를 이용하여 수정할 원하는 BLOCK 화면에 나오도록 화면을 전환 시킨다.



4. 원하는 BLOCK 화면으로 전환되면 OK 키를 눌러 상, 하 화살표(▲▼) 키를 이용하여 다음 설정하려는 시간으로 설정한다.



5. 원하는 시간으로 설정 후 OK 키를 눌러 설정 시킨다.





5. 가동 방법

- 1) 호퍼에 시료를 넣는다.
- 2) 장비 전체가 제대로 조립 되어 있는지 확인 후, 장비의 메인 전원을 공급한다. (220V, 1P)
- 3) 장비 상부의 컴프레서를 켜다.
- 4) 광펄스 살균장치 CONTROL PANEL을 켜다.
- 5) 광펄스의 광원을 전원 연결 한다.
- 6) 광펄스 살균장치 CONTROL PANEL의 BLOWER, ROTARY VALVE, FILTER CLEANING을 켜다.
(여기서 FILTER CLEANING 버튼은 FILTER가 막혔을 때만 사용해도 괜찮다.)
- 7) 가동하고자 하는 시간만큼 장비를 가동한다.

6. 가동 정지

- 1) 가동이 완료되면 CONTROL PANEL의 스위치를 모두 내리고, 광펄스 광원의 전기공급을 중단한다.
- 2) 살균된 분체를 HOPPER에서 꺼낸 후 장비를 세척 한다.

7. 장비 세척 및 조립

- 동영상 참고

라) 식품제조공정의 광펄스 살균 가이드라인

분체식품 살균을 위한 pilot-scale 광펄스 장치를 cyclone type 장치와 belt type 장치로 개발하였다. 최대 30 kg/h의 처리 용량을 가지며 다양한 크기의 분체 식품을 처리 할 수 있음. 단, 당이나 유분이 많은 마늘 분말과 들깨 같은 분체 식품은 기기 벽면에 달라붙어 원활히 살균 처리 되지 못하기 때문에 제한된다. Pilot-scale 광펄스 장치는 DC voltage, frequency, pulse duty, treatment time을 조절하면서 광원의 세기를 조절 할 수 있으며, 목표 미생물 저감화 수준, 분체 식품의 크기 및 여러 특성에 맞춰 광원 에너지밀도를 설정 할 수 있다. 분체 식품의 살균 효과는 DC voltage (0-2400 V), frequency(0-10 Hz), pulse duty(0.5-3.0 ms), treatment time이 증가함에 따라 높아지는데, 특히 pulse duty에 대한 영향을 받기 때문에 높은 살균 효과를 위해서는 pulse duty를 조절하는 것이 유리함하다. 강한 에너지밀도를 가지는 광원을 샘플에 노출시키는 것이 중요하며, 기기의 안정성을 고려한 최적 살균 조건은 DC voltage 2400 V, frequency 2 Hz, pulse duty 3.0 ms임. 광원 램프의 온도를 조절하는 냉각장치의 파워에 따라 해당 조건의 광원을 2분 이상 처리한다면 2-3 log의 미생물 저감 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 광펄스 처리 시간은 샘플의 색이나 여러 물리적 특성의 변화가 보이지 않는 수준에서 조절 가능하나, 고전압을 발생하는 power supply의 안정성을 고려하여 처리 시간은 5분 이내로 설정한다. 평균 직경이 2 mm 이상 되는 분체 식품의 경우 sieve 바닥의 belt type 광펄스 장치를 이용하거나 cyclone type 장치와의 병합처리를 통해 살균한다면 샘플이 belt type 장치의 바닥면을 굴러가면서 더욱 많은 샘플의 면이 광원에 노출되어 높은 미생물 저감화 수준을 얻을 수 있다. 본

광펄스 살균시스템의 식품산업 적용을 위해 시설비 및 운영비를 책정하였다(표 2). 최대 처리용량을 고려하여 시설비를 책정하였고 램프 교체 비용, 전력비, 유지비 등을 운영비로 책정하였고, 전력비의 경우 해당 장치의 소요전력과 한국전력의 산업용 평균 전기료를 적용하여 산출하였다. 시설비의 경우 광펄스 처리 조건인 DC voltage, pulse duty, frequency 등을 고정하여 제작하는 것으로 가정하여 50,000,000원으로 측정하였으며, 해당 장치의 대량 생산이 이루어진다면 비용이 감소할 것으로 판단된다. 광펄스 살균장치의 경우 신기술이기 때문에 기술의 상업적 적용을 위한 초기 연구개발비가 들어 갈 것으로 판단되나, 해당 장치의 인건비, 운영비, 유지비 등이 가열 살균시스템에 비해 낮을 것으로 예측되기 때문에 실제 산업체에 광펄스 살균시스템 도입은 충분한 경제성을 가질 수 있을 것으로 판단된다. 광펄스 살균기술의 실제 실용화를 위해서는 광펄스의 성질(파장, 세기, 펄스의 길이 및 수 등), 적용 식품의 특성(식품의 화학적 특성, 투명도, 색상 등), 공정요소(process factors)들이 미생물의 불활성화에 어떤 영향을 미치며 각 요소들이 살균 효과에 어떤 영향을 미치는지에 대해서는 장치를 운용하면서 시료에 맞게 설정하여야 한다.

표 2. 광펄스 살균시스템 시설비 및 운영비 산출

처리용량	720 kg/day	
시설비	50,000,000 원	
운영비	램프 교체 비용	<ul style="list-style-type: none"> - 램프가격: 780,000원/개 - 연간 램프교체 주기: $24 \text{ h/day} \times 365 \text{ day/year} \div 6000 \text{ h}$ $= 1.46/\text{year}$ - 연간 램프교체비용: $780,000\text{원/개} \times 1.46/\text{year}$ $= 1,138,800\text{원/year}$
	전력비	소요전력 : 1.2 kw <ul style="list-style-type: none"> - 전력비: $1.2 \text{ kw} \times 24\text{시간} \times 54\text{원/Kwh}$ $\times 365\text{일/year} = 567,648\text{원/year}$
	유지비	<ul style="list-style-type: none"> - 필터 교체, valve 점검 등: 1,000,000 원/year

제 5 장 결론

식품 분야에 적용 가능한 광펄스 기술은 국내에서는 거의 개발되고 있지 않거나, 우수한 제조 기술력을 갖추고 있으나 그에 대한 안전성 검증 단계이며 신 살균 기술에 대한 높은 진입 장벽으로 인해 상용화 단계로의 박차를 가하지 못하는 실정이다. 그러나 광펄스 살균은 살균 공정으로서 미국 FDA가 승인된 상태이며, 미국, 중국 등에서 특정 식품의 용도에 맞는 다양한 장치가 제작되고 상용화 단계에 와 있다. 국내에서도 식품 원료별로 다양한 연구 결과로 그 효율성이 입증되었다. 또한 장치 제작비의 경우에 있어서도 기술의 발전으로 제작비용이 감소하여 기존의 살균장치에 비교하였을 때 큰 차이가 없는 수준에 이르렀으며, UV 살균이나 방사선 살균에 비해 소비자들의 인식에 있어서 장점을 가지고 있다. 향후 광펄스 살균의 식품 적용 기술의 특성 및 기준을 제시하여 식품공전에 등재함으로써 광펄스 기술을 관련업체에서 합법적으로 사용할 수 있도록 관련 규정의 제안이 요구되는 바이다.

콜드플라즈마 기술을 이용한 분체 살균 가이드라인

제 1장. 콜드플라즈마 기술

1. 기술 개요 및 특징

기체가 에너지를 받으면 최외각 전자의 이탈로 양전하를 띤 분자와 음전하를 갖는 전자들이 생성되면서 빛이 방출되고, 이러한 다양한 입자들의 운동은 높은 반응성을 갖게 된다. 또한, 이온화 된 입자들의 양과 음의 총 전하수는 거의 같아지며 상전기와는 다른 상태의 전기적 중성을 띄는 플라즈마(plasma) 상태로 변환된다. 플라즈마는 활성 또는 비활성 분자 및 원자, 자유전자, 이온, 자유라디칼, 자외선 광자 등으로 이루어져 있다. 플라즈마의 특성은 전체적으로 중성이면서 많은 이온과 자유전자가 존재하여 외부의 전기장에 의해 전류를 흘릴 수 있는 특성을 가지고 있고 플라즈마 내에 활발히 운동하는 전자와 이온은 다른 물질의 화학적 반응을 활발하게 일어나게 한다. 식품 살균을 위한 콜드플라즈마 기술은 식품 내 존재하는 식중독 원인균들을 효과적으로 사멸시키는 기술로서 전 세계적으로 연구되고 있다. 플라즈마에 의해 생성된 라디칼, reactive species, 또는 하전 된 입자들은 미생물의 세포막과 화학적 반응을 하여 미생물을 불활성화 시킨다.

플라즈마를 구현하는 방법으로는 주로 펄스 코로나 방전(corona discharge)과 유전체 장벽 방전(dielectric barrier discharge (DBD)), 마이크로웨이브 방전(microwave discharge), 아크방전(arc discharge) 등의 기술이 있다. 이러한 원리를 이용하여 식품 가공 부분에 적용되는 콜드플라즈마 시스템은 세 가지의 범주로 나눌 수 있다. 즉, 플라즈마가 생성되는 지점과 함께 가공되는 식품의 위치에 의해 정해지거나, 플라즈마 발생지점과 상당한 정도의 거리를 가지거나, 발생지점에서 비교적 가까이 위치하거나, 플라즈마가 발생하는 영역범위에 위치하는 경우이다. 일정한 거리를 두고 플라즈마를 발생시키는 경우에는 물리적 공간은 확보할 수 있으나, 에너지 면에서 그 집적도가 낮다고 볼 수 있다. 가까이 위치할 때에는 활성분자의 에너지가 그대로 보존되어진 상태에서 취급될 수 있다는 장점이 있다. 이러한 영역은

펄스모드 방식의 플라즈마 시스템을 이용할 수 있는 반면, 처리되는 식품시료의 향과 조직감, 색, 그리고 외관 등의 관능적 특성의 변화가 최소화 될 수 있는 시스템의 고안이 필요하다. 또한, 식품의 종류에 따라 콜드플라즈마 처리 가능 여부가 제한되어 질 수 있을 것이다. 세 번째 범주는 플라즈마 발생 영역 안에서 처리되어지는 것으로서 이러한 플라즈마 시스템은 콩류, 베리류, 씨앗류, 난류, 분말류 등의 품목에 가장 적합할 것으로 사료된다.

2. 기술 개발의 필요성

현재 국내외적으로 분체형 식품(스프류, 향신료, 각종 분말류)에 사용되는 살균 방식은 훈증처리, 방사선 조사, 초고온 증기 살균, 전자파 조사, 고주파 가열법, 그리고 자외선 조사 방식이 사용되고 있다. 그러나 발암성 물질의 생성, 소비자들의 비선호, 경제적 부담, 식품의 변질 및 영양소 파괴 등의 이유로 분체형 식품의 효율적인 살균에 많은 제약이 존재해 왔다. 최근, 자외선 조사 방식이 주로 생산라인에 적용되고 있으나 분체 식품 내 미생물 저해효과는 여전히 미미한 것으로 보고되고 있다.

대부분의 분체형 식품은 농산물 또는 원예 산물의 수확물을 여러 번 가공하여 최종 분말제품으로 포장되므로, 가공라인에서의 수확 후 오염이 가장 빈번한 식품 중 하나이다. 또한, 현대사회의 식습관 형태와 건강과 다이어트에 대한 관심은 액상 형태에 녹여 간편히 섭취할 수 있는 분체형 식품의 수요를 폭발적으로 증가시키고 있는 실정이다. 그러므로 다양한 가공을 거치면서 영양분과 관능적 특성의 손실을 최소화하고 효율적인 미생물 저해를 위한 분체형 식품의 살균 기술은 계속적으로 요구되고 있다. 이러한 트렌드에 부합하여 분체형 식품의 살균에 효율적이면서 안전하게 적용할 수 있는 신기술 개발이 요구되고 있다.

제 2장. 콜드플라즈마 식품 적용 연구

1. 국내외 동향

국내외에서 식품에 적용되어 연구되는 콜드플라즈마 장치는 대부분 유전체 장벽 방전(DBD), 마이크로웨이브, 플라즈마 제트 방식이다. 대부분의 연구는 각 식품에 대하여 가장 효율적인 플라즈마 발생원과 가스 종류, 전압, 시간 변수 등 다양한 변수를 이용하여 단일 식품별로 최적의 살균 효과를 낼 수 있는 처리의 최적화 조건을 찾는 내용이 주를 이루고 있다<표 1>.

<표 1> 플라즈마 생성 가스별, 전력 생성에 따른 플라즈마 연구 예

플라즈마 장치	장치별 조건 변수 및 사용가스	처리농산물 및 식품	감균율	출처
Low pressure cold plasma	Air gases, SF ₆ , 5-20 min	nut	<i>Aspergillus parasiticus</i> (air: 5 min ⁻¹ log CFU/g, SF ₆ plasma: ~5 log CFU/g)	Basaran et al, 2008 (Turkey)
		grains, legume	<i>Aspergillus</i> spp. and <i>Penicillium</i> spp (15 min, ~3 log CFU/g)	Selcuk et al, 2008 (Turkey)
Microwave-powered cold plasma	400-900 W, 5-20 min/N ₂ , N ₂ -O ₂ mixture, and He)	양상추, 양배추, 상추	<i>E. coli</i> O157:H7 and <i>Salmonella</i> (~2.8 log CFU/g)	Song et al, 2015; Kim et al, 2013 (Korea)
	400-900 W, 20 min/He-O ₂ mixture	분유	<i>Cronobacter sakazakii</i> (약 0.9 log CFU/g)	Oh et al, 2015 (Korea)
	900 W, 20 min/He	고춧가루	<i>Aspergillus</i> (약 2.5 log spores/g) <i>Bacillus cereus</i> (약 3.5 log spores/g, 열과의 병합처리)	Kim et al, 2014 (Korea)
	900 W, 20 min/He	양파분말	<i>Bacillus cereus</i> (약 1 log spores/g, 열과의 병합처리)	Oh et al, 2015 (Korea)
Dielectric barrier discharge	Atmospheric cold plasma (ACP), generated with a 60 kV dielectric barrier discharge (DBD) pulsed at 50 Hz /5 min	딸기	Aerobic mesophilic bacteria (2.4 log CFU/g), yeast and mould (3.3 log CFU/g)	Misra et al, 2014 (Ireland)
	N ₂ gas (CP121 Plasma Demonstrator, OMVE BV, Netherlands)	lettuce, strawberry, potato	<i>Salmonella enterica</i> serovar Typhimurium (~2.72 log reduction)	Fernandez et al, 2013 (UK)
	Atmospheric pressure, 15.5, 31, and 62 W for 2-60 s, sealed LLDPE bags containing 30% oxygen and 70% argon	sliced ready-to-eat (RTE) meat product (bresaola)	<i>Listeria innocua</i> (약 1.7 log cfu/g)	Rød et al, 2012 (Denmark)
Plasma jet	pulse frequency (47 kHz), 549 W, 0-20 s	almonds, nut	<i>E. coli</i> O157:H7 and <i>Salmonella</i> (~1.34 log CFU/mL)	Niemira, 2012 (USA)
	Atmospheric pressure plasma jets, 1-2 min, He, HeO ₂ , N ₂ , or N ₂ O ₂ ,	slices of cooked chicken breast and ham)	<i>Listeria monocytogenes</i> (1.37-6.52 log)	Lee et al, 2011 (Korea)

2. 식품의 살균

유전체 장벽 방전 콜드플라즈마 기술을 식품에 적용하는 경우, 가공 후 포장된 식품의 효율적인 살균이 가능해진다는 장점이 있다. 또한, 표면이 불규칙하고 크기가 다양한 농산물 살균의 경우 조사거리 조절이 가능한 마이크로웨이브 콜드플라즈마 시스템을 이용하여 농산물의 외관이나 관능적 특성이 변화되지 않는 범위 내에서 효과적인 살균이 가능할 것이라고 사료된다. Hertwig (2015) 등은 통후추의 살균에 일정 거리를 둔 마이크로웨이브 콜드플라즈마 시스템과 조사되는 거리가 비교적 가까운 radio frequency (RF) plasma jet의 살균효과를 비교한 결과, 마이크로웨이브 콜드플라즈마 시스템에서 위해 균의 살균 효과가 더 탁월하다는 결과를 얻은 바 있다. Fernandez 등 (2013)의 보고에 의하면, 질소 가스를 이용하여 15 분 동안 1 W의 전력으로 DBD 콜드플라즈마 처리 시, 양상추, 딸기, 감자에서 *Salmonella typhimurium*의 감소율이 각각 2.7 ± 0.3 , 1.8 ± 0.7 , and 0.9 ± 0.3 log CFU/sample 였다. Bermúdez-Aguirre 등(2013)은 대기압 하에서 아르곤을 이용하여 12.83 kV로 토마토와 양상추에 접종된 대장균을 약 1.6 log CFU/g 저해하였다. Wang 등(2012)은 고전압의 500 V와 직류 전류를 이용하여 대기압에서 2 분 동안 콜드플라즈마 처리하여 슬라이스 당근에 접종된 살모넬라균(106 CFU/mL)을 90% 저해하였다. 그 외에도 <표 2>는 다양한 식품에서 플라즈마 발생원에 따른 장치별 여러 가지 변수에 따른 미생물 저해 결과에 대한 다양한 연구를 보여준다.

제 3장. 콜드플라즈마 분체 살균

1. 분체 식품 살균 규제

식품 공전 상에 분말류 식품으로는 고춧가루, 밀가루, 생식, 시리얼, 영유아용 곡류 조제식, 영아용 조제식, 전분류, 체중조절용 조제식품, 향신료 가공품 등이 있다. 각 원

료별, 형태별 식품에 대하여 식품별 규격 기준 항목 지침은 완제품에서의 위해 미생물의 규격과 잔류농약, 중금속 수치, 그리고 제조와 가공기준 등이 공전 상에 마련되어 있다. 또한, 식품일반의 기준 및 규격에 명시된 식품 조사 처리 기준에서 현재 국내에 허용되는 선종은 감마선과 전자선이며, 그에 대한 허용한계가 명시되어 있다. 콜드플라즈마 살균은 의료기기 살균에 대하여 이미 상용화가 되었고 병원 등에서 시판되어 사용되어지고 있다. 이러한 콜드플라즈마 살균장치를 식품원료 특성에 맞게 다각도로 제작된다면 식품의 효율적인 살균에 있어서 큰 박차를 가할 수 있을 것이다.

현재 상용화로 가기 이전 단계에서 필히 연구되어야 할 부분은 식품에서의 독성과 안전성 확립 연구이다. 식품 재료에 따른 다양한 연구결과로 콜드플라즈마 처리의 효율성은 입증되었으나 콜드플라즈마 식품 살균 적용에 있어 안전성과 관련한 현행 기준 규격에 부합하는 연구는 부족한 실정이다. 식품 공전에 제시된 <제 2. 식품일반에 대한 공통기준 및 규격>에서 식품 원료 판단기준에 준하여 콜드플라즈마 처리된 재료가 식품재료로서 안전성 및 건전성이 입증되어야 할 것이며<그림 1>, 제조와 가공 기준에 부합하여 각 식품별 위해 미생물 규격과 잔류물질의 안전성 및 위생과 포장 요건을 충족시켜야 할 것이다. 이와 같이, 콜드플라즈마 살균에 대한 기준 규격은 현재 국내외를 통틀어 구체적으로 마련되어 있지 못한 실정이다. 그러나, 국내외적으로 다양한 식품에서의 콜드플라즈마 처리 가능 여부가 상당수 연구되었고, 그와 관련된 미생물 저해 연구 데이터 축적을 기반으로 가까운 시일 내에 콜드플라즈마 처리 식품의 살균 규제 방안이 정립되어야 할 것이다.



<그림 1> 식품 원료 사용을 위한 의사결정도 (식품공전)

2. 콜드플라즈마 분체 살균 연구

콜드플라즈마를 이용한 분체 식품 살균의 적용이 최근 국내외 연구에서 보고되고 있다. 김 등(2016)은 마이크로웨이브를 에너지원으로 한 콜드플라즈마 처리를 양과분말의 살균에 적용하였다. He 가스를 이용하여 400 W에서 40 분 동안 처리한 결과, *Bacillus cereus*, *Aspergillus brasiliensis*, 그리고 *Escherichia coli* O157:H7의 감균율은 각각 2.1 log spores/cm², 1.6 log spores/cm², 그리고 1.9 CFU/cm²였다. 또한, 김 등(2015)은 질소가스를 사용하여 900 W에서 20 min 동안의 콜드플라즈마 처리로 고춧가루에 접종된 *A. flavus*의 포자가 2.5±0.3 log CFU/g 저해됨을 확인하였으며, 고춧가루 내에 존재하였던 토착 호기성 미생물에 대하여 1 log CFU/g 이상의 저해를 보인 바 있다. 그리고, 마이크로웨이브와 콜드플라즈마를 복합 처리한 경우, *B. cereus*의 포자 저해효과는 3.4±0.7 log spores/g에 달했으며 마이크로웨이브의 세기에 따라 균의 저해도를 조절할 수 있어 단독 콜드플라즈마 처리에서 저해도가 낮았던 포자 생성균의 포자까지도 일정 수준 이상으로 살균이 가능하다는 것을 보여주었다. Oh 등(2015)은 분유 분말에 출현하는 주요 식중독 세균인

*Cronobacter sakazakii*를 헬륨-산소의 혼합가스를 이용하여 콜드플라즈마 처리시 (900 W, 20 분) 약 1 log 정도의 저해효과를 보였고 포자 생성균인 *B. cereus*의 경우, 열 (80-90°C)과 헬륨가스를 이용한 마이크로웨이브 병합된 콜드플라즈마 처리시(900 W, 20 min) 분말 제품에서 약 1 log spores/g까지의 감균율을 보인 바 있다. Hertwig등(2015)은 후춧가루에서 air를 이용하여 마이크로웨이브 병합 플라즈마 처리 (1.2 kW, 30 분)로 *S. enterica*, *B. subtilis* spores, 그리고 *B. atrophaeus* spores 을 각각 4.1, 2.4, 그리고 2.8 log까지 저해시켰다고 보고하였다. 원 등은 DBD 방식을 이용하여 헬륨가스를 사용한 콜드플라즈마 장치(9 kV, 20 분)로 *E. coli* O157:H7과 *S. enteritidis* 그리고 *L. monocytogenes*를 각각 1.4 ± 0.5 , 2.3 ± 0.3 , 그리고 1.2 ± 0.0 log CFU/cm² 만큼 저해하였다고 보고하였다.

이와 같이 분말제품의 살균과 관련된 연구의 대부분이 원재료의 특성에 있어 색과 맛, 향기 성분 등 관능적 특성의 변화 없이 효과적인 저해율을 달성할 수 있는 처리조건을 제시하였다. <표 2>

<표 2> 분체식품을 위한 장치별 플라즈마 처리 가이드 라인

장치	식품	처리 가스	처리 시간	처리 전력	목표미생물	목표감균율
마이크로웨이브(microwave powered) 콜드플라즈마 병합 처리	고춧가루	질소	~20 분	400-900 W	<i>A. flavus</i>	2.5 log spores/g
					Total aerobes	1 log CFU/g 이상
					<i>B. cereus</i> 열과의 병합처리)	3.5 log spores/g,
	양과분말	헬륨	~40 분	400-900 W	<i>A. brasiliensis</i>	1.6 log spores/cm ² ,
					<i>B. cereus</i>	2.1 log spores/cm ²
					<i>E. coli</i> O157:H7	1.9 CFU/cm ²
분유분말	헬륨-산소 혼합가스	~20 분	400-900 W	<i>Cronobacter sakazakii</i>	1 log CFU/g	
유전체장벽 방전(dielectric barrier discharge) 콜드플라즈마 처리	양과분말	헬륨	~20 분	~9 kV	<i>E. coli</i> O157:H7	2.2±0.1 log CFU/cm ²
					<i>S. Enteritidis</i>	2.5±0.1 log CFU/cm ²
					<i>L. monocytogenes</i>	1.9±0.3 log CFU/cm ²

제 4장. 콜드플라즈마 분체 살균 적용

분체 식품 살균에 있어 마이크로웨이브-콜드플라즈마의 병합 처리와 DBD 방식의 콜드플라즈마 처리 장치를 선정하였다. 식품의 특성에 따라 처리 가스와 처리 시간, 처리 전력을 다르게 설정하며 마이크로웨이브 파장의 세기는 조절 가능하다. 마이크로웨이브 콜드플라즈마 장치의 경우, 전력의 범위를 50-1000 W의 범위로 하며 처리 시간은 40 분을 초과하지 않는다. DBD 방식의 콜드플라즈마 처리는 분말 제품의 시료 처

리 용량을 높일 때 효율적이며, 분말 제품의 처리면적을 높이기 위하여 shaking 장치 (vibrator)를 구축한다. 모든 콜드플라즈마 장치는 식품의 특성에 따라 포자 저해 시 열처리와 병합하여 이용할 수 있다.

1. 장비 설계 요소

가. 마이크로웨이브-콜드플라즈마 장치

분체 살균을 위한 마이크로웨이브 콜드플라즈마 장치는 <그림 2>와 같이 microwave generator, cooling system, treatment chamber, gas mass flow rate controller, vacuum pump, 그리고 parameter controller 장치로 이루어져 있다. Microwave generator는 2.45-GHz 진동수에서 50-1000 W 범위의 전력으로 작동한다. 반응기(reactor)는 43 cm(폭)×37 cm(높이)×40 cm(길이)의 stainless steel 재질로 시료를 장착하는 공간이며 석영유리로 된 관측창이 달려있다. 냉각수는 1 분당 0.8 m³ 가 흐를 수 있도록 하고 플라즈마를 발생시키는 가스는 최대 20 slm (standardliter/min) 까지 gas mass flow rate controller로 조절한다<표 3>. 챔버 내부의 압력은 vacuum valve로 500에서 30,000 Pa까지 조절가능하다. 프로그램 모니터 창은 처리 전력과 가스 유출 속도, 그리고 처리 압력 변수를 조절 가능하도록 한다. 안정한 플라즈마 형성을 위해 가스 종류와 처리 전력, 처리시간 및 처리 압력을 조절할 수 있도록 그 범위를 설정하였다<표 4>.



<그림 2> 마이크로웨이브-콜드플라즈마 복합처리 장치와 시료 처리 내부 공간

<표 3> 분체 식품 살균을 위한 마이크로웨이브 병합 콜드플라즈마 장치

장 치	현 사양
Reactor	<ul style="list-style-type: none"> Size: 428.4(W) × 370(H) × 400(L) mm
Microwave generation parts	<ul style="list-style-type: none"> Magnetron 2M246 (LG electronics Inc., Seoul, Korea) 냉각 방식: air cooling, 0.8 m³/min Power supply: 50-1,000 W
Gas mass flow rate control	<ul style="list-style-type: none"> MODEL 3660 (Kojima instrument Inc., Osaka, Japan) 유량의 범위: 0-20 slm per each 적용 수량: 2 lines
Vacuum gauge	<ul style="list-style-type: none"> Model KC 430 (KVC Co. Ltd., Gyeonggi-do, Korea) 측정 범위: 760-1×10⁻³ torr
Vacuum valve	<ul style="list-style-type: none"> Model 2-way electric ball valve (DongjooAP, Incheon, Korea) 연결 사양: NW 25 flange

<표 4> 안정적인 플라즈마 형성을 위한 가스 종류와 처리 전력, 시간 및 압력

사	유속(mL/min)	처리 전력(W)	처리 시간(min)	처리 압력(torr)
질소	1,000	300-900	1-20	2-200
헬륨				
헬륨-산소 혼합가스 (헬륨 : 산소 = 99.8 : 0.2)				
질소-산소 혼합가스Ⅱ (질소 : 산소 = 99.3 : 0.7)				
질소-산소 혼합가스 I (질소 : 산소 = 4 : 1)	2,500 (2,000 질소: 500 산소)			

2) 유전체 장벽 방전(Dielectric barrier discharge, DBD) 콜드플라즈마 장치

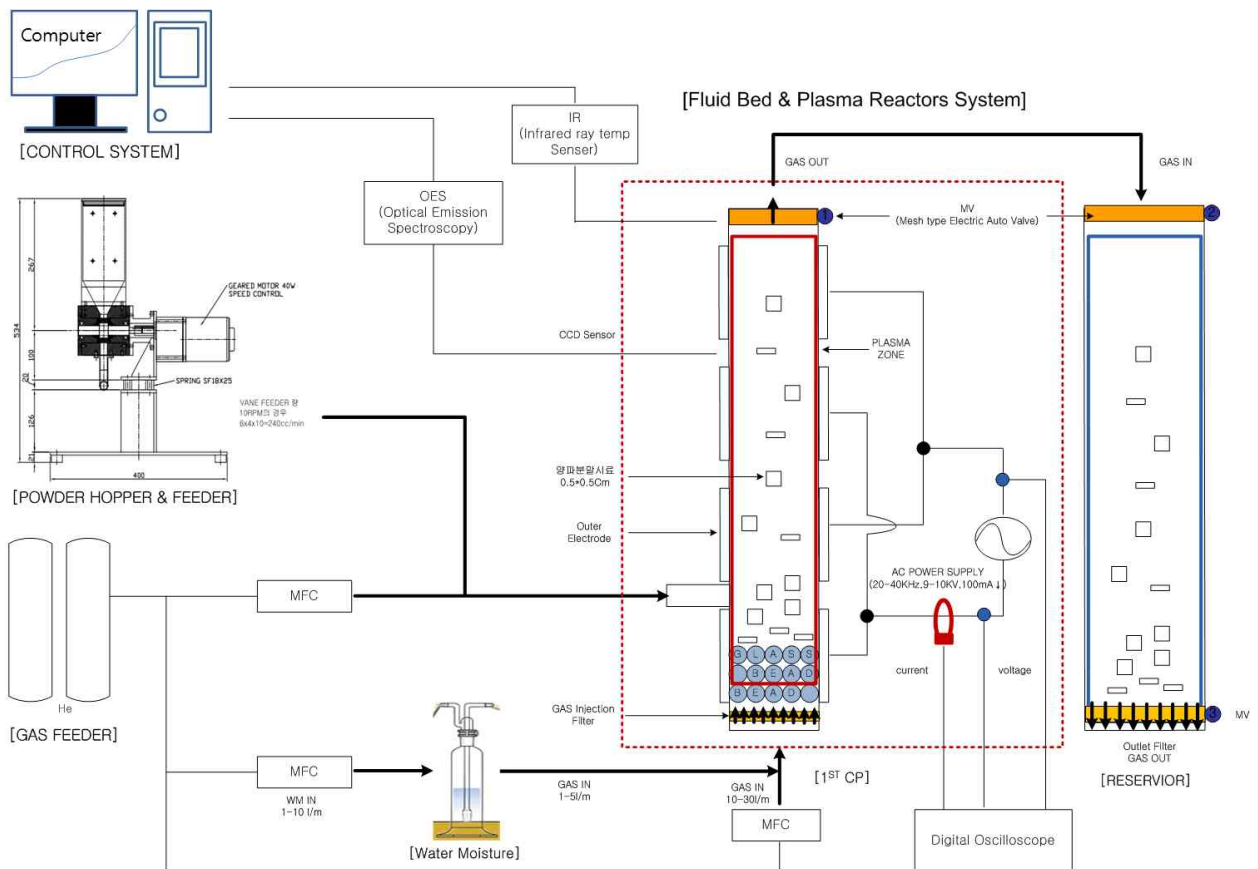
Dielectric barrier discharge (DBD)장치는 그림 과 같이 크게 세 부분으로 구성되며 시료공급을 위한 피더<그림 3-②>와 시료 유동층 시스템을 포함한 플라즈마 처리장치 <그림 3-③> 그리고 저장탱크<그림 3-④>로 이루어져 있다. 반응기는 석영의 유리재질로 된 관이 전극으로서 작용하며, 관 내부에서 플라즈마가 발생하여 분말 시료의 처리가 가능하도록 제작되었다. 더 효율적인 플라즈마 살균 처리를 위해 Vibrator를 장착하여 분말의 모든 면적에 radical이 침투할 수 있도록 유동적 시스템을 구축하였다. 전체 시스템의 구성은 <그림 4> 와 같다.



<그림 3> Pilot scale의 유전체 장벽 방전 콜드플라즈마 처리 장치

- ① HE_Bombe : 외부 전극을 이용한 DBD 플라즈마 활성화를 위한 가스 공급부
- ② Material_Feeder : 식품 분체 살균을 위한 시료 공급 및 정량 공급 장치
- ③ CP_Plasma system : 시료 유동층 시스템을 포함한 플라즈마 처리 장치
- ④ Reservoir tank : 시료 살균 처리 후 보관 및 배출 장치

- ⑤ Mesh type Valve : 시료 유동층 및 시료 이동용 밸브
- ⑥ MFC*3ea : 시료공급 및 CP처리, H2O 가스 유량 조절 기기
- ⑦ MFC_ Tranducer : 시료공급 및 CP처리, H2O 가스 유량 조절 장치
- ⑧ Auto program_ infour : 외부전극을 이용한 DBD 플라즈마 살균장치 프로그램 및 App
- ⑨ High voltage generator : 주파수 및 고전압 발생기(Max. 40 kHz/ Max. 10 kV)
- ⑩ Interface Module : INFOU 프로그램 연동 인터페이스 장치
- ⑪ Vibrator air pump : 시료 부양용 유동층 시스템 바이브레이터 에어 공급용 펌프
- ⑫ Oscilloscope : 살균 처리에 대한 전압전류 모니터링 측정 장치
- ⑬ OES(Optical emission spectroscopy) : 식품 미생물 저감화를 위한 살균 요소 검출 장치
- ⑭ Feeder_Controller : 시료 공급 정량 시스템 지배변수 조절 장치
- ⑮ 살균처리가 완료 된 시료 : 시료 CP 처리 후 배출 된 시료



<그림 4> 시제품 설치 구성도

2. 분말 식품 살균 공정 제안

가. 고춧가루 살균

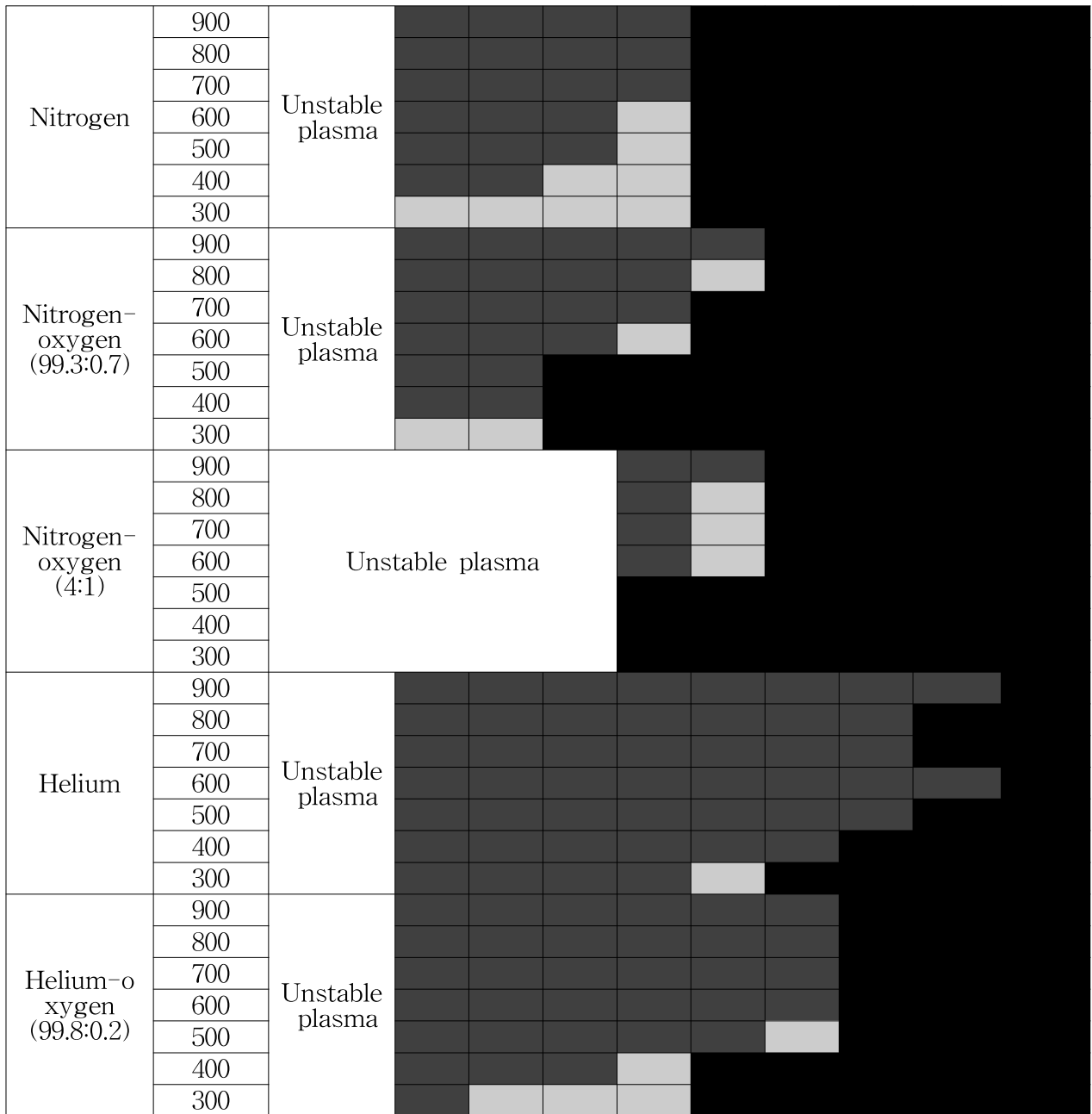
(1) 최적화 조건

콜드 플라즈마 처리를 위한 최적화 조건을 탐색하기 위하여 가스별로 안정적인 플라즈마가 형성되는 처리 전력과 압력을 <표 5>에 나타내었다. 안정적인 플라즈마 형성은 가스의 종류보다 처리 전력과 압력에 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 모든 콜드플라즈마 처리에서 공정 과정 중 측정된 온도는 35°C를 초과하지 않아 콜드 플라즈마의 식품처리가 비열처리 공정임을 확인할 수 있었다.

고춧가루에 접종된 미생물의 저해효과를 가스 종류별, 전력별, 시간별로 분석한 결과 질소가스와 헬륨 또는 헬륨-산소의 혼합 가스에서 가장 높은 저해가 발생되었다. *A. flavus*는 질소 가스를 이용하여 900 W에서 20 분 동안 마이크로웨이브 콜드플라즈마 처리하였을 때 저해 효과가 가장 크게 나타났다($2.5 \pm 0.3 \log \text{ spores/g}$) ($p < 0.05$). 또한, *A. flavus* 저해의 최적 처리 조건은 반응표면모델 식을 통하여 900 W, 20 분으로 설정하였고 실제 값과도 일치함을 확인하였다. 이와 같이, 최적 조건에서 호기성 미생물은 약 1 log CFU/g의 저해율을 보였고, *B. cereus*는(헬륨-산소 혼합가스, 900 W, 20분)는 열과의 병합처리(90°C, 30 분)로 최적조건에서 최대 3.5 log spores/cm²의 큰 저해율을 보였다. 그리고, 콜드플라즈마의 단독처리보다 마이크로웨이브 에너지원과 병합된 콜드플라즈마 처리 시(전자파의 진동수 2.45 GHz, 900 W, 20 분) 더욱 큰 저해를 보였다.

<표 5> 다양한 범위의 전력과 압력, 플라즈마 형성 가스에 따른 안정한 플라즈마 구현

Gas	Power (W)	Pressure (kPa)									
		0.27	0.67	0.80	1.07	1.33	2.67	4.00	6.67	13.34	26.68
		Stable plasma formation	Stable plasma formation	Stable plasma formation	Stable plasma formation	Stable plasma formation	Stable plasma formation	Stable plasma formation	Stable plasma formation	Stable plasma formation	Stable plasma formation
		Unstable plasma formation	Unstable plasma formation	Unstable plasma formation	Unstable plasma formation	Unstable plasma formation	Unstable plasma formation	Unstable plasma formation	Unstable plasma formation	Unstable plasma formation	Unstable plasma formation
		No plasma formation	No plasma formation	No plasma formation	No plasma formation	No plasma formation	No plasma formation	No plasma formation	No plasma formation	No plasma formation	No plasma formation



(2) 분말 건조 방법에 따른 저해효과

고춧가루 건조는 원적외선 건조보다 진공 건조된 시료에서 *B. cereus* 포자의 저해율이 더 높았으며, 마이크로웨이브-콜드플라즈마 복합처리 후에는 건조방법과 관계없이 모든 시료에서 약 2 log 이상의 저해를 보였다($p < 0.05$). 열풍 건조(70-80°C)의 경우, *B. cereus* 포자의 저해율은 더욱 증대되었다($p < 0.05$). 또한, 열과 콜드플라즈마 처리보다 열과 마이크로웨이브-콜드플라즈마 복합처리에서 포자저해효과는 더욱 높아졌다($p < 0.05$).

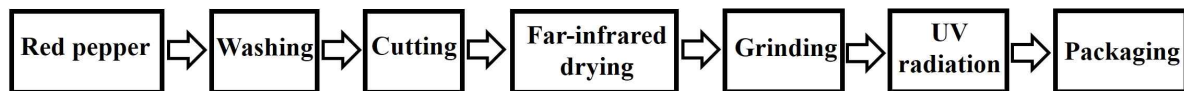
(3) 수분 활성도에 따른 저해효과

고춧가루의 수분활성도 차이는 건조된 고춧가루의 수분활성도가 증가할수록 콜드플라즈마 단독 및 마이크로웨이브-콜드플라즈마 복합처리 모두 미생물 저해효과가 증대되었다($p < 0.05$).

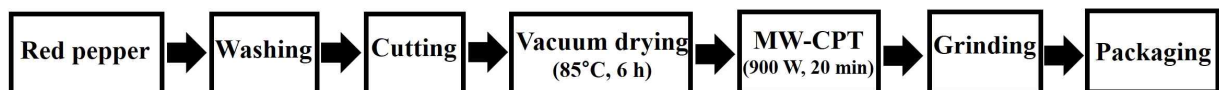
(4) 살균 공정 제안

다양한 변수를 이용한 연구결과를 토대로 고춧가루의 저장성 연구를 진행하였으며 최적 조건에서의 마이크로웨이브-콜드플라즈마 복합처리가 고춧가루의 색과 향 등의 관능적 특성과 항산화 활성에 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 그림 5(A)의 전통적인 분말식품 제조 공정을 대체할 수 있는 그림 5(B)의 새로운 마이크로웨이브-콜드플라즈마 복합처리 살균 공정을 제안하였다. 공정과정 제안도는 원적외선 건조방법을 진공건조 방법으로 대체하였으며, 자외선 조사 과정을 마이크로웨이브-콜드플라즈마 처리로 대체하여 제안하였다.

(A)



(B)



<그림 5> (A) 고춧 가루 건조 과정 전 전통적인 살균 방법 (B) 고춧 가루 건조 과정 전 마이크로웨이브-콜드플라즈마 복합처리 과정 제안도

나. 양파 분말 살균

(1) 마이크로웨이브 콜드플라즈마 복합처리

(가) 최적화 조건

양파분말에 접종된 미생물 저해효과도 고춧가루와 유사한 결과를 보였으나 B.

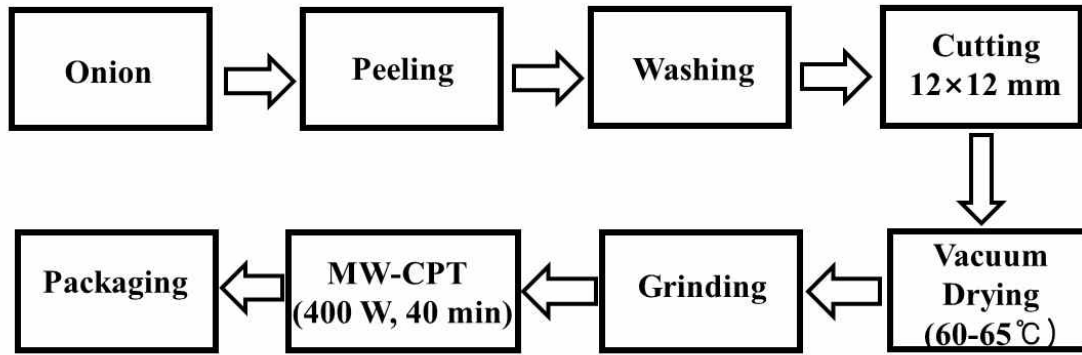
cereus 포자의 경우, 헬륨 가스를 이용하여 400 W에서 40 min 동안 마이크로웨이브가 병합되어 콜드플라즈마 처리 시 저해 효과가 가장 크게 나타났다($1.9 \pm 0.3 \log$ spores/cm²) ($p < 0.05$). 호기성 미생물의 경우 900 W, 20 분의 처리로 약 1 log CFU/g의 저해를 보였다. *B. cereus* 포자 저해조건은 반응표면 분석법에 의해 최적 처리 조건이 탐색되었고, 저해 예측 값($2.2 \log$ spores/cm²)은 실제 값과 유사하여 최적 처리 조건을 400 W, 40 분으로 결정하였다.

(나) 건조 방법에 따른 저해효과

기존의 양파분말의 건조는 열풍 건조 방법을 사용하여 왔으며, 이는 제품의 색이나 향 등의 관능적 특성의 변화를 가져올 수 있다는 단점이 있었다. 현 제안 공정에서 대체된 진공 건조법은 열풍 건조법보다 *B. cereus* 포자 저해효과($1.4 \pm 0.2 \log$ spores/cm²)가 더 높았으며($p < 0.05$), 진공 건조 처리 후, 마이크로웨이브-콜드플라즈마 복합처리는 콜드플라즈마 단독처리 보다 미생물 저해효과를 더 증대시킬 수 있었다. *A. brasiliensis* 포자, *E. coli*, *S. typhimurium*에 대하여 진공건조 후 마이크로웨이브-콜드플라즈마 복합처리(400 W, 40 분)로 모든 미생물에서 진공건조법이 열풍건조법보다 더 큰 저해효과를 보였다.

(다) 살균 공정 제안

콜드플라즈마 처리의 다양한 변수에 대한 연구결과를 토대로 양파분말의 저장성 연구를 진행하였으며 최적 조건에서의 마이크로웨이브-콜드플라즈마 복합처리가 양파분말의 색과 향 등의 관능적 특성과 항산화 활성에 변화가 없음을 확인하였다. 양파분말의 콜드플라즈마 처리 공정은 <그림 6>과 같다. 기존의 열풍 건조 방법을 대체하여 진공건조 후 분쇄과정을 거쳤으며, 분말화를 위한 grinding 과정 후에 마이크로웨이브-콜드플라즈마 복합처리를 거친 후 최종 포장에 이르는 살균 공정을 제안하였다.

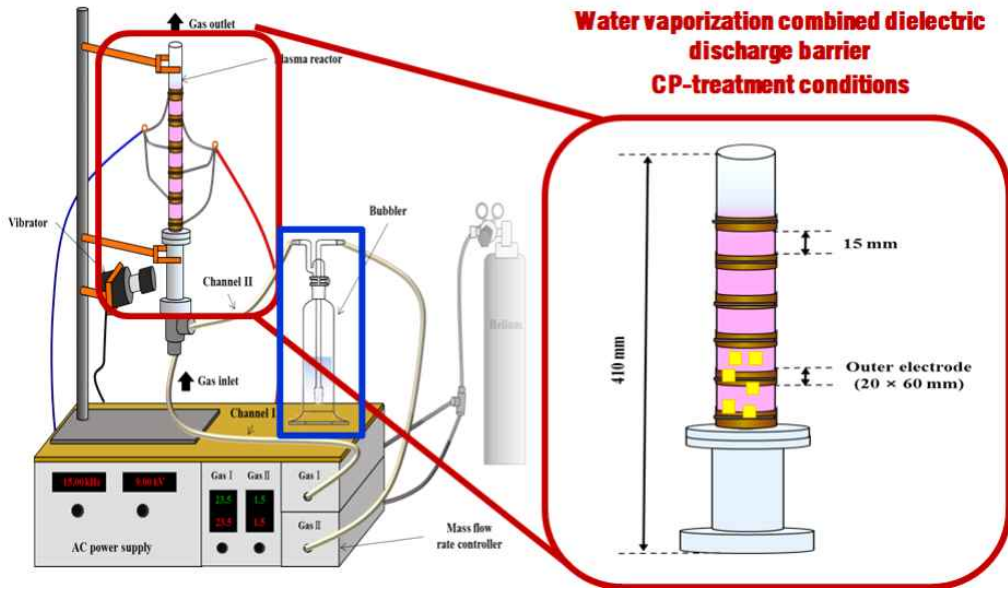


<그림 6> 양파 분말의 마이크로웨이브-콜드플라즈마 복합처리 공정 제안도

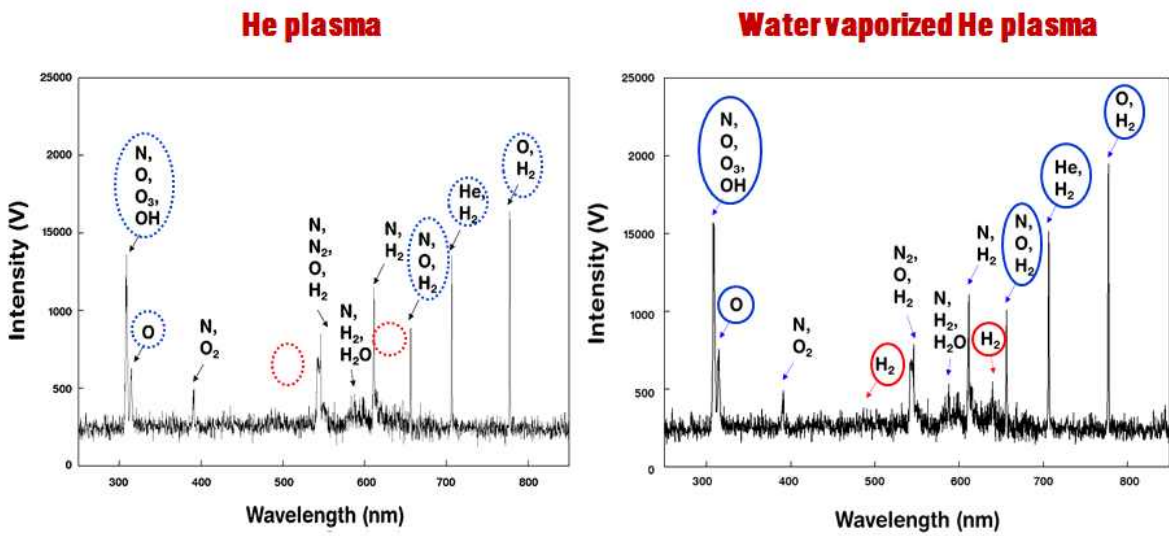
(2) 유전체 장벽 방전 콜드플라즈마 처리

(가) 최적화 조건

양파분말 살균을 위한 유전체 장벽 방전 콜드플라즈마 처리 장치는 수증기 유입식의 <그림 7>의 SWU-3 장치를 사용하였다. 미생물 저해율은 처리 주파수가 낮아질수록 처리 시간이 증가할수록 유의적으로 증가하였으며 He를 이용하여 9 kV, 15 kHz에서 20 분 동안 처리했을 때 가장 효과적이었다. 이러한 최적 조건(He, 9 kV, 15 kHz, 20 분)에서 *S. enteritidis*는 3.0 log CFU/cm²이상 저해되었고, *E. coli* O157:H7와 *L. monocytogenes*도 90%의 저해율을 보였다. 최적 조건에서의 양파 분말의 표면 온도 상승의 최대 값은 15°C 이내로 CP 처리가 비가열 공정이라는 것을 확인하였다. 수증기 유입식 He-CP 처리를 이용한 양파 분말 내 모든 식중독균의 저해 효과를 예측하는 최적 저해 모델은 Fermi's model이었다 ($R^2 < 0.84$). Optical emission spectroscopy (OES)를 통한 측정을 통해 수증기 유입은 He-CP 내 활성산소종(reactive oxygen species)과 수소(hydrogen)를 증가시켜 미생물 저해율을 높일 수 있다는 것을 확인하였다<그림 8>.



<그림 7> 양파분말의 살균을 위한 DBD 수증기 유입식 SWU-3 장치

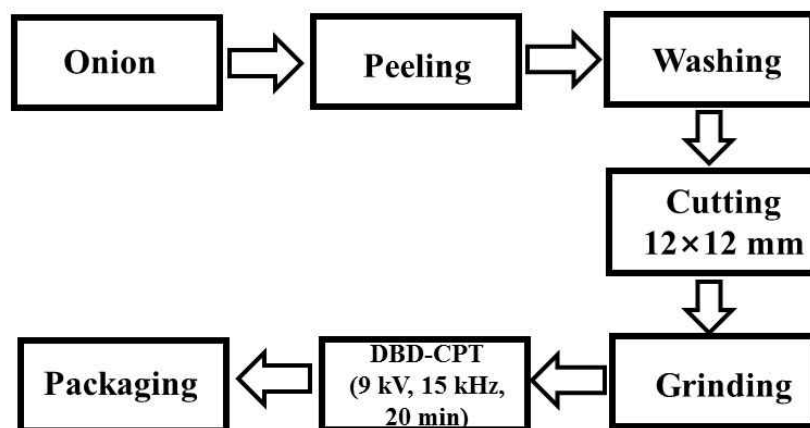


<그림 8> He 가스를 사용한 DBD-CP 처리(20 분)에 의한 Optical emission spectra (250-850 nm) (A) 단독 He 가스처리 (B) 수증기 유입-He 가스 처리

(나) 살균 공정 제안

최적 조건에서의 He-CP 처리는 양파 분말의 수분함량, 색도 및 외관, 그리고 ascorbic acid와 quercetin의 함량, 그리고 표면 미세 구조 등의 이화학적 특성에 유의적인 영향을 주지 않았다. 수분 함량은 대조군과 CP 처리군 시료의 3.01-4.39 범위에서 측정되었고, CP 처리 여부에 따른 유의적인 차이는 없었다($p>0.05$). SWU-3 시스템은 수증기 유입이 water bubbler를 이용하여 간접적으로 이루어졌으며, 이와 같은 수증기 유입 방식은 양파 분말의 수분 함량에 유의적인 영향을 끼치지 않아 본 연구에서 수증기 유입식 CP 처리는 양파 분말의 수분 함량 증가 없이 분체 식품의 품질 저하를 유도하지 않는 살균 공정으로서의 가능성을 보여주었다. 양파 분말의 명도, 적색도, 그리고 황색도의 값은 각각 42.6-42.8, 11.6-11.7, 그리고 26.6-26.8으로 CP 처리 유무에 따른 유의적인 차이는 관찰되지 않았다($p>0.05$). CP 처리가 가열 살균을 대체하게 된다면 분말 살균을 위한 가열 살균 공정 시 일어나는 분체 식품의 색도 변화로 인한 품질 저하를 해결할 수 있을 것이라고 기대되었다.

따라서, 수증기 유입방식의 He를 사용한 pilot-scale의 CP 처리는 분체 식품의 관능적 또는 영양적 특성 등의 품질 저하 없이 식중독균에 의한 미생물 안전성을 향상시키는 비 가열 처리 기술로서 <그림 9>와 같은 공정을 제안하였다.



<그림 9> 양파 분말의 DBD-CP 처리살균을 위한 공정 제안도

제 5장. 결론

식품 분야에 적용 가능한 콜드플라즈마 기술은 국내에서는 거의 개발되고 있지 않거나, 우수한 제조 기술력을 갖추고 있으나 그에 대한 안전성 검증 단계이며 신 살균 기술에 대한 높은 진입 장벽으로 인해 상용화 단계로의 박차를 가하지 못하는 실정이다. 그러나, 국외의 경우 현재 다양한 식품의 적용 연구를 비롯하여 플라즈마 발생 원리에 따른 살균성능 차이를 이용하여 특정 식품에의 적용 등 상용화를 위한 다각도의 연구 분석이 행해지고 있다. 국내에서도 식품 재료별 처리의 다양한 연구 결과로 그 효율성이 입증되었다. 이러한 콜드플라즈마 기술은 비약적인 발전을 해왔으나 고비용, 소비자의 인식도와 식품적용에서의 안전성, 환경친화성 부분에서 궁극적으로 해결해야 할 문제들이 남아있다. 특히, 식품에서의 독성과 안전성 확립 연구가 시급한 실정이다. 이러한 요건들이 빠른 시일 내에 해결되어 식품 적용 기술의 특성 및 기준을 제시하여 식품공전에 등재함으로써 콜드플라즈마 기술을 관련업체에서 합법적으로 사용할 수 있도록 관련 규정의 제안이 요구되는 바이다.

정책제안서

1. 분체 식품과 종자 농산물의 미생물 관리 기준 확립
2. 광펄스 살균기술을 이용한 분체식품(종자 농산물)의 미생물 위해성 저감화 기술 개발
3. 콜드 플라즈마 기술의 분체 살균 기술로서의 사용을 위한 규제 정립

제 목	분체 식품과 종자 농산물의 미생물 관리 기준 확립
활 용 가 능 분	식품가공
건 의 분 야	농산물가공이용, 농산물안전성
제 안 내 용 요	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분체 식품 및 종자 농산물의 미생물 관리 기준 수립 ○ 다양한 분체 식품 및 종자 농산물의 오염 수준 확대 조사 및 발생원 추적 관리 ○ 분체 식품 및 종자 농산물의 미생물 저감화 방법에 대한 연구 지원
제 안 자	<p>서울대학교 농생명공학부 부교수: 최 영 진</p>

1. 제안 배경

○ 분체 식품 및 종자 농산물 오염 실태

- ✓ 다양한 분체 및 종자 농산물은 수확 중에 토양이나 야생동물 등 외적 환경인자에서 유래된 미생물이 주로 표면에 오염되어 있으며, 일반적으로 수확 직후의 농산물에는 1 g당 10^5 이상의 미생물이 존재하는 것으로 추정되고 있으며 시판 고춧가루를 포함하여 현미, 메밀 등의 오염도를 조사한 결과, 약 $10^5 - 10^7$ cfu/g의 미생물이 존재하였다.
- ✓ 또한, 비위생적인 환경(오염된 용수 또는 토지 등)에서 재배나 수확을 하거나, 가공공장에서 세척, 박피, 절단, 착즙 등의 과정을 거칠 때 교차오염이 일어날 가능성도 높다.
- ✓ 국내외적으로 분체 식품 및 종자 농산물로 인해 발생하는 식중독 사고가 매우 빈번하다.

○ 분체 식품 및 종자 농산물 오염 미생물의 저감화 필요성

- ✓ 현미의 경우, 백미에 비하여 미생물에 의한 오염이 심하여 미생물의 증식과 미강중의 지방의 산패로 인하여 저장하는 동안 변질, 변패되기 쉽기 때문에 저온저장이 필요하나, 실질적으로는 상온 유통을 하므로 이에 따른 미생물의 증식과 저장 중 기생하는 해충에 의한 피해가 발생하고 있다.
- ✓ 해충에 의한 곡물의 피해가 양적 손실이라고 한다면, 미생물에 의한 피해는 맛과 향 등의 변화와 착색 등의 질적 손실이라고 할 수 있다. 특히 일부 미생물은 유독 물질을 생산하는 것으로 알려져 있다. 현재까지 알려진 곡류 저장 중의 유독 곰팡이로는 수분함량이 비교적 높은 쌀에는 *Penicillium islandicum* 등의 곰팡이가 생육할 수 있으며, 이 곰팡이는 islanditoxin 이라는 간 질환 독소를 생산하는 것으로 알려져 있으며, 특징적으로는 쌀에 생육할 때 적황색의 색소를 생산한다. 또한 간암 유발 독소로 널리 알려진 aflatoxin을 생산하는 황국 곰팡이인 *Aspergillus flavus*도 번식 가능한 것으로 알려져 있다.
- ✓ 한편, 해충에 의한 손실은 전체 저장 곡물의 약 5% 수준인 것으로 알려져 있으나, 저장 및 유통 중에 발생하는 쌀벌레 등의 해충은 양적인 손실 문제 외에 소비자의 기호성에 심각한 문제를 야기하므로 보다 적극적으로 대처해야 할 필요성이 있다.
- ✓ 식중독의 주원인은 미생물에 의한 것으로 주로 생으로 소비될 때 식중

독을 유발할 가능성이 매우 높다.

- ✓ 전 세계적으로 연간 10억명 이상이 식중독에 걸리고 5세 이하의 어린이 2백만명이 사망하는 것으로 WHO에서 추정하였다. 우리나라의 경우 2008년도 식중독 발생 전체 354건, 7,487명 중 병원성 대장균에 기인한 건은 36건, 1,278명으로 건수로는 10.2%, 환자수로는 17.1%를 차지한다.
- ✓ 따라서, 소비 전 단계에서 이러한 잠재적인 미생물 유래 위험을 제거하기 위해선 초기 오염균수를 적절한 방법을 통해 저감화시켜야만 한다.
- ✓ 현재 GAP나 HACCP 등의 제도를 통해서 위생관리가 도모하고 있으나, 미생물과 관련된 안전 관리 기준이 미흡한 실정이다.

○ 분체 식품 및 종자 농산물 유래 식중독의 경제적 손실

- ✓ 최근 신선 편이식품의 소비가 급증하고 있으며, 학교나 직장 등 대규모 단체급식이 발달됨에 따라 오염된 분체 식품 및 종자 농산물에 의한 식중독 발발 가능성이 높아지고 있고, 오염된 농산물의 회수와 폐기도 어려워 사회적 기회비용의 손실이 커질 수 있다.

2. 제안 내용

- 분체 식품 및 종자 농산물의 미생물 관리 기준 수립
- 다양한 분체 식품 및 종자 농산물의 오염 수준 확대 조사 및 발생원 추적 관리
- 분체 식품 및 종자 농산물의 미생물 저감화 방법에 대한 연구 지원

3. 연구결과

- 품종 및 재배지역이 각기 다른 5종의 현미를 수집하여 (표 1) 오염도 조사를 실시한 결과, 품종 및 재배지역별 현미 5종의 오염도 조사 결과 약 10^5 CFU/g 의 일반세균에 오염되어 있으며, 대장균군은 약 10^3 CFU/g, 곰팡이는 약 $10^3 \sim 10^4$ CFU/g 정도 오염도를 확인할 수 있었다. 또한 대장균과 효모는 모든 시료에서 검출되지 않았다. 위의 결과로부터 현미의 품종 및 재배지역에 따라 오염도의 차이는 없는 것으로 확인되었다 (표 2).

표 1. 현미 시료

시료번호	품종	원산지	재배년도
1	혼합	충북 청원	2013
2	동진	전북 부안	2013
3	추청	충북 청원	2013
4	오대	양구 오대	2013
5	백진주	경북 안동	2012

표 2. 현미의 미생물 오염도

단위: CFU/g

시료순번	Aerobic bacteria	Coliform group	<i>E. coli.</i>	Yeast	Mold
1	1.78×10^6	2.43×10^3	ND	ND	16.17×10^3
2	8.97×10^5	2.0×10^3	ND	ND	4.17×10^2
3	1.25×10^6	2.0×10^3	ND	ND	1.42×10^3
4	1.10×10^6	4.0×10^2	ND	ND	1.03×10^4
5	1.34×10^5	2.2×10^2	ND	ND	4.27×10^3

- 총 21가지 시판 고춧가루 시료의 일반세균수, 대장균군, *E. coli* 오염도를 확인한 결과를 표 3에 나타내었다.
- 자체적으로 분류한 시료의 상중하 등급에 상관없이 모든 시료에서 약 $10^5 \sim 10^7$ CFU/g의 일반 세균이 오염되어 있는 것으로 나타났으며, 재래시장에서 구입한 제품과 대형마트에서 구입한 제품의 오염도는 큰 차이가 없었다. 대장균군은 시료에 따라 오염 정도가 달랐지만 주로 하급으로 분류된 시료에서 약 10^2 CFU/g의 오염도를 나타냈다. 대장균은 모든 시료에서 검출되지 않았다.
- 현재 식품공전에서는 고춧가루의 일반 세균은 규제하고 있지 않지만 일반 세균의 상당 부분은 토양 유래의 *Bacillus* 속이며 이들은 spore 형성능이 있어 고춧가루를 재료로 하는 식품에서 잠재적인 위해요인이 될 수 있기 때문에 적절한 살균 과정이 필수적이라고 할 수 있다.

표 3. 고춧가루 시료의 미생물 오염도 측정 결과

단위: CFU/g

분류	Aerobic bacteria	Coliform group	<i>E. coli.</i>
상	9.7×10^5	ND	ND
	6.9×10^5	ND	
	9.1×10^5	1.1×10^4	
	4.5×10^5	ND	
	1.2×10^5	ND	
	7.7×10^6	ND	
	4.5×10^7	ND	
	4.6×10^6	ND	
	5.4×10^6	1.75×10^2	
	4.1×10^6	ND	
중	3.1×10^6	ND	ND
	2.0×10^4	ND	
	1.5×10^5	ND	
하	3.1×10^6	ND	ND
	9.1×10^5	1.4×10^3	
	6.7×10^5	5.3×10^2	
	1.2×10^6	3.0×10^2	
	2.0×10^4	ND	
	1.0×10^5	8.7×10^2	
	2.3×10^6	ND	
1.3×10^6	ND		

4. 기대효과

- 다양한 식품의 소재로 많이 활용되는 분체 식품 및 종자 농산물은 요즘 웰빙이나 신선 편의 식품 등에서도 생 것으로 사용되는 경우가 증가하고 있다. 위해 유발인자인 미생물 오염이 관리되고 있지 않기 때문에 잠재적인 위험을 안고 있는 실정이다. 시장과 소비자의 수요에 맞는 식품의 안전성을 확보하기 위하여 분체 식품이나 종자 농산물의 관리 기준을 확립한다면, 식중독 사고의 예방 뿐 아니라 국민 건강 향상에 기여할 것이고, 안전한 소재 공급을 통한 지역 농산물 가공 산업에도 경제적으로 기여할 수 있을 것으로 생각된다. 나아가 품질과 안전에서 비교우위를 갖추어 해외 시장의 개척이나 수출량이 증대할 수 있을 것이다.

제 목	광펄스 살균기술을 이용한 분체식품(종자 농산물)의 미생물 위해성 저감화 기술 개발
활용 가능성	종자 농산물 살균
건의 분야	농산물안전성, 농산물가공이용
제안 내용 요약	<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 연구에서는 저탄소·비가열 살균기술 중 하나인 광펄스 살균기술을 참깨 등의 종자 농산물의 살균에 적용하여 최종제품의 미생물수를 10^3 cfu/g 이하(또는 법적허용 기준 이하)로 감소시킬 수 있는 장치를 개발하고 살균 공정 시스템을 구축하였음. ○ 대용량의 분체 식품을 적절히 섞어주면서 광펄스 처리 할 수 있도록 cyclone 기술이 적용된 pilot-scale 광펄스 장치를 제작하였으며 참깨, 결명자, 차조를 DC voltage 1200, 1600, 2000, 2400 V, pulse duty 0.5, 2.1, 3.0 ms, treatment time 30, 60, 90, 120 sec로 조절하여 살균 처리한 결과, 참깨, 결명자, 차조의 최고 살균효과는 차례대로 1.20, 0.85, 0.52 log 로 나타났음. ○ 분체 식품의 크기와 표면적 특성에 따라 광원을 원활히 받지 못하는 shadow effect를 줄이기 위한 방안으로 belt-type 장치를 추가 제작하여 cyclone 장치와 연결하였으며 살균처리 결과 결명자, 참깨, 차조 순서대로 최고 2.63, 0.75, 0.04 log의 사멸효과를 보였음. Sieve로 이루어진 belt type 광펄스 장치는 특히 결명자에 효과가 있는 것으로 보이며, 바닥면 디자인 개선을 통해 더욱 다양한 size의 분체 식품을 처리할 수 있을 것으로 예측됨. ○ 광펄스 처리 전과 후 모든 분체 식품의 수분함량, 수분활성도, 색도 차이의 유의적인 변화가 관찰되지 않았으며 광펄스 처리 후 온도 상승도 5℃ 이하로 나타났음. ○ 본 연구팀이 개발한 분체 식품 살균을 위한 pilot-scale 광펄스 장치는 바로 상용화가 가능한 대용량 분체 식품 살균 장치이며 더욱이 국내를 넘어 국외에도 분체 식품을 연속적으로 처리하는 pilot-scale 장치를 제작한 바 없기 때문에 해당 장치는 기술적으로 상당히 독창적이면서도 수준이 높은 것으로 사료됨. ○ 관련 장비 제조업체와의 협조로 다양한 규모의 광펄스 살균장치를 공동개발, 제작, 판매하고 각종 식품의 미생물적 위해요소 제거를 위해 장비제작 지원 사업 등을 통하여 살균 장비의 사업화를 추진할 수 있음. ○ 광펄스 살균기술의 친환경 첨단 식품가공기술을 통한 분체 식품의 위생 안전성 확보는 가공식품의 국제적인 경쟁력을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라 고부가가치 산업으로의 발전도 가능할 것으로 기대됨.
제안자	이화여자대학교 정명수

1. 제안 배경

- 곡류, 야채, 과일 등의 농산물은 재배 중에 토양과 야생동물 등 외적 환경인자에서 유래된 미생물이 표면에 부착하여 있으며, 일반적으로 수확 직후의 농산물에는 1g당 10 이상의 미생물이 존재하는 것으로 추정됨. 따라서 이들 농산물을 가정 또는 가공공장에서 세척, 박피, 절단, 분쇄, 착즙 등의 과정을 거칠 때 표면과의 접촉에 의하여 미생물 오염이 확산될 가능성이 높음.
- 특히 분체식품의 경우, 수분함량이 작기 때문에 소비자들이 세균학적으로 안전한 것으로 잘못 인식하고 있어 실온에서 장기간 보관하여 병원성 미생물이 생육할 수 있게끔 하는 등 잘못 취급하는 경우가 많고 이러한 대부분의 분체식품은 RTE로 생각하여 소비자들은 구입 후 가열조리 과정 없이 섭취함으로써 미생물에 의한 위해 가능성이 높음. 심지어 생산업자나 유통업자도 이와 같은 인식을 가져 제조공정과 유통과정을 소홀히 하는 경우가 많음.
- 대표적으로 2013년 2-5월 사이에 발생한 tahini참깨 페이스트로 인한 식중독 사건은 터키에서 수입한 참깨 페이스트에 존재했던 *Salmonella Montevideo* 또는 *Salmonella Mbandaka* 균에 의해 발생한 것으로 9개 주에서 총 16명의 환자가 발생하였으며 1명이 사망하였음.
- 식품의약품안전청 보고(2007))에 따르면 시판 선식의 유해세균 오염실태 조사에서 50% 가까운 제품에서 식중독 균인 *Enterobacter sakazakii*와 *Bacillus cereus* 균이 검출된 것으로 보고된 바 있으며, 분유의 경우 식중독균의 검출로 인한 사회문제가 야기되기도 했음.
- 오늘날 식생활은 신선하고 건강에 유익한 식품을 지향하고 있어 소비자들의 식품안전과 위생에 대한 욕구가 강해져 가공식품뿐 아니라 사용하는 식품원료, 식품소재 및 첨가물의 안전성에 대해서도 관심이 높아지고 있음.
- 농산물, 분체식품 및 건강식품 원료의 많은 부분이 해외 산으로 현지에서 가공되는 경우도 적지 않으며 수입 식품재료의 안전성에 대한 불안감이 커 반사적으로 소비자들은 안전관리와 품질 면에서 해외산일지라도 국내 식품가공전문공장에서 위생적으로 가공하기를 원하는 경향임. 소비자들의 이러한 해외 산의 안전성에 대한 우려와 국내가공에 대한 요구에 부응하기 위하여 분립체 살균기술의 개발과 육성이 시급함.
- 광펄스(intense pulsed light, IPL) 살균기술이란 강한 빛을 단시간에 식품 표면에 조사하여 오염미생물을 사멸시키는 비가열 살균법으로, 고전압 전류를 capacitor에 저장하였다가 램프의 전극을 통해 순간적으로 방전시키면 고전류의 전기펄스가 램프 내의 불활성 가스(xenon)에 작용하여 전자와 가스 분자가 강력하게 충돌하게 되고 그 결과 가스분자는 여기(excitation)되어 햇빛보다 2만~4만 배 강한 매우 짧은 광펄스를 방출함.
- 이때 방출되는 빛의 영역은 170-2600 nm의 범위로 자외선(UV) 영역뿐만 아니라 근적외선(NIR) 영역까지 포함한다는 점에서 기존의 UV 살균과는 구별되며, UV 살균에 비해 월등히 높은 살균력을 가지고 있음. 광펄스 처리 시 0.01-50 J/cm² 범위의 에너지밀도(energy density)를 가지는 pulse가 1 μs - 0.1 s의 간격으로 1-20회의 flash 형태로 물질에 가해지며, 광원으로는 일반적으로 xenon lamp가 사용됨.

- 광펄스가 변패미생물과 병원성 미생물을 사멸시키는 살균력은 빛의 파장, 빛의 강도, pulse의 수와 주기(조사시간), 시료와 광원 사이의 거리와 포장재와 식품의 종류 등에 의해서 결정됨. 살균메커니즘은 아직 구체적인 이론이 정립되지 않았으나 일반적으로 기존의 UV 살균의 경우와 마찬가지로 빛에 의한 세포의 DNA 구조와 세포의 물리적 파괴에 의한 것으로 알려지고 있음. 다만 광펄스 살균은 UV 살균보다 월등히 큰 손상을 주기 때문에 미생물이 회복될 수 있는 확률이 훨씬 낮아져 UV 살균법에 비해 살균효과가 매우 우수한 것으로 알려져 있음.
- 현재 UV살균이 분체식품의 살균에 가장 널리 사용되고 있으나 살균효율에 한계가 있음. 광펄스는 UV보다 강력한 살균력을 가지고 있어 액체식품 및 고체식품을 단시간에 효과적으로 살균할 수 있기 때문에 UV를 대체할 수 있는 기술로 발전될 것으로 기대됨.
- 참깨, 후추, 마늘분말 등과 같은 향신료는 가장 중요한 품질요소인 향미가 가열에 의하여 쉽게 손상되므로 열을 가하지 않으면서 품질 손상을 최소화하여 신선도를 유지할 수 있는 비열살균기술의 개발이 절실함.
- 이와 같은 점에서 분체식품 살균을 위한 광펄스 기술 및 장치 개발은 기대되는바가 클 뿐만 아니라, 원료 그대로의 품질을 신선한 상태로 유지하면서 식중독 및 부패를 방지할 수 있는 이상적인 살균기술 개발에 대한 관심이 높은 식품가공업계의 needs를 충족시킬 수 있을 것이라 사료됨.

2. 제안 내용

- 저탄소·비가열 살균기술 중 하나인 광펄스 살균기술을 참깨 등의 종자 농산물의 살균에 적용하여 최종제품의 미생물수를 10^3 cfu/g 이하(또는 법적허용 기준 이하)로 감소시킬 수 있는 공정 시스템을 구축하고, 미생물 저감 효과에 영향을 미치는 다양한 공정 요인들을 최적화함으로써 실제 식품공정 및 산업에 적용할 수 있는 광펄스 살균기술 및 시스템의 실용화 기반을 마련하고자 함.

3. 연구결과

- 본 연구를 통하여 자체 개발된 광펄스 살균시스템은 그림 1과 같음.
- 살균 처리를 위한 분체(분말) 시료는 기기 하단부의 hopper에 들어가며, 최대 3 L의 분체 시료를 담을 수 있도록 설계되어 있음.
- 분체 시료는 air compressor에 의해 파이프를 따라 기기 상단부의 acrylic cyclone chamber로 이송되어 chamber 위에서 아래로 떨어지게 되는데 이 때 진공 상태의 chamber 내에서 분체는 cyclone을 형성하며 떨어지도록 하여, 분체가 chamber 내에 머물러 있는 시간을 증가시킬 뿐만 아니라 광원을 받는 분체(분말) 시료의 표면적을 최대화시킬 수 있도록 함.

- 떨어진 시료는 일정한 속도로 작동되는 rotary valve에 의해 일정량이 hopper에 다시 모이게 되고 다시 파이프를 따라 chamber 내로 이송되어 연속적으로 살균 처리가 가능하도록 제작됨.
- 광원 램프는 chamber 내 중앙부에 위치한 석영관 재질의 노즐 장치 내부에 장착되어 있는데, 석영관 내부로는 냉각수가 순환할 수 있는 chiller 장치가 연결되어 살균 처리 중 램프에서 과도한 열이 발생하는 것을 막아주고 chamber 내 온도를 일정하게 유지시킬 수 있도록 제작함. 또한 이는 램프 수명 연장 및 균일한 세기의 광원을 이용해 살균 처리할 수 있다는 점에서 효과적임.
- 광원을 발생시키는 power supply에서 광원의 에너지밀도를 조절할 수 있는 인자와 그 범위는 DC voltage (V) 800 – 2400 V, frequency (Hz) 1 – 10 Hz, pulse duty (ms) 0.5 – 3.0 ms이며, 최고 223.23 mJ/cm^2 의 광원에너지를 발생할 수 있음.
- 참깨, 결명자, 차조를 이용하여 광펄스 살균처리 하였으며, DC voltage는 1200, 1600, 2000, 2400 V로, pulse duty는 0.5, 2.1, 3.0 ms로, treatment time은 30, 60, 90, 120 sec로 조절하여 광펄스 처리하였음. 이 때 frequency는 2 Hz, triggering voltage는 35 kV로 고정하였음 (그림 2).
- 참깨의 경우, 최고 조건인 DC voltage 2400 V, pulse duty 3.0 ms, treatment time 120 sec에서 평균 1.20 log 의 사멸효과를 나타내었으며 DC voltage가 2400, 2000, 1600, 1200 V 순으로 낮아질수록 최고 조건인 pulse duty 3.0 ms, treatment time 120 sec에서 1.20, 0.86, 1.04, 0.85 log의 사멸 효과를 보였음. 그 외 조건에서는 평균 0.20 – 1.10 log reduction을 보였음.
- 결명자의 경우, 최고 조건에서 평균 0.85 log reduction의 사멸효과를 나타내었으며, 그 외 조건에서는 평균 0.13 – 0.74 log reduction의 사멸효과를 보였음. DC voltage가 낮아질수록 최고 조건에서의 사멸효과는 0.85, 0.74, 0.61, 0.36 log 었음.
- 차조의 경우, 최고 조건에서 평균 0.52 log reduction의 사멸효과를 나타내었으며, 전체적으로 0.01–0.43 log reduction의 사멸효과를 보였음. 참깨와 결명자에 비해 사멸효과가 낮았으며 광원 세기에 따른 사멸효과의 변화 정도도 미미한 것으로 확인되었음.
- 분체 식품의 크기와 표면적 특성에 따라 광원을 원활히 받지 못하는 shadow effect를 줄이기 위한 방안으로 belt-type 장치를 추가 제작하여 cyclone 장치와 연결하였음 (그림 1). Belt-type 장치의 바닥면은 sieve로 구성되어 있어 분체식품이 원활하게 골라서 이동할 수 있음.
- 해당 장치를 이용하여 광펄스 처리한 결과, 결명자의 최고 살균 효과가 2.63 log로 나타났고, 참깨, 차조의 살균 효과는 0.75, 0.04 log 로 나타났음. 매끈한 바닥에서의 살균효과는 참깨, 결명자, 차조 순으로 0.43, 0.73, 0.33 log 로 나타났으며 이것으로 인해 sieve로 이루어진 belt type 광펄스 장치는 특히 결명자에 효과가 있는 것으로 보임 (그림 3).
- 참깨와 결명자의 경우 belt type에서의 살균 효과가 낮게 나타났지만 이는 두 샘플에 적합하지 않은 mesh를 가진 sieve 바닥으로 인한 것이라 사료되며 바닥면 디자인이 두 샘플에 적합하도록 개선된다면 충분히 높은 살균 효과를 보일 것으로 예측됨.
- 광펄스는 식품 물성에 변화를 주지 않고 미생물을 살균시키는 비열 살균 기술로 알려져있음. 본 연

구에서는 최고 처리 조건인 DC voltage 2400 V, frequency 2 Hz, pulse duty 3.0 ms, treatment time 2 min 처리 후 각 분체 식품의 수분함량, 수분활성도, 색도차이(ΔE)를 측정하여 처리 전과 비교하였음(그림 4).

- 광펄스 처리 전과 후 모든 분체 식품의 수분함량, 수분활성도, 색도차이의 유의적인 변화가 관찰되지 않았으며 광펄스 처리 후 온도 상승도 5℃ 이하로 나타났음. 따라서 cyclone 기술을 적용한 pilot-scale IPL 장치로 분체 식품을 살균시켰을 때 미생물 살균 이외의 특성 변화는 일으키지 않는 것으로 보임.



그림 1. Pilot-scale 광펄스 장치. Cyclone type 장치(왼쪽)와 belt type 장치(오른쪽)

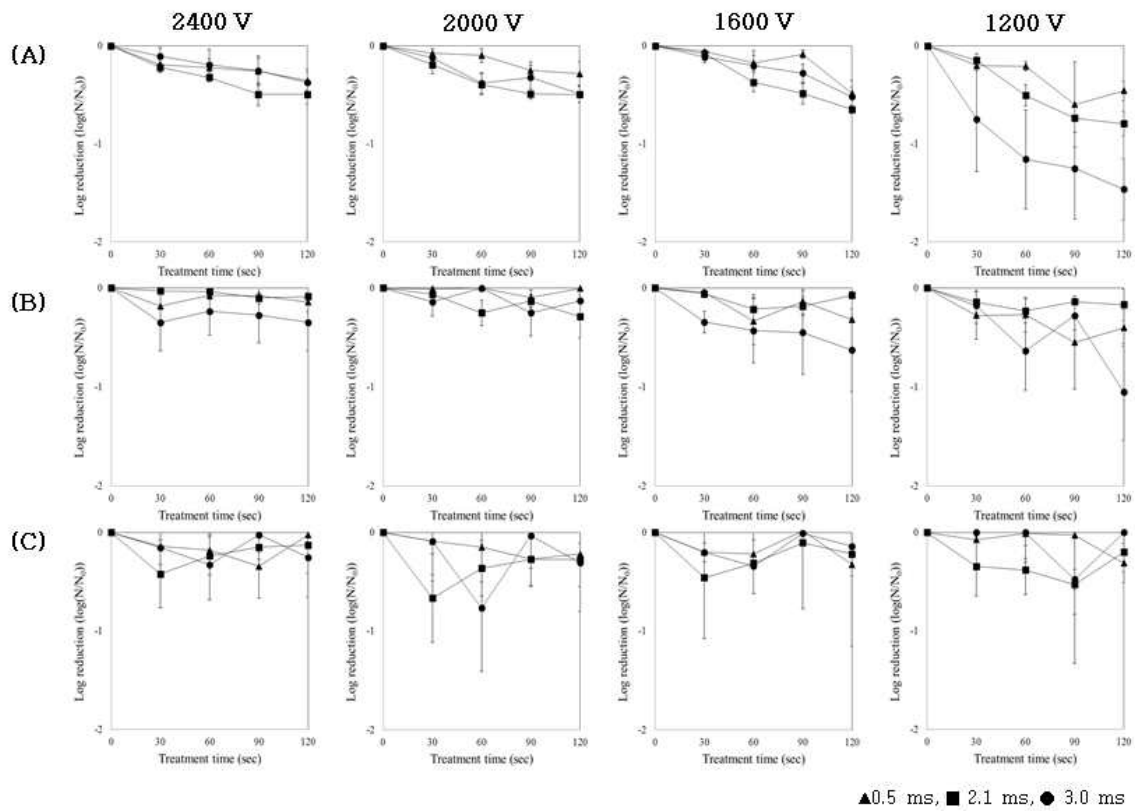


그림 2. Cyclone type 장치를 이용한 분체식품 미생물 저감 효과 확인.
(A) 참깨, (B) 결명자, (C) 차조

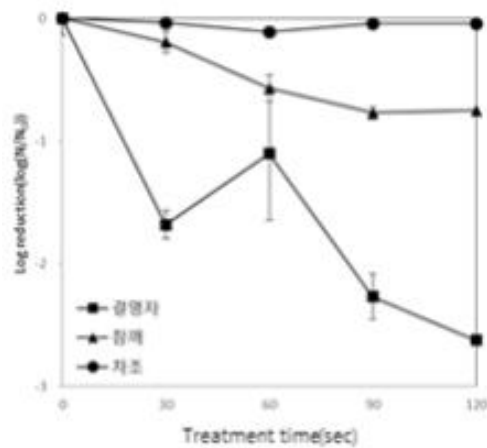


그림 3. Belt type 장치를 이용한 분체식품 미생물 저감 효과 확인

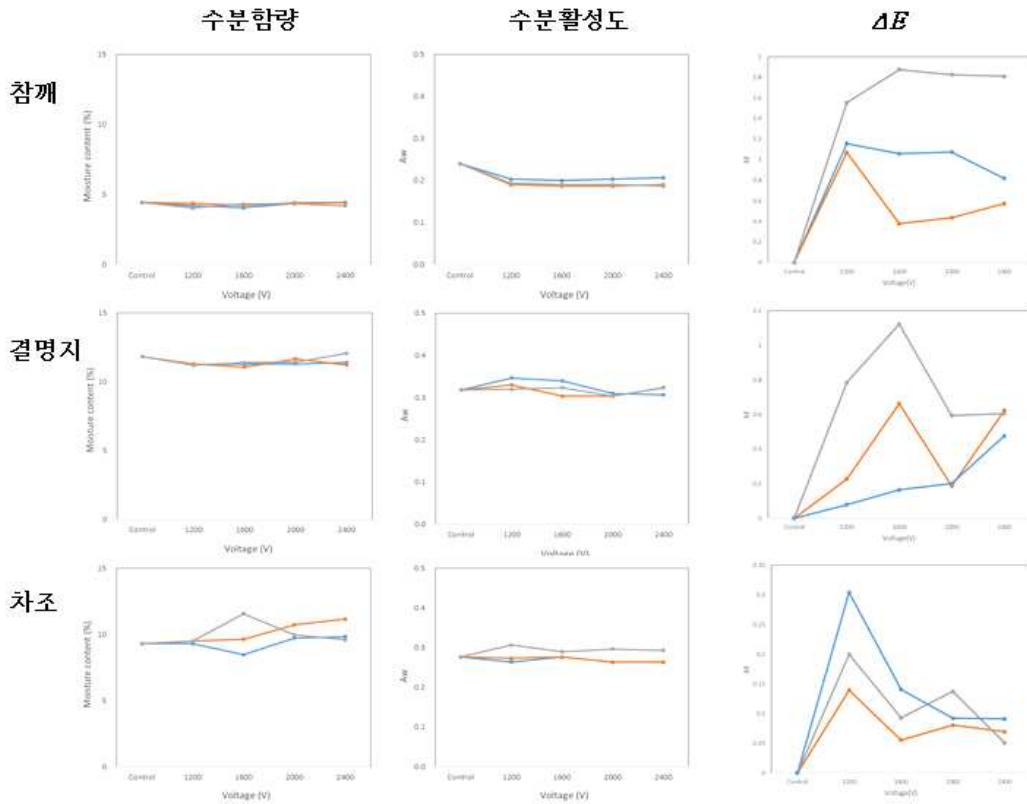


그림 4. 광펄스 처리 전, 후 참깨, 결명자, 차조 특성 변화 비교

4. 기대효과

- 본 연구를 통해 고품질의 분체 식품 생산을 위한 비가열 광펄스 살균 기술을 적용함으로써 해당 기술의 실용화 기반을 마련하고 식품 산업의 발전에 기여할 수 있음.
- 본 연구팀이 개발한 분체 식품 살균을 위한 pilot-scale 광펄스 장치는 바로 상용화가 가능한 대용량 분체 식품 살균 장치임. 더욱이 국내를 넘어 국외에도 분체 식품을 연속적으로 처리하는 pilot-scale 장치를 제작한 바 없기 때문에 해당 장치는 기술적으로 상당히 독창적이면서도 수준이 높은 것으로 사료됨.
- 초기 균 수가 높은 분체 식품에 해당 기술을 적용함으로써 단시간에 대용량으로 분체 식품을 살균처리할 수 있으므로 시간 효율적이며 경제적이라 할 수 있으며 광펄스 종자 살균의 상업화를 통해 소비자들이 믿고 먹을 수 있는 안전한 신선편의식품 제품화 발전에 기여할 수 있음.
- 관련 장비 제조업체와의 협조로 다양한 규모의 광펄스 살균장치를 공동개발, 제작, 판매하고 각종 식품의 미생물적 위해요소 제거를 위해 장비제작 지원 사업 등을 통하여 살균 장비의 사업화를 추진할 수 있음.
- 식품 제조공정의 이산화탄소 저감화 친환경 가공기술 개발에 따른 생활환경 개선 및 대국민 이미지

개선에 기여할 수 있음.

- 빛에너지 및 빛의 변화량에 따른 민감도를 분석하여 위해 미생물 및 spore 각각에 대한 정밀한 자료 수집으로 광펄스 학계 발전의 발전을 유도하며 빛 살균을 통한 살균 메커니즘을 통해 빛을 이용한 다양한 살균 방법 또는 저장성 증진 기술 개발에 활용할 수 있음.
- 광펄스 살균기술의 친환경 첨단 식품가공기술을 통한 분체 식품의 위생 안전성 확보는 가공식품의 국제적인 경쟁력을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라 고부가가치 산업으로의 발전도 가능할 것으로 기대됨.
- 다양한 식품에 비가열 광펄스 살균을 적용함으로써 위해 미생물 및 spore에 의한 식중독 발생 감소와 더불어 높은 품질을 유지하는 것이 가능하므로 국내 산업 전반에 크게 기여할 것으로 기대하며, 관련 기초연구를 통해 광펄스 살균 기술의 이론적 배경 확립을 이루어 연구기반이 미미한 국내 광펄스 기술의 학문적 발전을 유도할 계획임.
- 다양한 식품에 적용되는 광펄스 기술의 기준을 식품공전에 기재하고자 하며, 관련업체에서 합법적으로 사용할 수 있도록 하며 관련업체로의 기술이전을 통해 산업화를 추진할 것임.

정책 제안서

제 목	콜드 플라즈마 기술의 분체 살균 기술로서의 사용을 위한 규제 정립
활 용 가 능 분 야	기술이전과 상업화
건 의 분 야	연구 분야: 농업공학, 농산물가공이용
제 안 내 용 요 약	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분체형 식품의 살균 기술로서 정부의 규제 마련 ○ 식품 종류 별 콜드 플라즈마 처리의 최적 조건 확립 연구 지원 ○ 콜드 플라즈마 처리된 식품에 대한 안전성 검증 연구 지원 ○ 콜드 플라즈마의 포장 후 살균 기술로서의 연구 지원 ○ 콜드 플라즈마의 식품 적용에 있어 소비자 인식도 조사 ○ 콜드 플라즈마 식품 처리 관련 일반인 교육 개발
제 안 자	서울여자대학교 식품공학과 부교수: 민 세 철

1. 제안 배경

분체식품은 열에 민감하여 향미 손실, 갈변, 퇴색, 비타민 등 영양소의 파괴, 항산화 활성의 저하 등 품질 손상을 받기 쉽고, 수분 함량이 증가하면 풍미 감소, 조직 변화, 응고, 고착 등 성상이 변하며 보존 기간이 단축된다. 그리고 대부분의 분체식품은 건조한 상태로서 세균의 열 저항성이 증가하고 세균이 증식하지는 않으나 장기간 생존하며 제조공정에서 다른 제품 및 장치 등에 교차오염 유발 될 가능성이 높다. 특히, 분체식품에는 지방, 단백질 등의 함량이 높은 제품이 많아 미생물의 생존성이 증가하므로 일반적으로 고 수분 함량 식품에 적용되는 온화한 열처리 공정으로는 병원성 균을 효과적으로 살균할 수 없다. 이러한 분립체를 살균할 때는 분립체의 성질과 살균목표인 미생물의 열 특성을 이해하고 갈변변화, 퇴색, 단백질의 변성, 전분의 -화, 비타민 등의 파괴를 최소한으로 억제하며 조작하지 않으면 안 된다. 이와 같이 분립체 살균의 특성을 만족시키면서 살균한다는 것은 기술적으로 매우 어려워 아직 만족할 만한 실용적 기술이 개발 되지 못하였다.

분체 살균에는 가열 살균, 자외선 살균, 마이크로파 살균 등의 방법과 비 가열 살균 방법으로는 방사선 살균, 에틸렌가스 등에 의한 약제 살균 방법이 사용되고 있다<표 1>. 미국에서는 1980년 WHO의 권고를 기초로 하여 향신료에 대한 방사선 살균을 허가하였으나 허용조사선량을 1 Mrad로 하였으며, 이에 대하여 향신료 메이커로부터 내열성 포장의 살균에 필요한 3-4 Mrad의 조사를 요청하고 있다. 일본에서는 안전성 등의 입장에서 방사선 살균은 허가 되어 있지 않다. 한편 FDA는 현재 분체식품의 살균에 대하여 잔류치를 50 ppm으로 규제하면서 ethylene oxide의 사용을 허가하고 있으나 약품 살균 방법의 안전성 등에 소비자들이 강하게 의문을 제기하고 있어 약제에 의한 살균은 적용에 한계가 있다. 가열 살균은 전통적인 방법이지만 품질열화가 문제이다. 종래부터 행하던 건열에 의한 살균은 고온의 건조공기로 식품을 가열하여 살균하는 방법이다. 건조공기는 열 전달율이 낮으므로 분체식품의 온도를 상승시키는데 시간이 걸리기 때문에 처리시간이 길고 산화 등에 의한 품질열화가 발생한다. 증기 등을 이용한 습열 살균은 건열살균에 비하여 살균효과가 현저히 높다는 것은 잘 알려져 있는 사실이다. 그러나 분립체 원료를 포화수증기를 사용하여 습열 살균하는 것은 운전조작 상 어렵고 특수한 경우를 제외하고는 실용화되지 않았다. 분립체를 습열 살균하면 수분의 증가와

고착이 발생하여 살균 후에는 재 건조와 재 분쇄 처리가 필요하게 된다. 이상에서 기술한 것과 같이 종래의 가열살균법으로는 분립체의 품질열화는 피할 수 없으며 방사선 살균법 및 화학적 살균법이 이를 대체할 수 없다. 따라서 분체식품의 품질을 가능한 자연적인 상태로 선도를 유지하면서 미생물학적으로 안심하고 섭취할 수 있는 고품질의 분체식품을 소비자에게 제공하기 위하여, 환경 친화적이며 물리적인 고효율 저탄소 살균기술의 개발과 적용이 중요한 과제이다.

<표 1> 식품에 적용되는 다양한 약제 살균제

살균 방법	단점
염소류	높은 수준의 유해 DBP, 유기물질의 존재에 영향을 받아 유기물질과의 반응, 부식성, pH 의존성 활성화
오존	시설 내 발생장치(on-site generation) 필요, 흡입 시 독성, 실내 사용 시 모니터링 필요, 4ppm 이상 사용 시 부식성, 높은 초기 투자비용
이산화염소	신선농산물의 경우 허용 수준에서 효과 없음, 시설 내 발생장치(on-site generation) 필요, 폭발성, 가공하지 않은 농작물(whole produce)에만 허용, 특정 부산물인 chlorite와 chlorate 형성, 실내 사용 시 모니터링 필요,
유기산	긴 접촉 시간으로 식품 산업에 적절치 못함, 관능품질의 손상, 상대적으로 낮은 항균 효능
과산화초산	채소류의 경우 허용 수준에서 낮은 항균 효능을 보임,
과산화수소	낮은 항균 효능, 긴 접촉시간, 식물 독소, 품질 전단의 부정적인 영향, 과산화수소 처리 공정 후 잔여 H ₂ O ₂ 를 제거할 필요, 유기 제품의 경우 비허용 물질

식품 분야에 적용 가능한 콜드 플라즈마 기술은 식품표면의 오염 균을 효과적으로 사멸시킬 수 있는 이상적인 기술이다. 식품 주위로 콜드 플라즈마를 흘려보내면 플라즈마 내 존재하는 반응성이 매우 큰 reactive species와 UV radiation 등에 의하여 미생물 세포막과 세포성분의 화학결합이 파괴되고 DNA가 손상을 입어 미생물이 사멸된다. 이러한 콜드 플라즈마 기술은 국내 연구뿐 만 아니라 이미 미국과 일본에서 관련 연구에 박차를 가하고 있으며, 미생물 저해에 있어서도 그 효율성이 입증되어 다양한 식품에 적용 연구되고 있다. 그러나 다각적인 연구 축적에도 불구하고 기술의 상용화 전 단계에 머물러 글로벌 시장에서의 경쟁적 선점의 기회가 간과되고 있는 실정이다. 또한 우수한 제조 기술력과 많은 연구에도 불구하고 그에 대한 안전성 검증이나 식품에서의 독성 연구는 아직 많이 진행되고 있지 않다. 분체 식품의 가공 공정 기술로서

의 개발과 상용화의 필수조건은 정부의 콜드 플라즈마 처리의 식품 적용 규제 확립이다. 이에 식품에 대한 새로운 살균기술로서의 콜드 플라즈마 기술의 정부의 법적 규제와 기준의 정립을 제안하는 바이다.

2. 제안 내용

현 기술 수준에서 콜드 플라즈마 기술이 나아갈 방향은 국내외 식품 살균 시장에서의 경쟁적 선점이다. 특히 미국과 일본은 지난 십여 년간의 콜드 플라즈마 연구 축적을 바탕으로 글로벌 경쟁력 확보를 위한 움직임이 활발하다. 콜드 플라즈마 살균의 식품 적용의 경우, 식품의 재료나 식품마다의 다양한 특성에 따라 그 접근법을 달리하여 적용할 수 있는 범위는 넓다고 볼 수 있다.

정책 반영을 위해 다음과 같은 제안을 하고자 한다: (1) 분체형 식품의 살균 기술로서 정부의 규제 마련, (2) 식품 종류 별 콜드 플라즈마 처리의 최적 조건 확립 연구 지원, (3) 콜드 플라즈마 처리된 식품에 대한 안전성 검증 연구 지원, (4) 콜드 플라즈마의 포장 후 살균 기술로서의 연구 지원, (5) 콜드 플라즈마의 식품 적용에 있어 소비자 인식도 조사, (6) 콜드 플라즈마 식품 처리 관련 일반인 교육 개발

3. 연구 결과

본 제안자의 연구에 의해 진행된 양파 분말 살균을 위한 유전체 장벽 방전 콜드 플라즈마 처리 장치는 <그림 2>의 수증기 유입식의 SWU-3 장치를 사용하였다. 분말의 살균은 식품 특성에 따라 분말의 모든 면적에 살균 처리가 미치도록 유동 장치를 사용하였으며, 주로 양파 분말에서 위해요인이 되는 식중독 미생물의 저해효과를 탐색하였다. 콜드 플라즈마 처리에 대한 최적 조건을 찾기 위해 다양한 공정 변수를 사용하였으며, 유전체 장벽 방전 콜드 플라즈마 처리의 경우 처리 주파수와 전압, 시간을 주요 변수로 하였다. 미생물 저해율은 처리 주파수가 낮아질수록 처리 시간이 증가할수록 유의적으로 증가하였으며 헬륨(He) 가스를 이용하여 9 kV, 15 kHz에서 20 분 동안 처리했을 때 가장 효과적이었다. 이러한 최적 조건(He, 9 kV, 15 kHz, 20 분)에서 *S. enteritidis*는 3.0 log CFU/cm² 이상 저해되었고, *E. coli* O157:H7와 *L. monocytogenes*

도 90%의 저해율을 보였다. 최적 조건에서의 양과 분말의 표면 온도 상승의 최대값은 15°C 이내로 콜드 플라즈마 처리가 비 가열 공정이라는 것을 확인하였다. 수증기 유입식 콜드 플라즈마 처리는 양과 분말 내 모든 식중독균의 저해 효과를 예측하는 최적 저해 모델은 Fermi's model이었다($R^2 < 0.84$). Optical emission spectroscopy (OES)를 통한 측정을 통해 수증기 유입은 He 가스를 이용한 플라즈마 내 활성 산소종(reactive oxygen species)과 수소(hydrogen)를 증가시켜 미생물 저해율을 높일 수 있다는 것을 확인하였다. 또한, 최적 조건에서의 처리는 양과 분말의 수분함량, 색도 및 외관, 그리고 ascorbic acid와 quercetin의 함량, 그리고 표면 미세 구조 등의 이화학적 특성에 유의적인 영향을 주지 않아 분체 식품의 품질 저하를 유도하지 않는 살균 공정으로서의 가능성을 보여주었다.



<그림 2> pilot scale의 유전체 장벽 방전 콜드 플라즈마 처리 장치

- ① HE_Bombe : 외부 전극을 이용한 유전체 장벽 방전 플라즈마 활성화를 위한 가스 공급부
- ② Material_Feeder : 식품 분체 살균을 위한 시료 공급 및 정량 공급 장치
- ③ Cold plasma treatment system : 시료 유동층 시스템을 포함한 플라즈마 처리 장치
- ④ Reservoir tank : 시료 살균 처리 후 보관 및 배출 장치

- ⑤ Mesh type Valve : 시료 유동층 및 시료 이동용 밸브
- ⑥ MFC*3 ea : 시료공급 및 콜드 플라즈마 처리, H₂O 가스 유량 조절 기기
- ⑦ MFC_ Transducer : 시료공급 및 콜드 플라즈마 처리, H₂O 가스 유량 조절 장치
- ⑧ Auto program_ infour : 유전체 장벽 방전 플라즈마 살균장치 프로그램 및 App
- ⑨ High voltage generator : 주파수 및 고전압 발생기(Max. 40 kHz/ Max. 10 kV)
- ⑩ Interface Module : INFOU 프로그램 연동 인터페이스 장치
- ⑪ Vibrator air pump : 시료 부양용 유동층 시스템 바이브레이터 에어 공급용 펌프
- ⑫ Oscilloscope : 살균 처리에 대한 전압전류 모니터링 측정 장치
- ⑬ OES(Optical emission spectroscopy) : 식품 미생물 저감화를 위한 살균 요소 검출 장치
- ⑭ Feeder_Controller : 시료 공급 정량 시스템 지배변수 조절 장치
- ⑮ 살균처리가 완료 된 시료 : 시료의 콜드 플라즈마 처리 후 배출된 시료

4. 기대 효과

전 세계적으로 웰빙 제품과 간편 식이에 대한 관심 증가는 간편 분말식품의 수요 증가로 이어졌으며, 소비자들은 그 어느 때보다도 구입시점까지의 신선도를 중요하게 생각한다. 이러한 종류의 식품 유형들은 품질 특성을 유지하기 위해 새로운 가공 기술 개발이 요구되고 있으나 아직까지도 기존 방식 그대로의 살균 공정을 지속하고 있는 경우가 대다수이다. 콜드 플라즈마 기술은 이미 의료 멸균기 분야에서 상용화되어 그 살균효과가 검증된 상태로서, 콜드 플라즈마의 식품 적용 기술은 다양한 종류의 식품 유형에 적용이 가능할 뿐 아니라 식품의 포장재 살균에도 적용 가능하다는 점에서 차별화된 경쟁력을 보유한 기술이라고 볼 수 있다.

안전한 분체식품의 공급은 식중독 예방과 국민 건강 향상 및 지역 농수산물 가공 산업에 더욱 발전을 가져올 것이며 미생물학적 안전성 및 품질 면에서 global standard 를 충족시킬 수 있는 분체식품을 생산하고 수출 할 수 있을 것이다. 빠른 시일 내에 정부 차원에서는 콜드 플라즈마 기술의 식품 사용에 대한 규제 확립이 속히 이루어져야 할 것이다.