

발간등록번호

11-1543000-000820-01

액상 식품의 미생물 안전성 확보를 위한 자외선-광촉매  
비열처리 시스템 개발과 적용

(Development and application of low-CO<sub>2</sub> non-thermal  
technologies using ultraviolet and photocatalytic  
oxidation reaction for liquid foods)

연세대학교

농림축산식품부

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “액상 식품의 미생물 안전성 확보를 위한 자외선-광촉매 비열처리 시스템 개발과 적용” 과제의 보고서로 제출합니다.

2015년 1월 20일

주관연구기관명 : 연세대학교 생명공학과

주관연구책임자 : 박 지 용

세부연구책임자 : 박 지 용

연 구 원 : 김 보 미

연 구 원 : 김 상 현

연 구 원 : 김 정 운

연 구 원 : 손 업 유

연 구 원 : 전 소 영

연 구 원 : 정 보 라

참 여 기 업 명 : (주)한국야쿠르트

참여기업책임자 : 김 현 미

# 요 약 문

## I. 제 목

액상 식품의 미생물 안전성 확보를 위한 자외선-광촉매 비열처리 시스템 개발과 적용

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 소비자들은 식품의 위생 및 품질에 민감하여, 천연상태의 품질, 즉 식품 본래의 품질을 그대로 유지하는 동시에 위생안전과 보존성을 향상 시킬 수 있는 기술을 필요로 한다. 이에 따라 식품가공 및 보존성을 위한 포장기술에 대한 새로운 식품보존기술이 많이 연구되고 있고, 국내뿐 만 아니라 선진국에서도 살균 기술을 상업적으로 이용하기 위한 연구가 이루어지고 있다.

특히 액상 식품의 경우, 기존 열처리 공정의 경우, 위해미생물의 살균력은 뛰어나지만 영양 성분을 파괴하고, 식품 본연의 맛, 향, 질감을 변성시키는 단점이 있다. 또한, 열처리 공정의 경우 많은 양의 탄소를 발생시키기 때문에 이를 줄이기 위해서는 비가열 가공 및 살균 기술 개발이 시급한 상황이다.

본 연구 과제에서는 비가열 살균 방식인 자외선과 광촉매인  $TiO_2$ (Titanium dioxide)를 병합하여 처리하는 기술을 연구·개발하고, 자외선-광촉매 살균 시스템을 천연수액인 고로쇠, 과채주스들, 전통 발효 액상 식품인 식혜와 동치미액에 적용하여 효율적이고 경제적인 살균 시스템을 설계·개발하고자 하였다.

### (1) 자외선-광촉매 시스템의 작용 원리

자외선 살균 시스템의 경우, 시료에 조사 시, 미생물의 DNA에 pyrimidine dimer를 생성하여 활성을 억제시키며, 광촉매 살균 시스템은 독성이 없는 반도체의 표면에 자외선에 의한 빛 에너지의 조사로 생성된 수산화라디칼( $\cdot OH$ )과 초과산화물 라디칼( $O_2\cdot^-$ )을 이용하는 기술이다. 강력한 살균력을 지니고 있음에도 불구하고 인체에는 무해하고, 식품의 영양소나 품질 손실을 최소화 할 수 있다. 이는 액상 또는 기상에 존재하는 유기오염물질 제거가 가능하고 일반 방법으로는 살균이 어려운 포자균에 적용이 가능하다. 뿐만 아니라 잔류 물질이 없고 화학물질을 첨가하지 않는 살균법이기 때문에 친환경적이다. 본 연구 과제에서는 자외선-광촉매를 이용하여 액상 식품을 세척 살균할 수 있는 시스템을 구축하고자 하였다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

### (1) 액상 식품에서 살균 효율 극대화를 위한 자외선-광촉매 살균 시스템의 설계 및 개발

- 연속형 자외선-광촉매 시스템
- 나선형 자외선 시스템
- Batch형 자외선-광촉매 시스템
- (2) 개발된 자외선-광촉매 시스템을 이용하여 다양한 특성을 가진 액상 식품에 적용
  - 고로쇠 수액
  - 과채주스
  - 식혜
  - 동치미액
- (3) 자외선-광촉매 시스템을 이용한 액상 식품의 미생물 살균 효과 확인
- (4) 자외선-광촉매 시스템을 이용한 액상 식품의 품질 특성 변화 확인
- (5) 최적 처리조건 결정 및 살균기술의 현장 적용

#### IV. 연구개발결과

##### (1) 액상 식품에서 자외선-광촉매 살균 시스템 적용

- 본 연구 과제에서는 자외선-광촉매 살균 기술을 통하여 액상 식품의 영양소나 품질의 손실을 최소화 하는 비열 살균 기술을 개발하고자 하였다.
- 자외선의 파장 중 단시간 내에 감균 속도와 세포벽의 손상도가 최대로 나타난다고 알려진 UVC를 비가열 처리 공정에 적용하였다. 자외선-광촉매 공정으로 미생물의 처리할 경우, 많은 양의 유리 라디칼이 생성되어 위해미생물의 DNA, RNA, 단백질과 지질을 손상시켜 자외선 단일 처리보다 높은 감균 효과를 보였다.
- 고로쇠의 경우, 자외선-광촉매 시스템을 적용 시, 바실러스 세레우스, 슈도모나스 속이 28~35일까지 재생장이 되지 않았다. Batch형 자외선-광촉매 시스템보다 연속형 자외선-광촉매 시스템과 나선형 자외선 시스템에서 더 높은 감균 효과를 보였다. 자외선 노출 시간을 증가 시킬수록 저장 가능 기한이 연장되었다. 천연수액은 일정기간이 지나면 침전물(Cloud)이 생성되는데, 이는 미네랄(Mg)과 조단백질의 상호작용으로 인한 것으로 사료되며, 자외선 조사량이 클수록 생성이 억제됨을 관찰 할 수 있었다.
- 과채주스의 경우, 시료의 색이 진할수록 탁도가 높을수록 과채주스가 자외선을 흡수하여 자외선 투과도가 현저히 저하되어 살균 효과가 감소했다. 따라서 탁도가 높은 참외의 경우 살균 효과가 거의 없었지만 수분을 다량 함유하고 있어 투명도가 상대적으로 높은 수박 주스의 경우에는 살균 효과가 있었다. 자외선 시스템을 이용해 살균한 수박의 경우 저장기간이 최대 자외선 조사량, 최소 자외선 조사량 모두에서 각각 37일, 20일이 더 연장되어 자외선 조사량에 따른 순차적 살균 효과가 검증되었다. 자외선-광촉매 시스템을 이용한 살균 방법은 수박 주스의 품질에 거의 영향을 주지 않았다. 자외선-광촉매 시스템을 이용한 오렌지 주스의 살균 효과를 측정했을 때 주스의 탁도가 높기 때문에 15분 이하에서는 염소살균의 효율이 더 높았으나 살균 시간을 20분 이상으로 했을 때 자외선-광촉매 시스템의 효과가 가장 높게 나타났다. 또한 각 처리별 감균 효과가 kinetics model 설정을 통해 Biphasic

model이 적합함을 알 수 있었다. 과채주스의 높은 탁도로 인한 낮은 투과도로 인해 자외선 살균 효율이 낮으므로 케일 주스에서는 자외선-광촉매 시스템과 초고압을 병합 처리하였으며, 이때, 케일 주스 내 호기성 세균이 4 log CFU/mL 감소하고 기존의 염소 살균법에 비해 모든 균에서 추가적으로 1 log이상의 감균 효과를 보였다. 자외선-광촉매 시스템과 초고압 살균 처리를 한 케일 주스의 경우 색도, 페놀 화합물, pH 변화가 안정적으로 유지되었으며 신선 과채의 세척과정에서 자외선-광촉매 시스템을 적용 후 주스화(化)하고 초고압 처리를 병합한다면 미생물제어와 제품 품질 유지에 효과적인 방법이 될 것이라 예상되었다.

- 식혜의 경우, 연속형 자외선-광촉매 시스템으로 처리 시 미생물의 재생장이 지연되어 효과적으로 미생물을 제어함으로써 냉장 유통을 효율적으로 할 수 있을 것이다. 또한, 자외선-광촉매 처리에 의해 자가 제조 식혜 또한 저장 가능 기간을 연장할 수 있었다. 자외선 조사량이 높을수록 미생물의 살균력이 증가하였으며, 자외선-광촉매 처리된 식혜는 열처리된 식혜보다 색과 pH가 미처리균과 더 비슷하였다. 그러므로 자외선-광촉매 시스템이 식혜의 품질 보존에 효과를 보인 것이다. 관능평가를 통해 선호도를 확인해본 결과, 자외선 조사량이 높을수록 선호도가 떨어졌으며 주원인은 처리 후 변성된 향 때문이었다. 향 분석 결과, 자외선 조사량을 증가 시킬수록 그을린(burnt)냄새가 강하게 나는데 이는 furfural 때문이었다.
- 동치미액의 경우, 연속형 자외선-광촉매 시스템을 이용한 동치미액의 살균력을 측정된 결과 동치미액의 품질 향상에 높은 효과를 보였다. 나선형 자외선 시스템을 적용하여 살균 처리했을 때, 동치미액 부패에 문제가 되는 호기성 세균, 젖산균, 그리고 대장균군에서 모두 높은 살균력을 보였다. 탁도, 갈변도, 색도를 통해 자외선-광촉매 살균이 동치미액의 품질에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었다. 살균 처리 후, 동치미액 내의 Vitamin C 함량이 줄어들었지만 영양학적으로 큰 문제가 되지 않으므로 자외선 및 초고압 살균 시스템이 동치미액의 살균에 적합한 것으로 사료되었다. 자외선 시스템과 초고압 처리를 병합 처리했을 때, 상온에서의 저장기간 동안 품질 유지에 뛰어난 효과를 보임. 그러므로 자외선 및 초고압 시스템을 이용한 살균 처리 방법이 동치미액의 상온보관 유통에 적합할 것이라 예상된다.
- 즉, 액체 시료를 자외선-광촉매 살균 기술에 적용 시킨 결과, 자외선 조사량이 증가할수록, 시료의 유속이 느릴수록 살균력이 증가하는 것이 관찰되었다. 살균 대상의 색이 진할 경우와 탁도가 높을 경우는 시료가 자외선을 흡수하여 자외선의 투과도가 현저히 저하되어 살균 효과가 감소하는 것이 관찰되었다.

## V. 연구성과 및 성과활용 계획

### (1) 액상 식품에서 자외선-광촉매 살균 시스템 적용

- 자외선 살균 시스템은 빛을 이용한 기술로써 반영구적으로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 액상 식품에 적용하였을 때, 시료에 잔류하지 않으며 인체에 해로운 부산물도 생성하지 않는 장점이 있다. 자외선과 함께 광촉매인  $TiO_2$ 를 병합하여 사용할 경우, 반도체의 표면에 자외선에 의한 빛 에너지 조사로 생성된 수산화 라디칼과 초과산화물 라디칼이 생성된다. 이는 유기 물질을 사용하는 화학적 처리 방법 및 가열 및 냉동, 건조 등의 물리적 처

리 방법을 사용하지 않아도 되기 때문에 액상 식품의 품질 변화를 최소화 할 수 있으므로, 열에 의해서 손상이 큰 액상 식품이나 신선편이 식품에 대한 적용이 가능하며, 건강 기능성 식품에도 적용이 가능할 것으로 예상된다.

- 자외선-광촉매 병합 처리를 할 경우, 자외선 단독 처리를 하였을 경우보다 살균력이 강하였다. 이러한 자외선-광촉매 병합 처리는 수질 오염 살균뿐만 아니라 공기 살균에도 적용될 경우 더욱 효과적으로 사용될 수 있다고 판단된다.
- Batch식 자외선-광촉매 시스템의 경우, 과일이나 채소류 세척에 더 적합함을 알 수 있었다. 또한 세척 후 주스화(化)했을 시, 위해미생물인 리스테리아, 대장균 등에서 확실한 살균력을 확인할 수 있었으므로, 신선편이 채소류에 특이적인 식중독균으로부터 소비자의 안전을 확보할 수 있을 것으로 생각된다.
- 특히, 자외선-광촉매 처리와 다른 비가열 살균 기술인 초고압처리를 병합했었던 과채주스(케일)와 동치미액의 경우, 효과적인 미생물 제어와 품질 유지기간이 증가함을 보이므로 앞으로 이러한 병합기술을 이용하여 다양한 시료에 적용하여 그 추이를 지켜보아야 할 것이다.
- 또한 개발된 살균, 소독 기술은 액상 식품뿐만 아니라, 신선편이식품 및 외식, 급식시장의 식품안전을 확보하여 건전한 산업발전과 수출에 기여할 수 있으며 음료수제조업체나 외식, 급식업체에 기술이전이 가능하다고 판단된다.

## SUMMARY

### I. Title

Development and application of low-CO<sub>2</sub> non-thermal technologies using ultraviolet and photocatalytic oxidation reaction for liquid foods

### II. Objective

The food industry continues to be interested in the use of minimal processed technologies as a way of meeting consumer demand to achieve safeness and to maintain the nutrients natural in foods. To satisfy the consumers demand and to cope with the fast developing food industry, research on maintaining the flavor natural in food products have to be widely studied.

Especially, heat processing that is widely used in the liquid food industry has a good microbial inactivation effect, but the disadvantage of this technique is that it changes the flavor, texture and destroys the nutrients in liquid foods. Furthermore, heat process produces lots of carbons, and to overcome this problem non-thermal treatment technology has to be developed.

#### (1) Principle of UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

In this research, to ensure the safety of liquid foods during transport and storage, we used UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis treatment. Thus, we investigated minimally processed foods using non-thermal techniques to improve the shelf-life of liquid foods. Moreover, by utilizing the recent evaluation report, we investigated non-thermal technology occurred low carbon volume during the process.

As an interest in a health of consumer is increased, consumption of fresh goods is being increased while consumption of existing foods through processing heat treatment is decreased. Because heat treatment sterilization is impossible in case of fresh goods, the development of non-thermal washer sterilization processing is necessary as soon as possible. UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis technique is able to minimize quality loss or nutrients loss in liquid foods. UV radiation makes pyrimidine dimer in DNA of microorganism, then, it was inactivated. And TiO<sub>2</sub> technique uses hydroxyl radical ( $\bullet\text{OH}$ ) and super peroxide radical ( $\text{O}_2\bullet^-$ ) made by UV light energy irradiation on surface of semiconductor free of toxicity and it has strong sterilization ability but harmless to humans. It can eliminate organic contamination materials being in gaseous or liquefied state and apply to

spore forming bacteria which is difficult to sterilize in general procedure. Moreover, it is eco-friendly sterilization in the way that it does not use chemical substances and there are no harmful residues. This research project will construct a UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system that liquid foods can be disinfected.

The aim of this study is to improve storage and minimize change of nutrient in liquid food, thus UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system is developed.

### III. Contents and Range of the Research

#### (1) Construction & development of UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system for maximizing the sterilizing effect of liquid foods

- Continuous type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system
- Teflon-coil type UV system
- Batch type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

#### (2) Application of UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system on liquid foods

- *Acer mono* sap.(Gorosoe)
- Fruit & vegetable juice
- *Sikhye*
- *Donchimi*

#### (3) Investigation of microbial reduction using UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

#### (4) Investigation of quality properties using UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

#### (5) Optimization of treatment condition & application on the industry

### IV. Result of the Research

#### (1) Application of UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system on the liquid foods

- UV could be separated by A, B and C, which each has different wavelengths (320, 280, 254 nm). UVC is a very powerful radiation, it inactivates the microorganisms and damages to cell wall of them. Therefore, we chose UVC range and treated with TiO<sub>2</sub>, it occurred the better results about microorganisms reduction and quality properties maintenance.
- In case of *Gorosoe*, when it applied to UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas* spp. did not re-grow until 28~35 days. Batch type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system had the better sterilizing effect than Continuous type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system and Teflon coil type UV system. As increased exposure time of UV, it extended the shelf-life of sample. As time goes by, natural sap makes the cloud, and it was suggested by interaction between Mg and crude protein, it was inhibited upon the upper UV dose.
- In case of fruit & vegetable juice, it has the less sterilizing effect upon the darker in



color of samples or the higher turbidity, because samples absorb UV then, they had low penetration ratio about it. So, squeezed *melon* juice which has high turbidity had less sterilizing effect, however, squeezed *watermelon* juice which has relatively low turbidity had the opposite effect. When applied to UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system on *watermelon* case, shelf-life of it extended about 20~37 days. And this technique did not almost affect to quality of *watermelon* juice. When using UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system on squeezed *orange* juice, because of high turbidity it had, chlorine disinfection, conventional method, was more effective for sterilization until less than 15 min whereas, after 20 min, these system was more effective than chlorine method. And kinetic phenomenon of each disinfection method was fitted by Biphasic model. To overcome disadvantage of fruit & vegetable juice (high turbidity), we combined other non-thermal technique, High hydrostatic pressure, with our system to squeezed *kale* juice, then, it resulted in synergistic effect of sterilization and various parameters of quality compared to UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system. Therefore, our system applies to washing process of fresh fruits & vegetables after then, treats High hydrostatic pressure to samples and squeezing them to make juice, these processes will novel technique for controlling microorganisms and maintaining product quality.

- In case of *Sikhye*, when applied to Continuous type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system, microorganisms re-grew slowly thus it means this technique is more effective for controlling microorganisms then it can be effective at cold storage. And also, shelf-life of home-made *Sikhye* was extended than untreated sample. As increased UV dose, it had the better sterilizing effect of microorganisms, and UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis treated *Sikhye* was similar to untreated sample as compared to heat treatment in color and pH. Therefore, this system is suitable for preserving the quality of sample. And we investigated the sensory test through some panels then, they prefer the sample treated lower UV dose, because of changing flavor(burnt) of it after treatment. So we investigated the flavor analysis using GC-O, and knew the causative material of this phenomenon is furfural.
- In case of *Dongchimi*, when it was applied to Continuous type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system, it had a better sterilizing effect. And also, applied to Teflon-coil type UV system, it had a good sterilizing effect: Total aerobic bacteria, Lactic acid bacteria and coliforms. Through the results of turbidity, browning and color differences, UV-TiO<sub>2</sub> treatment does not change quality properties a lot. After treatment, content of Vitamin C decreased, but it did not damage significantly to samples. And combined treatment of Teflon-coil type UV system and High hydrostatic pressure had a good maintaining quality during storage at room temperature. Therefore, these combined treatment is suitable to storage and distribution of *Donchimi* at room temperature.
- In conclusion, when applied to UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system on the liquid foods, it has the better sterilizing effect upon the upper UV dose or the slower flow rate. In other hands, it has the less sterilizing effect upon the darker in color of samples or the higher turbidity,

because samples absorb UV then, they had low penetration ratio about it.

## V. Future outlook of the Research

### (1) Application of UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system on the liquid foods

- Ultraviolet rays' disinfection using UV light has an advantage that it can be used semi-permanently. Also, when it is applied to liquid foods, there are no residues in liquid foods and it does not create injurious by-products. When Ultraviolet rays are used merging with photocatalysis (Titanium dioxide), hydroxyl radical ( $\bullet\text{OH}$ ) and super peroxide radical ( $\text{O}_2\bullet^-$ ) are made by UV light energy irradiation on surface of photo-catalysis semiconductor. Because this technique is not necessary to chemical treatment which uses organic materials or physical treatment such as heating, freezing and drying, quality change of liquid foods are minimized. Moreover, it will be also applicable to health functional foods, fruits and vegetables which are weak to damage by heat treatment.
- UV treatment merging with photocatalysis had better sterilizing power than UV alone treatment. It was concluded that such UV treatment merging with photocatalysis can be applied to air sterilization as well as sterilization of water contamination.
- Continuous type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system and Teflon-coil type UV system were optimized for sterilization of liquid food. These had much effective bactericidal power when it was applied to clear and transparent liquid samples.
- It is judged that Batch type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system can be used for washing fruits and vegetables before squeezing these to make juice. Also, it can protect consumer safety from specific on fresh vegetables poisoning bacteria because this research verified its definite sterilizing effects on food-borne pathogens such as *Listeria*, *E. coli*, and so on.
- Especially, combined treatment of UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system and other non-thermal technique, High hydrostatic pressure treatment was more effective for controlling microorganisms and extending the shelf-life of samples such as *Kale* juice and *Donchimi* than each single treatment.
- In addition, the developed disinfection system may contribute to liquid foods safety in a healthy industrial development, liquid foods exportation, fresh-cut foods, as well as restaurants industry and foods and beverages distributors.

# CONTENTS

## I . Introduction

## II. Recent Technological Development in the Research

## III. Contents and Results of the Research

### ( I ) Principle and process of UV sterilization system

#### 1. Continuous type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

##### A. Principle of UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

##### B. Analysis of Titanium dioxide(TiO<sub>2</sub>)

##### C. Merits and demerits of UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

##### D. Calculation of UV doses treated TiO<sub>2</sub> photocatalysis

##### E. SEM image: sterilizing effect of UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

#### 2. Teflon-coil type UVC system

##### A. Principle of Teflon-coil type UVC system

##### B. Merits and demerits of Teflon-coil type UVC system

##### C. Calculation of UV doses

#### 3. Batch type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system system

##### A. Principle of Batch type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

##### B. Merits and demerits of Batch type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

##### C. UV doses treated TiO<sub>2</sub> photocatalysis

##### D. SEM image: sterilizing effect of UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

### (II) *Acer mono* sap.(*Gorosee*) treated UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis

#### 1. Investigation of microorganisms & quality for storage in commercial product

#### 2. Comparison of microbial reduction depending on treatment condition

##### A. Sterilizing effect: Continuous type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis versus Teflon-coil type

UVC system

B. Optimization of each system(Continuous type, Batch type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis & Teflon-coil type UVC system)

C. Sterilizing effect: Heat sterilization

3. Comparison of quality properties depending on treatment condition

4. Conclusion

(III) Fruit & vegetable juice treated UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis

1. Investigation of microorganisms in fruit & vegetable juice

2. Comparison of microbial reduction & quality properties depending on treatment condition

A. Sterilizing effect & Maintaining quality in squeezed *melon* juice using Continuous type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

B. Sterilizing effect & setting-up a kinetic model in squeezed *orange* juice using Batch type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

C. Sterilizing effect & Maintaining quality in squeezed *watermelon* juice using Teflon-coil type UV system

3. Comparison of microbial reduction & quality properties using UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis & High hydrostatic pressure treatment

A. Sterilizing effect in squeezed *kale* juice using Batch type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

B. Sterilizing effect in squeezed *kale* juice using Batch type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system & High hydrostatic pressure treatment

C. Maintaining quality in squeezed *kale* juice using Batch type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system

4. Conclusion

(IV) *Sikhye* treated UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis

1. Investigation of microorganisms in commercial product

2. Comparison of microbial reduction depending on treatment condition

3. Comparison of quality properties depending on treatment condition

4. Conclusion

(V) *Dongchimi* treated UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis

1. Investigation of microorganisms in *Dongchimi*

- A. Investigation of Lactic acid bacteria and Yeast & molds in *Dongchimi*
  - B. Investigation of Total aerobic bacteria, Coliform and *Staphylococcus aureus* in *Donchimi*
  2. Comparison of microbial reduction depending on treatment condition
    - A. Sterilizing effect using Continuous type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system
    - B. Sterilizing effect using Teflon-coil type UV system
  3. Comparison of quality properties depending on treatment condition
    - A. Maintaining quality using Continuous type UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis system
    - B. Maintaining quality using Teflon-coil type UV system & High hydrostatic pressure treatment
  4. Sensory test of *Donchimi* treated Teflon-coil type UV system & High hydrostatic pressure treatment
  5. Conclusion
- IV. Achievement of Objectives and Contribution Level
- V. Future Implication of the Results
- VI. Global Science Technology and information about the Research
- VII. Status of the Research Facilities and Equipment
- VIII. Reference

# 목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 자외선 살균 시스템 구축 원리 및 과정

1. 연속형 자외선-광촉매 시스템

가. 자외선-광촉매 시스템의 작용 원리

나. 이산화티탄(TiO<sub>2</sub>)의 분석학적 관찰

다. 자외선-광촉매 시스템의 장·단점

라. 광촉매 처리 시 자외선 조사량 계산

마. 주사전자현미경(SEM)을 통한 자외선-광촉매 시스템의 살균 효과

2. 나선형 자외선 살균 시스템

가. 나선형 자외선 살균 시스템의 원리

나. 나선형 자외선 살균 시스템의 장·단점

다. 자외선 처리 시 조사량 계산

3. Batch형 자외선-광촉매 시스템

가. Batch형 자외선-광촉매 살균 시스템의 원리

나. Batch형 자외선-광촉매 살균 시스템의 장·단점

다. 광촉매 처리 시 조사량

라. 주사전자현미경(SEM)을 통한 자외선-광촉매 시스템의 살균 효과

제 2 절 고로쇠 수액의 자외선-광촉매 살균 시스템

1. 시중 유통되는 고로쇠 수액의 미생물 오염도와 저장성 조사

2. 고로쇠 수액의 자외선-광촉매 처리 조건에 따른 살균 효과 비교

가. 연속형 자외선-광촉매, 나선형 자외선 시스템 처리 시 살균 효과 비교

나. 각 시스템별 최적화(연속형, 나선형, Batch형 시스템)

다. 가열 살균 후 미생물 변화

3. 고로쇠 수액의 자외선-광촉매 살균 방법에 따른 품질 특성 비교

4. 결론

### 제 3 절 과채주스의 자외선-광촉매 살균 시스템

1. 과채주스의 미생물 오염도 조사

2. 과채주스의 자외선 살균 방법에 따른 살균 효과 및 품질 특성 비교

가. 착즙한 참외 주스의 연속형 자외선-광촉매 시스템에 따른 살균 효과 및 품질 변화 비교

나. 착즙한 오렌지 주스의 Batch형 자외선-광촉매 시스템에 따른 살균 효과 비교 및 kinetic model 설정

다. 착즙한 수박 주스의 나선형 자외선 시스템에 따른 살균 효과 및 품질 변화 비교

3. 과채주스의 자외선-광촉매 시스템과 초고압 처리에 따른 살균 효율 및 품질 특성 비교

가. 착즙한 케일 주스의 Batch형 자외선-광촉매 시스템에 따른 살균 효과 비교

나. 착즙한 케일 주스의 Batch형 자외선-광촉매 시스템과 초고압 처리에 따른 살균 효과 비교

다. 착즙한 케일 주스의 Batch형 자외선-광촉매 시스템과 초고압 처리에 따른 품질 변화 비교

4. 결론

### 제 4 절 식혜의 자외선-광촉매 살균 시스템

1. 시중 유통되는 식혜의 미생물 오염도 조사

2. 식혜의 자외선-광촉매 처리 조건에 따른 살균 효과 비교

3. 식혜의 자외선-광촉매 살균 방법에 따른 품질 특성 비교

4. 결론

### 제 5 절 동치미액의 자외선-광촉매 살균 시스템

1. 동치미액에 존재하는 유해 미생물 확인

가. 발효 관련 미생물의 유무와 균수 측정

나. 동치미액의 미생물 오염도 확인

2. 동치미액의 자외선 처리 조건에 따른 살균 효과 비교

가. 연속형 자외선-광촉매 시스템을 이용한 살균 효과 비교

나. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 이용한 살균 효과 비교

3. 동치미액의 자외선 처리 조건에 따른 품질 특성 비교

가. 연속형 자외선-광촉매 시스템을 이용한 품질 변화 비교

나. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 이용한 품질 변화 비교

4. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 적용한 동치미액의 관능평가

## 5. 결론

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 7 장 연구시설·장비 현황

제 8 장 참고문헌



## 제 1 장 연구개발과제의 개요

최근 소비자들은 식품의 위생 및 품질에 민감하여, 천연상태의 품질, 즉 식품 본래의 품질을 그대로 유지하는 동시에 위생안전과 보존성을 향상 시킬 수 있는 기술을 필요로 한다. 이에 따라 식품가공 및 보존성을 위한 포장기술에 대한 새로운 식품보존기술이 많이 연구되고 있고, 국내 뿐 만 아니라 선진국에서도 살균 기술을 상업적으로 이용하기 위한 연구가 이루어지고 있다.

대부분의 가공식품은 가열살균(UHT, HTST, LTLT 등) 처리에 의해 저장성이 가능하도록 만들어지는데, 일반적으로 가열 처리는 미생물의 생육을 억제할 뿐만 아니라 식품 자체의 품질(영양소 파괴, 향미성분 및 조직감 손실 등)에도 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 반면 비가열 살균은 가열 할 수 없는 액체식품이나 가열 살균의 대체방법으로 각종 유·무기물이나 고유의 성분, 향 및 맛이 함유된 식품(간장, 난황 등), 음료(녹즙, 주스, 추출음료 등) 등에 오염된 미생물을 살균하기 위한 방법으로 열로 인한 품질 변화와 영양소 파괴를 최소화하며, 부패 미생물을 억제할 수 있다는 장점이 있다. 뿐만 아니라 열처리 공정을 대체함으로써 탄소발생량을 줄일 수 있고, 유기농 및 최소가공식품 시장의 급격한 성장에 따라 영양성분 보존과 동시에 저장성 향상을 가능하게 한다. 이와 관련하여 기존 가열 살균공정을 전체 또는 부분적으로 대체할 수 있도록 식품의 살균을 목적으로 연구되고 있는 비가열 처리법에는 약제 살균, 방사선조사, 자외선살균, 여과제균 등이 있다.

비가열 살균법은 기존의 열 살균방식에 의해 발생하는 액상 식품의 문제점인 물성변화를 최소화 한다는 장점이 있고, 현재 상용화된 비가열 음료의 미생물제어 및 살균방법이 없는 상황에서 본 기술의 식품살균적용은 식품가공업에 매우 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.

식품의 영양소나 품질 손실을 최소화 하는 UV-광촉매 살균 기술은 이산화티타늄( $TiO_2$ )과 같이 독성이 없는 반도체의 표면에 자외선에 의한 빛 에너지의 조사로 생성된 수산화라디칼( $\cdot OH$ )과 초과산화물 라디칼( $O_2^{\cdot -}$ )을 이용하는 기술이며, 강력한 살균력을 지니고 있음에도 불구하고 인체에는 무해하다.(Unluturk, Sevcan, et al. 2008, Skocaj, Matej, et al. 2011) 이는 기상 또는 액상에 존재하는 유기오염물질 제거가 가능하고 일반 방법으로는 살균이 어려운 포자균에 적용이 가능하다. 뿐만 아니라 잔류 물질이 없고 화학물질을 첨가하지 않는 살균법이기에 때문에 친환경적이다. 따라서 열에 의해 손상이 큰 식품 및 건강기능성 식품에 대한 폭넓은 적용이 가능하다.

특히, 액상 식품의 생산 및 유통 중 미생물 안전성 확보는 그 제품의 부가가치를 향상시키는 가장 중요한 요소이다. 식품의 부가가치 향상의 극대화, 탄소 배출의 최소화와 식품 영양성분의 기능성 유지를 동시에 달성할 수 있는 이 기술을 이용하여 농가 및 제품 생산자의 이익을 증대시키고, 소비자에게는 안전하고 고품질의 액상 식품을 제공하기 위해 비열처리 가공 기술의 경제성과 효율성을 동시에 고려하여 연구 되어야 한다.

본 연구에서는 액상 식품의 원료로도 이용되는 고부가가치 천연 수액인 고로쇠 수액, 액상 식품으로 대표되는 신선 과채주스와 전통 발효 액상 식품인 식혜 및 동치미액을 대상으로 자외선-광촉매 살균 시스템을 적용하고 살균효율의 극대화를 위한 비열 살균기술을 설계·개발하고자 한다.

# 제 1 절 광촉매 시스템의 적용

## 1. 고로쇠 수액 비열 살균공정 개발

(1) 최근 고로쇠 수액은 생리활성 미네랄이 풍부하여 식수로써의 음용에 대한 관심이 증대하고 있으나 생산 적기가 제한적이고 생산 후 저장이 용이하지 않아 보편적 음용에 문제가 있음.

(2) 채취 방법, 채취량, 성분에 대한 연구가 대부분으로 살균 및 저장성 향상 관련 연구는 이루어지지 않고 있어 고로쇠 수액의 낮은 저장성으로 인해 유통이 원활하게 이루어지지 않고 있음.

(3) 고로쇠 수액에 존재하는 영양성분은 열에 민감하여 열처리를 통한 미생물 제어방법은 선택되지 않음에 따라 상품으로의 개발이 어려움.

(4) 농가의 소득창출과 증대를 위해 고로쇠 수액의 효과적인 비열 살균공정 개발이 요구됨.

(5) 자외선-광촉매 살균 기술은 투명한 이학특성을 나타내는 액상 시료의 미생물 제어에 탁월한 효과를 나타내는 것으로 본 연구팀은 확인하였으며, 자외선-광촉매 살균 기술은 투명성을 나타내는 고로쇠 수액의 미생물 제어에 효과적으로 적용될 것으로 기대됨.

## 2. 신선 과채주스 비열 살균공정 개발

(1) 과채주스에 존재하는 비타민, 안토시아닌 등은 생리활성 기능이 뛰어나고, 이에 따라 소비자들의 구매요구가 증가되고 있으나 이와 같은 생리활성물질은 열에 민감하게 반응함.

(2) 과채주스의 영양적 가치를 보존함과 동시에 식중독 및 유해 미생물을 최소화 할 수 있는 비열처리 가공기술의 개발은 고부가가치의 신선 과채주스 생산의 선결 과제임.

(3) 근래 연구에서 자외선-광촉매 살균 기술은 시료의 온도변화 없이 우수한 살균 효과를 나타내는 것으로 확인됨에 따라 과채주스의 영양적 가치의 보존과 식중독 및 유해 미생물의 최소화 효과적으로 적용될 수 있을 것임.

(4) 자외선-광촉매 살균 기술은 설치비용이 저렴하며, 과채주스 살균에 연속적으로 적용할 수 있어 고부가가치의 신선 과채주스의 대량생산에 적합할 것임.

## 3. 식혜의 비열 살균공정 개발

(1) 최근 웰빙 소비 성향은 전통음료에 대한 관심을 불러일으키고 있으며, 식혜는 대표적인 웰빙 음료로 인식되고 있음.

(2) 식혜의 제조는 밥의 당화에 의해 생산됨에 따라 식혜의 풍부한 영양성분은 유해 미생물

의 성장 및 증식이 용이하여 세심한 살균처리가 요구됨.

(3) 식혜 내 미생물은 열처리에 의해 제어 될 수 있으나 열처리는 식혜 내 고형물의 물성 및 풍미 변화는 물론 고형물의 침전을 야기하여 생산자의 품질관리에 부담을 가중시킴.

(4) 식혜의 비열 살균공정의 개발은 풍미, 맛, 물성적 변화 없이 미생물 제어를 가능케 할 수 있고, 식혜 제품의 생산 효율을 극대화 할 수 있음.

(5) 밥알을 제외한 식혜액은 투명한 이화학적 특성을 나타냄에 따라 자외선-광촉매 처리를 통해 식혜살균에 적합한 비열살균공정으로 판단됨.

(6) 자외선-광촉매 살균기술은 뛰어난 살균 효율을 나타냄은 물론 좋은 경제성을 나타낼 것으로 판단되어 전통 방법으로 식혜를 생산하는 영세 생산자에 보급이 가능할 것임.

#### 4. 동치미액의 비열 살균공정 개발

(1) 동치미는 대표적인 액상 발효 식품으로 유산균의 접종과 발효를 통해 그 고유의 맛과 풍미가 생성되나, 동치미 생산 후 유통과정에서 유산균의 후발효 또는 미생물의 이상 발효에 의해 맛과 풍미가 변할 수 있고, 유통 중 품질 제어는 상당히 어려움.

(2) 동치미 생산 후 포장 직전 미생물 제어를 통해 후발효 또는 이상발효를 조절할 수 있을 것으로 판단되나, 전통적으로 사용된 열처리 방법은 동치미의 맛과 물성을 변화시켜 적용이 불가능하며, 고전압펄스전기장(PEF)을 이용한 비열처리 방법은 이산화염 또는 차아염소와 같은 화학적 위해물질을 발생시키며, 염분이 있는 동치미액의 특성 상 미생물 제어가 어려움.

(3) 동치미액의 살균 공정에 적용될 수 있는 비열처리 기술의 개발은 동치미 제품의 유통기간 증대, 향미 개선, 전반적인 품질 향상을 기대할 수 있음.

(4) 자외선-광촉매 살균 기술은 화학적 위해물질 생산이 없으며 공정 중, 온도 변화 없이 효과적으로 미생물을 제어할 수 있다고 판단되어 동치미액의 살균 공정에 적합한 기술로 판단됨.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

소비자의 고품질 요구와 식품의 국제화에 따라 엄격해지는 식품 제조 규정들은 식품 산업으로 하여금 안정성 확보는 물론, 고품질의 식품 생산을 위한 새로운 가공법 개발을 요구하여, 친환경적 제조방법 개발, 제조의 합리화 및 효율화, 노동 절약형 기술의 개발, 에너지 절약형 기술의 개발, 새로운 소재 창출을 위한 기술 개발 등이 활발히 연구되고 있다.

특히 식품가공 공정 중 영양성분의 파괴, 향미의 손실, 색깔 및 조직감 등의 변화를 최소화할 수 있는 전기적 비가열 가공 기술, 방사선 이용기술, 무균포장 기술, 초임계 추출 및 친환경 식품 가공 기술 등이 미래의 식품가공기술로써 부각되고 있다. 원료와 생산품을 신선한 상태의 고품질을 유지하면서 식중독과 부패를 방지하는 기술로 현재 가장 활발히 연구되고 있는 것은 최소가공기술(Minimal Process Technology)이다. 최소가공기술이란, 식품 본래의 신선한 품질을 그대로 유지하면서 저장기간을 연장시키는 최소처리 가공 기술을 말한다. 이 저장기간을 단축시키는 대표적인 원인은 효소에 의한 품질 저하와 미생물에 의한 부패이다. 그러므로 식품의 보존성을 향상시키기 위하여 전통적으로 가열, 건조, 냉동 등의 물리적 방법이나 식품 첨가물, 보존제 처리와 같은 화학적 방법을 사용하여 왔다. 그러나 가열 공정은 열에 의한 영양 성분의 파괴, 질감과 색의 변화, 향기 성분의 손실 등 품질 저하를 피할 수 없다. 냉동이나 건조의 방법은 장기간 저장할 경우 품질과 소비자 기호도를 감소시키며, 식품 보존제의 사용도 점점 기피하고 있다. 이에 따라 여러 가지 비가열 가공 기술(non-thermal process)이 활발히 연구되고 있다.

표 1. 비가열 식품가공 기술 적용 사례

구분	조작매체	적용기술	연구 및 응용 사례
물리적 방법	초고압 정수압	저온정수압성형법 (CIP)	살균, 효소실활, 효소반응 제어, 단백질·전분 등의 변성, 음료 잼 등 고품질화
	전기 에너지	고전압펄스전계 처리	전기 천공에 의한 세포파괴, 맥주효모 처리, skim milk, 스프, 액체식품(주스, 우유, 계란, 맥주)에 응용, 쌀 살균, 고구마색소추출, 당근주스·탁주·전통음료 살균
		고주파 처리	Joule열 및 전해 효과의 병용, 밀감 과즙의 메틸알코올 증가억제, 효소실활, 호산성 내열성 살균, 음료살균
		전극접촉처리	전자이동 반응에 의한 세포 사멸, 물 살균 등에 실용화
		전기 침투	탈수, 고/액 분리, 식품분야에 검토, 오니처리에 실용화
		고전압 아크방전	액체식품의 미생물 살균, 공기 중 병원성 세균의 살균, 육류 생선의 표면살균, 폐수처리

		전해수 처리 (산성전해수, 전해차아수, 알칼리성전해수)	산성수에 의한 살균, 의료·식품공업·농업에서 이용, 전해수와 초음파 이용 채소의 세정·살균 산성전해수: 식품첨가물로 지정(일본 2002년)
		전자빔 조사	이온화 조사살균, 수산물, 육제품, 포장재, 육가공, 육제품의 살균
		저온 플라즈마	식품 표면 살균(사과 망고, 메론, 견과류, 치즈, 햄, 달걀 등), 공기정화
	자장	자장처리	고 자장에서 증식억제, 펄스처리로서 효과향상
	전자선	소프트일렉트론 처리	저에너지 전자선(30만V 이하), 표면살균 품질열화 방지, 차폐장치 간단, 진동장치 필요, 대량처리 가능
	초음파	초음파처리	식품의 비파괴분석, 액상 식품의 살균(병용 효과)
	빛	고강도의 광 펄스	표면살균처리, 자외선+ $\alpha$ 효과, 태양광 20,000배 광 펄스발생, 수산물·농산물의 선도 유지
		광촉매 산화반응	이산화티타늄 식품첨가물 인가 사용, 신선식품의 살균, 독소분해, 정균작용
	방사선	방사선 조사	살균 살충 발아억제 등 56개국 253개 품목허용(한국 26개 품목)
	자연 에너지	태양광, 물, 바람	건조, 자외선 살균 조력 파력 수력 풍력: 대체에너지 산업화
화학적 방법	가스	가압으로 가스 용해 제압으로 가스화	불활성가스(Xenon)의 용해에 의한 선도 유지, 가스용해 및 제압에 의한 세포 파괴, 저극 해충방제
		CO <sub>2</sub>	초임계 추출, dry ice
		오존가스	살균, 세정
	양이온	양이온다중고분자	
미생물학적 방법	박테리옌	risin	젖산균 이용 식품첨가물
	효소	세포벽분해효소	

한국과학기술정보연구원, <녹색 식품가공 기술의 확산 방안>, 2011

## 제 1 절 UV-광촉매 산화 반응

광촉매(photocatalyst)는 빛(photo=light) + 촉매(catalyst)의 합성어로 빛에너지를 이용하여 전기 및 화학에너지로 전환하는 것을 중심으로 연구해 왔다. 1970년대 초반부터 Fujishima와 Honda가  $\text{TiO}_2$  단결정 전극에 빛을 조사하면 광산화반응과 광환원반응에 의하여 물이 수소와 산소로 분리됨을 발표한 이후 물과 공기 등의 정화, 자정, 초친수성 등의 광촉매를 이용한 잠재적인 기술로 발전되어 연구가 진행되었으며 1985년에는  $\text{TiO}_2$  광촉매 반응이 미생물에 미치는 영향에 대하여 Matsunaga에 의해 기록되어있다.  $\text{TiO}_2$  입자에 자외선을 조사하면 라디칼이 생성되어 박테리아의 사멸에 촉매작용을 하고 이에 대한 연구는 박테리아, 곰팡이, 조류, 암세포를 포함하는 미생물의 넓은 범위에서 점진적으로 진행되었으며 최근에는  $\text{TiO}_2$ 를 적용한 사례에 대한 평론이 발행되고 있다. 광촉매 공정은  $\text{TiO}_2$ 과 같은 독성이 없는 반도체를 이용한 촉매 작용이고, 빛에너지의 이용만으로도 다양한 화학물질을 안전하고 용이하게 분해할 수 있다는 장점을 가지고 있어 유기물질의 분해, 환경적 측면 및 실생활의 적용에 널리 이용되고 있다.

광촉매와 함께 대표적인 비열 살균처리 기술로써 항미생물제, 특히 새로운 천연항균제는 그 기능이 다양하여 천연항균제의 병합 처리로 효과를 증진시키는 연구나 각종 2만 여종이 넘는 식용 가능한 식물로부터 새로운 휘발성 항균물질을 찾고 유효 성분의 확인과 분리 기술을 개발하여 식품 가공 분야에 응용 용도를 넓히는 연구가 진행되고 있다. 실제로 화학적 방법인 이산화염소( $\text{ClO}_2$ ) 처리는 살균 소독제로 이용되며 유럽이나 미국에서 식품의 품질저하를 막기 위해 널리 이용되고 있으며, 미국 FDA에서도 과일, 야채, 식육 등 식품 표면에 직접 사용을 승인하였다. 또한 살균제·소독제에 관한 국내 특허 동향을 분석한 결과, 1970년대 9건, 1980년대 136건, 1990년대 204건, 2000년대 412건으로 총 761건의 특허 출원을 확인할 수 있었다. 1980년대부터 계속적으로 증가하는 경향을 보이고 있다.

최근 미생물 위해인자들의 증식억제 및 제거 방법 중 비가열 살균법이 주로 각광받고 있는데 보다 효과적인 미생물 억제를 위하여 물리적, 화학적 제어법의 단독처리 뿐 아니라 두 가지 이상의 복합 병용처리 제어법의 개발, 즉 Hurdle technology이 산업적으로 개발, 활용되고 있다.

Hurdle technology는 미생물이나 효소의 활성을 억제할 목적으로 식품에 여러 가지 화학적 인 방법이나 물리적인 방법을 사용하는 경우, 화학반응 및 열과 압력 같은 요인에 의해 식품 내의 구성 성분(생리활성물질, 영양성분) 등이 파괴되는 것을 최소화하기 위하여 여러 처리를 복합적으로 활용하여 성분의 변화를 최소화하면서 미생물이나 효소의 불활성 정도를 극대화하는 방법이다. 물리적 제어법 중 초고압처리(High Hydrostatic Pressure)는 식품의 영양성분이 나 다른 요소들에 영향을 가하지 않아 증가되는 소비자 요구에 가장 부합하는 기술로 각광받고 있는 기술 중 하나이다. 그리하여 본 연구에서는 이 기술을 과채주스(케일)와 동치미액에 자외선살균과 병합 처리하여 살균효과와 품질 유지 기간을 증가시키고자 하였다.

## 제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

### 제 1 절 자외선 살균 시스템 구축 원리 및 과정

#### 1. 연속형 자외선-광촉매 시스템

##### 가. 자외선-광촉매 시스템의 작용 원리

(1) 최근 물이나 폐수에 함유되어 있는 유독한 유기화학물질 처리에 고급산화법(Advanced Oxidation Process)을 이용하려는 연구가 활발하게 진행 중이며, 이는 강력한 산화력을 갖고 있는 hydroxyl radical ( $\cdot\text{OH}$ )을 이용하여 처리대상 물질을  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ 의 형태로 무기화(mineralization) 시키는 것으로 UV/ $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ , UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , UV/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$  및 광촉매 공정 등으로 나누어짐.

(2)  $\text{TiO}_2$  광촉매의 살균효과에 대한 초기 연구로는 *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli*, *Lactobacillus acidophilus*, *Chlorella vulgaris* 등에 대한 광화학 반응을 일으키는 반도체 입자가 살균효과를 가지고 있음이 보고되었음.

(3) 또한 아세틸 셀룰로오스막에  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ 를 침착시켜 살균 실험하여 실용화 가능성을 제시하였으며, 광섬유(optical fiber)를  $\text{TiO}_2$ 에 조사하여 광반응을 일으켜 대장균을 제거하는 실험에서도 좋은 효율을 나타내는 것으로 보고되었음.

(4) 이산화티타늄 표면에 자외선에 의한 빛 에너지의 조사가 이루어지면  $\text{TiO}_2$  가전자대(valence band)에 있는 전자( $e^-$ )가 전도대(conduction band)로 전이되고 가전자대에는 전자가 비어 있는 정공( $h^+$ )이 남게 됨. 이렇게 생성된 전자( $e^-$ )와 정공( $h^+$ )은 이산화티타늄 표면에 확산되어 연속적인 반응을 일으키게 됨. 몇 단계의 과정을 거쳐 만들어지는 수산화 라디칼( $\cdot\text{OH}$ )과 초과산화물 라디칼( $\text{O}_2\cdot^-$ ) 등은 강력한 살균력을 지니고 있고 반응성이 매우 높아 유기물을 산화시키고 미생물을 멸균시키는 작용을 함 (그림 1).

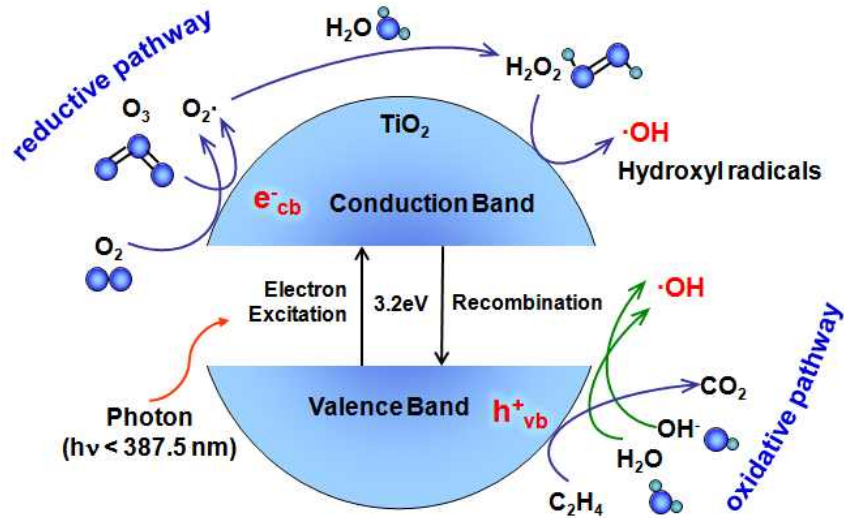


그림 1. 광촉매 산화반응의 기작 (Kim et al., 2009)

#### 나. 이산화티탄(TiO<sub>2</sub>)의 분석학적 관찰

- (1) 자외선-광촉매 반응의 효율성에 영향을 미치는 이산화티탄 분포형태 및 구성 성분을 확인하기 위해 자외선램프를 덮는 석영관 표면에 코팅된 이산화티탄에 분석을 실시함.
- (2) 코팅된 이산화티탄의 성분 확인을 위해 코팅된 석영관 표본을 채취하여 X선 회절 패턴 분석(X-ray diffraction analysis)을 실시함.
- (3) 또한 이산화티탄의 분포형태를 확인하기 위해 코팅된 석영관을 전자주사 현미경(SEM microscope)을 이용하여 분포형태를 관찰함.



XRD patterns of the TiO<sub>2</sub> samples

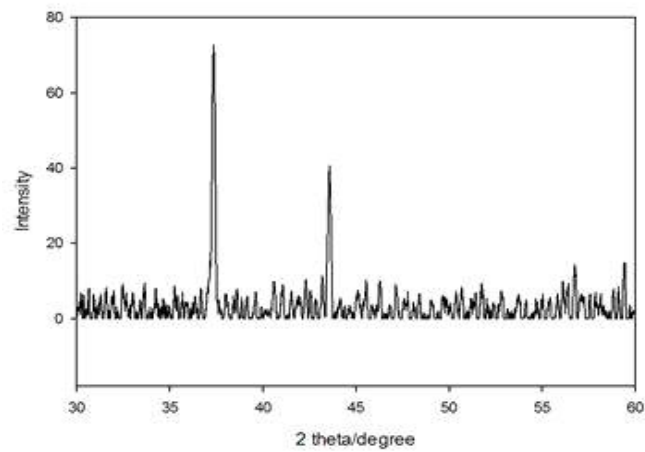


그림 2. 이산화티탄이 코팅된 석영관에 대한 XRD (X선 회절패턴 분석)

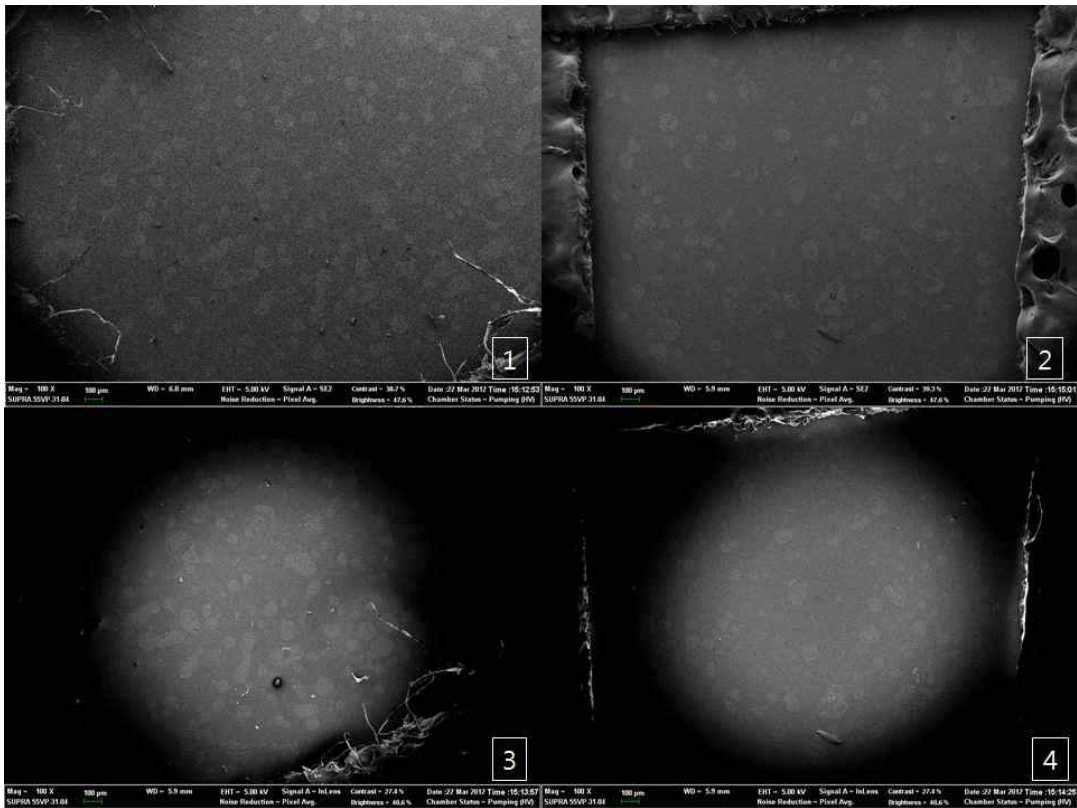


그림 3. 전자주사현미경을 통해 관찰된 TiO<sub>2</sub> 코팅된 석영관 100X, lens: SE2(1,2번 그림) 100X, lens: InLens(3,4번 그림)

(4) XRD회절 분석 결과 (그림 2.)에서 코팅된 이산화티탄의 성분은 크게 두 가지 피크를 보였고 그 농도가 75:40의 비율을 보였는데 이는 광촉매 반응에 쓰이는 데구사 이산화티탄 (TiO<sub>2</sub> Degussa)에 아나타제(anatase)와 루타일(rutile)의 구성비율이 75:40의 비율을 보이는 것과 상통하는 결과임.

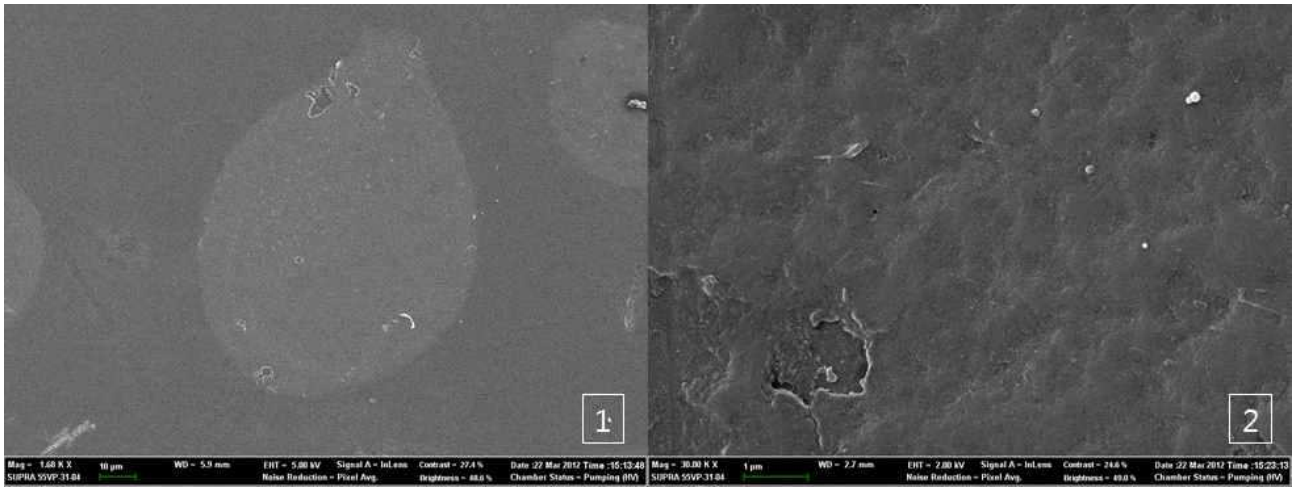


그림 4. 전자주사현미경을 통해 관찰된 TiO<sub>2</sub> 코팅된 석영관 1680X, lens: InLens (1번 그림) 30000X, lens: InLens(3,4번 그림)

(5) SEM을 통해 이산화티탄의 분포정도를 확인한 결과, 비교적 균일하게 분포가 되어있음을 확인하였음.

#### 다. 자외선-광촉매 시스템의 장·단점

(1) 경제적이고 환경 친화적인 광촉매 반응을 이용한 연구가 집중적으로 이루어지고 있는데, 광촉매로 쓰이는 TiO<sub>2</sub>, ZnO, WO<sub>3</sub>, CdS, ZnS, GaP, CdSe 등의 금속산화물 중 TiO<sub>2</sub>는 광에 의한 자체 분해반응이 일어나지 않고, 매우 풍부한 자원이기 때문에 가격도 저렴하고, 광촉매로서 내구성, 내마모성이 우수하며, 그 자체는 무독물질이어서 폐기하여도 2차 공해에 대한 염려가 없어 환경정화용 광촉매로 매우 적합함.

(2) 특히, 광촉매의 조건과 활성을 고려해 볼 때, 빛을 받아도 자신은 변화하지 않아 반영구적으로 사용할 수 있고, 염소나 오존보다 산화력이 높기 때문에 살균력이 뛰어나고, trihalomethane 등의 염소 소독의 부산물들을 효과적으로 처리할 수 있어 TiO<sub>2</sub>는 대표적인 광촉매 물질로 널리 사용되고 있음.

(3) 단점으로는 액상 시료의 탁도나 높거나 색이 진할 경우 자외선 투과도가 낮아 살균 효과가 저하되어 액상 시료의 제한성이 있음.

(4) 또한, 자외선램프가 이산화티타늄으로 코팅된 석영관으로 둘러싸여 있는데, 쉽게 파손될 우려가 있음.

#### 라. 광촉매 처리 시 자외선 조사량 계산

(1) 8개의 관으로 구성된 연속식 광촉매 살균장치에서 시료의 통과 유속별 자외선 조사량 (UV dose)을 아래의 식을 이용하여 계산함.

$$\frac{It}{A} \text{ where, } A = 212.43 \text{ cm}^2 - eq.1 \text{ (Tran \& Farid, 2004)}$$

(2) 8개의 관으로 구성된 연속식 광촉매 살균장치에서 시료의 통과 면적을 반응 관수로 나누어 노출 면적당 자외선 조사량을 아래의 식을 이용하여 계산함.

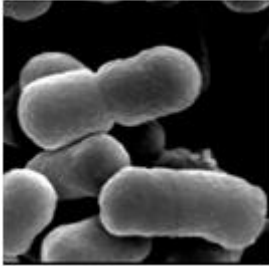
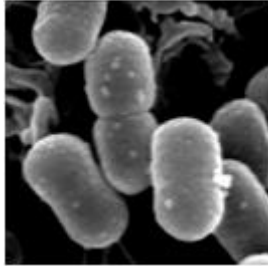
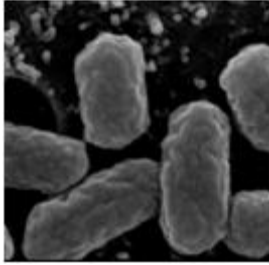
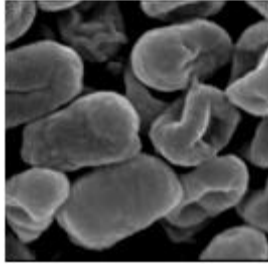
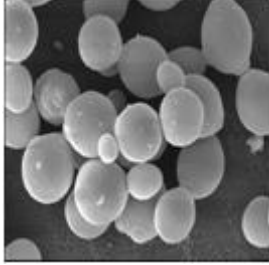
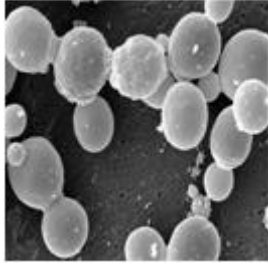
$$U_{total} = U \cdot A \text{ where, } U = \frac{It}{A} - eq.2$$

(A: 석영관의 면적, I: 자외선 출력 (W), t: 자외선 노출 시간)

**마. 주사전자현미경(SEM)을 통한 자외선-광촉매 시스템의 살균 효과**

(1) 자외선-광촉매가 세균에게 미치는 영향을 관찰하기 위하여, 투명한 사과 주스에 *E. coli* O157:H7, 살모넬라 티피뮤리움 (*Salmonella* Typhimurium), 효모균 (*Saccharomyces cerevisiae*)을 접종한 뒤 주사전자현미경(SEM)으로 형태 변화를 관찰함.

**표 2.** 주사전자현미경을 통한 자외선-광촉매 시스템의 살균 효과

균명	무처리군	자외선-광촉매 처리군
<i>E. coli</i> O157:H7 (50,000배 확대)		
<i>Salmonella</i> Typhimurium (50,000배 확대)		
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (5,000배 확대)		

(2) *E. coli* O157:H7의 SEM 사진을 보면, 균의 표면이 거칠어지고 세포 내부의 부산물이 유출됨을 관찰할 수 있음.

(3) *Salmonella* Typhimurium의 SEM 사진을 보면, 확연하게 세균이 함몰된 것을 관찰할 수 있었고, 표면이 거칠어진 것을 관찰할 수 있음.

- (4) *Saccharomyces cerevisiae*의 SEM 사진을 보면, 효모균 내부 부산물이 밖으로 유출된 것을 관찰할 수 있었고 형태가 거칠어진 것을 관찰할 수 있었음.
- (5) SEM 촬영 결과, 자외선-광촉매 시스템의 살균이 각 균에게 큰 손상을 입히는 것을 알 수 있었음.

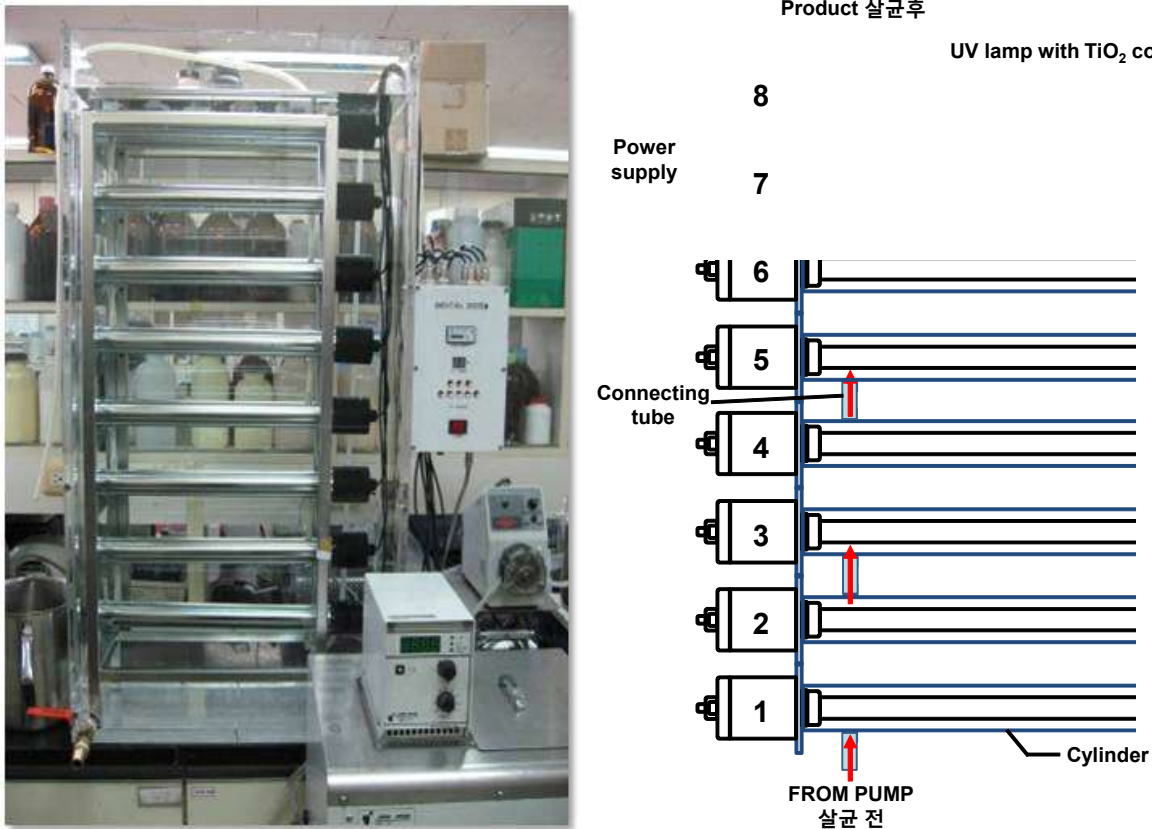


그림 5. 연속형 자외선-광촉매 살균 장치 (좌 : 사진, 우 : 모식도)

## 2. 나선형 자외선 살균 시스템

### 가. 나선형 자외선 살균 시스템의 원리

(1) Teflon이 가지는 비접착성, 자외선에 대한 내성, 내열성은 Teflon 튜브를 통과하는 동안 튜브 내부표면에 액상 시료가 잔류되지 않기 때문에 별도의 세척 공정 없이 연속적인 자외선의 살균이 가능하게 함.

(2) 자외선은 미생물의 DNA에 thymine dimer를 형성하여 단백질 합성을 방해함으로써 미생물을 불활성시킴.

(3) 나선형 튜브가 자외선램프 주위를 둘러싸고 있어 액상 식품이 전체적으로 자외선의 노출을 받을 수 있어 효율적으로 살균이 가능함.

(4) 본 시스템에서는 Teflon 튜브의 주변을 냉각수가 순환하게 하여 자외선램프의 발열로 인한 시료의 변질과 미생물의 증식을 최소화하였음.

나. 나선형 자외선 살균 시스템의 장·단점

- (1) 나선형 튜브형태로 제작이 불가능하며 파손되기 쉬운 석영관과는 달리 파손의 위험이 적음.
- (2) 시스템 내에 시료가 잔류하지 않아 세척 과정을 최소화 할 수 있음.
- (3) 튜브의 굵기가 얇아 시료에 자외선이 고루 투과하기 때문에 균일한 시료의 상태를 유지할 수 있음.
- (4) 석영관에 비해 자외선 투과율이 낮고 장치 내 자외선 노출 시간이 적어 살균 효과가 적을 수 있음.

다. 자외선 처리 시 조사량 계산

$$V \text{ intensity } (J/mL) = \frac{\text{Total UVC power } (W)}{\text{Flow rate } (mL/s)} \quad (\text{Geveke, 2005; Keyser et al., 2008})$$

- (1) 본 시스템에서 UVC power는 75W로 고정되어 있었고, Flow rate는 정량송액펌프를 이용하여 조절하였음.

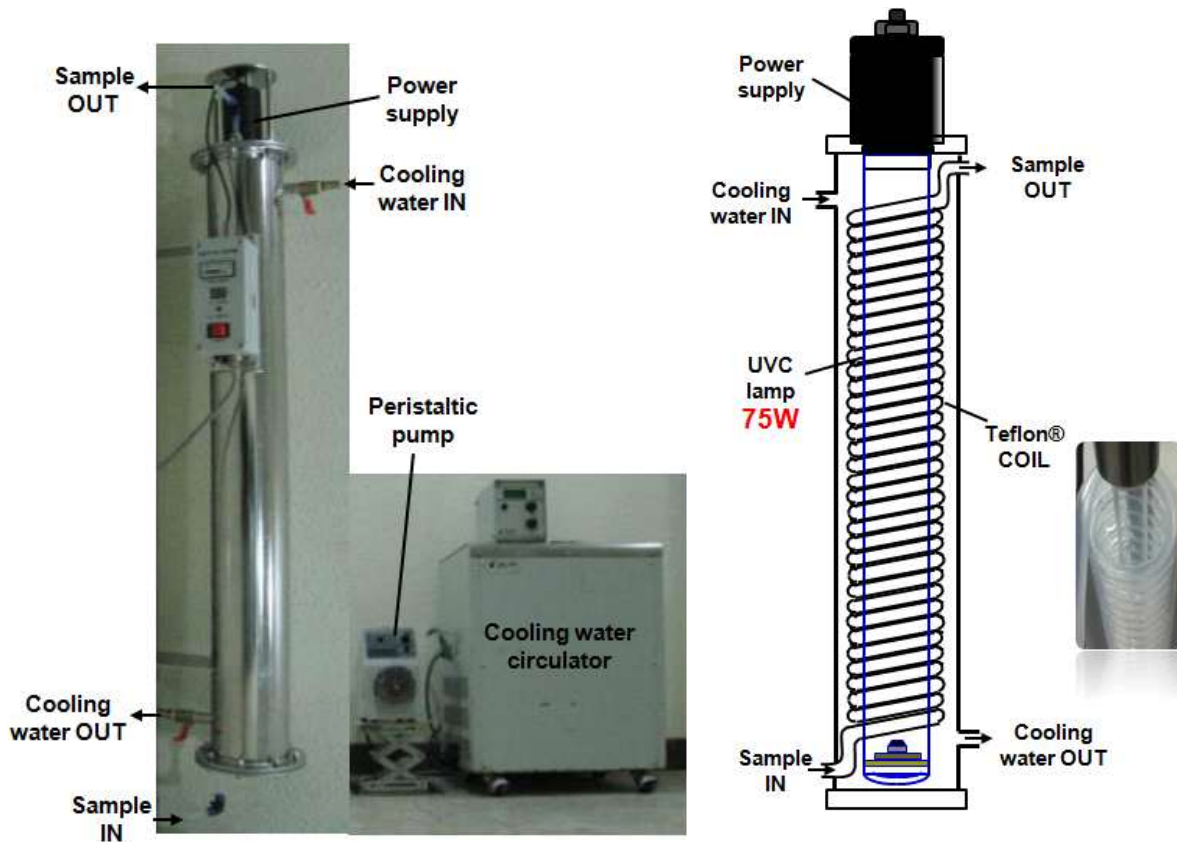


그림 6. 나선형 자외선 살균 장치 (좌 : 사진, 우 : 모식도).

3. Batch형 자외선-광촉매 시스템

### 가. Batch형 자외선-광촉매 살균 시스템의 원리

(1) Batch형 자외선-광촉매 반응기의 용량은 총 30 L 이며, 반응기에는 시료를 섞어 줄 수 있는 air pump가 있고 6개의 자외선램프가 반응기의 뚜껑에 장착되어 있음.

(2) 자외선램프의 파장은 254nm 이고 자외선램프를 감싸는 석영관에 0.7-0.9 mm 두께로 TiO<sub>2</sub>가 코팅 되어 있음.

(3) 또한 광촉매를 코팅 한 석영관에 있는 UV lamp와 코팅하지 않은 석영관에 있는 UV lamp 두 종류를 교체하여 사용가능함.

### 나. Batch 자외선-광촉매 살균 시스템의 장·단점

(1) 연속형 자외선-광촉매 시스템과 나선형 자외선 시스템과 달리 Batch형 자외선-광촉매 시스템은 대량의 시료를 동시에 살균 처리 할 수 있음.

(2) 반응기 내부에 시료를 섞어 줄 수 있는 air pump가 있어 시료에 자외선 조사를 균일 하게 할 수 있는 장점이 있음.

(3) 액체 시료뿐 아니라 고체 시료를 바로 살균 할 수 있는 장점이 있음.

(4) 그러나 고체 시료를 살균하다 자외선램프가 파손 될 수 있는 단점이 있음.

(5) 또한, 고체 시료의 경우 반응기에 물을 채워서 살균을 하기 때문에 반복 실험을 할 경우 물의 오염으로 인한 교체 또는 CIP(Clean in place) 처리를 해줘야함.

### 다. 광촉매 처리 시 조사량

(1) 28L 의 반응기에 총 6 개의 30W 램프로 시료에 조사함.

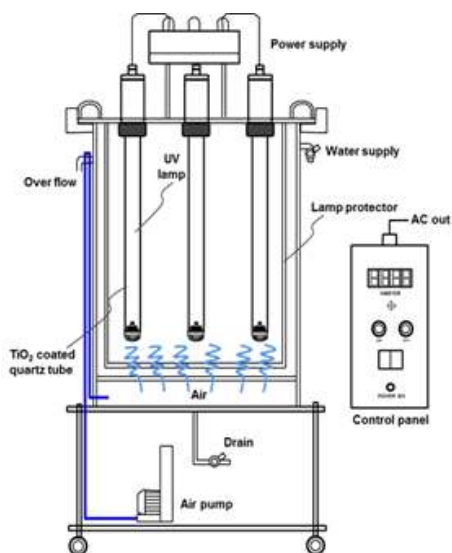
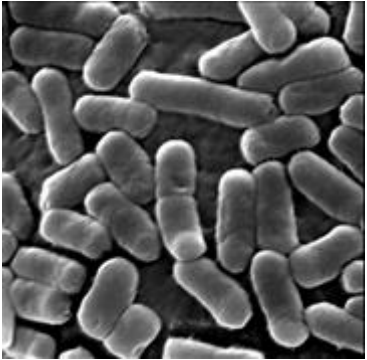

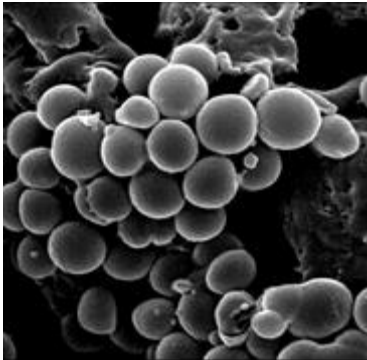
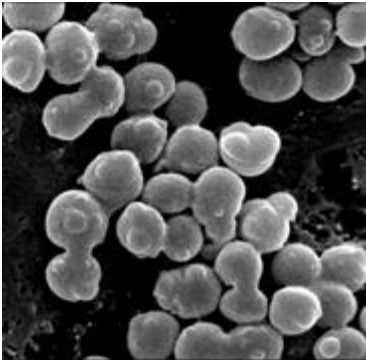
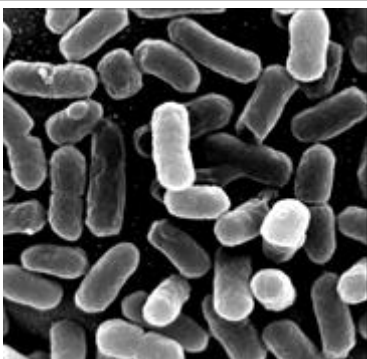
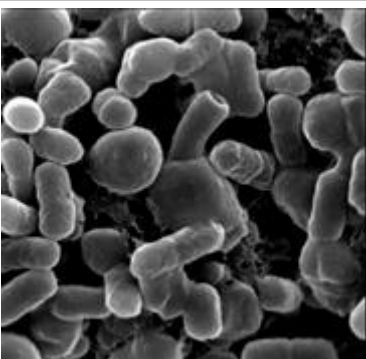
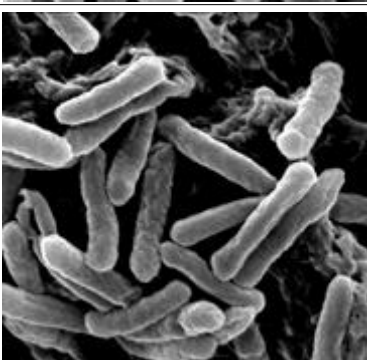
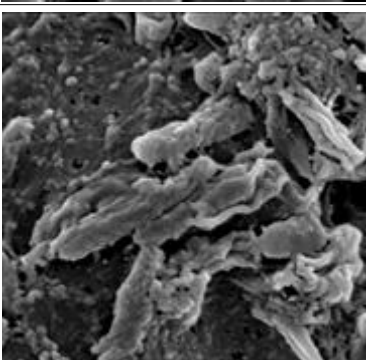


그림 7. Batch형 자외선-광촉매 살균 장치 (좌: 모식도, 우: 모식도).

라. 주사전자현미경(SEM)을 통한 자외선-광촉매 시스템의 살균 효과

표 3. 주사전자현미경을 통한 자외선-광촉매 시스템의 살균 효과

균 명	무처리군	자외선-광촉매 처리군
<i>E. coli</i> K12 (20,000배 확대)		
<i>S. aureus</i> (20,000배 확대)		
<i>Salmonella</i> Typhimurium (20,000배 확대)		
<i>L. monocytogenes</i> (20,000배 확대)		

(1) SEM 촬영 결과, 자외선-광촉매 시스템의 살균이 각 균에게 큰 손상을 입히는 것을 알 수 있었음.

## 제 2 절 고로쇠 수액의 자외선-광촉매 살균 시스템

### 1. 시중 유통되는 고로쇠 수액의 미생물 오염도와 저장성 조사

(1) 고로쇠 수액은 가공 공정의 부재와 채취 시 높은 미생물 오염도로 인해 유통이 원활하지 않은 상태임.

(2) 산지에서 직접 조달한 고로쇠 수액의 미생물 오염도와 저장성을 조사함(매년 2월, 지리산 남원 뱀사골에서 채취함).

(3) 고로쇠 수액은 냉장 저장 시 유통기한이 3~7일 내외인 것으로 알려짐.

(4) 미생물 오염도를 전반적으로 확인할 수 있는 호기성 세균(Total aerobic bacteria), 냉장 저장을 해야 하기 때문에 저온성 세균인 슈도모나스 속(*Pseudomonas* spp.), 나무에서 채취하는 시료라서 토양에 의한 오염이 있을 수 있기 때문에 바실러스 세레우스(*Bacillus cereus*)에 대해 미생물 오염도를 조사함(Oh, J. H., et al., 2009).

표 4. 시중 유통되는 고로쇠 수액의 초기 미생물 오염도

Microbial populations (log CFU/mL)		
Total aerobic bacteria	<i>Pseudomonas</i> spp.	<i>Bacillus cereus</i>
3.71±0.12	2.46±0.02	2.30±0.05

(5) 호기성 세균의 초기 미생물 오염도는 약 3.7 log CFU/mL로 식품 내 허용 기준인 5 log CFU/mL에 금방 도달할 수 있는 수치임.

(6) 슈도모나스와 바실러스 세레우스의 오염도는 약 2~2.5 log CFU/mL로 전체 세균 중 비중 있는 부분을 차지하므로 제어가 필요함.

(7) 고로쇠 수액의 초기 미생물 오염도로 추측해 볼 때, 수액의 효과적인 유통과 저장을 위해 살균 시스템에 의한 수액 내 미생물의 제어가 필요할 것이라고 예상됨.

### 2. 고로쇠 수액의 자외선-광촉매 처리 조건에 따른 살균 효과 비교

가. 연속형 자외선-광촉매, 나선형 자외선 시스템 처리 시 살균 효과 비교



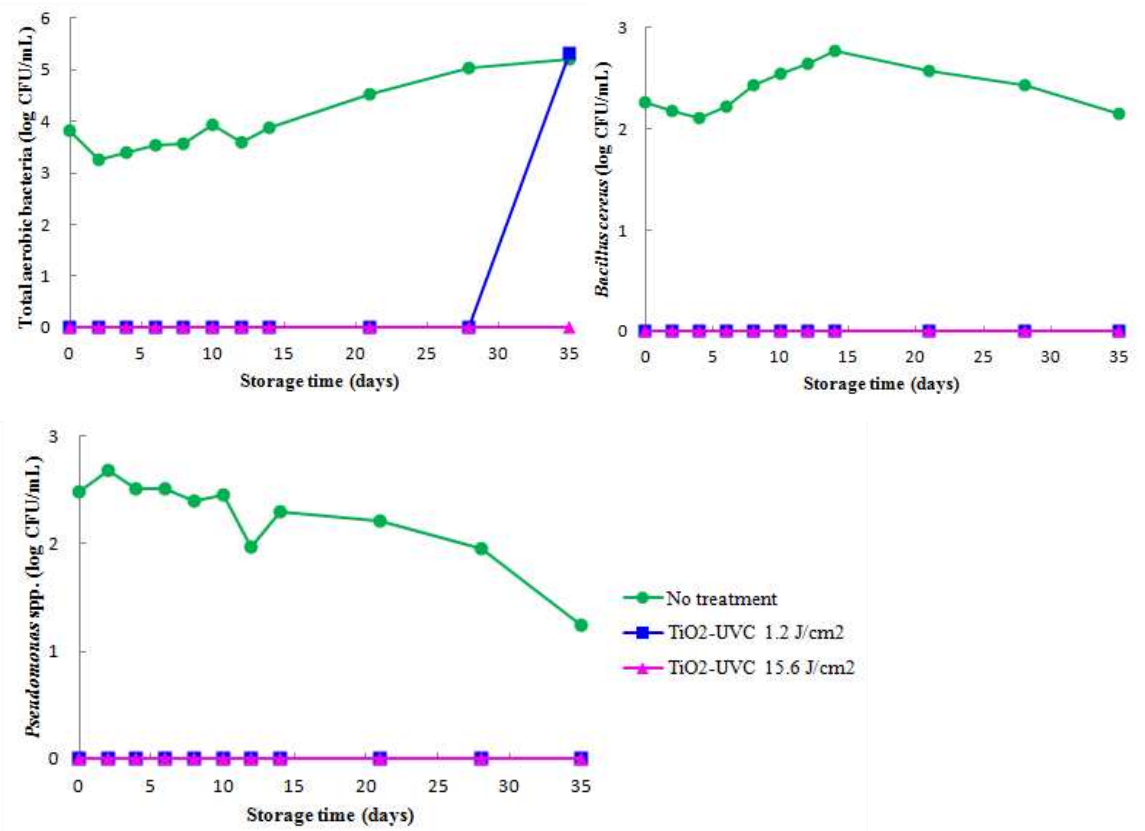


그림 8. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 고로쇠 수액 내 미생물 변화 (35일 간 저장) (차레로 호기성 세균, 바실러스 세레우스, 슈도모나스 속).

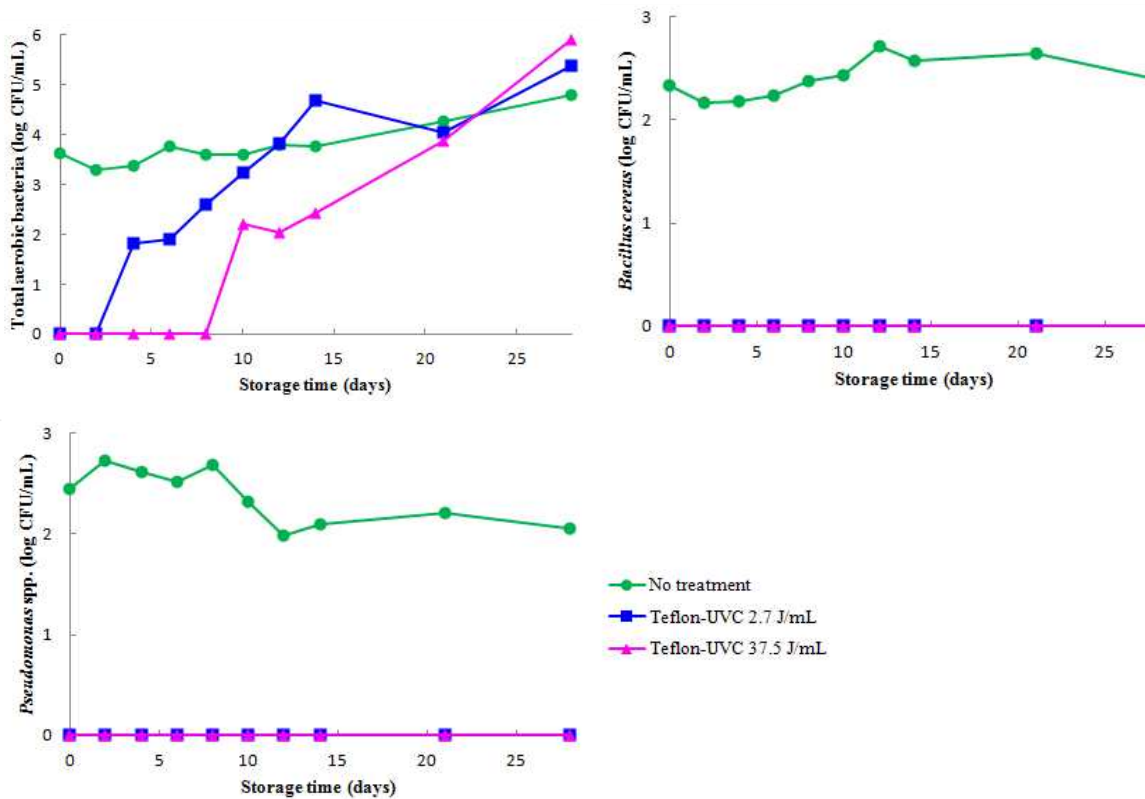


그림 9. 나선형 자외선 시스템에 의해 처리된 고로쇠 수액 내 미생물 변화 (28일 간 저장) (차레로 호기성 세균, 바실러스 세레우스, 슈도모나스 속).

(1) 자외선 처리한 시료에서 미생물은 거의 발견되지 않았음.

(2) 하지만 자외선 살균은 미생물의 재생장이 일어나 재생장이 일어나는 시점에 따라 음용 가능기간의 차이가 나타났음.

(3) 호기성 세균의 경우, 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리 시 발견되지 않았으나 최소 조사량(유속 24 mL/s)으로 처리 시 5 °C에서 저장 후 30일을 전후로 재생장이 일어나는 것으로 나타났고 최대 조사량(유속 2 mL/s)으로 처리 시 35일의 저장기간 동안 재생장이 나타나지 않았음.

(4) 나선형 자외선 시스템에 의해 처리 시 저장기간 동안 최대(유속 2 mL/s), 최소(유속 24 mL/s) 조사량에 의해 처리된 시료 모두 호기성 세균의 재생장이 발견됨(최소 조사량 처리 시 4일 저장 후, 최대 조사량 처리 시 10일 저장 후 발견).

(5) 토양 미생물인 바실러스 세레우스와 저온성 세균인 슈도모나스 속의 경우 처리된 시료 모두 저장기간 동안 재생장이 나타나지 않았기에 최적화의 기준을 호기성 세균으로 잡음.

#### **나. 각 시스템별 최적화(연속형, 나선형, Batch형 시스템)**

(1) 연속형 자외선-광촉매 시스템의 flow rate은 2, 5, 15, 24 mL/s 로 설정하여 상온에서 처리 후, 49일 간(7주) 저장으로 살균 효율을 비교함.

(2) 나선형 자외선시스템의 flow rate은 2, 15, 24 mL/s 로 설정하여 상온에서 처리 후, 42일 간(6주) 저장으로 살균 효율을 비교함.

(3) Batch형 자외선-광촉매 시스템에 고로쇠 수액을 약 20 L 넣어주어 1, 5, 10, 20 분간 살균 처리함.

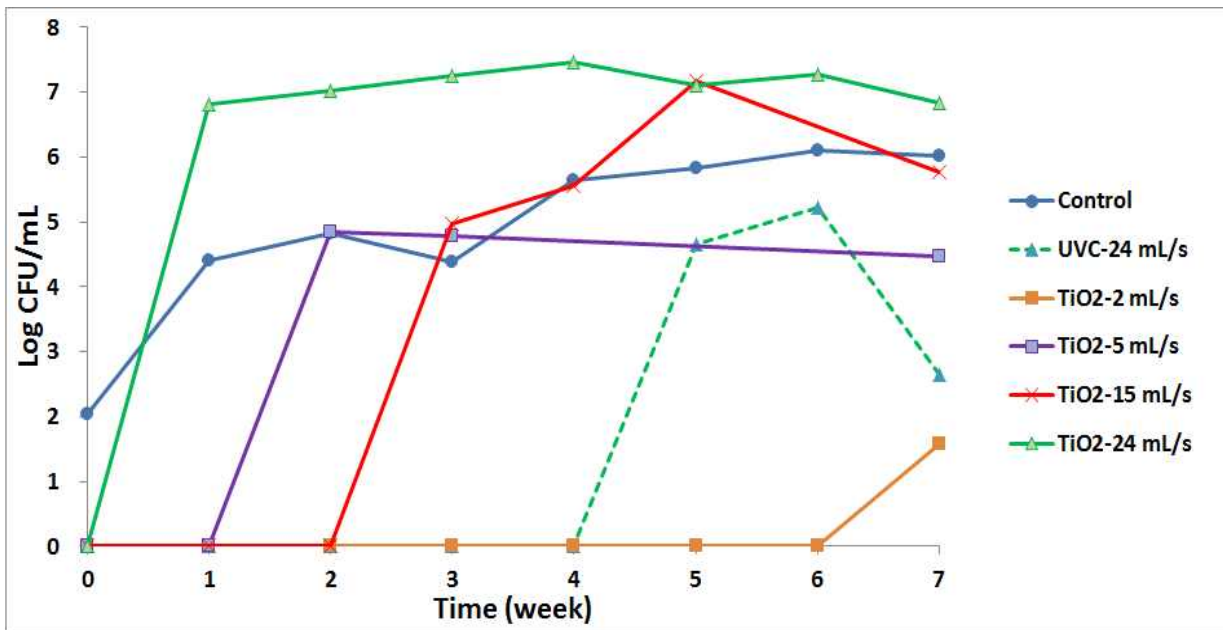


그림 10. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 고로쇠 수액 내 미생물 변화 (7주 간 저장)

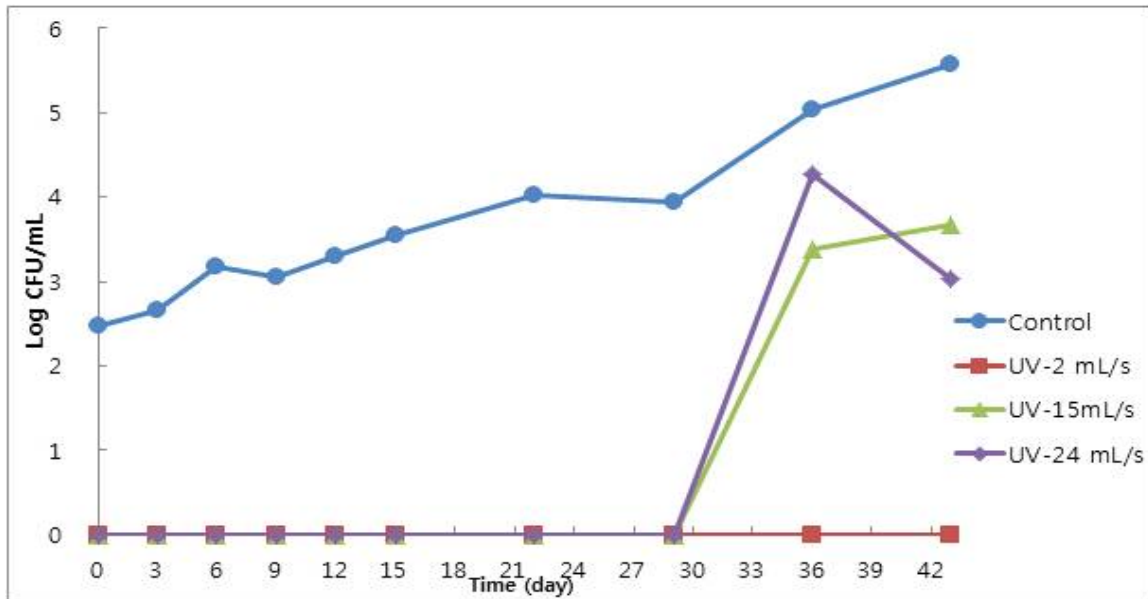


그림 11. 나선형 자외선 시스템에 의해 처리된 고로쇠 수액 내 미생물 변화 (6주 간 저장)

(5) 연속형 시스템 실험 결과, 유속을 가장 빠르게 (24 mL/s) 처리한 시료에서는 살균력이 떨어짐을 확인할 수 있었고, 2 mL/s로 자외선-광촉매 처리한 시료의 저장 기간 중 살균력이 가장 효과적임을 확인함.

(6) 나선형 자외선 시스템으로 고로쇠 수액을 살균하여 저장실험을 한 결과, 약 4주간 모든 시료에서 미생물이 관찰 되지 않았으며, 유속을 2 mL/s 로 처리한 시료에서는 저장기간 중 미생물이 재 성장하지 않았기에 살균력이 가장 효과적임을 확인할 수 있었음.

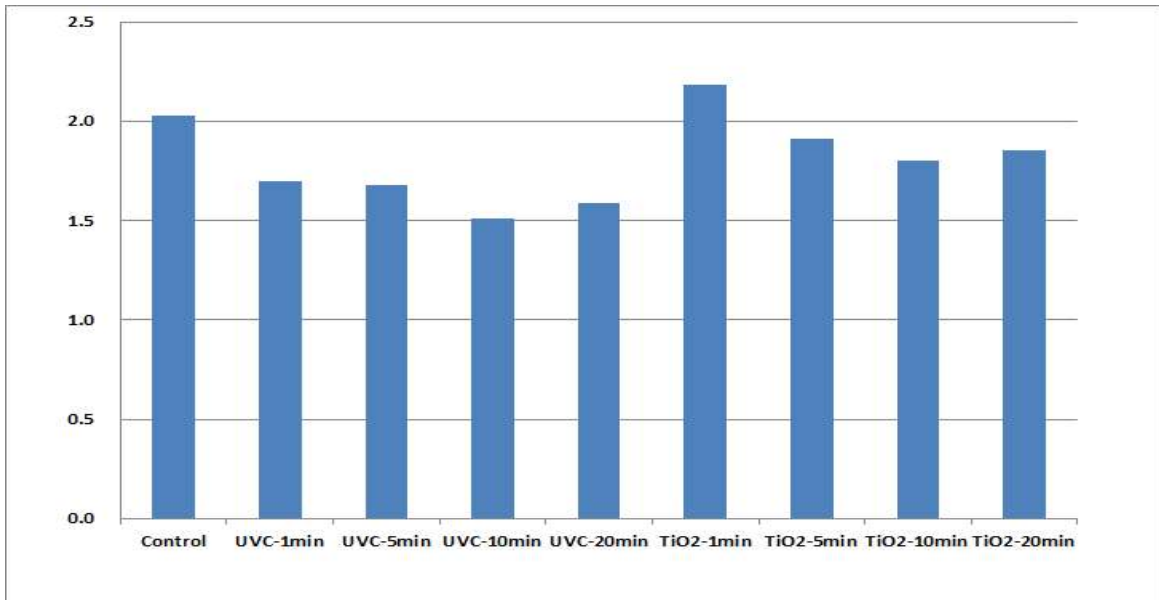


그림 12. Batch형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 고로쇠 수액 내 미생물 변화. (y축 단위: Log CFU/mL)

(7) Batch형 자외선-광촉매 시스템으로 미생물 살균력을 확인해본 결과 자외선으로 10분간 처리했을 때 가장 효과적이었음. 하지만 초기균과 약 0.5 log 정도 밖에 차이가 나지 않아 Batch형 자외선-광촉매 시스템은 고로쇠 살균에는 적합하지 않음을 알 수 있음.

(8) Batch형 시스템으로 살균효율이 낮은 이유는 고로쇠 수액의 탁도 때문에 자외선의 투과율이 매우 낮기 때문임.

#### 다. 가열 살균 후 미생물 변화

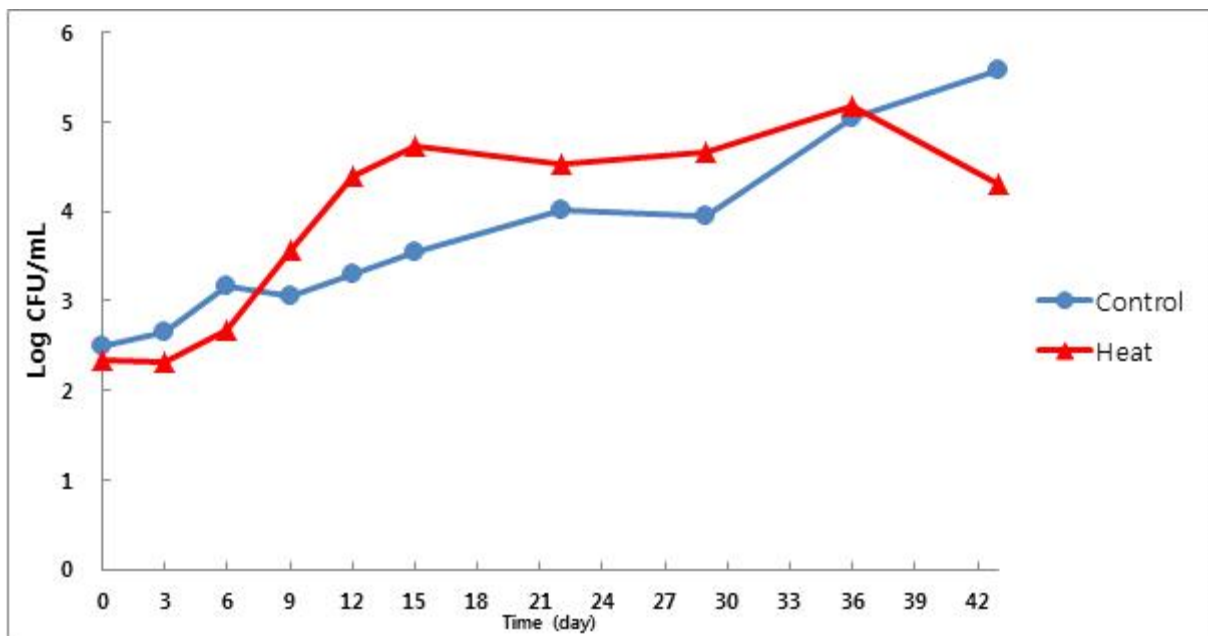


그림 13. 열처리에 의해 처리된 고로쇠 수액 내 미생물 변화 (6주 간 저장).

(1) 가열살균과의 비교를 위해 80 °C에서 2분간 열처리 후, 42일 간(6주) 저장실험을 함.

(2) 열처리 시, 미치리균과 살균 효과의 차이가 거의 없음을 확인함.

### 3. 고로쇠 수액의 자외선-광촉매 살균 방법에 따른 품질 특성 비교

(1) 연속형 자외선-나선형 시스템과 나선형 자외선 시스템이 고로쇠 살균에 적합함을 확인할 수 있었기에 연속형 자외선-광촉매 시스템과 나선형 자외선 시스템을 기준으로 품질 특성을 확인해보았음.

표 5. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 고로쇠 수액의 저장기간 중 pH, 당도, 탁도 변화

pH								
Sample/week	0	1	2	3	4	5	6	7
Control	6.78	6.46	6.86	6.95	6.83	5.41	5.30	5.56
UV-2ml/s	6.74	6.80	7.14	7.07	6.93	7.07	7.27	7.07
UV-5ml/s	6.61	6.88	7.21	7.12	7.31	7.14	6.96	7.14
UV-15ml/s	6.64	6.94	7.09	7.44	7.28	7.27	6.81	7.19
UV-24ml/s	6.64	6.92	7.05	7.07	6.95	6.96	7.29	6.83
PUV-2ml/s	6.46	6.84	7.22	7.15	7.37	7.19	7.20	7.51
PUV-5ml/s	6.66	6.92	7.15	7.17	5.79	7.12	7.16	6.86
PUV-15ml/s	6.70	6.89	7.07	7.12	6.90	6.87	7.12	6.66
PUV-24ml/s	6.76	6.71	6.58	5.15	5.07	5.20	6.30	5.00
Brix								
Sample/week	0	1	2	3	4	5	6	7
Control	1.84	1.87	1.85	1.88	1.85	1.84	1.83	1.88
UV-2ml/s	1.76	1.77	1.72	1.75	1.75	1.74	1.74	1.78
UV-5ml/s	1.72	1.77	1.73	1.76	1.74	1.74	1.75	1.79
UV-15ml/s	1.75	1.78	1.74	1.78	1.77	1.76	1.76	1.8
UV-24ml/s	1.71	1.73	1.69	1.83	1.71	1.78	1.73	1.76
PUV-2ml/s	1.87	1.88	1.85	1.89	1.86	1.86	1.83	1.91
PUV-5ml/s	1.84	1.72	1.7	1.74	1.72	1.71	1.72	1.76
PUV-15ml/s	1.8	1.78	1.77	1.8	1.77	1.78	1.76	1.82
PUV-24ml/s	1.78	1.79	1.77	1.8	1.76	1.76	1.77	1.82
Turbidity								
Sample/week	0	1	2	3	4	5	6	7
Control	0.01	0.07	0.05	0.06	0.07	0.22	0.21	0.29
UV-2ml/s	0.01	0.01	0.01	0.13	0.14	0.11	0.01	0.01
UV-5ml/s	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0
UV-15ml/s	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.08	0
UV-24ml/s	0.01	0.01	0.14	0.06	0.03	0.18	0.02	0.22
PUV-2ml/s	0.01	0.01	0.01	0.14	0.04	0.01	0.01	0.06
PUV-5ml/s	0.01	0.01	0.08	0.1	0.08	0.15	0.21	0.12
PUV-15ml/s	0.01	0.01	0.01	0.12	0.13	0.16	0.13	0.19
PUV-24ml/s	0.01	0.02	0.05	0.07	0.05	0.09	0.05	0.05

(2) 6주 까지는 pH 의 변화가 크게 나타나지 않았지만 마지막 주에는 pH 값이 위 아래로 약간 변화하였음을 관찰할 수 있었음.

(3) 당도는 모든 시료에서 큰 변화가 없었음을 확인함.

(4) 고로쇠 수액 특성상 시간이 지나면 침전물이 생기는데 이로 인해 탁도가 약간 증가함을 알 수 있음.

표 6. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 고로쇠 수액의 저장기간 중 갈 변도 및 색도 변화

Browning								
Sample/week	0	1	2	3	4	5	6	7
Control	0.03	0.14	0.09	0.1	0.13	0.4	0.4	0.52
UV-2ml/s	0.02	0.02	0.02	0.12	0.14	0.12	0.02	0.03
UV-5ml/s	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
UV-15ml/s	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.11	0.02
UV-24ml/s	0.02	0.03	0.15	0.11	0.08	0.17	0.04	0.23
PUV-2ml/s	0.02	0.02	0.02	0.14	0.09	0.02	0.02	0.11
PUV-5ml/s	0.02	0.03	0.09	0.11	0.15	0.16	0.23	0.14
PUV-15ml/s	0.03	0.02	0.02	0.12	0.16	0.19	0.14	0.19
PUV-24ml/s	0.03	0.03	0.08	0.11	0.09	0.15	0.11	0.11
L*								
Sample/week	0	1	2	3	4	5	6	7
Control	20.1	20.2	20.5	20.7	21.1	21.6	21.6	21.9
UV-2ml/s	20.2	20.1	21.1	20.9	21.1	20.9	21.2	21.2
UV-5ml/s	20.2	20.1	20.6	20.9	21.0	20.9	21.1	21.2
UV-15ml/s	20.5	20.3	20.4	20.8	21.1	21.2	21.1	21.1
UV-24ml/s	19.9	20.1	20.4	20.7	21.0	21.1	21.0	21.0
PUV-2ml/s	20.0	20.2	20.4	20.6	21.0	21.1	21.2	21.0
PUV-5ml/s	19.9	20.0	20.2	20.7	20.9	20.9	20.9	21.0
PUV-15ml/s	20.0	20.1	20.2	20.8	21.1	20.8	21.0	21.0
PUV-24ml/s	20.1	20.2	20.3	20.8	20.1	21.1	21.2	21.1
a*								
Sample/week	0	1	2	3	4	5	6	7
Control	-1.2	-1.23	-1.04	-1.19	-1.25	-1.07	-1.08	-1.09
UV-2ml/s	-1.33	-1.26	-1.07	-1.11	-1.22	-1.28	-1.26	-1.26
UV-5ml/s	-1.24	-1.2	-1.28	-1.31	-1.24	-1.24	-1.19	-1.24
UV-15ml/s	-1.21	-1.24	-1.14	-1.29	-1.24	-1.24	-1.25	-1.25
UV-24ml/s	-1.26	-1.21	-1.18	-1.16	-1.25	-1.21	-1.19	-1.27
PUV-2ml/s	-1.2	-1.18	-1.2	-1.27	-1.31	-1.22	-1.29	-1.21
PUV-5ml/s	-1.24	-1.18	-1.14	-1.21	-1.21	-1.26	-1.27	-1.19
PUV-15ml/s	-1.24	-1.18	-1.08	-1.21	-1.2	-1.27	-1.21	-1.22
PUV-24ml/s	-1.22	-1.47	-1.13	-1.19	-1.24	-1.32	-1.18	-1.24
b*								
Sample/week	0	1	2	3	4	5	6	7
Control	1.71	2.05	1.77	1.49	1.47	2.05	1.91	1.94
UV-2ml/s	1.84	1.72	1.85	1.87	1.23	1.45	1.39	1.42
UV-5ml/s	1.89	1.8	1.58	1.49	1.46	1.5	1.4	1.37
UV-15ml/s	1.87	1.76	1.65	1.53	1.38	1.4	1.46	1.39
UV-24ml/s	1.89	1.8	1.63	1.63	1.46	1.5	1.5	1.58
PUV-2ml/s	1.78	1.75	1.59	1.65	1.57	1.43	1.4	1.44
PUV-5ml/s	1.88	1.82	1.59	1.55	1.54	1.54	1.59	1.56
PUV-15ml/s	1.92	1.82	1.63	1.5	1.52	1.65	1.41	1.51
PUV-24ml/s	1.77	1.84	1.6	1.47	1.55	1.45	1.42	1.45

(5) Control 시료와 자외선 그리고 자외선-광촉매 처리한 시료를 비교해본 결과 갈변현상이 많이 이루어지지 않았음을 확인할 수 있음.

(6) 색도는 저장기간 중 큰 변화가 없었음.

표 7. 나선형 자외선 시스템에 의해 처리된 고로쇠 수액의 저장기간 중 pH, 탁도, 당도 변화

pH										
Sample/day	0	3	6	9	12	15	22	29	36	43
Control	6.67	6.94	6.94	6.61	6.51	6.55	6.18	5.94	5.72	5.28
2 ml/s	6.9	7.1	7.18	6.99	7.08	7	6.77	6.66	6.15	6.91
15 ml/s	6.98	7.18	7.07	6.89	7.17	7.03	7.07	6.96	6.48	6.73
24 ml/s	6.96	6.99	6.96	7.05	6.98	6.99	6.91	6.36	6.28	6.81

Turbidity										
Sample/day	0	3	6	9	12	15	22	29	36	43
Control	0.03	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.07	0.08
2 ml/s	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.07	0.04	0.04
15 ml/s	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.05	0.03	0.02	0.06
24 ml/s	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	0.05	0.04

Brix										
Sample/day	0	3	6	9	12	15	22	29	36	43
Control	1.62	1.64	1.58	1.61	1.59	1.63	1.60	1.62	1.60	1.69
2 ml/s	1.62	1.63	1.60	1.61	1.59	1.64	1.62	1.63	1.60	1.67
15 ml/s	1.63	1.64	1.60	1.60	1.59	1.64	1.62	1.64	1.59	1.67
24 ml/s	1.62	1.65	1.60	1.61	1.60	1.64	1.63	1.65	1.61	1.68

(7) 저장기간이 길어지면서 미생물의 재생장이 일어날수록 대체적으로 pH는 낮아지고 탁도와 갈변도는 증가하는 경향을 보임.

(8) 당도는 큰 저장기간 중 큰 변화를 안 보임.

표 8. 나선형 자외선 시스템에 의해 처리된 고로쇠 수액의 저장기간 중 갈변도 및 색도 변화

Browning										
Sample/day	0	3	6	9	12	15	22	29	36	43
Control	0.07	0.08	0.10	0.10	0.12	0.11	0.13	0.15	0.10	0.15
2 ml/s	0.06	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.08	0.15	0.09	0.09
15 ml/s	0.06	0.06	0.06	0.08	0.05	0.09	0.10	0.05	0.06	0.14
24 ml/s	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.14	0.11	0.09

L*										
Sample/day	0	3	6	9	12	15	22	29	36	43
Control	21.57	20.81	21.00	21.20	21.16	21.42	21.51	21.39	21.57	21.40
2 ml/s	21.44	20.91	21.11	20.99	20.86	21.24	21.14	21.37	21.12	21.19
15 ml/s	21.12	20.98	21.09	21.05	21.08	21.38	21.27	21.46	21.59	21.37
24 ml/s	20.91	20.89	20.94	20.92	21.16	21.29	21.23	21.28	21.47	21.20

a*										
Sample/day	0	3	6	9	12	15	22	29	36	43
Control	-1.20	-1.26	-1.21	-1.32	-1.19	-1.24	-1.27	-1.28	-1.20	-1.20
2 ml/s	-1.27	-1.25	-1.24	-1.28	-1.29	-1.29	-1.25	-1.27	-1.22	-1.20
15 ml/s	-1.25	-1.18	-1.27	-1.25	-1.15	-1.24	-1.22	-1.32	-1.18	-1.26
24 ml/s	-1.22	-1.24	-1.22	-1.25	-1.22	-1.28	-1.22	-1.26	-1.22	-1.23

b*										
Sample/day	0	3	6	9	12	15	22	29	36	43
Control	1.47	1.61	1.5	1.58	1.6	1.52	1.53	1.67	1.58	1.5
2 ml/s	1.49	1.55	1.46	1.48	1.45	1.3	1.51	1.98	1.49	1.43
15 ml/s	1.68	1.52	1.53	1.53	1.46	1.41	1.49	1.42	1.48	1.58
24 ml/s	1.54	1.6	1.6	1.55	1.51	1.38	1.45	1.57	1.63	1.53

(9) 시간이 지나면서 갈변도가 소폭 상승했으나 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 고로쇠보다 변화가 적음을 확인 할 수 있었음.

(10) 색도는 저장기간 중 큰 변화가 없었음.



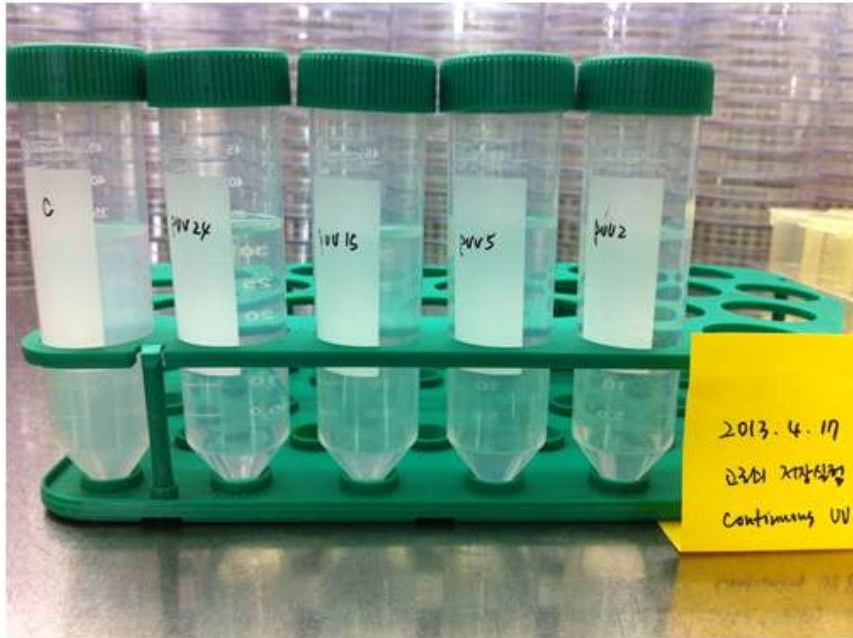


그림 14. 고로쇠 수액의 자외선-광촉매 처리 후 투명도 관찰

(11) 고로쇠 수액을 자외선-광촉매 처리 후 관찰한 결과 아무것도 처리하지 않은 수액의 투명도가 가장 낮았으며 조사량이 높아질수록 투명도가 높아짐을 확인 할 수 있었기에 자외선 조사량이 고로쇠 수액의 침전물(Cloud) 생성과 연관이 있을 가능성을 확인함.



그림 15. 고로쇠 수액의 자외선-광촉매 처리 후 저장기간 중의 침전물 관찰 (6주 간 저장).

(12) 6주 간 저장 후, 빠른 유속(24, 15 mL/s) 으로 처리한 시료에서 침전물이 관찰 되었으며 5 mL/s 로 처리했을 때는 침전물이 생성 되지 않았기에 자외선 조사량이 고로쇠 수액의 저장기간 중에 침전물 생성에 영향을 줄을 확인함.

(13) 침전물의 성분을 추적하기 위해 일반 생수보다 많이 들어 있는 무기질과 조단백질(Oh, J. H., et al., 2009; Jeong, S. J., et al., 2011)을 침전물과 침전물을 제외한 액체로 분리하여 측정함.

표 9. 침전물과 침전물 제외한 액체의 무기질과 조단백질 차이

	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	조단백질 (g/100g)
Fluid w/o cloud	10.51±1.04	8.13±0.21	0.277±0.15
Cloud	11.50±0.35	13.52±1.24	0.687±0.08

(14) Ca의 경우 거의 차이가 없으나, Mg와 조단백질의 경우 침전물의 함유량이 더 많음을 알 수 있기에 침전물의 무기질이 시간이 지남에 따라 조단백질과의 상호작용으로 인해 침전물이 생성됨을 유추할 수 있음.

#### 4. 결론

- 고로쇠 수액을 자외선-광촉매 시스템으로 처리 시 효과적으로 미생물을 제어할 수 있음.
- 특히 바실러스 세레우스, 슈도모나스 속은 처리 후 28~35일까지 재생장이 되지 않음.
- 연속형 자외선-광촉매 시스템, 나선형 자외선 시스템, Batch형 자외선-광촉매 시스템 그리고 열처리로 살균력을 비교 분석해본 결과, 나선형 자외선 시스템과 연속형 자외선-광촉매 시스템이 우수한 살균력을 보였음.
- 자외선 노출 시간을 증가시킬수록(유속이 느릴수록) 저장 가능 기한이 연장됨.
- 그러므로 짧은 유통기한을 갖은 고로쇠 수액을 자외선-광촉매 기술을 적용한다면 이를 연장할 수 있음.
- 고로쇠 수액은 일정기간이 지나면 침전물(Cloud)이 생기는데 이는 미네랄(Mg)과 조단백질의 상호작용으로 인한 것으로 사료되며, 자외선 조사량이 클수록 생성이 억제됨을 관찰 할 수 있음.

## 제 3 절 과채주스의 자외선-광촉매 살균 시스템

### 1. 과채주스의 미생물 오염도 조사

(1) 시중 유통되고 있는 과채(배, 딸기, 수박, 방울토마토, 참외, 오이, 당근, 케일)를 대상으로 함.

(2) 녹즙기로 착즙하여 각 과채주스의 호기성 세균 존재여부와 균수를 측정함.

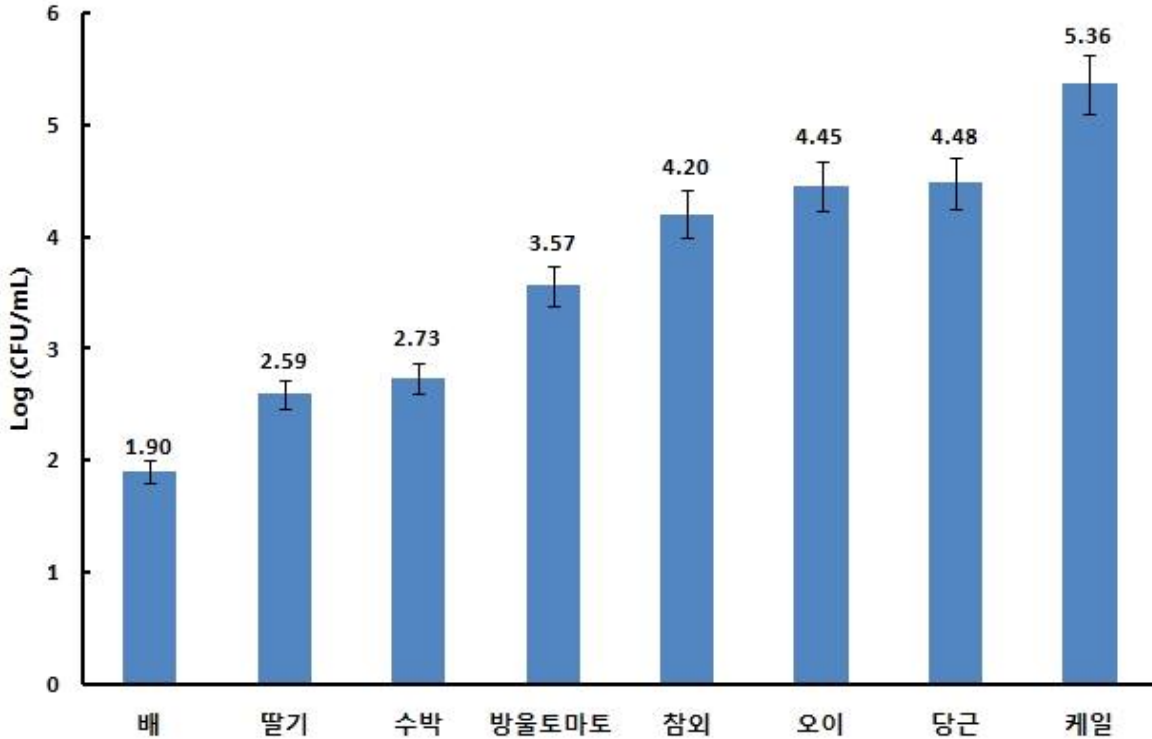


그림 16. 과채별 초기 미생물 오염도.

(3) 과채 8가지 종류 모두에서 호기성 세균이 검출됨.

(4) 참외, 오이, 당근, 케일에서는 호기성 세균이 다량 검출되었고, 비교적 껍질이 두꺼운 수박에서도 상당량의 호기성 세균이 검출되었는데, 수박의 pH는 중성에 가까우므로 세균의 빠른 번식이 우려됨.

(5) 각 과채주스의 미생물 오염도 측정 결과를 토대로 각종 자외선 시스템에 적용할 과채주스를 선별하여 실험을 진행함.

### 2. 과채주스의 자외선 살균 방법에 따른 살균 효과 및 품질 특성 비교

가. 착즙한 참외 주스의 연속형 자외선-광촉매 시스템에 따른 살균 효과 및 품질 변화 비교

(1) 착즙한 참외 주스를 가열, 자외선, 연속형 자외선-광촉매 시스템으로 처리하여 살균력 비교 측정하였으며, 식품 내 주요 균종인 호기성 세균, 대장균군, 효모 및 곰팡이에 대한 살균

력을 측정함. (가열살균은 80 °C에서 30분간 가열 처리)

(2) 처리 유속은 2 mL/s로 유지하면서 자외선 단독 살균과 자외선-광촉매 살균을 진행함.

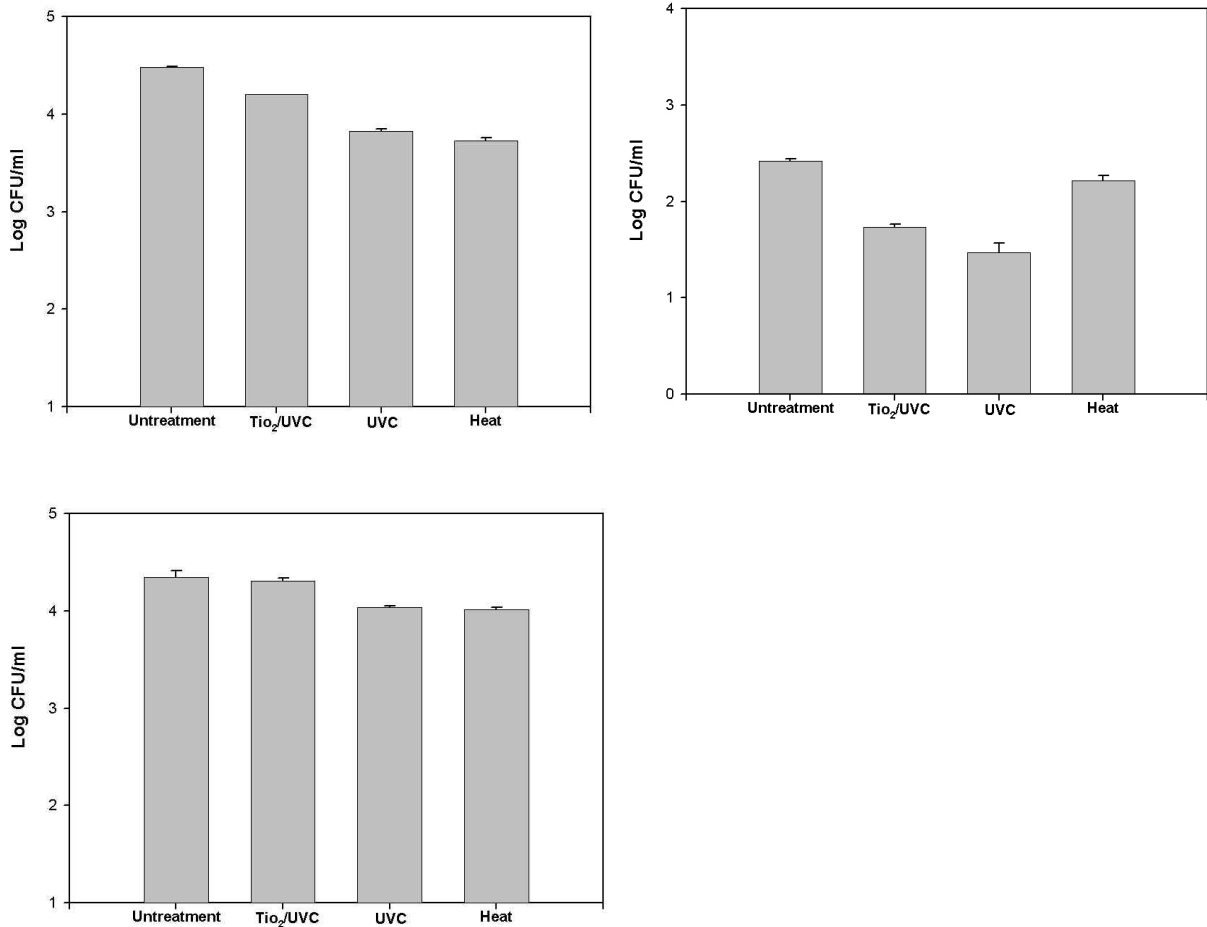


그림 17. 각 살균 처리 방법이 참외 주스에 미치는 영향 (차례로 호기성 세균, 대장균군, 효모 및 곰팡이).

(3) 대장균군을 제외한 호기성 세균과 효모 및 곰팡이에서는 3가지 살균 처리 방법이 모두 효과가 거의 없었으며, 자외선-광촉매 살균 방법이 자외선 단독 살균 처리와 가열 처리보다 살균력이 떨어짐.

(4) 이는 자외선-광촉매의 경우 석영관에 코팅된 TiO<sub>2</sub>로 인해 자외선 투과도가 약 70%이기 때문에 참외 주스에 투과가 어려워 살균력이 저하된 것으로 사료됨.

(5) 각 살균 처리가 참외 주스의 품질에 미치는 영향을 조사하기 위해 품질 지표가 되는 참외 주스의 탁도, 갈변도, 색도, pH, 페놀함량, 리파아제 활성도의 변화를 측정함.

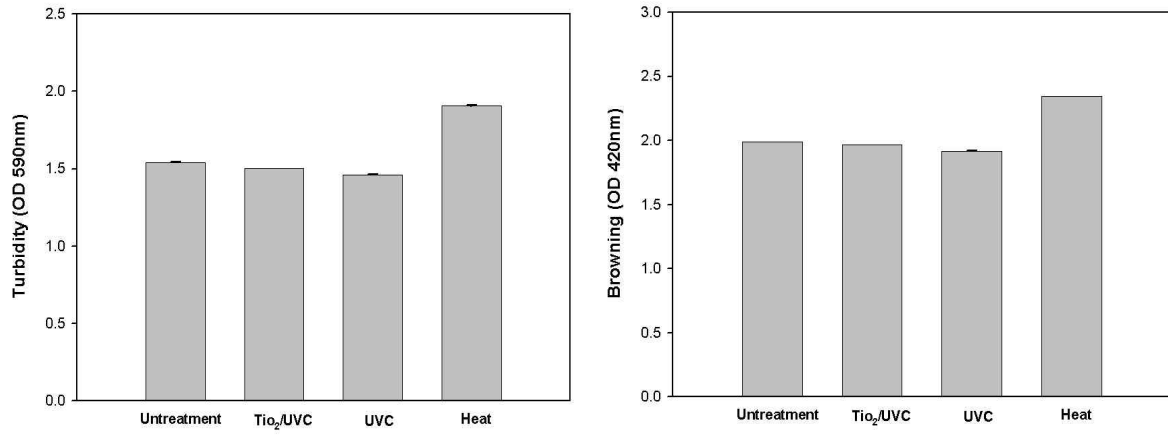


그림 18. 각 살균 처리 방법이 참외 주스에 미치는 영향 (차레로 탁도, 갈변도)

(6) 탁도와 갈변도의 경우 처리 전의 수치도 높은 편이나 가열 처리 방법이 다른 처리 방법에 비해 수치가 급격히 올라간 것을 알 수 있음.

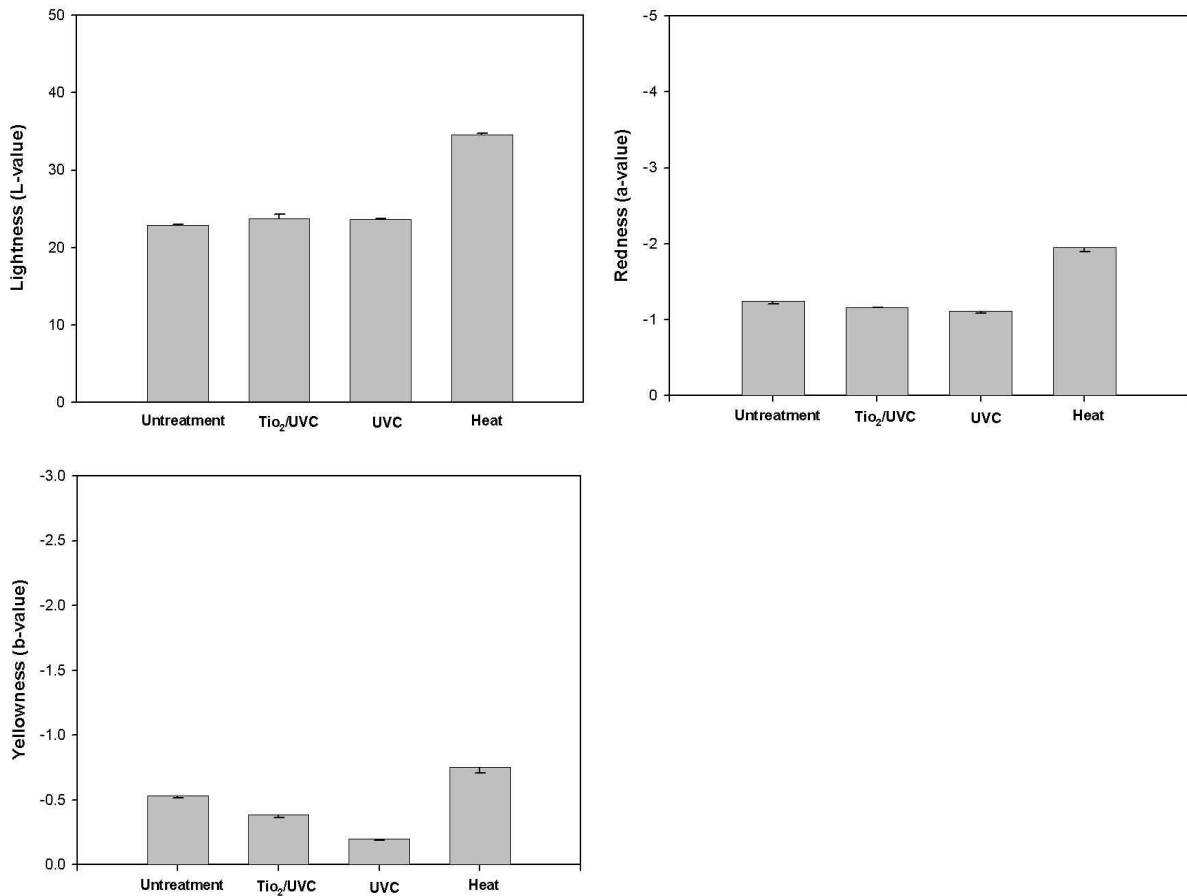


그림 19. 각 살균 처리 방법이 참외 주스에 미치는 영향 (차레로 L, a, b value).

(7) 밝기(L-value), 적색도(a-value), 황색도(b-value) 모두 가열 처리 했을 때 변화가 크게 나타남.

(8) 밝기와 적색도는 가열 처리를 제외하고 처리 전과 비슷했으나 황색도의 경우 자외선-광촉매 처리와 자외선 단독 처리 했을 때 수치가 감소하고 가열 처리 했을 때는 수치가 증가했음.

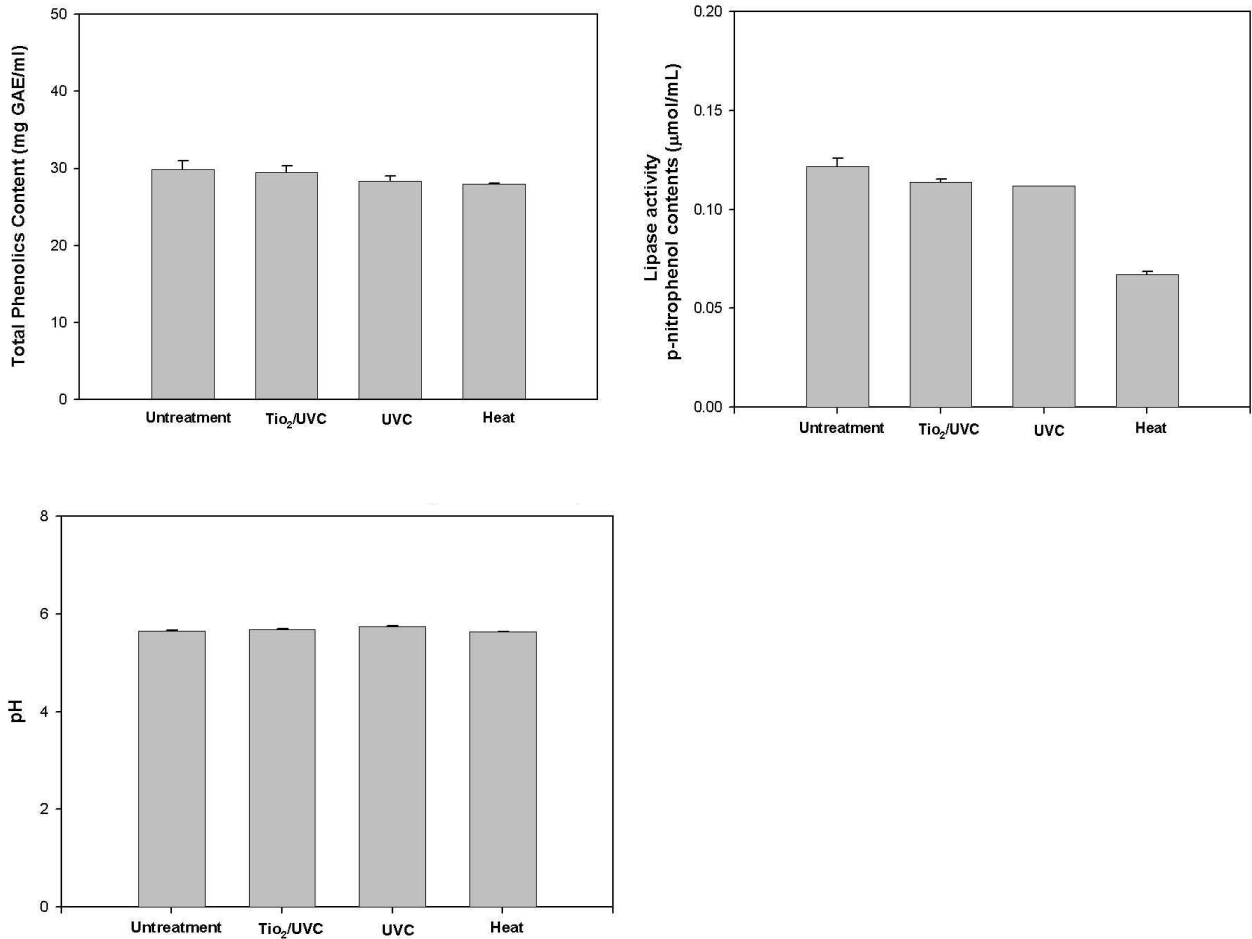


그림 20. 각 살균 처리 방법이 참외 주스에 미치는 영향 (차레로 페놀함량, 리파아제 활성도, pH).

(9) 리파아제 활성의 경우 가열 처리 군 외에는 큰 변화가 나타나지 않음.

(10) 리파아제 활성은 참외 주스의 산패에 안 좋은 영향을 주므로 처리하지 않은 군에 비하여 리파아제 활성 수치가 감소한 가열처리만 효과가 있는 것으로 볼 수 있음.

(11) 페놀함량과 pH는 모든 처리군에서 변화가 거의 없는 것이 관찰됨.

(12) 각 살균 방법에 따른 살균력을 측정하였을 때, 가열살균 처리한 참외 주스의 세균이 가장 많이 감소했지만 전체적인 품질 면에서 가장 많은 변화가 일어남.

#### 나. 착즙한 오렌지 주스의 Batch형 자외선-광촉매 시스템에 따른 살균 효과 비교 및 kinetic model 설정

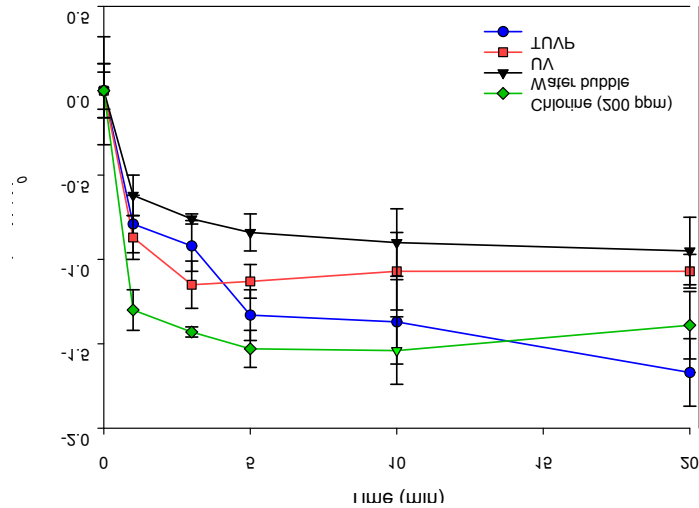


그림 21. 오렌지 주스에 자외선-광촉매, 자외선, 염소 처리, water bubble로 처리하여 살균력 비교

(1) *E. coli* O157:H7를 접종한 오렌지 주스에 자외선-광촉매, 자외선, 그리고 산업에서 쓰이는 기존 살균 방식인 염소(200 ppm)살균과 단순 버블 처리(water bubble)와 비교하여 수행함.

(2) 자외선-광촉매, 자외선 단독, 염소, 단순 버블 처리를 20분간 처리했을 때, 각 1.67, 0.93, 1.39, 그리고 0.95 log CFU/mL의 감균 효과가 나타남.

(3) 그러므로 오렌지 주스의 *E. coli* O157:H7의 제어에 자외선-광촉매처리가 제일 효과적이었음을 알 수 있으며, 각 종 처리에 대한 적합한 kinetic model을 확인함.

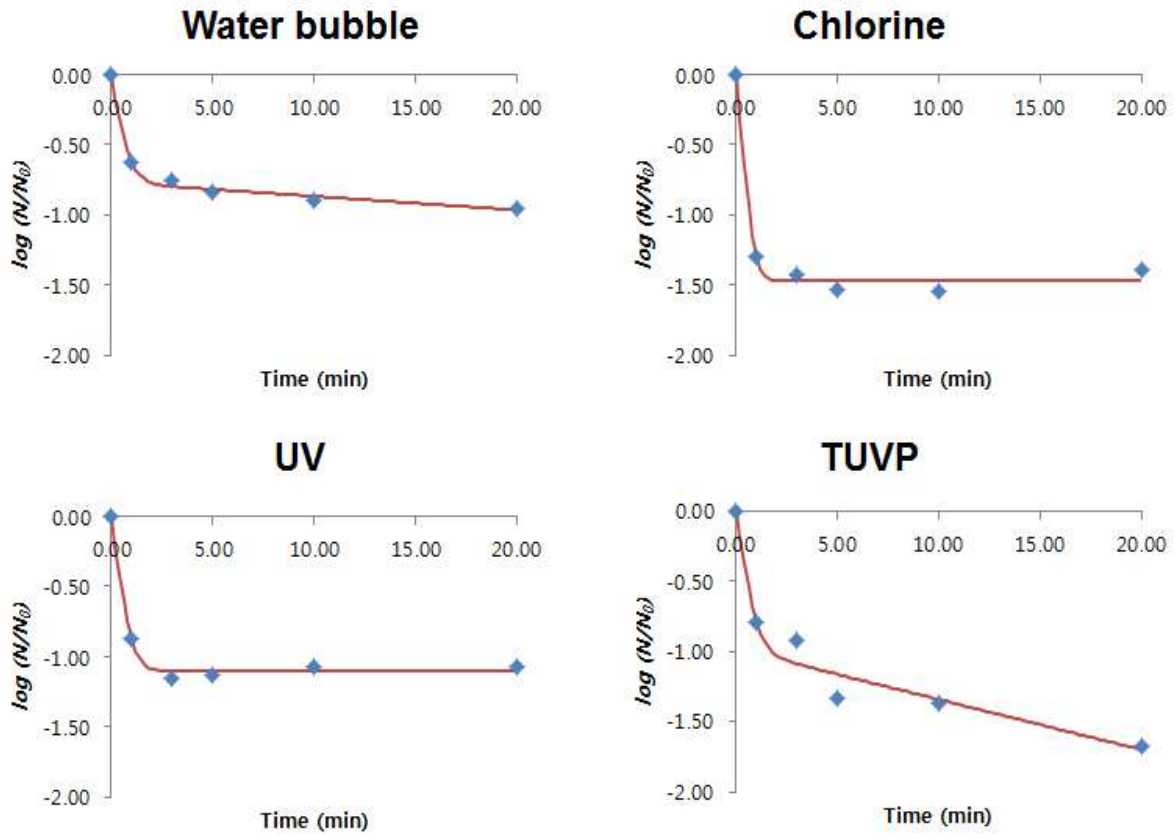


그림 22. Biphasic model을 이용한 살균 효과 비교(그래프)

표 10. Biphasic model을 이용한 살균 효과 비교(수치)

Initial count: 5.0 log CFU/mL		Model parameter ± SD			R <sup>2</sup>	MSE
		<i>f</i>	<i>k</i> <sub>max1</sub>	<i>k</i> <sub>max2</sub>		
	Water bubble	0.8956±0.0547	2.41±0.35	0.02±0.01	0.9949	0.0397
Orange juice from inoculated oranges	Chlorine	0.9663±0.0094	4.07±0.76	0.00±0.02	0.9907	0.0907
	UVC	0.9215±0.0123	2.80±0.54	0.00±0.01	0.9347	0.0510
	TUVP	0.8956±0.0547	2.56±1.13	0.08±0.03	0.9666	0.1707

All data were the means ±SD, n=3. Different lowercase letters in the same column indicate a significant difference (*P* < 0.05).

(4) Biphasic model에 대입했을 시, 각 처리 조건들이 이에 적합함을 알 수 있었음.

(가) Biphasic model의 정의

$$\log_{10}N = \log_{10}N_0 + \log_{10}(fe^{-k_{max1}t} + (1-f)e^{-k_{max2}t})$$



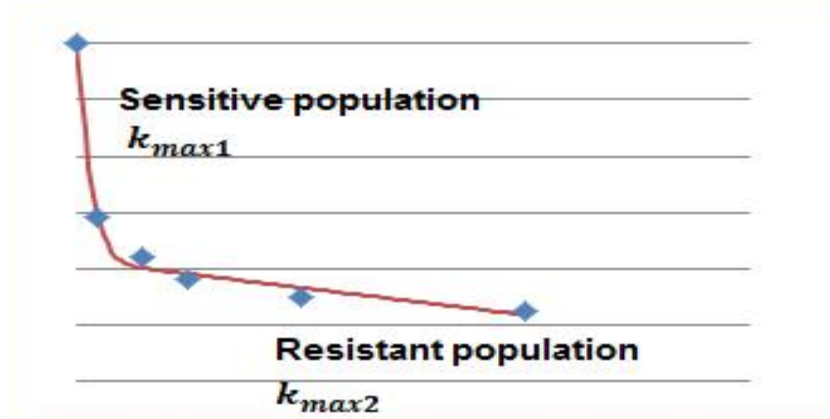


그림 23. Biphasic model의 그래프

$f$ : fraction of the sensitive population

$(1 - f)$ : fraction of the resistant population

$k_{max1}$ : Inactivation rates of the sensitive population

$k_{max2}$ : Inactivation rates of the resistant population

$t$ : treatment time (min)

#### 다. 착즙한 수박 주스의 나선형 자외선 시스템에 따른 살균 효과 및 품질 변화 비교

(1) 식품 내 주요 균총인 호기성 세균, 대장균군, 효모 및 곰팡이에 대한 살균력을 측정함.

(2) 수박 주스의 처리 유속을 달리하여 자외선 조사량을 변화시킨 후, 각 처리 조건별 살균력을 측정했음.

표 11. 나선형 자외선 시스템을 이용한 수박 주스의 자외선 조사량별 살균력 (차례로 호기성 세균, 대장균군, 효모 및 곰팡이)

Treatment	Microbial populations		
	Total aerobes	Coliform	Yeast and molds
No treatment	2.73 ± 0.11 <sup>d</sup>	1.62 ± 0.20 <sup>e</sup>	3.47 ± 0.29 <sup>e</sup>
2.7 J/mL UV dose	2.13 ± 0.01 <sup>e</sup>	N.D <sup>a</sup>	2.94 ± 0.04 <sup>b</sup>
5.4 J/mL UV dose	2.16 ± 0.08 <sup>e</sup>	N.D <sup>a</sup>	2.87 ± 0.05 <sup>ab</sup>
9.4 J/mL UV dose	1.46 ± 0.07 <sup>b</sup>	N.D <sup>a</sup>	2.47 ± 0.07 <sup>a</sup>
37.5 J/mL UV dose	1.26 ± 0.14 <sup>a</sup>	N.D <sup>a</sup>	2.48 ± 0.03 <sup>a</sup>

(3) 호기성 세균의 경우 가장 높은 자외선 조사량인 37.5 J/mL에서 약 1.47 log, 효모 및 곰팡이의 경우는 약 1 log 만큼 감소하였으며, 대장균군은 가장 낮은 자외선 조사량인 2.7 J/mL에서도 발견되지 않은 것을 확인할 수 있었음.

(4) 나선형 자외선 살균 시스템의 자외선 조사량이 순차적으로 증가하면서 살균력도 증가했으나, 자외선 조사량 9.4 J/mL와 37.5 J/mL에서의 살균력은 큰 차이 없는 것을 알 수 있음.

(5) 살균 처리가 수박 주스의 품질에 미치는 영향을 조사하기 위해 품질 지표가 되는 수박 주스의 pH, 당도, 색도, 라이코펜 함량, 페놀성분의 변화를 측정함.

표 12. 나선형 자외선 시스템으로 처리한 수박 주스의 품질 분석 (차례로 pH, 당도)

Treatment	Quality parameters	
	pH	° Brix
No treatment	5.74 ± 0.04 <sup>b</sup>	10.90 ± 0.07 <sup>a</sup>
2.7 J/mL UV dose	5.75 ± 0.01 <sup>b</sup>	10.93 ± 0.00 <sup>a</sup>
5.4 J/mL UV dose	5.74 ± 0.01 <sup>b</sup>	10.95 ± 0.00 <sup>a</sup>
9.4 J/mL UV dose	5.71 ± 0.01 <sup>ab</sup>	10.94 ± 0.01 <sup>a</sup>
37.5 J/mL UV dose	5.67 ± 0.00 <sup>a</sup>	10.92 ± 0.00 <sup>a</sup>

표 13. 나선형 자외선 시스템으로 처리한 수박 주스의 품질 분석 (차례로 총 라이코펜 함량, 총 페놀성분 함량)

Treatment	Quality parameters	
	TL (mg/L)	TP (mg GAE/mL)
No treatment	35.22 ± 1.35 <sup>b</sup>	19.22 ± 2.22 <sup>a</sup>
2.7 J/mL UV dose	33.57 ± 0.11 <sup>a</sup>	20.26 ± 3.71 <sup>a</sup>
5.4 J/mL UV dose	34.00 ± 0.34 <sup>ab</sup>	19.35 ± 2.47 <sup>a</sup>
9.4 J/mL UV dose	35.51 ± 0.41 <sup>b</sup>	20.42 ± 3.57 <sup>a</sup>
37.5 J/mL UV dose	35.31 ± 0.00 <sup>b</sup>	16.99 ± 1.03 <sup>a</sup>

표 14. 나선형 자외선 시스템으로 처리한 수박 주스의 품질 분석 (차례로 밝기, 적색도, 황색도, TCD)

Treatment	Quality parameters			ICD
	L*	a*	b*	
No treatment	21.67 ± 0.45 <sup>a</sup>	6.74 ± 0.54 <sup>a</sup>	8.63 ± 0.37 <sup>b</sup>	0
2.7 J/mL UV dose	21.19 ± 0.04 <sup>a</sup>	6.91 ± 0.03 <sup>a</sup>	9.37 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.90
5.4 J/mL UV dose	21.38 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.71 ± 0.03 <sup>a</sup>	8.84 ± 0.04 <sup>bc</sup>	0.36
9.4 J/mL UV dose	22.97 ± 1.27 <sup>b</sup>	6.37 ± 0.50 <sup>a</sup>	7.92 ± 0.69 <sup>a</sup>	1.53
37.5 J/mL UV dose	21.34 ± 0.09 <sup>a</sup>	6.92 ± 0.09 <sup>a</sup>	8.45 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.42

(6) pH, 당도, 색도, 라이코펜 함량에서 큰 변화는 없는 것으로 관찰되었으며, 가장 높은 자외선 조사량인 37.5 J/mL에서 수박 주스의 페놀 함량이 미미하게 감소한 것을 관찰할 수 있었음.

(7) 나선형 자외선의 자외선 조사량별 수박 주스의 살균력은 단계별로 큰 차이를 나타내지 않았으므로 자외선 조사량이 가장 낮고, 높은 자외선 조사량(2.7 J/mL, 37.5 J/mL)으로 처리한 수박 주스의 저장 실험만 실시함(5 °C 이고, 저장기간은 37일).

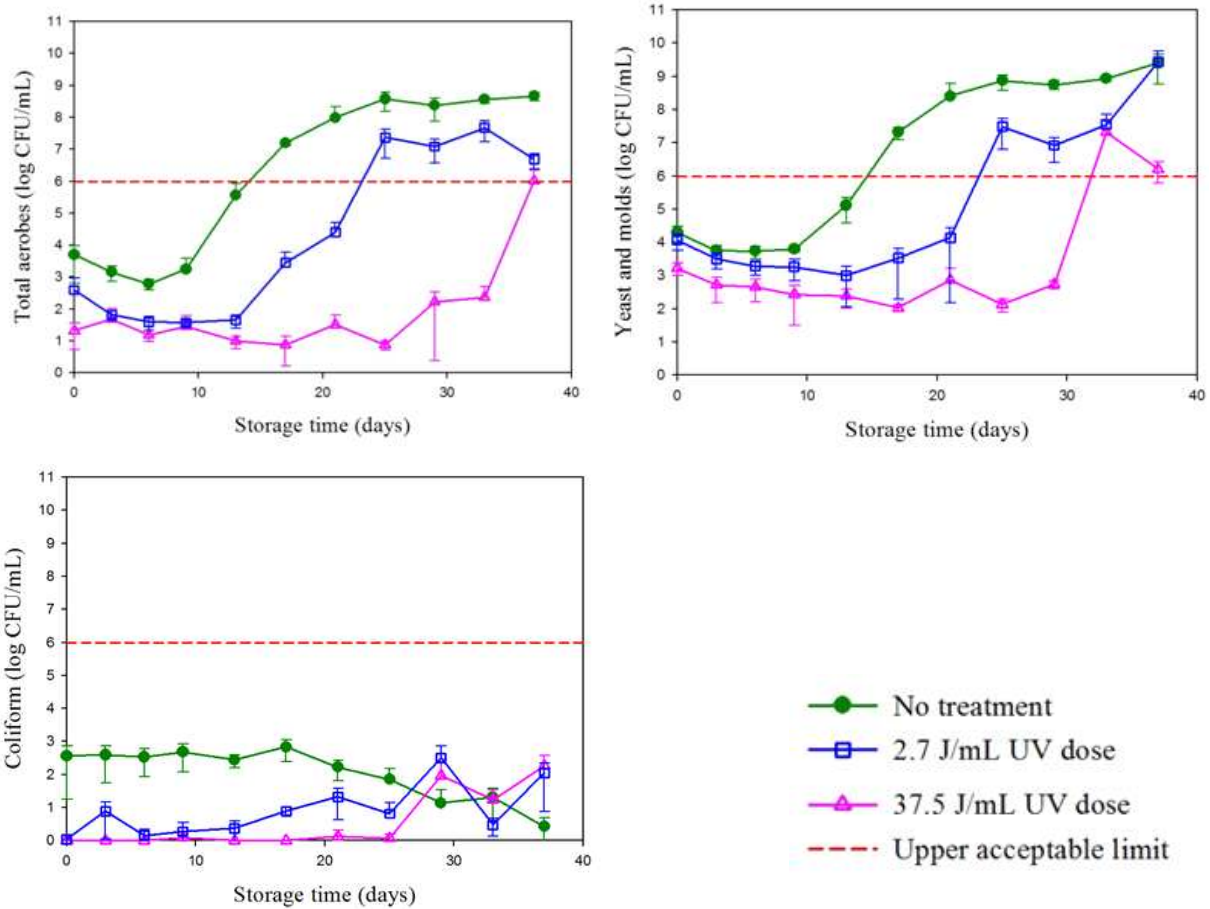


그림 24. 나선형 자외선 시스템으로 처리한 수박 주스의 미생물 증식도 (차레로 호기성 세균, 효모 및 곰팡이, 대장균군).

(8) 호기성 세균의 경우 높은 자외선 조사량으로 처리했을 시, 37일이 지나서 미생물의 생장이 섭취 허용량인 6 log CFU/mL를 넘어섰고, 낮은 자외선 조사량으로 처리한 것은 약 20일 만에 넘어선 것을 관찰 할 수 있었음.

(9) 효모 및 곰팡이도 호기성 세균과 비슷한 경향으로 증식 하였는데, 높은 자외선 조사량에서는 약 30일, 낮은 자외선 조사량에서는 약 20일이 지나서 6 log CFU/mL를 넘어선 것을 관찰할 수 있었음.

(10) 대장균군의 경우 높은 자외선 조사량으로 처리한 수박 주스의 경우 약 25일까지 균이 증식하지 않았고, 낮은 자외선 조사량으로 처리한 것은 균이 서서히 증식하는 경향을 보였지만, 세균 수가 수박 주스의 품질에 영향을 주지 않을 정도로 적음.

### 3. 과채주스의 자외선-광촉매 시스템과 초고압 처리에 따른 살균 효율 및 품질 특성 비교 가. 착즙한 케일 주스의 Batch형 자외선-광촉매 시스템에 따른 살균 효과 비교

(1) 케일의 특성을 고려하여 대장균(*E.coli* O157:H7), 리스테리아, 효모균을 선택, 집중하여 Batch형 자외선-광촉매 시스템을 이용하여 미생물의 사멸 효과를 확인하였음.

(2) 자외선-광촉매 살균 시스템의 살균 효율을 알아보기 위해 자외선 살균 방법과 산업에서의 기존 방식인 염소(200 ppm)처리 방법을 비교 분석함.

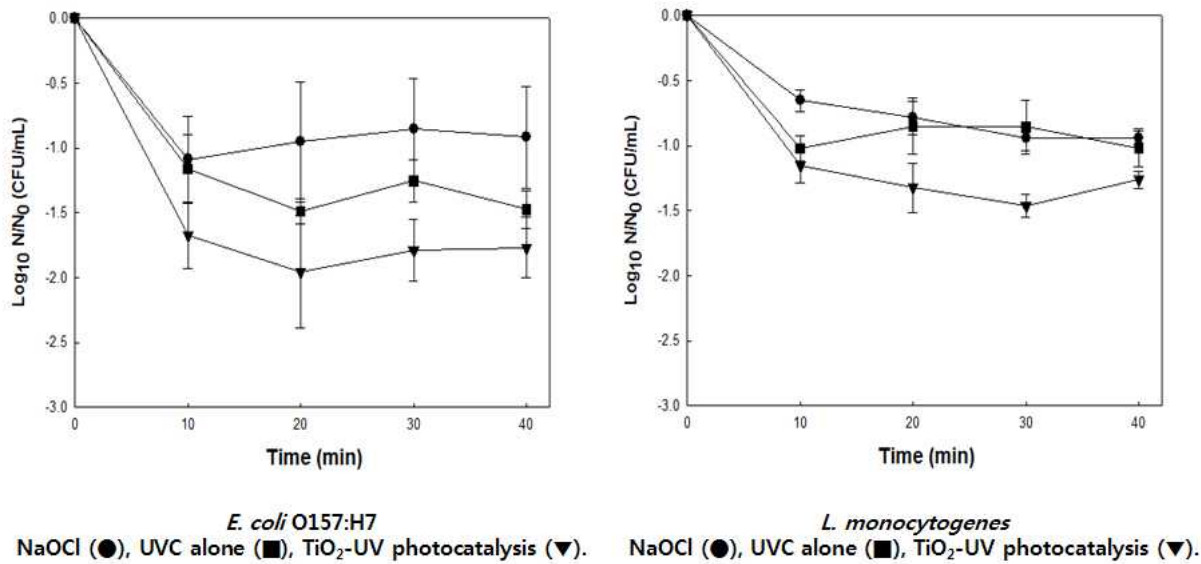


그림 25. Batch형 자외선-광촉매 시스템을 이용한 미생물 살균효과 비교 (대장균, 리스테리아)

(3) 대장균이 접종된 케일 주스를 자외선-광촉매 시스템에 10분 처리하였을 때 급격한 감소를 보였고, 20분 처리 뒤에는 총 1.96 log CFU/mL의 감소를 보였음.

(4) 리스테리아가 접종된 케일 주스를 자외선-광촉매 시스템으로 30분 처리 하였을 때 총 1.46 log CFU/mL 감소하였음.

(5) 자외선-광촉매 시스템이 염소살균과 자외선을 단독으로 처리했을 때보다 대장균과 리스테리아의 살균력이 높음을 확인함.

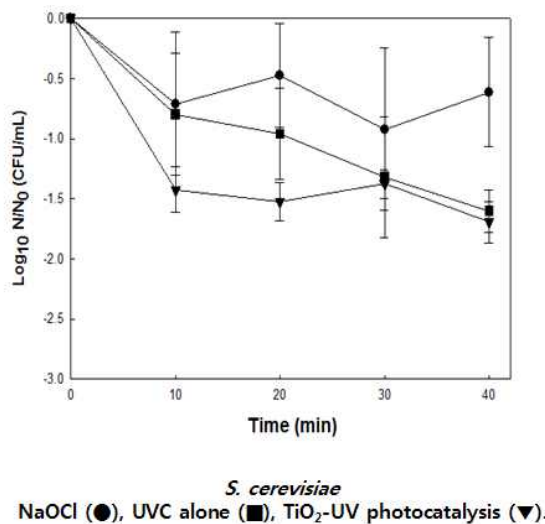


그림 26. Batch형 자외선-광촉매 시스템을 이용한 효모균의 살균효과 비교

(6) Batch형 자외선-광촉매 시스템을 효모균이 접종된 케일 주스에 10분 조사했을 경우 급격한 감소를 보였으나 20분 이상 처리했을 때와 큰 차이를 보이지 않았으며, 40분 처리 했을 때 1.70 log CFU/mL 감소를 보였음.

(7) 염소살균, 자외선 처리, 자외선-광촉매 시스템 처리를 비교하였을 때, 자외선-광촉매 시스템을 이용하여 처리한 효모균 접종 케일 주스가 가장 높은 살균력을 보였음.

#### 나. 착즙한 케일 주스의 Batch형 자외선-광촉매 시스템과 초고압 처리에 따른 살균 효과 비교

(1) 더 높은 살균 효과를 위해 다른 비가열 살균 기술인 초고압 처리 방식을 병합 처리하여 살균력을 확인하였음.

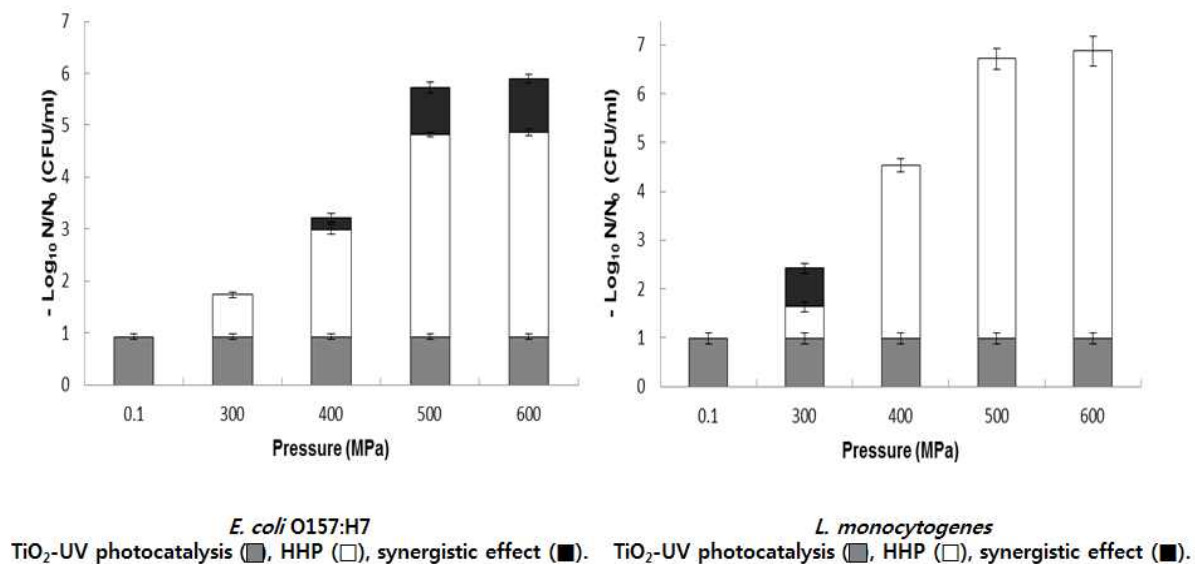
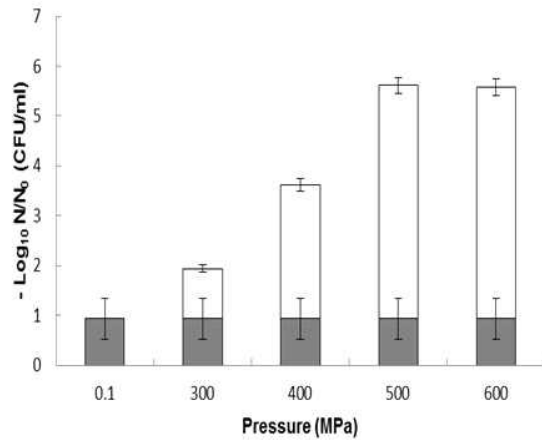


그림 27. Batch형 자외선-광촉매 시스템과 초고압 처리를 이용한 미생물 살균효과 비교 (대장균, 리스테리아)

(2) Batch형 자외선-광촉매 살균 방법을 이용하여 케일 주스에 조사하였을 때 대장균과 리스테리아 모두 약 1 log CFU/mL 감소하였음.

(3) 대장균을 접종한 케일 주스를 초고압 처리하였을 때 압력이 높을수록 살균력이 증가하였지만 500 MPa이후부터는 살균력에서 큰 차이가 나지 않았으며, 초고압 처리와 자외선-광촉매 살균 시스템을 병합하였을 때 400 MPa 이상의 압력에서 추가적인 감균 효과를 보였음.

(4) 리스테리아를 접종한 케일 주스는 초고압과 자외선-광촉매 시스템을 병합 처리 하였을 때 압력을 300 MPa로 병합한 경우에만 추가적인 감균 효과를 보였음.



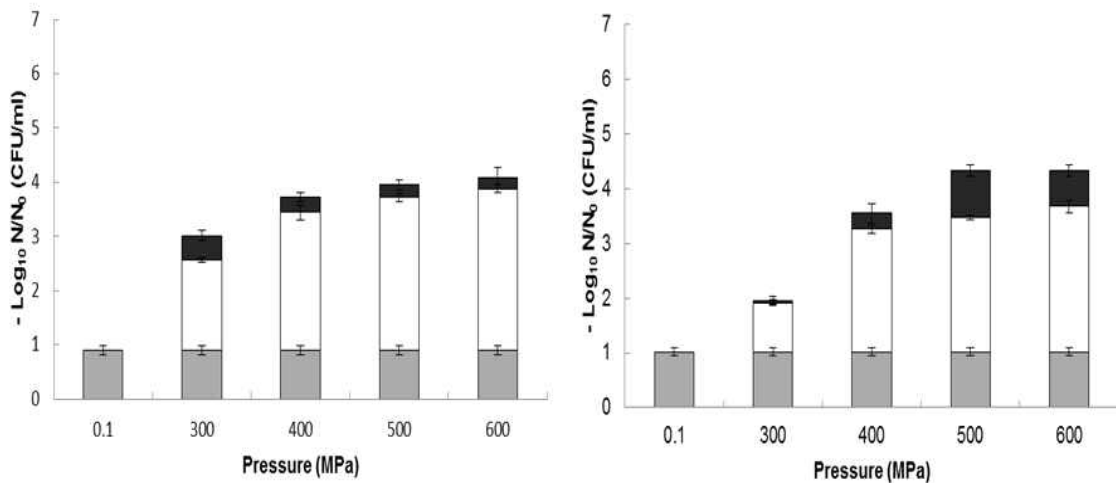
*S. cerevisiae*  
TiO<sub>2</sub>-UV photocatalysis (■), HHP (□), synergistic effect (■).

그림 28. Batch형 자외선-광촉매 시스템과 초고압을 이용한 미생물 살균효과 비교 (효모균)

(5) 자외선-광촉매 살균 방법을 이용하여 효모균이 접종된 케일 주스를 처리 하였을 때 약 1 log CFU/mL의 살균효과를 보였음.

(6) 초고압 처리 결과 높은 압력으로 처리할수록 높은 살균력을 보였고 500 MPa과 600 MPa로 처리한 시료는 살균력에서 큰 차이를 보이지 않았음.

(7) 자외선-광촉매 시스템과 초고압 살균 방법을 병합하여 살균력을 분석하였지만 추가적인 효과를 보이지 않았음.

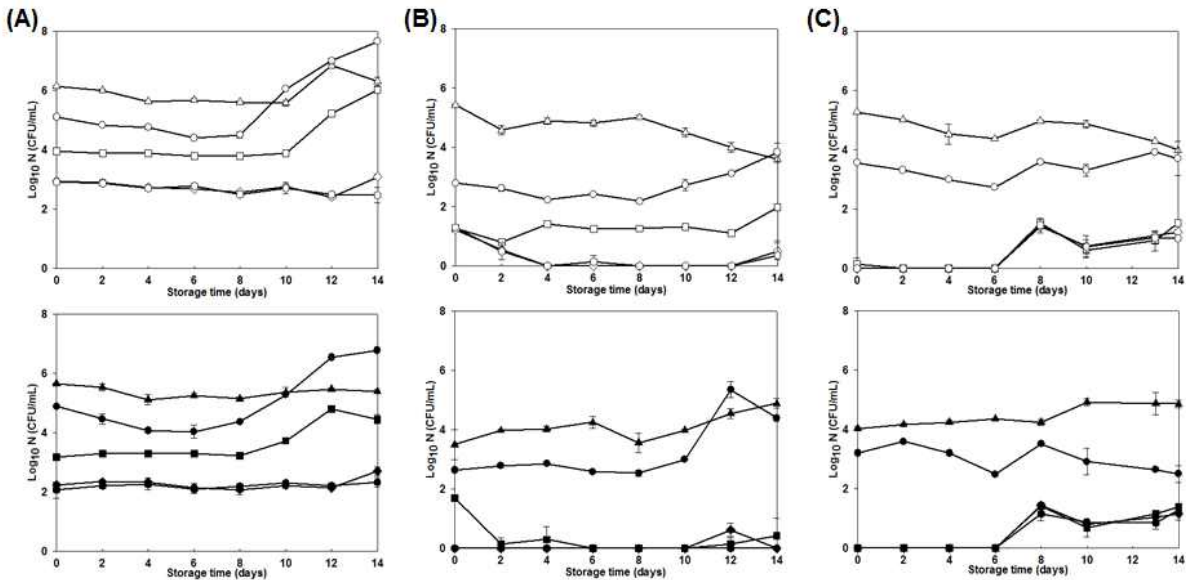


TiO<sub>2</sub>-UV photocatalysis (20 min) with HHP  
TiO<sub>2</sub>-UV photocatalysis (30 min) with HHP  
TiO<sub>2</sub>-UV photocatalysis (■), HHP (□), synergistic effect (■). TiO<sub>2</sub>-UV photocatalysis (■), HHP (□), synergistic effect (■).

그림 29. Batch형 자외선-광촉매 시스템과 초고압 처리를 이용한 미생물 살균효과 비교 (호기성 세균)

(8) 천연균에서의 효과를 보기 위해 자외선-광촉매를 20분 간 처리하여 초고압 압력 300 MPa 과 병합한 케일 주스의 추가적인 효과는 0.45 log CFU/mL이었고 자외선-광촉매를 30분 간 처리하여 압력 500 MPa을 병합한 경우 추가적으로 0.86 log CFU/mL정도 더 상승하였음.

(9) 자외선-광촉매를 20분간 처리하여 압력 300 MPa로 처리한 케일 주스에서 가장 높은 추가적 효과를 보였지만 살균력은 다소 낮음을 확인하였음.



**Effects of combined treatment of TiO<sub>2</sub>-UV photocatalysis (30 min) with HHP. Total aerobic bacteria (A), *Pseudomonas* (B), coliform (C). Control (Δ), HHP300 (○), HHP400 (□), HHP500 (◇), HHP600 (◊), pUV (▲), pUV-HHP300 (●), pUV-HHP400(■), pUV-HHP500 (◆), pUV-HHP600 (●).**

**그림 30.** 저장기간에 따른 Batch형 자외선-광촉매 시스템과 초고압 처리를 이용한 천연균 살균효과 비교(호기성 세균, 슈도모나스, 대장균군)

(10) 자외선-광촉매 처리를 하였을 때 저장실험(14일)동안 호기성균, 슈도모나스, 대장균군이 감소하였음.

(11) 초고압 압력을 300 MPa과 400 MPa로 처리한 케일 주스의 호기성 세균, 슈도모나스, 대장균군은 0.5~4 log CFU/mL정도의 살균력을 보였으며, 저장기간 중 점차 증가하는 경향을 보임.

(12) 500 MPa과 600 MPa로 처리한 케일 주스 내 슈도모나스와 대장균군은 완전히 사멸되었으며, 슈도모나스는 특히, 자외선-광촉매 시스템과 초고압 400 MPa을 병합했을 때 급격한 감소를 보임.

다. 착즙한 케일 주스의 Batch형 자외선-광촉매 시스템과 초고압 처리에 따른 품질 변화 비교

표 15. Batch형 자외선-광촉매 시스템과 초고압 처리한 케일 주스의 pH 변화 (저장기간: 14일)

Treatments	Storage day							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	5.73 ± 0.01	5.65 ± 0.01	5.55 ± 0.01	5.54 ± 0.01	5.52 ± 0.01	5.50 ± 0.01	5.55 ± 0.01	5.61 ± 0.02
pUV	5.79 ± 0.00	5.70 ± 0.01	5.68 ± 0.01	5.69 ± 0.01	5.67 ± 0.00	5.70 ± 0.01	5.77 ± 0.00	5.73 ± 0.01
HHP 300	5.70 ± 0.00	5.63 ± 0.00	5.58 ± 0.00	5.58 ± 0.00	5.57 ± 0.00	5.47 ± 0.00	5.49 ± 0.01	5.27 ± 0.00
HHP 400	5.69 ± 0.01	5.63 ± 0.00	5.55 ± 0.01	5.59 ± 0.01	5.51 ± 0.00	5.46 ± 0.00	5.49 ± 0.00	5.46 ± 0.01
HHP 500	5.75 ± 0.04	5.61 ± 0.00	5.54 ± 0.00	5.54 ± 0.00	5.52 ± 0.00	5.47 ± 0.00	5.42 ± 0.00	5.40 ± 0.00
HHP 600	5.69 ± 0.00	5.62 ± 0.00	5.56 ± 0.00	5.54 ± 0.00	5.52 ± 0.00	5.43 ± 0.00	5.49 ± 0.01	5.46 ± 0.00
pH								
pUV+HHP 300	5.79 ± 0.00	5.71 ± 0.01	5.62 ± 0.00	5.66 ± 0.00	5.63 ± 0.00	5.59 ± 0.00	5.54 ± 0.00	5.48 ± 0.00
pUV+HHP 400	5.77 ± 0.01	5.69 ± 0.00	5.63 ± 0.00	5.63 ± 0.00	5.59 ± 0.01	5.56 ± 0.00	5.58 ± 0.01	5.47 ± 0.00
pUV+HHP 500	5.78 ± 0.01	5.71 ± 0.00	5.64 ± 0.01	5.66 ± 0.01	5.60 ± 0.00	5.56 ± 0.00	5.56 ± 0.00	5.48 ± 0.00
pUV+HHP 600	5.78 ± 0.00	5.74 ± 0.00	5.65 ± 0.00	5.63 ± 0.01	5.61 ± 0.00	5.56 ± 0.00	5.55 ± 0.00	5.54 ± 0.01

(1) 초고압과 Batch형 자외선-광촉매 시스템을 단독으로 처리했을 때와 병합 처리한 케일 주스는 처리 전 케일 주스의 pH와 차이가 없었음.

(2) 14일의 저장기간 중 초고압 처리한 케일 주스의 pH는 처리 전과 자외선-광촉매 처리한 케일 주스에서보다 더 빨리 감소하였음.

(3) 케일 주스에 초고압 처리를 한 결과 높은 압력을 가할수록 밝기, 적색도, 황색도가 모두 증가하는 경향을 보임.

(4) Batch형 자외선-광촉매 시스템만을 이용하여 처리한 케일 주스의 밝기, 적색도, 황색도가 다른 처리군을 통틀어 가장 낮았음.

(5) 초고압을 단독 처리했을 때와 병합 처리한 케일 주스의 색변화가 거의 없었음.

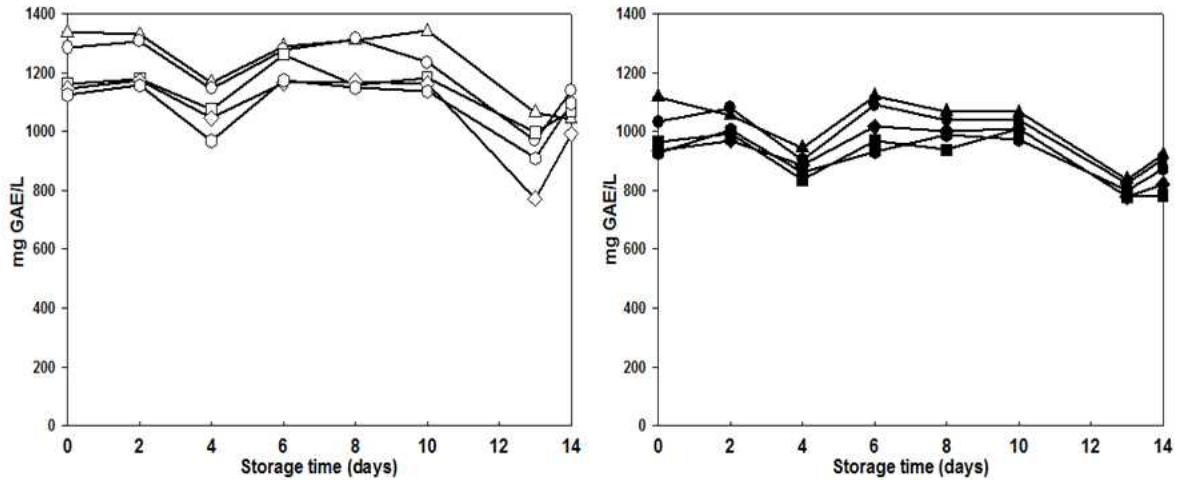


표 16. Batch형 자외선-광촉매 시스템과 초고압을 처리한 케일 주스의 색도 변화 (저장기간:14일)

Treatments	Storage day								
	0	2	4	6	8	10	12	14	
L*	Control	21.26±0.01	21.26±0.01	21.33±0.01	21.50±0.01	21.26±0.03	21.22±0.02	21.52±0.04	22.25±0.13
	pUV	20.69±0.03	21.53±0.08	20.82±0.03	20.72±0.03	20.76±0.03	21.05±0.06	20.91±0.01	21.20±0.03
	HHP 300	22.24±0.02	22.05±0.01	21.67±0.03	21.78±0.02	21.46±0.01	22.12±0.03	21.60±0.01	22.08±0.02
	HHP 400	25.10±0.05	24.53±0.01	24.08±0.02	23.94±0.01	23.77±0.01	23.52±0.01	23.16±0.03	23.11±0.03
	HHP 500	25.43±0.03	25.14±0.02	24.69±0.00	25.12±0.01	24.14±0.01	23.82±0.02	24.87±0.01	24.22±0.03
	HHP 600	25.46±0.01	25.90±0.01	25.37±0.01	24.96±0.01	24.07±0.02	24.06±0.02	23.56±0.01	23.56±0.01
	pUV+HHP 300	21.83±0.02	22.28±0.02	21.94±0.03	21.70±0.01	21.50±0.03	21.74±0.02	21.77±0.02	21.87±0.02
	pUV+HHP 400	25.12±0.04	24.91±0.01	24.98±0.02	23.98±0.01	24.13±0.02	23.73±0.01	23.11±1.17	23.92±0.01
	pUV+HHP 500	26.07±0.02	24.86±0.00	24.77±0.01	24.98±0.01	23.93±0.01	24.26±0.01	23.66±0.01	23.97±0.02
	pUV+HHP 600	25.69±0.01	24.95±0.01	24.65±0.01	24.85±0.01	24.28±0.02	24.13±0.02	23.88±0.01	23.55±0.02
a*	Control	-10.96±0.06	-10.95±0.07	-10.65±0.06	-10.95±0.03	-10.85±0.03	-10.60±0.01	-10.90±0.06	-11.03±0.06
	pUV	-10.92±0.03	-10.71±0.02	-10.66±0.03	-10.66±0.02	-10.65±0.06	-10.48±0.07	-10.50±0.05	-10.32±0.06
	HHP 300	-11.94±0.05	-11.73±0.02	-11.46±0.04	-11.43±0.04	-11.33±0.02	-11.38±0.02	-11.16±0.04	-11.41±0.02
	HHP 400	-14.40±0.05	-13.89±0.02	-13.60±0.02	-13.06±0.05	-13.18±0.06	-12.52±0.01	-12.45±0.04	-12.04±0.02
	HHP 500	-14.68±0.05	-14.24±0.05	-13.72±0.03	-13.53±0.01	-13.28±0.03	-12.85±0.01	-12.95±0.08	-12.82±0.05
	HHP 600	-14.88±0.03	-14.29±0.07	-14.06±0.02	-13.62±0.02	-13.53±0.01	-13.11±0.06	-12.77±0.02	-12.54±0.02
	pUV+HHP 300	-11.94±0.01	-11.80±0.05	-11.56±0.02	-11.50±0.03	-11.61±0.08	-11.42±0.09	-11.30±0.03	-11.24±0.05
	pUV+HHP 400	-14.25±0.05	-13.86±0.05	-13.69±0.04	-13.43±0.05	-13.53±0.03	-12.92±0.05	-12.87±0.03	-12.41±0.02
	pUV+HHP 500	-14.47±0.04	-14.08±0.03	-13.72±0.05	-13.28±0.01	-13.35±0.03	-12.95±0.06	-12.90±0.02	-12.59±0.06
	pUV+HHP 600	-14.82±0.02	-14.30±0.01	-13.88±0.05	-13.64±0.05	-13.63±0.03	-13.21±0.07	-13.08±0.03	-12.48±0.03
b*	Control	17.32±0.10	17.55±0.11	17.29±0.01	17.59±0.11	17.93±0.08	17.73±0.06	18.28±0.04	18.52±0.07
	pUV	17.44±0.03	17.06±0.03	17.37±0.06	17.32±0.06	17.37±0.04	17.20±0.11	17.56±0.06	17.39±0.09
	HHP 300	18.79±0.06	18.66±0.02	18.58±0.09	18.59±0.12	18.26±0.03	18.54±0.02	18.33±0.07	18.86±0.11
	HHP 400	21.92±0.06	21.49±0.03	21.18±0.04	20.46±0.09	20.99±0.10	20.25±0.08	20.18±0.08	19.73±0.03
	HHP 500	22.53±0.02	22.18±0.06	21.57±0.03	21.18±0.03	21.28±0.02	20.88±0.02	21.14±0.07	21.31±0.04
	HHP 600	23.01±0.03	22.00±0.13	22.08±0.04	21.47±0.06	21.81±0.07	21.34±0.03	20.83±0.02	20.75±0.07
	pUV+HHP 300	18.86±0.03	18.62±0.04	18.55±0.02	18.56±0.07	18.98±0.08	18.68±0.07	18.64±0.12	18.72±0.06
	pUV+HHP 400	21.85±0.04	21.51±0.03	21.44±0.04	21.28±0.07	21.80±0.02	21.08±0.01	20.95±0.01	20.93±0.04
	pUV+HHP 500	22.14±0.06	22.06±0.04	21.51±0.04	20.81±0.07	21.60±0.08	20.89±0.07	21.37±0.05	21.19±0.02
	pUV+HHP 600	22.90±0.10	22.41±0.03	21.81±0.06	21.64±0.07	21.84±0.05	21.36±0.07	21.47±0.05	20.84±0.03

(6) 자외선-광촉매 시스템과 초고압을 처리한 뒤 14일 간의 색 변화를 측정하였을 때 시간이 지남에 따라 밝기, 적색도, 황색도 모두 감소하는 경향을 보임.

(7) Batch형 자외선-광촉매 살균 시스템이 케일 주스의 비타민, 무기질, 항산화 물질에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위해 페놀 화합물을 분석함.



Changes in total phenolic compound of treated kale juice during storage at 4 °C.  
 Control (△), HHP300 (○), HHP400 (□), HHP500 (◇), HHP600 (○), pUV (▲), pUV-HHP300 (●),  
 pUV-HHP400(■), pUV-HHP500 (◆), pUV-HHP600 (●).

그림 31. Batch형 자외선-광촉매 시스템과 초고압을 처리한 케일 주스의 페놀 화합물 (저장기간: 14일)

(8) 자외선-광촉매와 초고압 처리를 했을 시 케일 주스의 페놀 화합물이 파괴됨을 확인함.

(9) 미처리군의 페놀 화합물이 400 mg GAE/L보다 많이 함유되어있었고 저장기간 중 점차 감소하였음.

#### 4. 결론

- 살균 대상의 색이 진할 경우와 탁도가 높을 경우 과채주스가 자외선을 흡수하여 자외선 투과도가 현저히 저하되어 살균 효과가 감소함. 따라서 탁도가 높은 참외의 경우 살균 효과가 거의 없었지만 수분을 다량 함유하고 있어 상대적으로 투명도가 높은 수박 주스의 경우에는 살균 효과가 있었음.
- 자외선 시스템을 이용해 살균한 수박 주스의 경우 저장기간이 최대 자외선 조사량, 최소 자외선 조사량 모두에서 각각 37일, 20일이 더 연장되어 자외선 조사량에 따른 순차적 살균 효과가 검증되었으며, 자외선-광촉매 시스템을 이용한 살균 방법은 수박 주스의 품질에 거의 영향을 주지 않았음.
- 자외선-광촉매 시스템을 이용한 오렌지 주스의 살균 효과를 측정했을 때 주스의 탁도가 높기 때문에 15분 이하에서는 염소살균의 효율이 더 높았으나 살균 시간을 20분 이상으로 했을 때 자외선-광촉매 시스템의 효과가 가장 높게 나타났으며, 오렌지 주스의 각 처리별 살균 효과가 kinetics model 설정을 통해 Biphasic model이 적합함을 알 수 있었음.  
 (다음장)

- 과채주스의 높은 탁도로 인한 낮은 투과도로 인해 자외선 살균 효율이 낮으므로 케일 주스에서는 자외선-광촉매 시스템과 초고압을 병합 처리하였으며, 이때, 케일 주스 내 호기성 세균이 4 log CFU/mL 감소하고 기존의 염소 살균법에 비해 모든 균에서 추가적으로 1 log이상의 감균 효과를 보였음. 그리고 자외선-광촉매 시스템과 초고압 살균 처리를 한 케일 주스의 경우 색도, 페놀 화합물, pH 변화가 안정적으로 유지됨.
- 그러므로 신선 과채의 세척과정에서 자외선-광촉매 시스템을 적용 후 주스화(化)하고 초고압 처리를 병합한다면 미생물제어와 제품 품질 유지에 효과적인 방법이 될 것이라 예상됨.

## 제 4 절 식혜의 자외선-광촉매 살균 시스템

### 1. 시중 유통되는 식혜의 미생물 오염도 조사

(1) 참여기업 (주)한국야쿠르트의 자회사 “비락”에서 식혜를 제조할 때 Quality Control의 대상이 되는 호기성 세균, 대장균군의 오염도와 식혜의 원료인 엿기름에 존재할 수 있는 효모 및 곰팡이의 오염도를 조사함.

(2) 본 과제의 식혜 시료는 액상 부분으로 한정하였기에 식혜 밥알을 멸균된 50 mesh 치즈 클로스에 걸러 액상 부분만 자외선-광촉매 처리하였으며 분석에 사용함.

(3) 대량으로 유통되고 있는 시판 식혜의 경우, 가열처리 방식이기에 호기성 세균, 대장균군, 효모 및 곰팡이가 모두 검출되지 않았음.

(4) 직접 식혜를 제조하여 판매하는 곳에서 당일 제조한 식혜(평균 냉장 보관 가능 기간 : 2~3일)를 조달하여 미생물 오염도를 조사하였음.

표 17. 자가 제조 식혜의 초기 미생물 오염도

Microbial populations (log CFU/mL)		
Total aerobic bacteria	Coliform	Yeast and molds
2.91±0.72	3.02±0.03	3.80±0.02

(5) 호기성 세균과 대장균군은 약 3 log CFU/mL, 효모 및 곰팡이는 3.5~4 log CFU/mL 검출됨.

(6) 시료의 특성상 균이 잘 자랄 수 있는 환경이기에 식품 내 미생물 허용 수준인 5 log CFU/mL에 빠른 시일 내에 도달할 수 있는 음용 가능 기한이 짧은 음료이므로 효과적인 미생물 제어가 필요함.

(7) 효모 및 곰팡이의 오염도가 높았고 시료가 탁했기에 연속형 자외선-광촉매 살균 시스템의 자외선 조사량을 최대(12.8 J/cm<sup>2</sup>)로 한 실험군과 품질변화를 최소화하는 적정 조사량을 찾아야 하기 때문에 자외선 조사량을 최소(0.9 J/cm<sup>2</sup>)로 한 실험군이 필요했음.

2. 식혜의 자외선-광촉매 처리 조건에 따른 살균 효과 비교

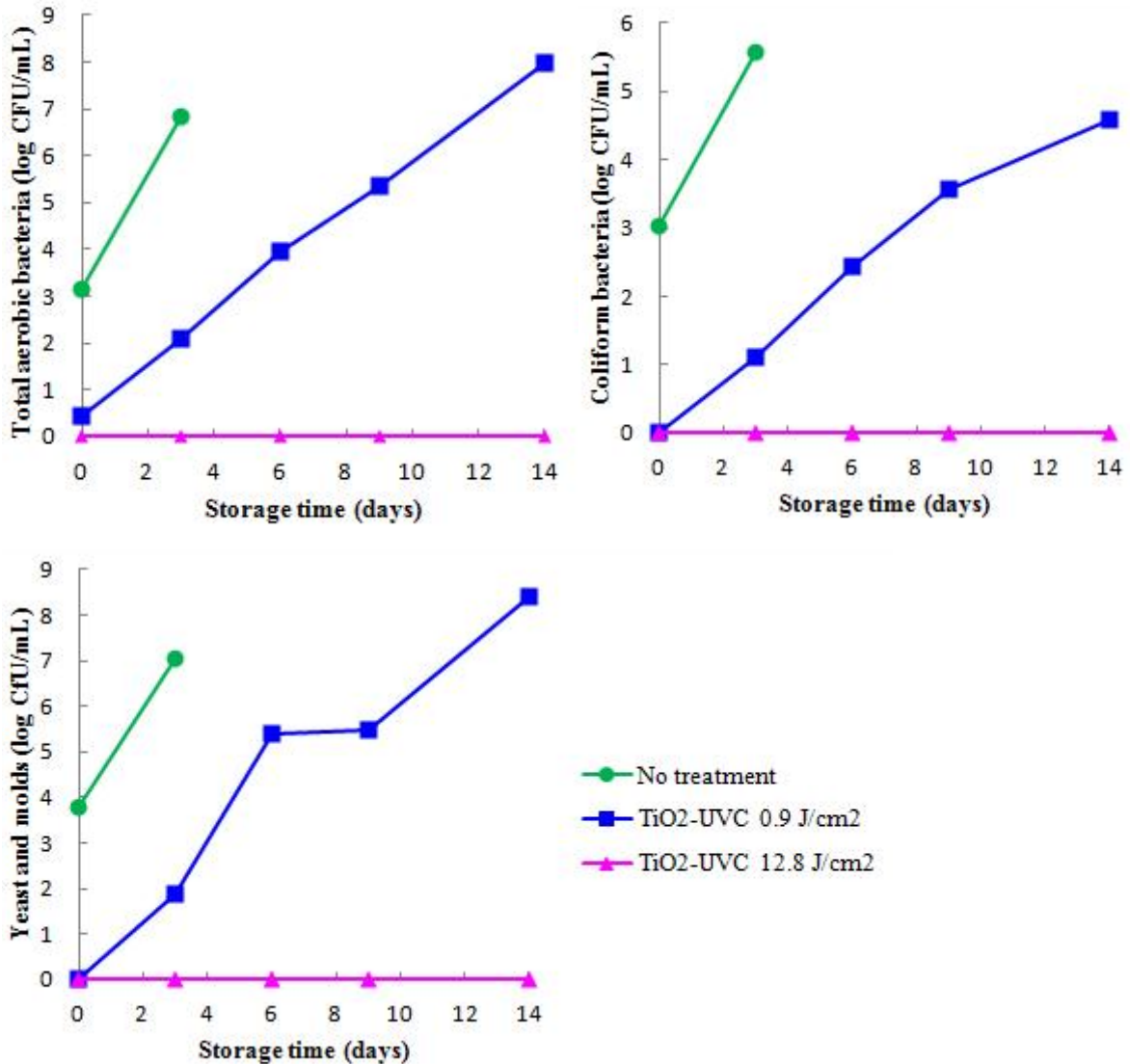


그림 32. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 식혜 내 미생물 변화 (14일 간 저장) (차레로 호기성 세균, 대장균군, 효모 및 곰팡이).

- (1) 연속형 자외선-광촉매 시스템에 식혜를 적용 후, 14일 간 저장 실험을 수행하면서, 호기성 세균, 대장균군 그리고 효모 및 곰팡이의 변화를 관찰함.
- (2) 연속형 자외선-광촉매 시스템의 자외선을 최소 조사 시 호기성 세균이 1 log CFU/mL 이하로 발견되었으며 최대 조사 시에는 발견되지 않았음.
- (3) 대장균군과 효모 및 곰팡이의 경우 연속형 자외선-광촉매 시스템의 자외선을 최소, 최대 조사 시 모두 시료에서 발견되지 않았음.
- (4) 미처리 시료는 2~3일 이내에 식품 허용 기준을 초과하는 반면 처리한 시료에서는 세균의 재생장이 더디게 일어남.

(5) 자외선을 최소 조사 시, 호기성 세균의 경우 저장 후 3일 경과 시 재생장이 나타났으나 식품 허용 기준을 벗어나는 시기는 저장기간 9일 경과 후였으며, 대장균군과 효모 및 곰팡이의 경우에도 3일 경과 시 재생장이 나타났고 효모 및 곰팡이의 경우 6~9일 사이에 식품 허용 기준을 벗어남 (저장 온도: 7 °C).

(6) 자외선 조사량 최대 시, 14일 저장기간 동안 호기성 세균, 대장균군, 효모 및 곰팡이가 발견되지 않았음.

(7) 살균에 적합한 조사량을 최적화시키기 위해 조사량의 변화(0.24 J/cm<sup>2</sup>, 0.48 J/cm<sup>2</sup>, 0.95 J/cm<sup>2</sup>)에 따른 미생물 오염도를 확인하였으며, 이때 산업에서의 품질 기준인 호기성 세균과 대장균군의 변화를 관찰함.

표 18. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 식혜 미생물 변화

Treatment	Microbial populations	
	Total aerobes	Coliform
No treatment	2.82 ± 0.29 <sup>a</sup>	2.30 ± 0.28 <sup>a</sup>
Heat treatment	1.06 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>b</sup>
TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	1.70 ± 0.15 <sup>c</sup>	1.19 ± 0.15 <sup>c</sup>
TiO <sub>2</sub> -UVC 0.48 J/cm <sup>2</sup>	0.87 ± 0.42 <sup>b</sup>	0.40 ± 0.35 <sup>d</sup>
TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>	0.07 ± 0.06 <sup>d</sup>	0.07 ± 0.12 <sup>b</sup>

(8) 모든 처리군에서 감균 효과가 있었으며, 0.95 J/cm<sup>2</sup> 조사량일 시 가장 높은 살균력을 보였음. (호기성 세균은 1.12~2.74 log CFU/mL, 대장균군에서는 1.11~2.23 log CFU/mL의 감소)

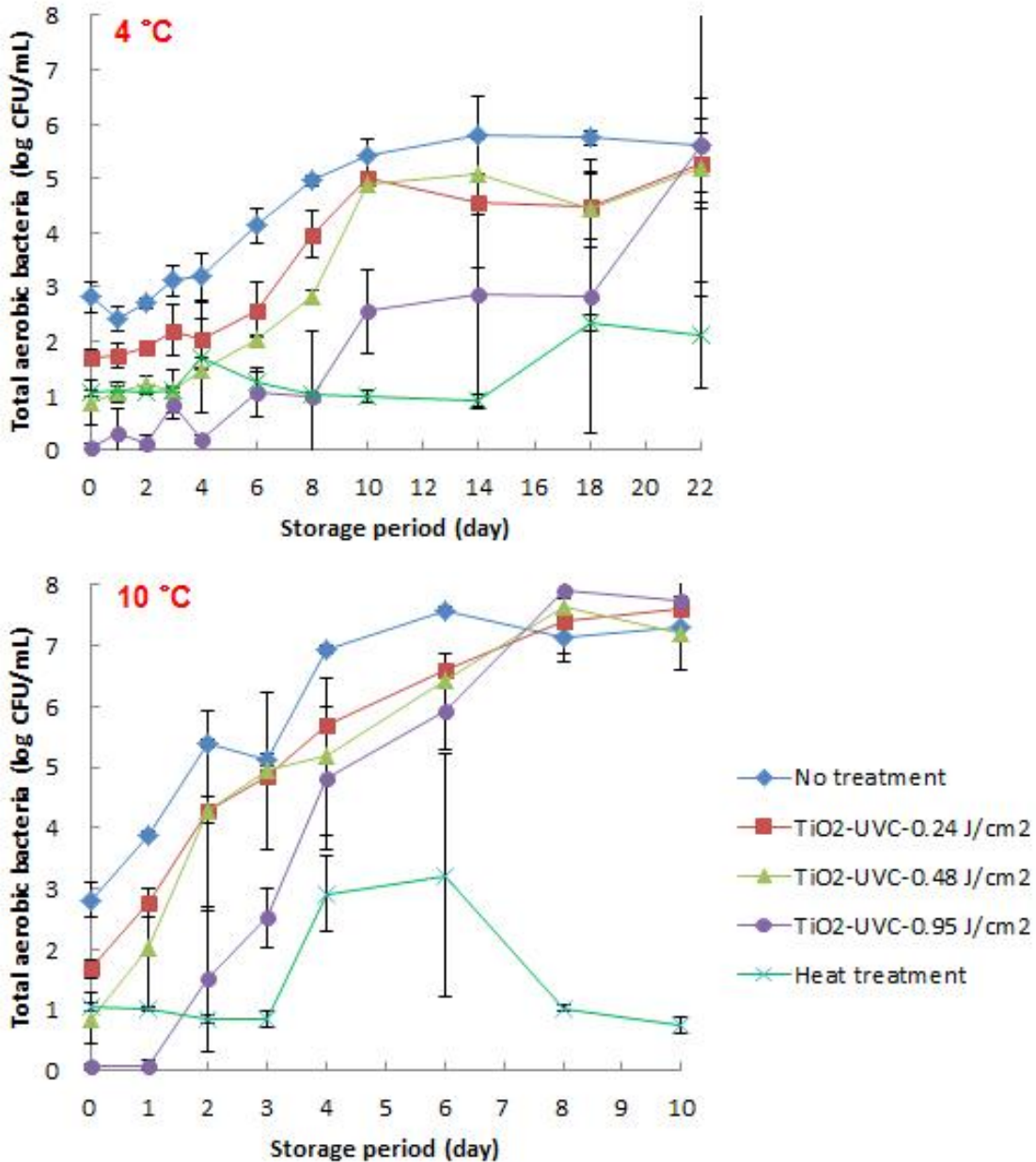


그림 33. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 식혜 내 호기성 세균의 온도에 따른 변화

(9) 저장기간(10일), 저장온도(4, 10 °C), 조사량, 그리고 열처리(90 °C에서 10분 간 가열)에 따른 살균 유지효과를 관찰하였고, 호기성 세균은 저장온도 4 °C와 0.95 J/cm<sup>2</sup>의 조사량에서 높은 살균 효과를 보였으나 10 °C에서는 4일까지는 높은 조사량에서 더디게 자랐으나 그 이후로는 다른 조사량에서의 수치와 비슷하게 관찰됨.

(10) 식혜 내 호기성 세균의 성장곡선을 비교하였을 때, 4 °C에서 저장한 시료들이 10 °C에서 저장한 시료들 보다 성장 속도가 느림을 확인할 수 있었으며, 열처리 후 저장기간 동안 재성장은 거의 없었음.

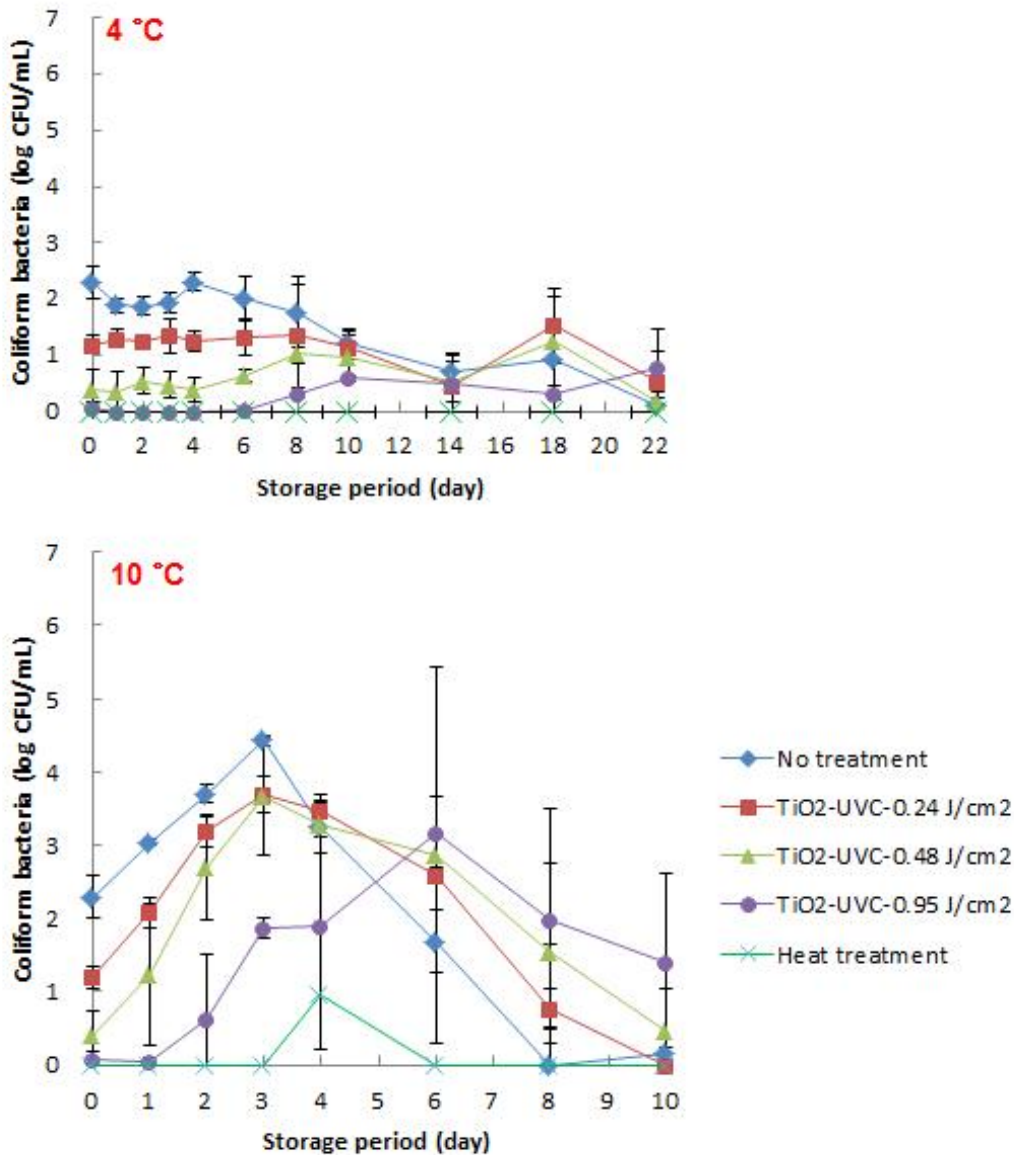


그림 34. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 식혜 내 대장균군의 온도에 따른 변화

(11) 저장기간(10일), 저장온도(4, 10 °C), 조사량, 그리고 열처리(90 °C에서 10분 간 가열)를 대장균군에 적용하여 살균 유지효과를 관찰하였음.

(12) 연속형 자외선-광촉매 시스템으로 처리한 뒤 4 °C에서 저장한 식혜 내의 대장균군은 4 일까지 거의 성장하지 않았음. 이후 균이 관찰되었지만 일정 시간이 지나면서 다시 감소하는 경향을 보였으며, 10 °C의 경우, 4일까지 증가하는 경향을 보이다가 점차 감소하였음.

(13) 자외선-광촉매 처리 후 저장기간 동안 대장균군의 성장의 경우, 낮은 온도에서는 조사량에 비례하여 억제되는 경향을 보이거나 그 차이가 크지 않았으며, 보다 높은 온도에서는 4일까지 조사량이 제일 많았던 시료에서 성장이 억제되었으나 이후 나머지 조사량의 시료들 보다 많이 성장하게 되었음. 열처리의 경우, 저장기간 동안 대장균 군이 거의 검출되지 않았음.



3. 식혜의 자외선-광촉매 살균 방법에 따른 품질 특성 비교

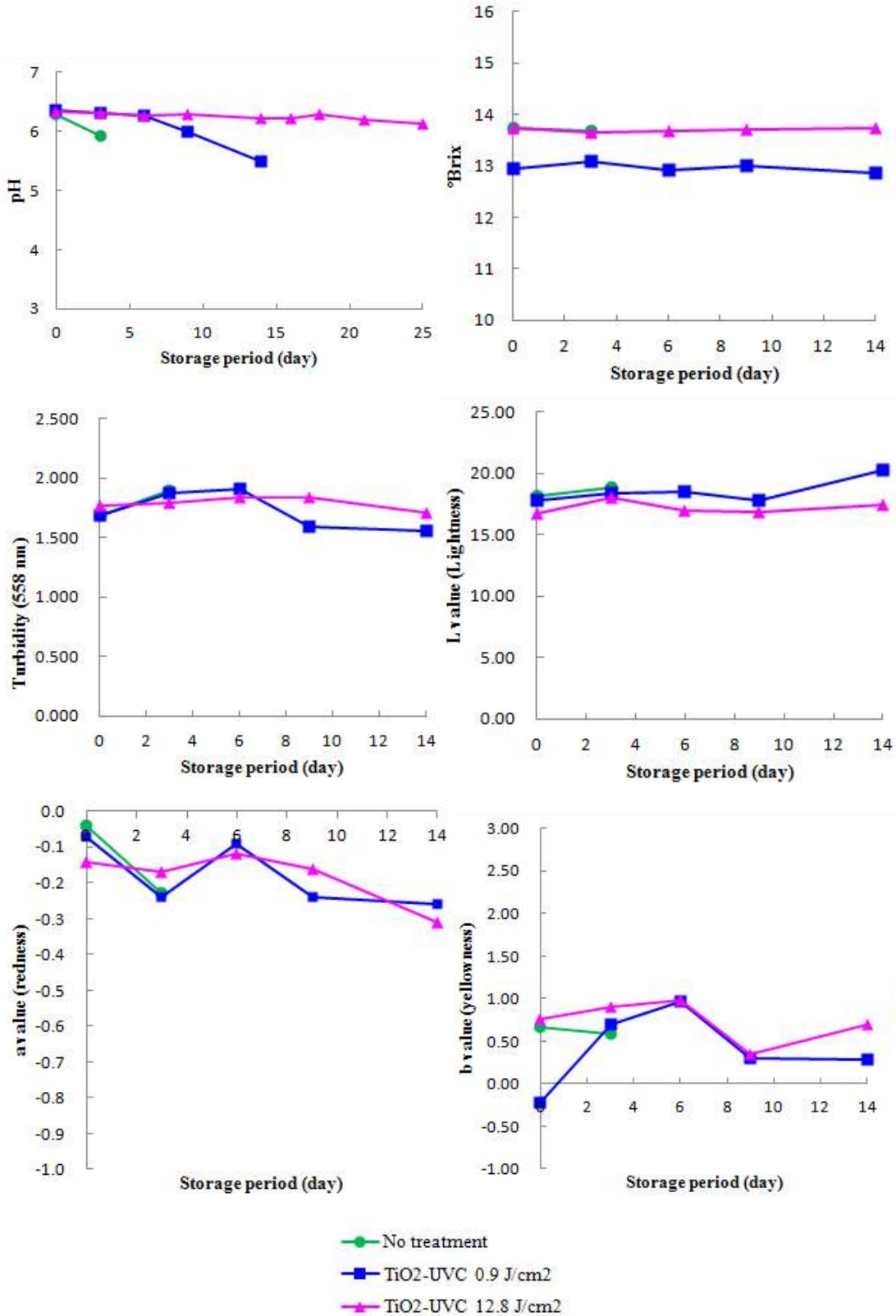


그림 35. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 식혜의 품질 변화 (차레로 pH, 당도, 탁도, 밝기, 적색도, 황색도).

(1) 연속형 자외선-광촉매 시스템을 식혜에 적용 후, 14일 간의 저장실험을 하여 품질 변화를

비교하였으며, 저장 시료 내 호기성 세균이 증가할수록 세균이 분비하는 산에 의해 pH가 감소하였음.

(2) pH가 6 이하로 감소했을 때 부패취가 났음. 그러므로 pH에 의해 저장 가능 기간을 추측해 보았을 때 미처리군, 최소 자외선 조사량으로 처리한 시료, 그리고 최대 자외선 조사량으로 처리한 시료 순으로 pH가 6 이하로 감소하는데 걸리는 기간이 길어졌기 때문에 자외선 조사량을 증가시킬수록 식혜의 저장 가능 기간이 연장됨을 알 수 있었음.

(3) 특히 자외선 조사량을 최대로 하여 처리하였을 때, 25일이 경과할 때까지 pH가 6 이상을 유지하는 것으로 보아 세균의 증식이 식품 허용 기준 이하인 것으로 추측되었음.

(4) 색도와 당도는 저장기간 동안 모든 시료에서 큰 변화가 없었음.

(5) 탁도는 미생물이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보임.

표 19. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 식혜의 품질 변화 (pH, 당도)

Treatment	Quality parameters	
	pH	°Brix
No treatment	6.22 ± 0.06 <sup>a</sup>	14.66 ± 0.02 <sup>a</sup>
Heat treatment	5.96 ± 0.02 <sup>b</sup>	14.73 ± 0.02 <sup>a</sup>
TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	6.25 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.35 ± 0.07 <sup>b</sup>
TiO <sub>2</sub> -UVC 0.48 J/cm <sup>2</sup>	6.26 ± 0.02 <sup>a</sup>	14.32 ± 0.16 <sup>b</sup>
TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>	6.23 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.13 ± 0.27 <sup>c</sup>

(6) 자외선의 조사량에 따른 식혜의 pH와 당도의 변화를 비교하였음.

(7) 연속형 자외선-광촉매 시스템 처리 직후의 pH는 미처리 식혜의 품질과 차이가 거의 없었으나 열처리 한 식혜의 pH는 감소하였음.

(8) 높은 조사량으로 처리한 식혜일수록 당도가 감소하는 경향을 보였으나, 열처리 한 식혜의 당도는 미처리 식혜와 차이가 없었음.

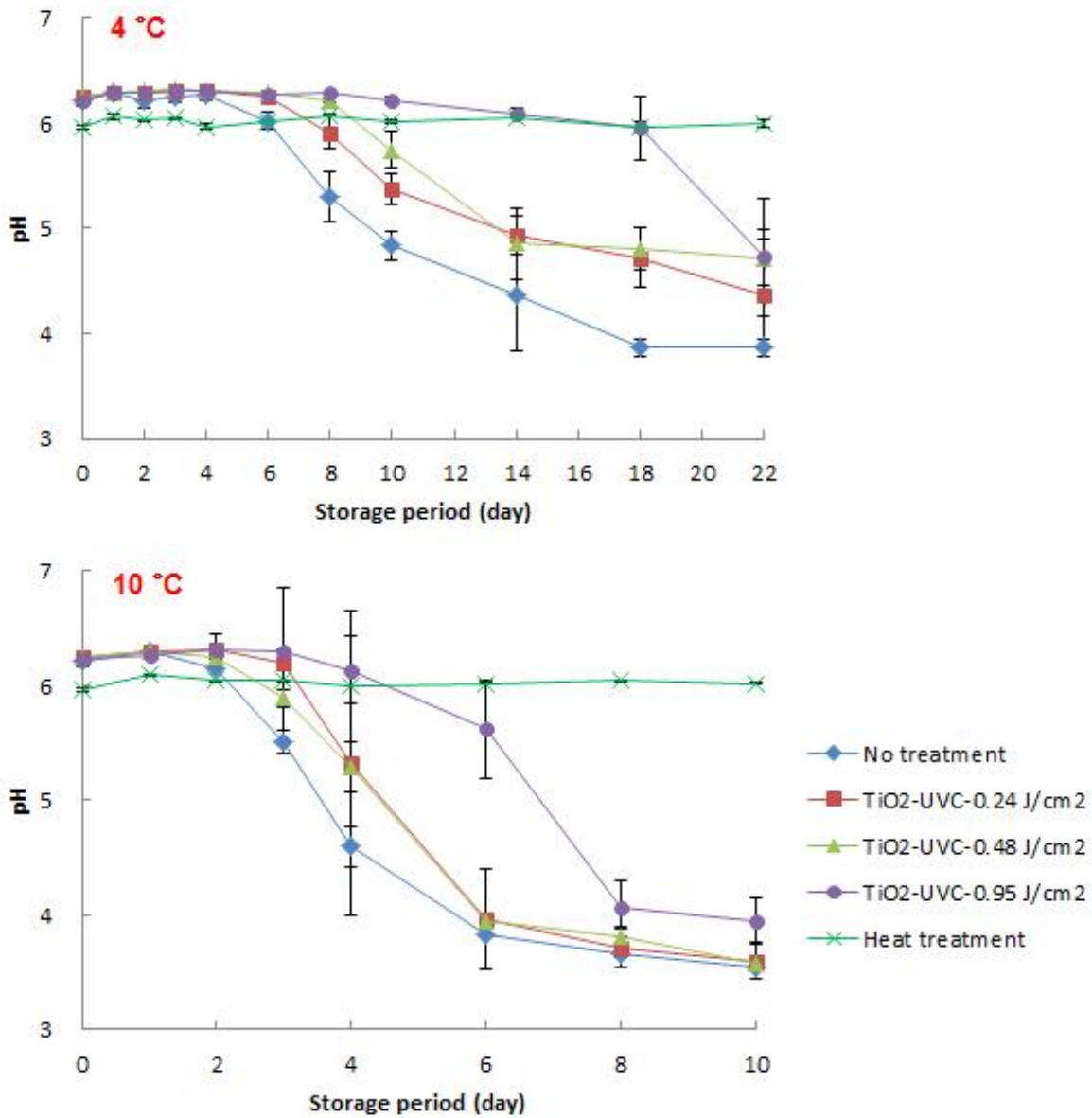


그림 36. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 식혜의 저장기간 중 pH 변화 (저장온도: 4 °C, 10 °C)

(9) 저장온도, 저장기간(10일), 조사량과 열처리에 따른 품질변화를 비교하였음.

(10) 저장기간 중 호기성 세균의 성장에 따라 온도에 관계없이 pH도 감소하는 경향을 보임.

(11) 조사량을 강하게 처리할수록 저장기간 동안 pH가 더 일정하게 유지하다가 점차 감소하는 경향을 보임.

(12) 열처리한 식혜의 경우 저장기간 중 pH가 거의 변하지 않았음.

표 20. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 식혜의 저장기간 중 당도 변화 (저장온도: 4 °C, 10 °C)

<b>4 °C</b>					
Storage time (days)	Treatment				
	No treatment	Heat treatment	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.48 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>
0	14.66 ± 0.02 <sup>a</sup>	14.73 ± 0.02 <sup>a</sup>	14.35 ± 0.07 <sup>b</sup>	14.32 ± 0.16 <sup>b</sup>	14.13 ± 0.27 <sup>c</sup>
1	14.68 ± 0.02 <sup>a</sup>	14.72 ± 0.04 <sup>a</sup>	14.38 ± 0.07 <sup>b</sup>	14.34 ± 0.16 <sup>b</sup>	13.93 ± 0.14 <sup>c</sup>
2	14.66 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.73 ± 0.04 <sup>a</sup>	14.36 ± 0.09 <sup>b</sup>	14.34 ± 0.16 <sup>b</sup>	14.00 ± 0.46 <sup>c</sup>
3	14.64 ± 0.00 <sup>a</sup>	14.68 ± 0.02 <sup>a</sup>	14.34 ± 0.05 <sup>b</sup>	14.28 ± 0.17 <sup>bc</sup>	14.17 ± 0.24 <sup>c</sup>
4	14.62 ± 0.00 <sup>a</sup>	14.70 ± 0.05 <sup>a</sup>	14.32 ± 0.06 <sup>b</sup>	14.30 ± 0.17 <sup>b</sup>	13.75 ± 0.25 <sup>c</sup>
6	14.63 ± 0.02 <sup>a</sup>	14.75 ± 0.06 <sup>a</sup>	14.36 ± 0.06 <sup>b</sup>	14.33 ± 0.17 <sup>b</sup>	13.99 ± 0.47 <sup>c</sup>
8	14.63 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.71 ± 0.05 <sup>a</sup>	14.39 ± 0.06 <sup>b</sup>	14.35 ± 0.15 <sup>b</sup>	14.03 ± 0.49 <sup>c</sup>
10	14.61 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.70 ± 0.05 <sup>a</sup>	14.32 ± 0.08 <sup>b</sup>	14.31 ± 0.16 <sup>b</sup>	14.05 ± 0.45 <sup>c</sup>
14	14.61 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.70 ± 0.03 <sup>a</sup>	14.36 ± 0.09 <sup>b</sup>	14.32 ± 0.18 <sup>b</sup>	14.08 ± 0.49 <sup>c</sup>
18	14.53 ± 0.03 <sup>a</sup>	14.74 ± 0.03 <sup>b</sup>	14.26 ± 0.07 <sup>c</sup>	14.23 ± 0.14 <sup>c</sup>	13.73 ± 0.26 <sup>d</sup>
22	14.70 ± 0.07 <sup>a</sup>	14.71 ± 0.04 <sup>a</sup>	14.37 ± 0.14 <sup>b</sup>	14.23 ± 0.08 <sup>b</sup>	13.99 ± 0.45 <sup>c</sup>

<b>10 °C</b>					
Storage time (days)	Treatment				
	No treatment	Heat treatment	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.48 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>
0	14.66 ± 0.02 <sup>a</sup>	14.73 ± 0.02 <sup>a</sup>	14.35 ± 0.07 <sup>b</sup>	14.32 ± 0.16 <sup>b</sup>	14.13 ± 0.27 <sup>c</sup>
1	14.67 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.70 ± 0.05 <sup>a</sup>	14.37 ± 0.07 <sup>b</sup>	14.36 ± 0.16 <sup>b</sup>	14.01 ± 0.44 <sup>c</sup>
2	14.63 ± 0.00 <sup>a</sup>	14.71 ± 0.05 <sup>a</sup>	14.33 ± 0.08 <sup>b</sup>	14.32 ± 0.18 <sup>b</sup>	13.95 ± 0.21 <sup>c</sup>
3	14.61 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.68 ± 0.05 <sup>a</sup>	14.37 ± 0.07 <sup>b</sup>	14.31 ± 0.17 <sup>b</sup>	14.12 ± 0.26 <sup>c</sup>
4	14.57 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.66 ± 0.05 <sup>a</sup>	14.29 ± 0.07 <sup>b</sup>	14.32 ± 0.16 <sup>b</sup>	13.80 ± 0.33 <sup>c</sup>
6	14.60 ± 0.02 <sup>a</sup>	14.73 ± 0.05 <sup>a</sup>	14.26 ± 0.09 <sup>b</sup>	14.29 ± 0.20 <sup>b</sup>	13.97 ± 0.50 <sup>c</sup>
8	14.66 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.69 ± 0.05 <sup>a</sup>	14.36 ± 0.12 <sup>b</sup>	14.36 ± 0.17 <sup>b</sup>	13.79 ± 0.22 <sup>c</sup>
10	14.66 ± 0.01 <sup>a</sup>	14.69 ± 0.04 <sup>a</sup>	14.41 ± 0.10 <sup>b</sup>	14.34 ± 0.25 <sup>b</sup>	14.02 ± 0.38 <sup>c</sup>

(13) 저장온도에 따라 당도의 변화를 처리조건과 저장기간(10일)별로 관찰하였으며, 처리조건과 저장온도에 관계없이 모든 시료에서 일정한 값이 나왔음.

표 21. 연속형 자외선-광촉매 처리에 따른 식혜의 색도 변화

Treatment	Quality parameters			
	L*	a*	b*	TCD
No treatment	18.91 ± 0.05 <sup>a</sup>	-0.52 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.66 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.00
Heat treatment	20.78 ± 0.22 <sup>b</sup>	-0.63 ± 0.02 <sup>b</sup>	2.08 ± 0.13 <sup>bc</sup>	1.96
TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	20.02 ± 1.16 <sup>c</sup>	-0.53 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.98 ± 0.71 <sup>bc</sup>	1.30
TiO <sub>2</sub> -UVC 0.48 J/cm <sup>2</sup>	20.23 ± 0.59 <sup>c</sup>	-0.52 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.82 ± 0.34 <sup>c</sup>	1.56
TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>	19.82 ± 0.15 <sup>c</sup>	-0.49 ± 0.03 <sup>a</sup>	2.30 ± 0.07 <sup>b</sup>	0.97

(14) 처리조건별로 색도의 변화를 관찰하였으며, 밝기, 적색도, 황색도의 변화 모두 열처리 한 식혜가 자외선-광촉매 처리를 한 식혜보다 더 큰 변화를 보임.

표 22. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 식혜의 저장기간 중 밝기 변화 (저장 온도: 4 °C, 10 °C)

<b>4 °C</b>					
Storage time (days)	Treatment				
	No treatment	Heat treatment	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.48 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>
0	18.91 ± 0.05 <sup>a</sup>	20.78 ± 0.22 <sup>b</sup>	20.02 ± 1.16 <sup>c</sup>	20.23 ± 0.59 <sup>c</sup>	19.82 ± 0.15 <sup>c</sup>
1	19.64 ± 0.09 <sup>a</sup>	21.68 ± 0.67 <sup>b</sup>	19.77 ± 0.33 <sup>a</sup>	20.39 ± 0.93 <sup>c</sup>	19.74 ± 0.15 <sup>a</sup>
2	19.70 ± 0.58 <sup>a</sup>	21.36 ± 0.46 <sup>b</sup>	19.85 ± 0.28 <sup>a</sup>	19.80 ± 0.18 <sup>a</sup>	19.55 ± 0.20 <sup>a</sup>
3	19.72 ± 0.52 <sup>a</sup>	21.14 ± 0.49 <sup>b</sup>	19.74 ± 0.37 <sup>a</sup>	19.79 ± 0.30 <sup>a</sup>	19.68 ± 0.11 <sup>a</sup>
4	19.39 ± 0.46 <sup>a</sup>	21.54 ± 0.43 <sup>b</sup>	18.72 ± 0.73 <sup>a</sup>	19.22 ± 0.59 <sup>a</sup>	19.40 ± 0.43 <sup>a</sup>
6	19.65 ± 0.28 <sup>a</sup>	21.47 ± 0.69 <sup>b</sup>	19.67 ± 0.08 <sup>a</sup>	19.74 ± 0.30 <sup>a</sup>	19.72 ± 0.11 <sup>a</sup>
8	20.17 ± 0.51 <sup>a</sup>	21.27 ± 0.27 <sup>b</sup>	19.65 ± 0.52 <sup>c</sup>	19.91 ± 0.35 <sup>ac</sup>	19.99 ± 0.43 <sup>ac</sup>
10	20.17 ± 0.47 <sup>a</sup>	21.22 ± 0.41 <sup>b</sup>	19.81 ± 0.14 <sup>a</sup>	20.01 ± 0.31 <sup>a</sup>	19.92 ± 0.20 <sup>a</sup>
14	21.80 ± 1.23 <sup>a</sup>	21.04 ± 0.07 <sup>a</sup>	21.24 ± 1.59 <sup>a</sup>	21.27 ± 0.72 <sup>a</sup>	20.17 ± 0.36 <sup>b</sup>
18	22.33 ± 0.89 <sup>a</sup>	21.49 ± 0.55 <sup>a</sup>	19.72 ± 1.02 <sup>a</sup>	20.16 ± 0.15 <sup>a</sup>	19.91 ± 0.17 <sup>a</sup>
22	23.99 ± 1.78 <sup>a</sup>	21.57 ± 0.33 <sup>b</sup>	22.29 ± 1.98 <sup>b</sup>	21.84 ± 1.62 <sup>b</sup>	21.27 ± 0.28 <sup>b</sup>

<b>10 °C</b>					
Storage time (days)	Treatment				
	No treatment	Heat treatment	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.48 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>
0	18.91 ± 0.05 <sup>a</sup>	20.78 ± 0.22 <sup>b</sup>	20.02 ± 1.16 <sup>c</sup>	20.23 ± 0.59 <sup>c</sup>	19.82 ± 0.15 <sup>c</sup>
1	19.94 ± 0.82 <sup>a</sup>	21.19 ± 0.14 <sup>b</sup>	18.89 ± 0.97 <sup>c</sup>	19.34 ± 0.26 <sup>cd</sup>	19.59 ± 0.06 <sup>ad</sup>
2	19.39 ± 0.43 <sup>a</sup>	21.10 ± 0.21 <sup>b</sup>	19.34 ± 0.93 <sup>a</sup>	19.69 ± 0.07 <sup>ac</sup>	19.93 ± 0.09 <sup>c</sup>
3	19.59 ± 0.18 <sup>a</sup>	21.00 ± 0.11 <sup>b</sup>	19.20 ± 0.66 <sup>c</sup>	19.83 ± 0.06 <sup>a</sup>	19.73 ± 0.11 <sup>a</sup>
4	19.75 ± 0.31 <sup>ab</sup>	21.45 ± 0.50 <sup>c</sup>	19.26 ± 0.82 <sup>a</sup>	20.26 ± 1.22 <sup>b</sup>	19.88 ± 0.24 <sup>ab</sup>
6	20.51 ± 0.20 <sup>a</sup>	21.45 ± 0.64 <sup>b</sup>	20.17 ± 1.10 <sup>a</sup>	21.60 ± 1.70 <sup>b</sup>	20.25 ± 0.36 <sup>a</sup>
8	26.33 ± 3.08 <sup>ab</sup>	20.90 ± 0.28 <sup>c</sup>	26.99 ± 1.40 <sup>b</sup>	26.36 ± 1.88 <sup>ab</sup>	24.64 ± 1.43 <sup>b</sup>
10	23.08 ± 0.18 <sup>a</sup>	20.86 ± 0.23 <sup>b</sup>	23.40 ± 0.45 <sup>a</sup>	23.26 ± 1.06 <sup>a</sup>	21.62 ± 1.13 <sup>c</sup>

(15) 저장온도에 따라 밝기의 변화를 처리조건과 저장기간(10일)별로 관찰하였으며, 미처리 식혜의 밝기가 시간이 지날수록 값이 일정하게 올라감을 확인함.

(16) 연속형 자외선-광촉매의 조사량이 강할수록 식혜의 밝기가 천천히 증가하는 경향을 보였으며, 열처리를 한 식혜는 온도에 관계없이 저장기간 동안 변화를 보이지 않았음.

표 23. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 식혜의 저장기간 중 적색도 변화 (저장온도: 4 °C, 10 °C)

<b>4 °C</b>					
Storage time (days)	Treatment				
	No treatment	Heat treatment	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.48 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>
0	-0.52 ± 0.04 <sup>a</sup>	-0.63 ± 0.02 <sup>b</sup>	-0.53 ± 0.03 <sup>a</sup>	-0.52 ± 0.06 <sup>a</sup>	-0.49 ± 0.03 <sup>a</sup>
1	-0.52 ± 0.03 <sup>ab</sup>	-0.54 ± 0.05 <sup>a</sup>	-0.48 ± 0.04 <sup>ab</sup>	-0.51 ± 0.05 <sup>ab</sup>	-0.45 ± 0.06 <sup>b</sup>
2	-0.51 ± 0.04 <sup>a</sup>	-0.59 ± 0.03 <sup>b</sup>	-0.42 ± 0.02 <sup>c</sup>	-0.46 ± 0.07 <sup>ac</sup>	-0.41 ± 0.09 <sup>c</sup>
3	-0.53 ± 0.04 <sup>a</sup>	-0.60 ± 0.04 <sup>b</sup>	-0.51 ± 0.02 <sup>a</sup>	-0.51 ± 0.05 <sup>a</sup>	-0.49 ± 0.03 <sup>a</sup>
4	-0.50 ± 0.05 <sup>a</sup>	-0.57 ± 0.05 <sup>b</sup>	-0.48 ± 0.01 <sup>a</sup>	-0.47 ± 0.02 <sup>a</sup>	-0.45 ± 0.03 <sup>a</sup>
6	-0.50 ± 0.03 <sup>a</sup>	-0.57 ± 0.04 <sup>b</sup>	-0.50 ± 0.07 <sup>a</sup>	-0.18 ± 0.01 <sup>a</sup>	-0.47 ± 0.02 <sup>a</sup>
8	-0.53 ± 0.02 <sup>a</sup>	-0.60 ± 0.07 <sup>b</sup>	-0.49 ± 0.02 <sup>a</sup>	-0.52 ± 0.06 <sup>a</sup>	-0.51 ± 0.03 <sup>a</sup>
10	-0.54 ± 0.05 <sup>a</sup>	-0.57 ± 0.03 <sup>a</sup>	-0.48 ± 0.02 <sup>b</sup>	-0.45 ± 0.01 <sup>b</sup>	-0.46 ± 0.03 <sup>b</sup>
14	-0.49 ± 0.04 <sup>a</sup>	-0.62 ± 0.01 <sup>b</sup>	-0.50 ± 0.06 <sup>a</sup>	-0.49 ± 0.01 <sup>a</sup>	-0.46 ± 0.06 <sup>a</sup>
18	-0.57 ± 0.04 <sup>a</sup>	-0.58 ± 0.03 <sup>a</sup>	-0.53 ± 0.02 <sup>ab</sup>	-0.50 ± 0.03 <sup>bc</sup>	-0.47 ± 0.03 <sup>c</sup>
22	-0.55 ± 0.08 <sup>a</sup>	-0.56 ± 0.01 <sup>a</sup>	-0.53 ± 0.08 <sup>a</sup>	-0.53 ± 0.07 <sup>a</sup>	-0.48 ± 0.02 <sup>a</sup>

<b>10 °C</b>					
Storage time (days)	Treatment				
	No treatment	Heat treatment	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.48 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>
0	-0.52 ± 0.04 <sup>a</sup>	-0.63 ± 0.02 <sup>b</sup>	-0.53 ± 0.03 <sup>a</sup>	-0.52 ± 0.06 <sup>a</sup>	-0.49 ± 0.03 <sup>a</sup>
1	-0.50 ± 0.03 <sup>a</sup>	-0.61 ± 0.05 <sup>b</sup>	-0.43 ± 0.05 <sup>a</sup>	-0.50 ± 0.01 <sup>a</sup>	-0.48 ± 0.06 <sup>a</sup>
2	-0.47 ± 0.04 <sup>a</sup>	-0.64 ± 0.07 <sup>b</sup>	-0.49 ± 0.03 <sup>a</sup>	-0.47 ± 0.02 <sup>a</sup>	-0.44 ± 0.04 <sup>a</sup>
3	-0.52 ± 0.03 <sup>a</sup>	-0.63 ± 0.02 <sup>b</sup>	-0.52 ± 0.03 <sup>a</sup>	-0.51 ± 0.01 <sup>a</sup>	-0.49 ± 0.04 <sup>a</sup>
4	-0.53 ± 0.02 <sup>a</sup>	-0.53 ± 0.04 <sup>a</sup>	-0.50 ± 0.02 <sup>ab</sup>	-0.44 ± 0.06 <sup>b</sup>	-0.47 ± 0.01 <sup>ab</sup>
6	-0.48 ± 0.01 <sup>a</sup>	-0.59 ± 0.03 <sup>b</sup>	-0.49 ± 0.03 <sup>a</sup>	-0.47 ± 0.10 <sup>a</sup>	-0.56 ± 0.03 <sup>b</sup>
8	-0.27 ± 0.24 <sup>a</sup>	-0.66 ± 0.66 <sup>b</sup>	-0.13 ± 0.10 <sup>c</sup>	-0.06 ± 0.02 <sup>c</sup>	-0.06 ± 0.05 <sup>c</sup>
10	-0.49 ± 0.03 <sup>a</sup>	-0.61 ± 0.04 <sup>b</sup>	-0.41 ± 0.02 <sup>c</sup>	-0.38 ± 0.05 <sup>c</sup>	-0.31 ± 0.18 <sup>d</sup>

(17) 저장온도에 따라 적색도의 변화를 처리조건과 저장기간(10일)별로 관찰하였으며, 처리 직후 큰 변화를 보이지 않았으나 열처리를 한 식혜의 처리 당일의 식혜의 적색도가 다른 시료들의 비해 값이 다소 높았음.

표 24. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 식혜의 저장기간 중 황색도 변화 (저장온도: 4 °C, 10 °C)

<b>4 °C</b>					
Storage time (days)	Treatment				
	No treatment	Heat treatment	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.48 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>
0	2.66 ± 0.07 <sup>a</sup>	2.08 ± 0.13 <sup>bc</sup>	1.98 ± 0.71 <sup>bc</sup>	1.82 ± 0.34 <sup>c</sup>	2.30 ± 0.07 <sup>b</sup>
1	2.33 ± 0.13 <sup>a</sup>	1.40 ± 0.25 <sup>b</sup>	2.23 ± 0.25 <sup>a</sup>	1.93 ± 0.31 <sup>c</sup>	2.11 ± 0.10 <sup>bc</sup>
2	2.09 ± 0.39 <sup>a</sup>	1.48 ± 0.12 <sup>b</sup>	1.66 ± 0.24 <sup>bc</sup>	1.57 ± 0.14 <sup>bc</sup>	1.77 ± 0.28 <sup>c</sup>
3	2.26 ± 0.31 <sup>a</sup>	1.69 ± 0.18 <sup>b</sup>	2.09 ± 0.27 <sup>a</sup>	2.20 ± 0.17 <sup>a</sup>	2.21 ± 0.04 <sup>a</sup>
4	2.08 ± 0.40 <sup>a</sup>	1.48 ± 0.10 <sup>b</sup>	2.57 ± 0.56 <sup>c</sup>	2.19 ± 0.10 <sup>a</sup>	2.07 ± 0.12 <sup>a</sup>
6	2.09 ± 0.25 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.28 <sup>b</sup>	2.25 ± 0.01 <sup>bc</sup>	2.29 ± 0.16 <sup>c</sup>	2.25 ± 0.02 <sup>bc</sup>
8	2.02 ± 0.29 <sup>a</sup>	1.57 ± 0.18 <sup>b</sup>	2.43 ± 0.37 <sup>c</sup>	2.26 ± 0.26 <sup>c</sup>	2.32 ± 0.18 <sup>c</sup>
10	2.02 ± 0.27 <sup>a</sup>	1.79 ± 0.10 <sup>b</sup>	2.16 ± 0.08 <sup>bc</sup>	2.13 ± 0.13 <sup>bc</sup>	2.22 ± 0.11 <sup>c</sup>
14	1.19 ± 0.43 <sup>a</sup>	1.77 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.37 ± 1.00 <sup>a</sup>	1.22 ± 0.79 <sup>a</sup>	1.84 ± 0.19 <sup>a</sup>
18	0.28 ± 0.35 <sup>a</sup>	1.37 ± 0.27 <sup>b</sup>	2.23 ± 0.80 <sup>c</sup>	1.93 ± 0.06 <sup>c</sup>	2.22 ± 0.08 <sup>c</sup>
22	0.17 ± 0.89 <sup>a</sup>	1.59 ± 0.11 <sup>b</sup>	0.71 ± 1.33 <sup>a</sup>	1.38 ± 0.68 <sup>b</sup>	1.71 ± 0.12 <sup>b</sup>

<b>10 °C</b>					
Storage time (days)	Treatment				
	No treatment	Heat treatment	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.48 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>
0	2.66 ± 0.07 <sup>a</sup>	2.08 ± 0.13 <sup>bc</sup>	1.98 ± 0.71 <sup>bc</sup>	1.82 ± 0.34 <sup>c</sup>	2.30 ± 0.07 <sup>b</sup>
1	2.12 ± 0.45 <sup>a</sup>	1.62 ± 0.10 <sup>b</sup>	2.46 ± 0.58 <sup>c</sup>	2.01 ± 0.07 <sup>a</sup>	2.22 ± 0.13 <sup>bc</sup>
2	2.17 ± 0.13 <sup>a</sup>	1.74 ± 0.11 <sup>b</sup>	2.34 ± 0.78 <sup>a</sup>	2.16 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.10 ± 0.02 <sup>a</sup>
3	2.33 ± 0.12 <sup>a</sup>	1.77 ± 0.06 <sup>b</sup>	2.69 ± 0.55 <sup>c</sup>	2.21 ± 0.12 <sup>a</sup>	2.31 ± 0.03 <sup>a</sup>
4	1.96 ± 0.18 <sup>a</sup>	1.49 ± 0.12 <sup>b</sup>	2.49 ± 0.55 <sup>c</sup>	2.09 ± 0.53 <sup>a</sup>	2.22 ± 0.05 <sup>bc</sup>
6	1.57 ± 0.03 <sup>ab</sup>	1.67 ± 0.29 <sup>ab</sup>	1.91 ± 0.65 <sup>b</sup>	1.39 ± 0.27 <sup>a</sup>	1.83 ± 0.33 <sup>b</sup>
8	0.57 ± 0.35 <sup>a</sup>	1.93 ± 0.14 <sup>b</sup>	0.43 ± 0.68 <sup>a</sup>	0.32 ± 0.23 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.24 <sup>a</sup>
10	0.65 ± 0.19 <sup>a</sup>	1.87 ± 0.11 <sup>b</sup>	0.68 ± 0.45 <sup>a</sup>	0.95 ± 0.25 <sup>c</sup>	1.75 ± 0.15 <sup>b</sup>

(18) 저장온도에 따라 황색도의 변화를 처리조건과 저장기간(10일)별로 관찰하였으며, 저장기간 동안 연속형 자외선-광촉매 처리를 한 식혜의 황색도의 변화가 처리하지 않은 식혜보다 다소 높았음.

(19) 조사량이 높을수록 저장기간 동안 더 천천히 감소하는 경향을 보임.



표 25. 연속형 자외선-광촉매 시스템에 의해 처리된 식혜의 저장기간 중 TCD 변화 (저장온도: 4 °C, 10 °C)

<b>4 °C</b>					
Storage time (days)	Treatment				
	No treatment	Heat treatment	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.48 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>
0	0.00	1.96	1.30	1.56	0.97
1	0.81	3.05	0.96	1.65	1.00
2	0.97	2.72	1.38	1.41	1.10
3	0.90	2.44	1.01	1.00	0.89
4	0.75	2.88	0.21	0.56	0.77
6	0.94	2.83	0.86	0.91	0.91
8	1.41	2.60	0.77	1.08	1.13
10	1.41	2.46	1.03	1.23	1.10
14	3.24	2.31	2.66	2.77	1.50
18	4.17	2.88	0.92	1.45	1.09
22	5.66	2.87	3.90	3.20	2.54

<b>10 °C</b>					
Storage time (days)	Treatment				
	No treatment	Heat treatment	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.48 J/cm <sup>2</sup>	TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>
0	0.00	1.96	1.30	1.56	0.97
1	1.16	2.51	0.22	0.78	0.81
2	0.68	2.37	0.54	0.93	1.16
3	0.76	2.27	0.30	1.03	0.89
4	1.09	2.80	0.39	1.47	1.06
6	1.94	2.73	1.47	2.98	1.57
8	7.72	2.12	8.39	7.82	6.18
10	4.63	2.11	4.91	4.68	2.87

(20) 저장온도에 따라 TCD(Total Color Difference)의 변화를 처리조건과 저장기간(10일)별로 관찰하였으며, 저장기간 중, 밝기와 황색도 변화에 의해 TCD의 차이가 증가하는 경향을 보였음.

(21) 이는 미생물 분비물에 의한 것이라 추측되며, 열처리한 식혜는 저장기간 동안 다른 시료에 비해 색변화가 컸음.

표 26. 자외선-광촉매 처리에 따른 관능평가

Treatment	Color	Flavor	Taste	Overall preference
No treatment	3.75 ± 0.80 <sup>a</sup>	3.63 ± 0.78 <sup>a</sup>	4.20 ± 0.78 <sup>a</sup>	4.12 ± 0.65 <sup>a</sup>
Heat treatment	3.65 ± 0.90 <sup>a</sup>	3.68 ± 1.00 <sup>a</sup>	3.27 ± 1.22 <sup>b</sup>	3.50 ± 1.03 <sup>b</sup>
TiO <sub>2</sub> -UVC 0.24 J/cm <sup>2</sup>	3.88 ± 0.73 <sup>a</sup>	3.53 ± 1.00 <sup>a</sup>	3.45 ± 1.01 <sup>b</sup>	3.43 ± 0.85 <sup>b</sup>
TiO <sub>2</sub> -UVC 0.95 J/cm <sup>2</sup>	3.57 ± 1.03 <sup>a</sup>	2.05 ± 0.98 <sup>b</sup>	1.82 ± 1.16 <sup>c</sup>	1.87 ± 1.03 <sup>c</sup>

(22) 연속형 자외선-광촉매 시스템, 열처리 그리고 미처리 식혜로 관능평가를 실시하였음.

(23) 연속형 자외선-광촉매 시스템의 조사량을 0.24 J/cm<sup>2</sup>로 처리한 식혜는 열처리를 한 식혜와의 향과 맛에서 큰 차이가 나지 않았지만 조사량이 증가한 0.95 J/cm<sup>2</sup> 조건하에서는 선호도가 다소 낮게 나옴을 확인함.

(24) 맛과 향의 선호도가 처리 조건에 따라 차이가나는 이유를 추적하기 위해 향 분석(Kang, K. M., 2014)을 실시함.

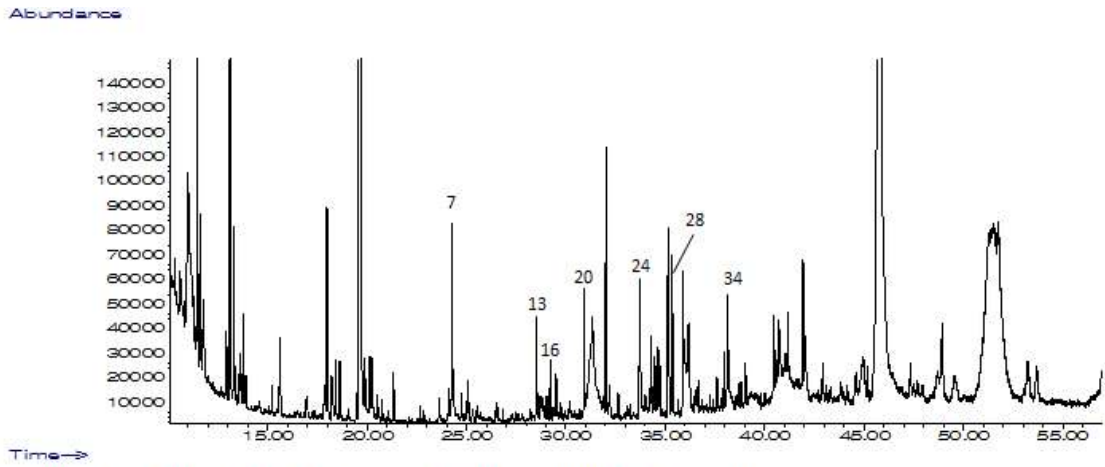


그림 37. 미처리군의 토털 이온 크로마토그램 결과

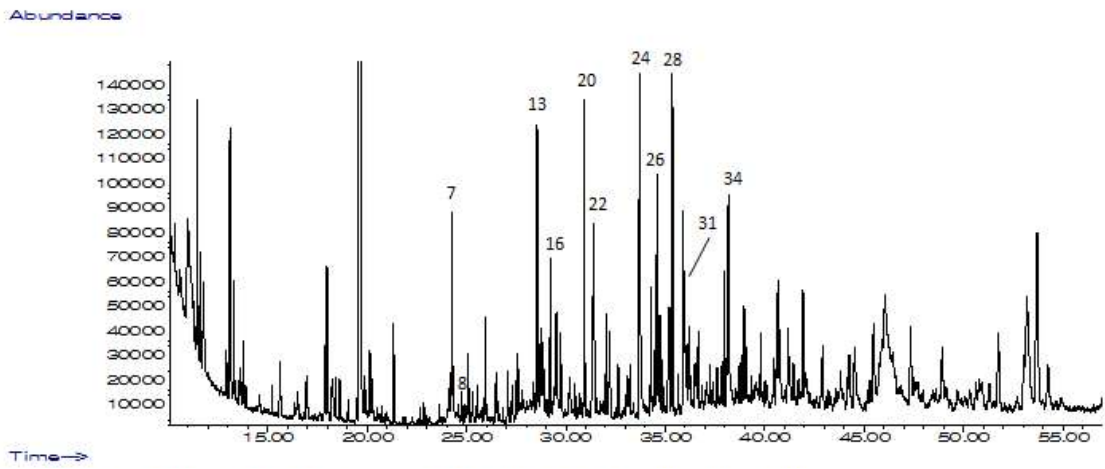


그림 38. 자외선-광촉매 처리군의 토털 이온 크로마토그램 결과

표 27. 미처리군과 자외선-광촉매 처리군의 증류물질 분석

No	RI <sup>a)</sup>	Compound name	Concentration(ppb) <sup>b)</sup>	
			C <sup>c)</sup>	T <sup>d)</sup>
1	1208	isoamyl alcohol	1.1±0.3	3.2±0.3
2	1238	2-pentyl furan	1.5±0.2	3.8±0.5
3	1355	1-hexanol	1.6±0.1	4.4±0.1
4	1402	nonanal	0.5±0.1	0.9±0.5
5	1409	2-butoxy ethanol	0.4±0.1	1.1±0.1
6	1458	1-heptanol	0.8±0.2	2.4±0.4
7	1461	acetic acid	8.8±0.8	11.8±0.5
8	1479	furfural	tr <sup>e)</sup>	1.4±0.2
9	1492	2-ethyl hexanol	1.5±0.1	3.4±0.4
10	1545	benzaldehyde	0.4±0.1	2.0±0.3
11	1547	propanoic acid	0.7±0.4	2.9±0.3
12	1589	dimethyl sulfoxide	0.4±0.1	4.0±1.1
13	1629	2-(2-ethoxyethoxy)-ethanol	1.2±0.1	14.2±0.4
14	1636	dihydro-5-methyl-2(3H)-furanone	1.3±0.8	0.7±0.1
15	1638	butanoic acid	0.3±0.1	0.9±0.1
16	1649	menthol	0.8±0.2	1.4±0.7
17	1656	dihydro-2(3H)-furanone	2.1±0.1	7.7±0.2
18	1668	2-acetyl thiazole	2.2±0.5	4.2±0.1
19	1670	2-furanmethanol	0.2±0.1	4.6±0.1
20	1678	3-methyl butanoic acid	0.1±0.1	6.1±0.9
21	1728	dihydro-5-ethyl-2(3H)-furanone	5.6±1.4	19.2±6.1
22	1745	pentanoic acid	0.8±0.1	9.4±2.5
23	1750	dihydro-5-propyl-2(3H)-furanone	0.3±0.1	14.9±3.2
24	1803	2-(2-butoxyethoxy)-ethanol	0.9±0.1	3.0±0.9
25	1852	hexanoic acid	7.6±1.9	31.6±5.0
26	1879	butyl butanoate	3.0±1.2	8.2±2.6
27	1893	benzyl alcohol	3.8±2.2	13.3±2.0
28	1922	5-methyl-2(5H)-furanone	3.5±0.1	9.1±3.4
29	1930	phenylethanol	6.8±3.0	20.0±4.1
30	1944	dihydro-5-pentyl-2(3H)-furanone	1.5±1.4	2.9±1.4
31	1955	2-ethyl hexanoic acid	9.5±2.9	12.0±2.2
32	1959	heptanoic acid	0.4±0.1	10.5±2.2
33	1992	2-acetyl pyrrole	1.9±1.3	4.2±0.9
34	2021	phenol	3.0±0.1	3.7±2.0
35	2063	octanoic acid	4.1±0.8	16.0±3.6
36	2098	4-methyl phenol	tr	5.0±0.6
37	2160	2-phenoxy ethanol	3.1±0.1	4.0±0.8
38	2188	ethyl-4-ethoxy benzoate	3.4±1.7	5.1±0.8
39	2191	2-methoxy-4-vinyl phenol	3.9±2.6	5.0±2.6
40	2200<	indole	13.3±18.5	6.8±2.8

<sup>a)</sup>Retention indices were determined on DB-wax using C8-C22 as external reference.

<sup>b)</sup>Mean±standard deviation(column:DB-wax). <sup>c)</sup> untreated *Sikhye* <sup>d)</sup> TUVP-treated *Sikhye*  
<sup>e)</sup> tr: trace

표 28. 미처리균의 휘발성 향기성분 동정

No	RI <sup>a)</sup>	Compound name	Aroma description
1	1350	1-hexanol	mild woody, sweet
2	1440	unknown	green
3	1458	1-heptanol	green
4	1513	unknown	fatty

<sup>a)</sup>Retention in dices were determined on DB-waxusing C8-C22 as external reference.

표 29. 자외선-광촉매 처리균의 휘발성 향기성분 동정

No	RI <sup>a)</sup>	Compound name	Aroma description
1	1350	1-hexanol	mild woody, sweet
2	1458	1-heptanol	green
3	1479	furfural	burnt, roasted
4	1513	unknown	fatty
5	1508	unknown	green
6	1814	unknown	green

<sup>a)</sup>Retention indices were determined on DB-waxusing C8-C22 as external reference.

(24) SE방식(Solvent Extraction)으로 GC-MS(Gas chromatography-mass spectrometry)와 GC-O(Gas chromatography-olfactometry)를 수행함.

(25)연속형 자외선-광촉매 처리한 식혜에서는 retention time의 25분부터 45분 사이에 비록 동정되지는 않았지만 새로운 peak들이 많이 생성되었으며, 동정된 휘발성 향기성분의 농도도 자외선-광촉매 처리한 식혜에서 더 높은 경향이었음.

(26) 특히 자외선-광촉매 처리한 식혜에서는 acid류 (propionic acid, butanoic acid, pentanoic acid, hexanoic acid, heptanoic acid, octanoic acid)와 furanone (dihydro-2(3H)-furanone,dihydro-5-ethyl-2(3H)-furanone, dihydro-5-propyl-2(3H)-furanone, dihydro-5-pentyl-2(3H)-furanone) 계통의 휘발성 향기성분이 크게 증가하였음.

(27) GC-O 결과, 그을린(burnt) 향을 내는 furfural (RI: 1479)이 두 식혜의 향 차이에 크게 영향을 미치는 것으로 생각됨.

#### 4. 결론

- 식혜를 연속형 자외선-광촉매 시스템으로 처리 시 미생물의 재생장이 지연되어 효과적으로 미생물을 제어함으로써 냉장 유통을 효율적으로 할 수 있을 것으로 기대됨.
- 또한, 자외선-광촉매 처리에 의해 자가 제조 식혜의 저장 가능 기간을 연장하는 것이 가능할 것임.
- 자외선 조사량이 높을수록 미생물의 살균력이 증가함.
- 연속형 자외선-광촉매 시스템으로 처리된 식혜는 열처리된 식혜보다 색과 pH가 미처리군과 더 비슷함을 확인함. 그러므로 자외선-광촉매 시스템이 식혜의 품질 보존에 효과를 보임.
- 관능평가를 통해 선호도를 확인해본 결과, 자외선 조사량이 높을수록 선호도가 떨어졌으며 주원인은 처리 후 변성된 향 때문이었음.
- 자외선 조사량을 증가 시킬수록 그을린(burnt)냄새가 강하게 나는데 이는 furfural 때문임.

## 제 5 절 동치미액의 자외선-광촉매 살균 시스템

### 1. 동치미액에 존재하는 유효 미생물 확인

#### 가. 발효 관련 미생물의 유무와 균수 측정

(1) 제조한 동치미액에서 발효에 관여하는 미생물인 젖산균과 효모 및 곰팡이의 유무와 균수를 측정함.

표 30. 동치미액내 유효미생물 균수 (젖산균, 효모 및 곰팡이)

Microbial populations (log CFU/mL)	
Lactic acid bacteria	Yeast and molds
7.48	2.72

(2) 그 결과, 젖산균은 7.48, 효모 및 곰팡이는 2.72 log CFU/mL가 존재함을 알 수 있었음.

#### 나. 동치미액의 미생물 오염도 확인

(1) 동치미의 오염도를 확인하기 위해 호기성 세균, 대장균군, 황색포도상구균을 측정함.

(2) 호기성 세균은 동치미액의 초기 발효에 관여하고 품질 변화에 영향을 주므로 선택하였음.

(3) 대장균은 대표적인 분변지표 미생물로 다른 위해균의 존재 여부를 간접적으로 나타내므로 선택함.

(4) 황색포도상구균은 대표적인 식중독균으로 손을 이용하여 제조하는 동치미의 경우 2차 오염의 가능성 여부를 판단하는 지표가 되므로 선택함.

표 31. 동치미액내 미생물 균수 (차례로 호기성 세균, 대장균군, 황색포도상구균)

Microbial populations (log CFU/mL)		
Total aerobic bacteria	Coliform	<i>Staphylococcus aureus</i>
6.15	N.D	N.D

(5) 호기성세균은 6.15 log CFU/mL가 검출되었고, 대장균군과 황색포도상구균은 검출되지 않았음.

(6) 동치미를 상품화하기 위해서는 발효정지 과정이 필요하므로 젖산균 및 효모균의 살균이 요구됨.

### 2. 동치미액의 자외선 처리 조건에 따른 살균 효과 비교

#### 가. 연속형 자외선-광촉매 시스템을 이용한 살균 효과 비교

(1) 최적의 살균 조건을 확보하기 위해서 자외선-광촉매 살균 시스템의 자외선 조사량을 달리하여 3가지 조건에서 실험을 진행함(1.88 J/cm<sup>2</sup>, 4.82 J/cm<sup>2</sup>, 11.38 J/cm<sup>2</sup>).

**표 32.** 연속형 자외선-광촉매 시스템을 이용한 동치미액의 자외선 조사량별 살균력 (호기성 세균, 젖산균, 효모 및 곰팡이)

Treatment	Microbial populations (log CFU/mL)		
	Total aerobes	Lactic acid bacteria	Yeast and molds
No treatment	5.69	7.67	3.06
1.88 J/cm <sup>2</sup> UV dose	N.D	N.D	N.D
4.82 J/cm <sup>2</sup> UV dose	N.D	N.D	N.D
11.38 J/cm <sup>2</sup> UV dose	N.D	N.D	N.D

(2) 자외선 조사량을 달리한 3가지 조건에서 호기성 세균, 젖산균, 효모 및 곰팡이 모두 검출되지 않았음.

(3) 연속형 자외선-광촉매 시스템을 이용한 동치미액의 살균력을 관찰한 결과, 동치미액의 살균에 높은 효과를 보였으며, 다른 시스템인 나선형 자외선 살균 시스템(조사량: 2.5 J/mL)으로도 동치미액의 살균력을 측정하였음.

**나. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 이용한 살균 효과 비교**

(1) 나선형 자외선 살균 시스템의 살균 효과를 확인하기 위해 호기성 세균, 젖산균, 그리고 대장균군의 사멸 효과를 확인하였으나, 1 log CFU/mL 정도의 감균 효과도 보이지 못하여, 다른 비가열 기술인 초고압 처리도 이용하기로 결정하였음.

**표 33.** 초고압을 이용한 동치미액의 압력별 살균력 (호기성 세균, 젖산균, 대장균군)

HHP (MPa)	Microbial populations (log CFU/mL)		
	TAB	LAB	Colifom
<b>0.1</b>	5.26 ± 0.04 <sup>b</sup>	6.62 ± 0.02 <sup>c</sup>	2.79 ± 0.09 <sup>d</sup>
<b>200</b>	5.26 ± 0.13 <sup>b</sup>	6.64 ± 0.09 <sup>c</sup>	2.42 ± 0.10 <sup>c</sup>
<b>300</b>	4.72 ± 0.22 <sup>a</sup>	6.23 ± 0.07 <sup>b</sup>	1.23 ± 0.10 <sup>b</sup>
<b>400</b>	3.93 ± 0.09 <sup>a</sup>	4.97 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
<b>500</b>	2.99 ± 0.18 <sup>a</sup>	2.99 ± 0.18 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
<b>600</b>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>

(2) 초고압 처리를 압력별로 단독으로 수행했을 때, 호기성 세균, 젖산균, 그리고 대장균군이 각각 5.26, 5.15, 그리고 2.79 log CFU/mL씩 감소했음.

(3) 압력이 증가할수록 감균 효과가 증가했으며 대장균군의 경우 400 MPa이상의 압력에서의 살균 효과가 뛰어남.

(2) 미생물 제어에 더욱 효과를 내기 위해, 자외선 조사와 초고압 처리를 병합하여 호기성 세균에 적용하였음.



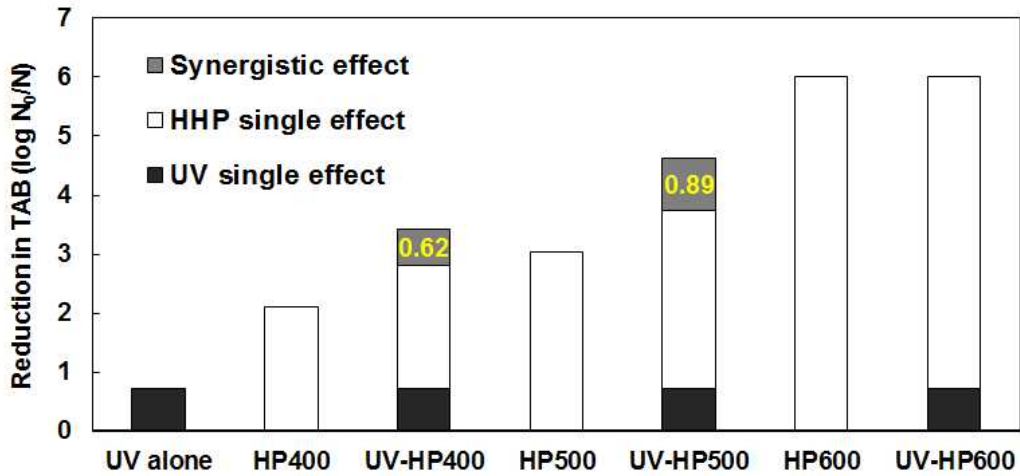


그림 39. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 통한 살균력(호기성 세균)

- (3) 초고압 단독 처리가 나선형 자외선 시스템 처리보다 살균력이 더 좋았음.
- (4) 자외선-초고압 병합 처리 시 압력이 400 MPa 일 때 0.62 log, 500 MPa 일 때는 0.89 log 만큼의 추가적인 감균 효과를 보였음.
- (5) 압력이 600 MPa 일 때 균이 이미 모두 사멸하였으므로 병합 실험 시 추가적인 효과를 볼 수 없었음.
- (6) 상온(25 °C)에서 5일간의 저장실험을 통해 초고압 단독처리, 열처리와 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리의 병합 처리의 효과를 비교하였음.

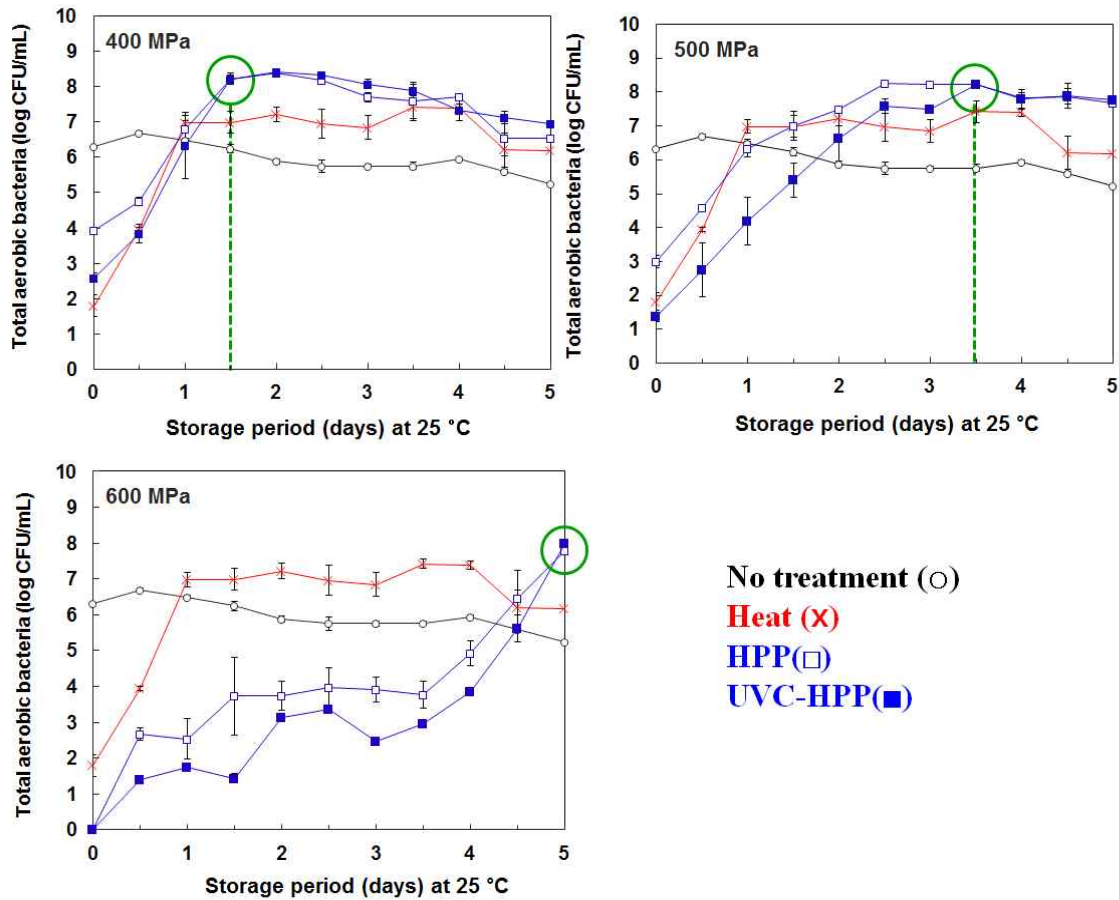


그림 40. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 이용한 상온에서 동치미액의 호기성 세균 살균력 비교(저장기간: 5일)

(7) 자외선과 압력 600MPa로 병합 처리할시 살균효과가 가장 높았으며 저장기간 동안 서서히 증가하는 경향을 보임

(8) 열처리와 초고압을 단독으로 처리했을 때와 비교해보면 살균력에서 초고압 처리가 더 좋았으나, 4일이 지난 후, 열처리 샘플보다 더 성장하였음.

(9) 미생물 제어에 더욱 효과를 내기 위해, 자외선 조사와 초고압 처리를 병합하여 젓산균에 적용하였음.

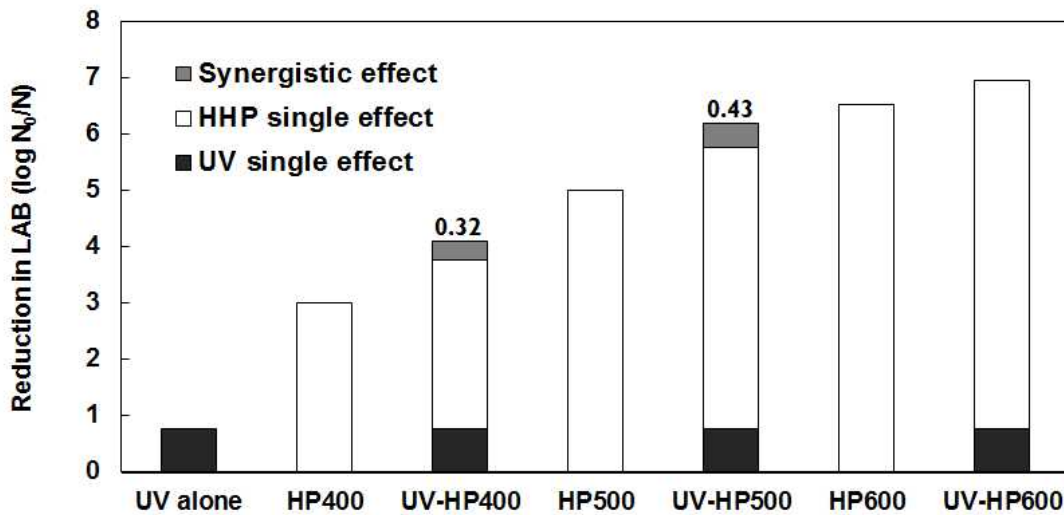


그림 41. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 통한 살균력(젓산균)

(10) 동치미액에 나선형 자외선 시스템을 단독으로 처리할시 호기성 세균의 경우와 비슷하게 낮은 살균력을 보였고 초고압 처리를 단독으로 처리했을 때는 자외선 살균 시스템보다 살균력이 좋았으며 압력이 오를수록 살균력이 높아졌음.

(11) 자외선-초고압 병합 처리시 압력이 400 MPa일 때 0.32 log, 500 MPa일 때는 0.43 log 만큼의 추가적 효과를 보였음.

(12) 마찬가지로, 압력이 600 MPa 일 때, 균이 모두 사멸하였기에 병합 실험 시 추가적 효과를 볼 수 없었음.

(13) 상온에서 5일간의 저장실험을 통해 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 이용한 병합 살균의 추가적 효과를 알아보았음.

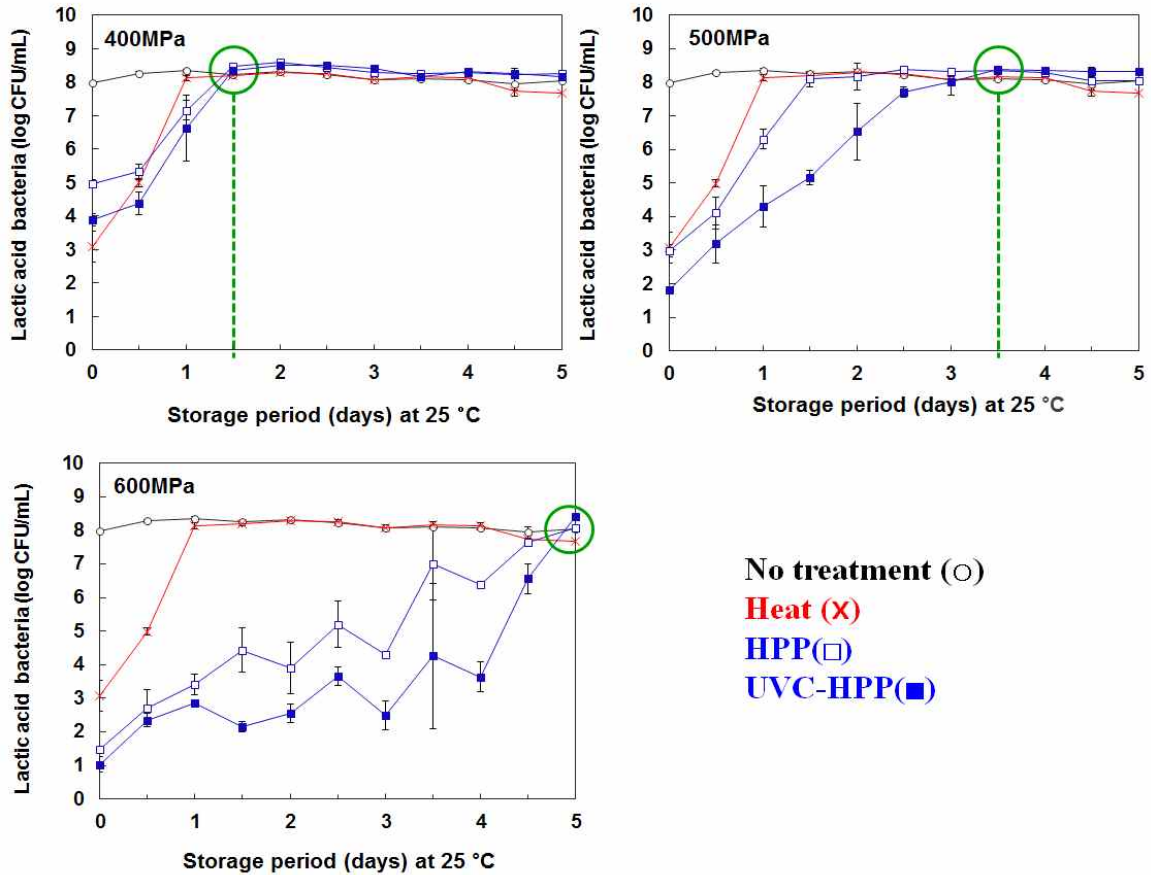


그림 42. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 이용한 상온에서 동치미액의 젖산균 살균력 비교 (저장기간: 5일)

(14) 자외선과 압력 400 MPa로 병합 처리할 시 모든 실험 조건에서 살균력이 떨어졌으며 (0.09~1.08 log cycles) 저장기간도 연장되지 않았음.

(15) 자외선과 압력 600 MPa로 병합 처리할 시 살균효과가 가장 높았으며 저장기간 동안 서서히 증가하는 경향이 보임.

(16) 열처리와 초고압 처리를 단독으로 처리했을 때, 400, 500 MPa에서는 경향이 비슷하나, 600 MPa에서는 저장기간 4일까지 생장이 크게 없었으나, 그 이후 증가율이 매우 높아짐.

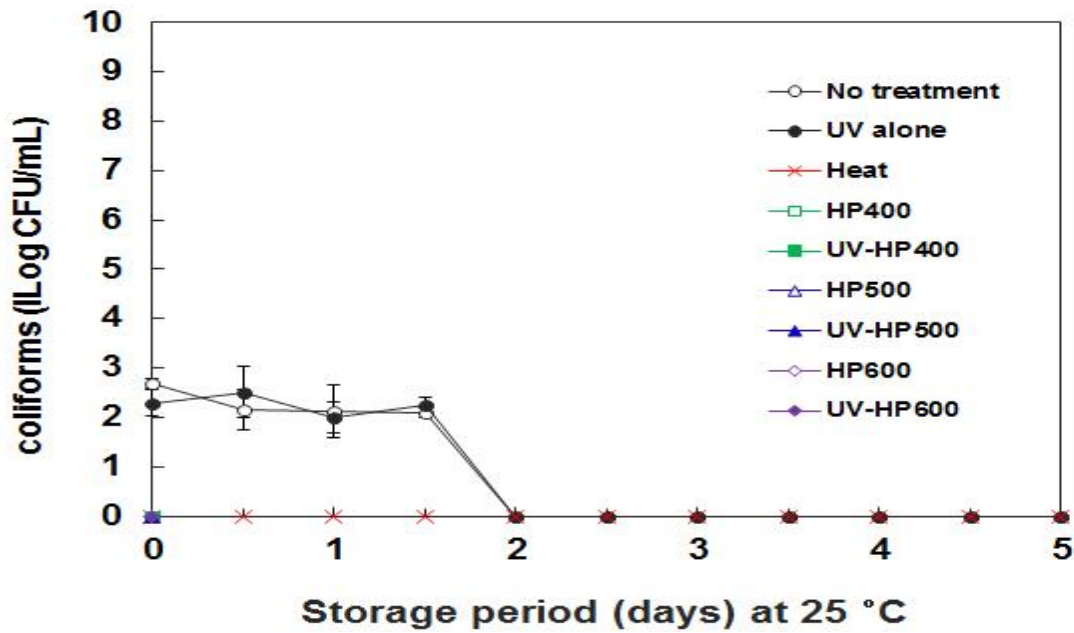


그림 43. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 이용한 상온에서 동치미액의 대장균군 살균력 비교 (저장기간: 5일)

(17) 상온에서 열처리, 나선형 자외선 시스템과 초고압기를 이용한 병합 처리, 자외선과 초고압의 단독 처리의 살균력을 비교해보았음. (저장기간: 5일)

(18) 미처리균과 자외선 단독 처리한 대장균군의 경우 저장 2일 후 감소하기 시작하였음.

(19) 초고압 단독 처리와 병합 살균 처리의 경우 대장균군이 완전히 사멸하였고, 이로 인해 대장균군이 다른 균들에 비해 비가열 살균인 자외선-광촉매 기술에 민감함을 알 수 있었음.

### 3. 동치미액의 자외선 처리 조건에 따른 품질 특성 비교

#### 가. 연속형 자외선-광촉매 시스템을 이용한 품질 변화 비교

표 34. 자외선-광촉매 살균 처리 방식이 동치미액의 색도에 미치는 영향

Treatment	Quality parameters		
	L*	a*	b*
No treatment	19.42	-1.18	2.45
TiO <sub>2</sub> -UV treatment	18.94	-0.97	2.81

(L\*: lightness/darkness, a\*: redness/greenness, b\*: yellowness/blueness)

표 35. 자외선-광촉매 살균 처리 방식이 동치미액의 탁도와 pH에 미치는 영향

Treatment	Quality parameters	
	Turbidity (OD 590nm)	pH
No treatment	1.60	4.10
TiO <sub>2</sub> -UV treatment	1.37	4.12

(1) 낮은 자외선 조사량으로 처리한 동치미액은 유속이 빨라 처리 시간도 단축되고, 에너지 소비도 적기 때문에 처리조건(1.88 J/cm<sup>2</sup>)을 고정하였음.

(2) 동치미액의 연속형 자외선-광촉매 처리 전 후의 색도, 탁도, pH를 비교한 결과 미미한 변화가 있었지만 뚜렷한 품질 변화가 발견되지 않음.

(3) 그러므로, 연속형 자외선-광촉매 살균 시스템은 동치미의 살균에 적합한 것으로 판단됨.

(4) 다른 시스템인 나선형 자외선 살균 시스템(조사량: 2.5 J/mL)을 이용한 동치미액의 품질 특성을 또한 측정하였으며, 살균 효과 실험 시 추가적인 효과를 위해 초고압 처리를 도입했기에 이에 따른 품질 변화도 비교함.

#### 나. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 이용한 품질 변화 비교

표 36. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 이용한 동치미액의 pH 변화 (저장기간: 5일)

Treatment	Storage period (days)					
	0	1	2	3	4	5
No treatment	4.16 ± 0.01 <sup>a</sup>	3.69 ± 0.02 <sup>a</sup>	3.52 ± 0.02 <sup>a</sup>	3.45 ± 0.03 <sup>a</sup>	3.42 ± 0.03 <sup>a</sup>	3.45 ± 0.06 <sup>a</sup>
UV alone	4.14 ± 0.01 <sup>a</sup>	3.86 ± 0.12 <sup>b</sup>	3.63 ± 0.02 <sup>b</sup>	3.55 ± 0.03 <sup>b</sup>	3.47 ± 0.06 <sup>ab</sup>	3.49 ± 0.02 <sup>a</sup>
Heat	4.12 ± 0.01 <sup>a</sup>	4.43 ± 0.01 <sup>c</sup>	3.67 ± 0.02 <sup>b</sup>	3.53 ± 0.01 <sup>b</sup>	3.51 ± 0.03 <sup>b</sup>	3.49 ± 0.03 <sup>a</sup>
HP400	4.72 ± 0.03 <sup>f</sup>	5.05 ± 0.07 <sup>f</sup>	3.84 ± 0.16 <sup>c</sup>	3.50 ± 0.04 <sup>ab</sup>	3.46 ± 0.01 <sup>ab</sup>	3.34 ± 0.03 <sup>a</sup>
UV-HP400	4.68 ± 0.01 <sup>e</sup>	4.93 ± 0.08 <sup>e</sup>	3.78 ± 0.01 <sup>c</sup>	3.58 ± 0.10 <sup>b</sup>	3.51 ± 0.01 <sup>b</sup>	3.30 ± 0.06 <sup>a</sup>
HP500	4.57 ± 0.01 <sup>d</sup>	4.70 ± 0.03 <sup>d</sup>	4.42 ± 0.14 <sup>d</sup>	3.83 ± 0.01 <sup>c</sup>	3.69 ± 0.02 <sup>c</sup>	3.58 ± 0.08 <sup>a</sup>
UV-HP500	4.42 ± 0.00 <sup>b</sup>	4.64 ± 0.01 <sup>d</sup>	4.63 ± 0.05 <sup>e</sup>	4.44 ± 0.02 <sup>d</sup>	3.75 ± 0.05 <sup>d</sup>	3.68 ± 0.07 <sup>a</sup>
HP600	4.39 ± 0.01 <sup>b</sup>	4.67 ± 0.03 <sup>d</sup>	4.64 ± 0.04 <sup>e</sup>	4.55 ± 0.11 <sup>e</sup>	4.43 ± 0.05 <sup>e</sup>	4.14 ± 0.50 <sup>b</sup>
UV-HP600	4.48 ± 0.00 <sup>c</sup>	4.62 ± 0.06 <sup>d</sup>	4.53 ± 0.08 <sup>e</sup>	4.54 ± 0.03 <sup>e</sup>	4.54 ± 0.01 <sup>f</sup>	4.12 ± 0.48 <sup>b</sup>

(1) 5일 간의 저장실험을 통해 각 처리 조건에 따른 pH의 변화를 관찰한 결과, 처리 압력이 증가 할수록, 병합 처리를 할수록 pH가 유지됨을 알 수 있었음.

표 37. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 이용한 동치미액의 적정 산도 변화 (저장기간: 5일)

Treatment	Storage period (days)					
	0	1	2	3	4	5
No treatment	0.08 ± 0.00 <sup>bc</sup>	0.20 ± 0.02 <sup>d</sup>	0.40 ± 0.02 <sup>e</sup>	0.46 ± 0.02 <sup>f</sup>	0.50 ± 0.01 <sup>f</sup>	0.48 ± 0.03 <sup>c</sup>
UV alone	0.06 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.18 ± 0.05 <sup>c</sup>	0.40 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.40 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.41 ± 0.02 <sup>e</sup>	0.48 ± 0.02 <sup>c</sup>
Heat	0.06 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.07 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.32 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.33 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.32 ± 0.01 <sup>b</sup>
HP400	0.08 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.25 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.41 ± 0.02 <sup>e</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>e</sup>	0.54 ± 0.01 <sup>c</sup>
UV-HP400	0.06 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.21 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.38 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.42 ± 0.02 <sup>e</sup>	0.50 ± 0.06 <sup>c</sup>
HP500	0.08 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.09 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.13 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.26 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.29 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.35 ± 0.06 <sup>b</sup>
UV-HP500	0.07 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.09 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.11 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.10 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.26 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.33 ± 0.07 <sup>b</sup>
HP600	0.07 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.10 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.12 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.17 ± 0.11 <sup>a</sup>
UV-HP600	0.08 ± 0.00 <sup>bc</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.11 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.12 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.16 ± 0.09 <sup>a</sup>

(1) 저장기간 5일 동안 적정 산도가 pH변화와 유사한 경향으로 증가했음을 알 수 있음.

표 38. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 이용한 동치미액의 탁도와 갈변도 변화 (저장기간: 5일)

Treatment	Storage period (days)					
	0	1	2	3	4	5
No treatment	0.37 ± 0.00 <sup>g</sup>	0.69 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.89 ± 0.08 <sup>cd</sup>	1.04 ± 0.09 <sup>b</sup>	1.48 ± 0.05 <sup>c</sup>	1.50 ± 0.04 <sup>d</sup>
UV alone	0.30 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.58 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.85 ± 0.03 <sup>cd</sup>	0.95 ± 0.05 <sup>ab</sup>	1.05 ± 0.03 <sup>ab</sup>	1.28 ± 0.11 <sup>bc</sup>
Heat	0.39 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.86 ± 0.07 <sup>d</sup>	1.03 ± 0.05 <sup>e</sup>	1.03 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.90 ± 0.08 <sup>ab</sup>	0.90 ± 0.11 <sup>a</sup>
HP400	0.26 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.21 ± 0.04 <sup>f</sup>	1.05 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.07 ± 0.09 <sup>ab</sup>	1.09 ± 0.09 <sup>ab</sup>
UV-HP400	0.29 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.24 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.94 ± 0.18 <sup>de</sup>	1.13 ± 0.07 <sup>b</sup>	1.11 ± 0.13 <sup>b</sup>	1.39 ± 0.13 <sup>cd</sup>
HP500	0.33 ± 0.00 <sup>e</sup>	0.24 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.80 ± 0.03 <sup>c</sup>	0.93 ± 0.04 <sup>ab</sup>	1.01 ± 0.10 <sup>ab</sup>	1.10 ± 0.14 <sup>ab</sup>
UV-HP500	0.33 ± 0.00 <sup>e</sup>	0.22 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.56 ± 0.23 <sup>b</sup>	0.62 ± 0.34 <sup>a</sup>	1.01 ± 0.20 <sup>ab</sup>	1.08 ± 0.03 <sup>ab</sup>
HP600	0.32 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.21 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.20 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.95 ± 0.33 <sup>ab</sup>	0.86 ± 0.39 <sup>a</sup>	1.10 ± 0.40 <sup>ab</sup>
UV-HP600	0.32 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.21 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.20 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.63 ± 0.60 <sup>a</sup>	1.37 ± 0.08 <sup>c</sup>	1.19 ± 0.18 <sup>b</sup>

Treatment	Storage period (days)					
	0	1	2	3	4	5
No treatment	0.71 ± 0.00 <sup>d</sup>	1.08 ± 0.07 <sup>c</sup>	1.07 ± 0.03 <sup>c</sup>	1.06 ± 0.03 <sup>d</sup>	1.17 ± 0.07 <sup>c</sup>	1.26 ± 0.14 <sup>bc</sup>
UV alone	0.67 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.91 ± 0.10 <sup>b</sup>	0.98 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.90 ± 0.03 <sup>c</sup>	0.93 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.31 ± 0.21 <sup>c</sup>
Heat	0.92 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.89 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.48 ± 0.02 <sup>d</sup>	1.41 ± 0.22 <sup>f</sup>	1.57 ± 0.04 <sup>d</sup>	1.50 ± 0.03 <sup>d</sup>
HP400	0.46 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.45 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.66 ± 0.02 <sup>e</sup>	1.54 ± 0.05 <sup>g</sup>	1.56 ± 0.11 <sup>d</sup>	1.61 ± 0.09 <sup>d</sup>
UV-HP400	0.48 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.39 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.40 ± 0.18 <sup>d</sup>	1.60 ± 0.06 <sup>g</sup>	1.60 ± 0.12 <sup>d</sup>	1.82 ± 0.08 <sup>e</sup>
HP500	0.62 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.42 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.65 ± 0.21 <sup>b</sup>	1.30 ± 0.02 <sup>e</sup>	1.13 ± 0.09 <sup>c</sup>	1.09 ± 0.26 <sup>b</sup>
UV-HP500	0.63 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.46 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.57 ± 0.10 <sup>b</sup>	1.09 ± 0.09 <sup>c</sup>	1.17 ± 0.21 <sup>bc</sup>
HP600	0.64 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.45 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.00 <sup>a</sup>
UV-HP600	0.61 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.45 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.02 <sup>a</sup>

(1) 탁도는 모든 처리군에서 시간이 지나면서 증가하는 경향을 보이며 특히 열처리한 동치미액은 매우 빠른 증가율을 보였음.

(2) 갈변도는 미생물의 생장에 비례하여 증가하였으며 압력이 600 MPa일 때는 초기 수치를 일정하게 유지하였음.

표 39. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 이용한 동치미액의 색도(L\*, a\*, b\*) 변화 (저장기간: 5일)

Treatment	Storage period (days)					
	0	1	2	3	4	5
No treatment	19.45±0.02 <sup>ab</sup>	18.67±0.18 <sup>a</sup>	19.06±0.28 <sup>a</sup>	18.95±0.14 <sup>ab</sup>	18.65±0.15 <sup>a</sup>	18.68±0.17 <sup>b</sup>
UV alone	19.74±0.55 <sup>bc</sup>	18.94±0.17 <sup>b</sup>	18.95±0.16 <sup>ab</sup>	19.19±0.16 <sup>ab</sup>	19.15±0.11 <sup>cd</sup>	18.86±0.37 <sup>bc</sup>
Heat	19.36±0.06 <sup>ab</sup>	19.24±0.07 <sup>c</sup>	18.80±0.19 <sup>ab</sup>	19.31±0.57 <sup>bc</sup>	18.83±0.04 <sup>ab</sup>	18.75±0.06 <sup>bc</sup>
HP400	20.18±0.01 <sup>cd</sup>	20.64±0.14 <sup>g</sup>	19.32±0.42 <sup>b</sup>	19.16±0.35 <sup>ab</sup>	19.17±0.17 <sup>cd</sup>	18.11±0.24 <sup>a</sup>
UV-HP400	20.49±0.22 <sup>d</sup>	20.02±0.31 <sup>f</sup>	19.57±0.48 <sup>cd</sup>	19.29±0.29 <sup>bc</sup>	18.91±0.18 <sup>abc</sup>	18.67±0.16 <sup>b</sup>
HP500	19.06±0.05 <sup>a</sup>	19.55±0.12 <sup>d</sup>	19.80±0.71 <sup>de</sup>	18.84±0.14 <sup>a</sup>	19.10±0.19 <sup>bcd</sup>	18.95±0.29 <sup>bc</sup>
UV-HP500	19.84±0.40 <sup>bc</sup>	19.57±0.11 <sup>d</sup>	19.81±0.03 <sup>de</sup>	19.72±0.11 <sup>a</sup>	19.29±0.14 <sup>d</sup>	19.10±0.21 <sup>c</sup>
HP600	19.68±0.04 <sup>bc</sup>	19.63±0.27 <sup>d</sup>	19.77±0.10 <sup>de</sup>	20.14±0.52 <sup>e</sup>	19.28±0.58 <sup>d</sup>	19.98±0.34 <sup>d</sup>
UV-HP600	19.48±0.01 <sup>ab</sup>	19.83±0.16 <sup>e</sup>	20.12±0.28 <sup>e</sup>	19.63±0.24 <sup>cd</sup>	20.00±0.30 <sup>e</sup>	20.19±0.54 <sup>d</sup>

Treatment	Storage period (days)					
	0	1	2	3	4	5
No treatment	-1.05±0.06 <sup>a</sup>	-0.84±0.09 <sup>d</sup>	-0.74±0.11 <sup>c</sup>	-0.85±0.08 <sup>c</sup>	-0.76±0.10 <sup>c</sup>	-0.73±0.06 <sup>b</sup>
UV alone	-0.92±0.02 <sup>a</sup>	-0.94±0.09 <sup>c</sup>	-0.77±0.10 <sup>bc</sup>	-0.93±0.08 <sup>b</sup>	-0.92±0.10 <sup>b</sup>	-0.78±0.06 <sup>b</sup>
Heat	-0.68±0.02 <sup>b</sup>	-0.83±0.06 <sup>d</sup>	-0.53±0.08 <sup>d</sup>	-0.53±0.10 <sup>e</sup>	-0.55±0.07 <sup>d</sup>	-0.56±0.03 <sup>c</sup>
HP400	-1.02±0.01 <sup>a</sup>	-1.11±0.08 <sup>a</sup>	-0.79±0.17 <sup>bc</sup>	-0.67±0.07 <sup>d</sup>	-0.60±0.13 <sup>d</sup>	-0.30±0.10 <sup>d</sup>
UV-HP400	-1.06±0.13 <sup>a</sup>	-1.07±0.10 <sup>ab</sup>	-0.87±0.18 <sup>bc</sup>	-0.72±0.06 <sup>d</sup>	-0.49±0.09 <sup>d</sup>	-0.34±0.06 <sup>d</sup>
HP500	-0.97±0.04 <sup>a</sup>	-1.00±0.09 <sup>abc</sup>	-0.91±0.14 <sup>b</sup>	-0.73±0.11 <sup>d</sup>	-0.96±0.07 <sup>b</sup>	-0.80±0.09 <sup>b</sup>
UV-HP500	-1.02±0.03 <sup>a</sup>	-1.02±0.08 <sup>abc</sup>	-1.09±0.04 <sup>a</sup>	-1.02±0.07 <sup>a</sup>	-0.84±0.08 <sup>bc</sup>	-0.80±0.08 <sup>b</sup>
HP600	-0.98±0.01 <sup>a</sup>	-0.99±0.08 <sup>bc</sup>	-1.06±0.09 <sup>a</sup>	-1.10±0.05 <sup>a</sup>	-0.89±0.17 <sup>b</sup>	-1.06±0.13 <sup>a</sup>
UV-HP600	-1.02±0.08 <sup>a</sup>	-1.01±0.07 <sup>abc</sup>	-1.06±0.07 <sup>a</sup>	-1.03±0.09 <sup>a</sup>	-1.06±0.10 <sup>a</sup>	-1.10±0.08 <sup>a</sup>

Treatment	Storage period (days)					
	0	1	2	3	4	5
No treatment	2.32±0.05 <sup>d</sup>	2.89±0.14 <sup>d</sup>	2.99±0.27 <sup>c</sup>	2.87±0.10 <sup>c</sup>	3.03±0.16 <sup>c</sup>	3.08±0.15 <sup>e</sup>
UV alone	2.52±0.13 <sup>c</sup>	2.58±0.15 <sup>c</sup>	2.85±0.20 <sup>bc</sup>	2.45±0.01 <sup>a</sup>	2.70±0.18 <sup>ab</sup>	2.98±0.12 <sup>de</sup>
Heat	2.56±0.05 <sup>c</sup>	2.41±0.05 <sup>b</sup>	2.89±0.18 <sup>bc</sup>	2.67±0.06 <sup>b</sup>	2.75±0.07 <sup>abc</sup>	2.76±0.10 <sup>abc</sup>
HP400	2.01±0.03 <sup>bc</sup>	1.90±0.16 <sup>a</sup>	2.75±0.26 <sup>bc</sup>	3.05±0.07 <sup>c</sup>	2.63±0.25 <sup>ab</sup>	2.94±0.15 <sup>cde</sup>
UV-HP400	2.05±0.04 <sup>c</sup>	2.19±0.18 <sup>b</sup>	2.62±0.31 <sup>b</sup>	3.04±0.11 <sup>c</sup>	2.88±0.36 <sup>ab</sup>	2.82±0.25 <sup>ab</sup>
HP500	2.34±0.03 <sup>bc</sup>	2.35±0.27 <sup>b</sup>	2.71±0.26 <sup>bc</sup>	2.86±0.23 <sup>c</sup>	2.67±0.07 <sup>ab</sup>	2.72±0.12 <sup>ab</sup>
UV-HP500	2.39±0.07 <sup>a</sup>	2.36±0.21 <sup>b</sup>	2.15±0.04 <sup>a</sup>	2.31±0.27 <sup>a</sup>	2.51±0.18 <sup>a</sup>	2.66±0.13 <sup>ab</sup>
HP600	2.40±0.04 <sup>b</sup>	2.36±0.18 <sup>b</sup>	2.37±0.15 <sup>a</sup>	2.25±0.25 <sup>a</sup>	2.95±0.47 <sup>bc</sup>	2.73±0.23 <sup>ab</sup>
UV-HP600	2.34±0.05 <sup>a</sup>	2.29±0.10 <sup>b</sup>	2.21±0.06 <sup>a</sup>	2.33±0.29 <sup>a</sup>	2.50±0.18 <sup>a</sup>	2.55±0.20 <sup>a</sup>

(1) 동치미액의 색도를 비교 분석한 결과 저장기간 중 큰 변화가 나타나지 않았으나, 적색도가 시간이 지나면서 다소 증가하는 경향을 보였음.

(2) 이는 동치미 내의 미생물 성장에 의해 품질변화가 일어났기 때문임.



표 40. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 이용한 동치미액의 Vitamin C 함량 분석

Treatment	Ascorbic acid content (mg/mL)
<b>No treatment</b>	<b>0.120 ± 0.017<sup>b</sup></b>
<b>UV alone</b>	<b>0.045 ± 0.011<sup>a</sup></b>
<b>Heat</b>	<b>0.057 ± 0.010<sup>a</sup></b>
<b>HP400</b>	<b>0.054 ± 0.010<sup>a</sup></b>
<b>UV-HP400</b>	<b>0.064 ± 0.003<sup>a</sup></b>
<b>HP500</b>	<b>0.057 ± 0.008<sup>a</sup></b>
<b>UV-HP500</b>	<b>0.049 ± 0.005<sup>a</sup></b>
<b>HP600</b>	<b>0.038 ± 0.004<sup>a</sup></b>
<b>UV-HP600</b>	<b>0.045 ± 0.009<sup>a</sup></b>

(1) 모든 처리군에서 초기 동치미액의 Vitamin C 함량에 비해 감소하였으며, 압력이 높아질 수록 Vitamin C 함량이 감소함.

4. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리를 적용한 동치미액의 관능평가

표 41. 나선형 자외선 시스템과 초고압 처리한 동치미액의 관능평가

Treatment	<i>Dongchimi</i> flavor	<i>Dongchimi</i> taste	<i>Dongchimi</i> color	Overall acceptability
No treatment	3.81 ± 1.17 <sup>b</sup>	3.16 ± 1.00 <sup>a</sup>	3.13 ± 0.72 <sup>a</sup>	3.16 ± 0.78 <sup>a</sup>
Heat	3.13 ± 0.96 <sup>a</sup>	2.84 ± 1.00 <sup>a</sup>	3.13 ± 0.85 <sup>a</sup>	2.94 ± 1.15 <sup>a</sup>
HP600	3.55 ± 0.85 <sup>ab</sup>	2.97 ± 0.91 <sup>a</sup>	3.52 ± 0.68 <sup>ab</sup>	3.34 ± 1.06 <sup>a</sup>
UV-HP600	3.58 ± 0.81 <sup>ab</sup>	2.81 ± 0.98 <sup>a</sup>	3.63 ± 0.68 <sup>b</sup>	3.19 ± 0.98 <sup>a</sup>

표 42. 나선형 자외선 시스템과 초고압기 처리 후 5일간 저장(25 °C)한 동치미액의 관능평가

Treatment	<i>Dongchimi</i> flavor	<i>Dongchimi</i> taste	<i>Dongchimi</i> color	Overall acceptability
No treatment	3.97 ± 0.80 <sup>b</sup>	2.77 ± 0.67 <sup>a</sup>	3.84 ± 0.64 <sup>b</sup>	3.00 ± 0.68 <sup>a</sup>
Heat	3.58 ± 0.67 <sup>a</sup>	3.03 ± 0.80 <sup>a</sup>	3.65 ± 0.80 <sup>ab</sup>	2.90 ± 1.04 <sup>a</sup>
HP600	3.61 ± 0.72 <sup>a</sup>	3.61 ± 0.62 <sup>b</sup>	3.26 ± 0.68 <sup>a</sup>	3.39 ± 0.95 <sup>a</sup>
UV-HP600	3.39 ± 0.92 <sup>a</sup>	3.55 ± 0.62 <sup>b</sup>	3.42 ± 0.50 <sup>a</sup>	3.45 ± 0.57 <sup>a</sup>

(1) 살균 처리 직후의 경우, 미처리 동치미액의 선호도가 높았으나, 다른 처리군과 큰 차이는 없었음.

(2) 상온에서 5일 간 저장 후 관능평가를 했을 때, 처리 전·후의 선호도 차이가 거의 나타나지 않았음.

(3) 그러므로, 관능평가를 통해 각종처리 후의 동치미액의 맛의 변화가 구분 가능할 정도로 크지 않는 것을 알 수 있었음.

## 5. 결론

- 연속형 자외선-광촉매 시스템을 이용한 동치미액의 살균력을 측정한 결과 동치미액의 품질 향상에 높은 효과를 보임.
- 나선형 자외선 시스템을 적용하여 살균 처리했을 때, 동치미액 부패에 문제가 되는 호기성 세균, 젖산균, 그리고 대장균군에서 모두 높은 살균력을 보임.
- 탁도, 갈변도, 색도를 통해 자외선-광촉매 살균이 동치미액의 품질에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었음.
- 살균 처리 후, 동치미액 내의 Vitamin C 함량이 줄어들었지만 영양학적으로 큰 문제가 되지 않으므로 자외선 및 초고압 살균 시스템이 동치미액의 살균에 적합한 것으로 사료됨.
- 자외선 시스템과 초고압 처리를 병합 처리했을 때, 상온의 저장기간 동안 품질 유지에 뛰어난 효과를 보임.
- 그러므로 자외선 및 초고압 시스템을 이용한 살균 처리 방법이 동치미액의 상온보관 유통에 적합할 것이라 예상됨.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야의 기여도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차년도 (2012)	액상 식품의 미생물 안전성 확보를 위한 자외선-광촉매 비열처리 시스템 개발과 적용	고로쇠 수액의 자외선-광촉매 살균 시스템 구축	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현재 시판, 유통되고 있는 고로쇠 수액의 미생물 오염도와 저장성 조사</li> <li>- 고로쇠 수액의 처리시간 및 자외선 강도에 따른 살균 효과 확인</li> <li>- 나선형 자외선 살균 시스템과 연속형 자외선-광촉매 시스템의 살균 효과 비교 평가</li> </ul>
		과채주스의 자외선-광촉매 살균 시스템 구축	95	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시중 유통 과채주스 시장조사 및 문헌조사</li> <li>- 기초 실험을 통한 과채주스의 미생물 오염도 조사</li> <li>- 자외선-광촉매 살균 시스템의 처리 조건 구축</li> <li>- 과채주스의 품질 평가를 위한 분석법 확립</li> </ul>
		식혜 관련 시장조사 및 시중 유통 음료 살균 전 상태 조사	110	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시중 유통 식혜 시장조사 및 문헌조사</li> <li>- 유통되고 있는 시판 식혜의 미생물 오염도 조사</li> <li>- 균총 확인 후 살균 조건 예측</li> <li>- 자외선-광촉매 살균 시스템을 이용하여 살균한 식혜의 살균 효과 확인 및 품질 특성 분석</li> </ul>
		동치미액에 대한 시장/문헌 조사 및 예비 실험	120	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 동치미액 이용현황, 상품조사 및 성분에 대한 자료 수집</li> <li>- 동치미액에 존재하는 유해 미생물 확인</li> <li>- 기초 실험을 통한 자외선-광촉매 살균 처리 시료의 미생물 오염도 및 품질의 변화 측정</li> <li>- 자외선-광촉매 살균 시스템을 이용하여 위해미생물 살균 효과 확인</li> </ul>

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
2차년도 (2013)	액상 식품의 미생물 안전성 확보를 위한 자외선-광촉매 비열처리 시스템 개발과 적용	고로쇠 수액의 자외선-광촉매 살균 시스템의 최적화	90	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 각 시스템 (연속형, Batch형 자외선-광촉매, 나선형 자외 선 장치)과 열처리에 따른 살 균 효율 비교</li> <li>- 각 처리 조건에 따른 품질 특 성 비교 (pH, 당도, 탁도, 갈 변도, 색도)</li> <li>- 저장실험을 통해 고로쇠 수액 의 살균효율과 품질변화 관찰</li> </ul>
		자외선-광촉매 살균 처리된 과채주스의 kinetic model 설정	95	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시중에 유통되고 있는 살균되 지 않은 과채주스 시료(오렌 지)를 Batch형 자외선-광촉 매 살균 시스템을 이용하여 미생물 살균 효과 비교</li> <li>- 또한 현재 산업에서 이용되는 염소살균과의 살균 효과 비교</li> <li>- 각 처리조건에 따른 살균 효 과에 적합한 kinetic model 확인</li> </ul>
		식혜의 자외선-광촉매 살균 시스템 구축 및 효능 평가	95	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 살균 처리 조건에 따른 식혜 의 미생물 오염도 평가</li> <li>- 각 살균 처리/비처리 시료의 품질 특성 비교 (당도, pH, 색도, 관능평가)</li> <li>- 저장온도에 따른 살균효율과 품질변화 관찰</li> </ul>
		동치미액의 자외선 살균 시스템 구축 및 효능 평가	120	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 가열살균, 자외선살균, 초고압 살균, 자외선-초고압병합살균 시스템을 이용하여 동치미액 의 살균효율과 품질특성 변화 측정(Vitamin C, pH, 적정 산 도, 갈변도, 색도, 탁도)</li> <li>- 저장실험을 통해 상온에서의 미생물 살균효율과 품질변화 관찰</li> </ul>

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
3차년도 (2014)	액상 식품의 미생물 안전성 확보를 위한 자외선-광촉매 비열처리 시스템 개발과 적용	고로쇠 수액 저장 시 발생하는 침전물 조성확인	100	- 고로쇠 수액을 저장 시 발생 하는 침전물(Cloud)의 조성물 질과 생성원인 추적
		과채주스의 자외선-광촉매 살균 시스템 조건 확립 및 저장성 평가	100	- 시중에 유통되고 있는 살균되 지 않은 과채주스 시료(케일) 를 각각 Batch형 자외선-광 촉매 살균 시스템과 초고압 기술을 단독 혹은 병합하여 미생물 살균 효과와 품질평가 의 기준이 되는 성분의(pH, 색도, phenolic compound) 변 화 확인
		자외선-광촉매 살균 처리된 식혜의 향미변화에 대한 분석	100	- 비가열 처리 후 변하는 향미 에 대한 원인성분 추적
		자외선 살균 처리된 동치미액의 관능평가	100	- 열처리, 자외선과 초고압의 각각의 단독처리와 병합처리 후 관능평가 실시 - 저장실험 후, 처리별 관능평 가 실시

본 연구 과제를 수행하며 1, 2, 3 차년도 연구 결과들을 다음과 같이 학술발표회에 발표하고자 학회지에 투고하여 관련 연구 분야의 연구 수행에 참고 될 수 있도록 하였다.

연번	성과물명	학술대회명	개최지	발표 년월	학술대회 구분
1	Application of Non-thermal Technology for Preservation of <i>Acer Mono Sap</i> by $TiO_2$ -UVC Photocatalytic Reaction	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)
2	$TiO_2$ Photocatalytic Inactivation of Foodborne Pathogenic Microorganisms in Liquid Foods	한국식품과학회	대전	2012년 6월	학술발표 (국내)
3	Effects of Combined Treatment of Teflon®-coil and High Hydrostatic Pressure on Microbial and Quality Characteristics in <i>Dongchimi</i>	한국식품과학회	천안	2013년 8월	학술발표 (국내)

4	Effects of UV-assisted TiO <sub>2</sub> Photocatalytic Reaction on Preservation of <i>Sikhye</i>	한국식품과학회	천안	2013년 8월	학술발표 (국내)
5	A Combination of TiO <sub>2</sub> -UVC Photocatalysis and High Hydrostatic Pressure to Inactivate Surface Inoculated <i>E. coli</i> O157:H7 in Freshly Squeezed Orange Juice	한국식품과학회	광주	2014년 8월	학술발표 (국내)
6	Novel Process for Pasteurization of Fresh Kale Juice Using Titanium Dioxide-UV Photocatalytic Reaction	IFT	USA	2012년 6월	학술대회 (국외)
7	Disinfection of Fresh Watermelon Juice with Teflon-Coil UVC System	IFT	USA	2012년 6월	학술대회 (국외)
8	A Combination of TiO <sub>2</sub> -UV Photocatalysis and High Hydrostatic Pressure to Extend Shelf-life of Freshly Squeezed Kale Juice	IFT	USA	2013년 7월	학술대회 (국외)
9	Effects of a Combined Treatment of TiO <sub>2</sub> -UV Photocatalytic Reaction and High Hydrostatic Pressure on Inactivation of Foodborne Microorganisms in Apple Juice	IFT	USA	2013년 7월	학술대회 (국외)
10	TiO <sub>2</sub> -UVC Photocatalysis for Inactivation of <i>Escherichia coli</i> O157:H7 on Orange Surface	IAFP European Symposium	Hungary	2014년 5월	학술대회 (국외)

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

### 제 1 절 논문 성과

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2013	Bacterial inactivation in water, DNA strand breaking, and membrane damage induced by ultraviolet-assisted titanium dioxide photocatalysis	김수현	박지용	Kashif Ghafoor, 이주영, 풍매, 홍정연, 이동언	Water research	47	국외	SCI
2013	Effects of ultraviolet-C treatment in Teflon®-coil on microbial populations and physico-chemical characteristics of watermelon juice	Mei Feng	박지용	Kashif Ghafoor, 서보현, 양근용	Innovative Food Science and Emerging Technologies	19	국외	SCI
2014	A combination of TiO <sub>2</sub> -UV photocatalysis and high hydrostatic pressure to inactivate <i>Bacillus cereus</i> in freshly squeezed <i>Angelica keiskei</i> juice	채창훈	박지용	이주영, 이연정, 나상열	LWT - Food Science and Technology	55	국외	SCI
투고중	Inactivation of bacterial pathogens and yeast in apple juice using a synergistic action of TiO <sub>2</sub> -UV photocatalysis and high hydrostatic pressure	유성열	박지용	Kashif Ghafoor, 서보현, 김수정, 최영진, 이동언	Journal of Food Microbiology		국외	SCI
Accepted	Inactivation of <i>Escherichia coli</i> O157:H7 on Orange Fruit Surfaces and Juice using Photocatalysis and High Hydrostatic Pressure	유성열	박지용	Kashif Ghafoor, 김정운, 김상현, 정보라, 이동언	Journal of Food Protection		국외	SCI

제 2 절 특허 성과  
(해당 없음)

제 3 절 기술이전  
(해당 없음)

제 4 절 교육, 지도, 홍보 등 기술 확산 계획  
(해당없음)

제 5 절 수상실적

일자	수상명칭	공적내용
2014-05-09	IAFP European Symposium - Technical Award (Food Safety)	IAFP European Symposium - Technical Award (Food Safety) “TiO <sub>2</sub> -UVC Photocatalysis for Inactivation of <i>Escherichia coli</i> O157:H7 on Orange Surface”

제 6 절 추가 연구, 타 연구 활용 계획

최근 경제 성장으로 인한 소득 수준 변화로 인해 소비자들의 건강과 식생활에 대한 관심도는 높아지고 있다. 이로 인하여 기존에 적용되던 열처리 식품의 소비가 감소하고 과일, 채소류의 소비가 급증하고 있다. 과일, 채소류의 소비가 증가함에 따라 기존의 열처리를 대신할 수 있는 비가열 세척 처리의 개발이 시급하다. 소비자자들의 요구를 만족시키기 위해 식품 산업 또한 식품의 위생 및 품질에 민감히 대처하고 식품의 본연의 상태를 유지할 수 있는 최소 가공 식품에 대한 개발을 활발히 해야 한다.

비가열 살균 방법 중의 대표적인 자외선 살균은 현재 수질과 공기 등의 환경적인 측면에서 많이 이용되고 있다. 이외에도 실생활에서 의료 및 생활 용품의 표면 살균용으로도 많이 사용되고 있다. 하지만, 아직 신선 식품의 표면 살균 처리로는 화학 물질에 침지하는 살균이 많이 이루어지고 있다. 이러한 화학 물질 침지 살균에 비하여 자외선 살균은 빛을 이용한 기술로써 반영구적으로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 식품에 적용하였을 때, 식품에 잔류하지 않으며 인체에 해로운 부산물도 생성하지 않는 장점이 있다.

특히, 자외선과 함께 광촉매인 이산화 티타늄을 병합하여 사용할 경우, 광촉매인 반도체의 표면에 자외선에 의한 빛 에너지의 조사로 생성된 수산화 라디칼과 초과산화물 라디칼이 생성된다. 이는 유기 물질을 사용하는 화학적 처리 방법 및 가열 및 냉동, 건조 등의 물리적 처리



방법을 사용하지 않아도 되기 때문에 식품의 품질 변화를 최소화 할 수 있으므로, 열에 의해서 손상이 큰 과일, 채소류에 대한 적용이 가능하며, 건강 기능성 식품에도 적용이 가능할 것으로 예상된다. 또한 자외선-광촉매 병합 처리를 할 경우, 자외선 단독 처리를 하였을 경우보다 살균력이 강하였다. 이러한 자외선-광촉매 병합 처리는 수질 오염 살균 뿐 만 아니라 공기 살균에도 적용될 경우 더욱 효과적으로 사용될 수 있다고 판단된다.

본 연구실의 연속형 자외선-광촉매 살균 장치와 나선형 자외선 살균 장치의 경우, 액상 식품의 살균에 최적화되어 있다. 하지만 자외선-광촉매 산화 반응은 빛을 투과 시켜 살균을 하는 것이므로 시료의 색과 탁도에 영향을 많이 받게 된다. 투명한 액체 시료에 적용 시킬수록, 더욱 효과적인 살균력이 있었다. Batch형 자외선-광촉매 살균 장치의 경우, 액상 식품보다는 과일이나 채소류에 효과가 더 좋아 시료를 살균 후, 착즙을 하여 주스를 제조 시 효과적이었다. 또한 위해미생물인 리스테리아, 대장균, 살모넬라 등에서 확실한 살균력을 확인할 수 있었으므로, 신선편이 채소류에 특이적인 식중독 균으로부터 소비자의 안전을 확보할 수 있을 것으로 생각된다. 특히 초고압처리를 병합했었던 과채주스(케일)와 동치미액의 경우, 효과적인 미생물 제어와 품질 유지기간이 증가함을 보이므로 앞으로 이러한 병합기술을 이용하여 다양한 시료에 적용하여 그 추이를 지켜봐야 할 것이다.

또한 개발된 살균, 소독 기술은 액상 식품뿐만 아니라, 신선편이식품 및 외식, 급식시장의 식품안전을 확보하여 건전한 산업발전과 수출에 기여할 수 있으며 음료수 제조업체나 외식, 급식업체에 기술이전이 가능하다고 판단된다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

- Comparison between the photocatalytic inactivation of Gram-positive *E. faecalis* and Gram-negative *E. coli* faecal contamination indicator microorganisms (Van Grieken, R., et al., 2010)

광촉매 살균을 그람 음성균과 그람 양성균이 접종 되어 있는 물에 적용시켜 그 효과를 보고 광촉매를 적용하지 않은 washing과 UVA의 살균효과를 비교하는 연구이다. 연구결과, 광촉매를 적용을 하지 않은 살균법과 UVA는 그람 양성균과 음성의 특성 영향을 많이 받으며, 그람 양성균보다 음성이 더 쉽게 감소한다. 이는 그람 음성균의 세포벽이 양성균보다 얇기 때문이다. TiO<sub>2</sub> 현탁액(TiO<sub>2</sub> 가루를 시료에 섞은 것)은 균의 속성에 영향을 받지 않아 살균 효과가 좋지만, 물속에 TiO<sub>2</sub> 가루가 남게 된다.

- Efficacy of ultraviolet radiation as an alternative technology to inactivate microorganisms in grape juices and wines (Fredericks, I. N., et al., 2011)

와인 보존제로 쓰이는 SO<sub>2</sub> 사용량을 낮추고자 UVC를 이용하여 포도주와 포도 주스의 살균력을 측정한 연구이다. 기존 보존제인 SO<sub>2</sub>는 와인에 안정성을 유지시키지만 건강을 위협한다는 문제도 제기되었다. 포도주와 포도 주스의 UV처리 결과, 보다 높은 UV 조사량일수록 적색 와인보다 백색 와인일수록 높은 효과가 나타났다. 이는 UV 살균력은 처리 시간이나 세기의 영향을 받을 뿐만 아니라 액체의 색도에도 의존한다는 것이다.

- Impact of UVC light on safety and quality of fresh-cut melon (Manzocco, L., et al., 2011)

신선편이과일인 melon에 UVC를 적용시켜 살균효과와 품질변화를 측정 연구이다. 처리한 melon과 처리 하지 않은 melon을 저장 관찰한 결과, UVC는 쉽고 빠른 처리 공정과 뛰어난 살균력뿐만 아니라 제품의 향과 맛을 향상 시키고 저장기간도 연장 시켜준다.

- Enhanced inactivation of *Escherichia coli* with Ag-coated TiO<sub>2</sub> thin film under UV-C irradiation (Wu, D., et al., 2011)

Ag으로 코팅한 TiO<sub>2</sub> 광촉매의 감균 효과와 세포벽 손상에 대한 관찰하는 연구이며, 이는 UV 단독으로 처리 하였을 때보다 균의 성장을 억제하는 효과가 더 높고, 직접적으로 세포벽에 타격을 입힌다. 또한 TiO<sub>2</sub>로 인해 말론알데히드가 많아지고 세포 내의 포타슘과 단백질을 빠르게 손실시켜 강한 살균작용을 수행한다.

- Effects of UVC treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, microbial loads, and quality of button mushrooms (Guan, W., et al., 2012)

*Escherichia coli* O157:H7이 접종된 버섯을 UVC처리 한 후 저장하여 버섯의 균수 측정하고, 그에 따른 품질과 살균력을 측정한 연구이다. 처리 한 버섯과 하지 않은 버섯을 21일 관찰 한 결과, 버섯은 저장 동안에도 살균효과를 유지하였다. 처리하지 않은 버섯과 비교하였을 때, UV처리 직후 버섯은 다소 갈변현상과 조직손상이 일어났지만, 저장동안에 처리하지 않은 버섯보다 갈변현상과 영양성분 손실을 늦추는 결과를 보였다. 즉, UV처리가 버섯의 품질 악화를 늦추고 그의 저장기간을 연장 시킬 수 있다는 것이다.

- Effect of photosonication treatment on inactivation of total and coliform bacteria in milk (Şengül, M., et al., 2011)

우유를 초음파와 UVC 병합 살균하여 가열살균과 살균력 비교한 연구이다. 65 °C에서 30 분 가열살균을 한 결과 총균과 대장균은 각각 3.29, 5.31 log CFU/mL의 감균 효과를 보였지만, 초음파-UV 병합 살균에서 더 나은 감소율이 보였다. (총균: 4.79 log CFU/mL, 대장균: 5.31 log CFU/mL)

- Inactivation and potential reactivation of pathogenic *Escherichia coli* O157:H7 in apple juice following ultraviolet light exposure at three monochromatic wavelengths (Yin, F., et al., 2015)

두 개의 새로운 자외선 단파장(222, 282 nm)을 이용하여 *Escherichia coli* O157:H7이 접종된 사과 주스에 감균 효과를 보는 것이다. 282 nm에서 1.83 log 감균 되었으나 222 nm에서는 2.81 log 감균으로 더 큰 효과를 보였다. 암조건서 배양 시 (37 °C), 254와 282 nm에 비해 222nm에서 더 적게 생존했다. 즉, UVC 파장범위에 근접할수록 살균효과가 높음을 알 수 있다.

## 제 7 장 연구시설·장비 현황

Batch형 자외선-광촉매 살균 장치(Lab-scale UVC-TiO<sub>2</sub> reactor): 설계 및 제작 완료(그림 7.)

## 제 8 장 참고문헌

- Unluturk, S., Atilgan, M. R., Baysal, A. H., & Tari, C. (2008). Use of UV-C radiation as a non-thermal process for liquid egg products (LEP). *Journal of Food Engineering*, 85(4), 561-568.
- Skocaj, M., Filipic, M., Petkovic, J., & Novak, S. (2011). Titanium dioxide in our everyday life; is it safe?. *Radiology and oncology*, 45(4), 227-247.
- 최영욱, 차욱진, 백병학, 이종욱, & 안태영 (2011). 녹색 식품가공 기술의 확산 방안. 한국과학기술정보연구원, 1-76.
- Kim, Y., Choi, Y., Kim, S., Park, J., Chung, M., Song, K. B., ... & Park, J. (2009). Disinfection of Iceberg Lettuce by Titanium Dioxide - UV Photocatalytic Reaction. *Journal of Food Protection*, 72(9), 1916-1922.
- Tran, M. T. T., & Farid, M. (2004). Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(4), 495-502.
- Geveke, D. J. (2005). UV inactivation of bacteria in apple cider. *Journal of Food Protection* 68, 1739-1742.
- Keyser, M., Müller, I. A., Cilliers, F. P., Nel, W., and Gouws, P. A. (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 9, 348-354.
- Oh, J. H., Seo, S. T., Oh, H. Y., Hong, J. S., & Kang, H. Y. (2009). Analysis of the bacterial community during the storage of Gorosoe (*Acer mono Max.*) sap. *Korean Journal of Food and Nutrition*, 22, 492-496.
- Jeong, S. J., Lee, C. H., Kim, H. Y., Lee, S. H., Hwang, I. G., Shin, C. S., ... & Jeong, H. S. (2011). Physicochemical characteristics and nutritional components of Goroshoe (*Acer mono Max.*) sap with collection periods. *Journal of The Korean Society of Food Science and Nutrition*. 40(10), 1482-1487.
- Kang, K. M., & Baek, H. H. (2014). Aroma quality assessment of Korean fermented red pepper paste (*gochujang*) by aroma extract dilution analysis and headspace solid-phase microextraction - gas chromatography - olfactometry. *Food chemistry*, 145, 488-495.
- Van Grieken, R., Marugán, J., Pablos, C., Furones, L., & López, A. (2010). Comparison between the photocatalytic inactivation of Gram-positive *E. faecalis* and Gram-negative *E. coli* faecal contamination indicator microorganisms. *Applied Catalysis B: Environmental*, 100(1), 212-220.
- Fredericks, I. N., du Toit, M., & Krügel, M. (2011). Efficacy of ultraviolet radiation as an alternative technology to inactivate microorganisms in grape juices and wines. *Food microbiology*, 28(3), 510-517.
- Manzocco, L., Da Pieve, S., & Maifreni, M. (2011). Impact of UV-C light on safety and quality of fresh-cut melon. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(1), 13-17.

- Wu, D., You, H., Jin, D., & Li, X. (2011). Enhanced inactivation of *Escherichia coli* with Ag-coated TiO<sub>2</sub> thin film under UV-C irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 217(1), 177-183.
- Guan, W., Fan, X., & Yan, R. (2012). Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, microbial loads, and quality of button mushrooms. *Postharvest Biology and Technology*, 64(1), 119-125.
- Şengül, M., Erkaya, T., Başlar, M., & Ertugay, M. F. (2011). Effect of photosonication treatment on inactivation of total and coliform bacteria in milk. *Food Control*, 22(11), 1803-1806.
- Yin, F., Zhu, Y., Koutchma, T., & Gong, J. (2015). Inactivation and potential reactivation of pathogenic *Escherichia coli* O157: H7 in apple juice following ultraviolet light exposure at three monochromatic wavelengths. *Food microbiology*, 46, 329-335.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치 식품기술 개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치 식품기술 개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.