# 식품군별 자외선 살균처리 효과

## Efficacy of UV Light against Microorganism on Foods

유진희 · 김보람 · 최나영 · 이선영*

Jin-Hee Yoo · Bo-Ram Kim · Na-Young Choi · Sun-Young Lee*

중앙대학교 식품공학부

Department of Food Science and Technology, Chung-Ang University

## 1. 서론

국민소득수준의 상승과 식생활 문화의 고급화 등 삶의 질이 향상됨에 따라 건강 및 식품의 안전성에 대한 인식이 증가하고 있으며, 안전한 식품 생산에 대한 사회적 요구가 나날이 증가하여 있다. 식품의 안전성을 위협하는 요인으로는 생물학적, 화학적, 그리고 물리적인 위해 요소를 들 수 있는데, 이들 중 생물학적 요인, 그 중에서도 미생물에 의한 요인이 전체의 95%을 차지하고 있다. 따라서 안전한 식품을 생산하고 식중독을 예방하기 위해서 식품에 오염된 병원성 세균 등 미생물을 효과적으로 살균, 소독하는 것이 매우 중요하다. 식품에 오염된 미생물을 살균하기 위하여 열처리와 비열처리를 포함한 물리적 처리법과 화합물을 활용한 화학적 처리법이 있다. 이 중, 열처리는 식품에서 미생물을 위하여 가장 오랜 시간 사용되었던 방법으로 매우 높은 효과가 나타나지만, 식품의 관능적 또는 품질적 변화를 일으킬 수 있으므로, 제한적인 처리가 이루어지고 있다. 또한 항균물질을 활용한 화학적 처리법은 현재 가장 널리 사용되고 있는 손쉬운 처리법이나 몇몇 화학적 화합물의 경우 인체의 건강에 좋지 않은 영향을 줄 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한 화학적 화합물의 경우 소비자에게 좋지 않은 인식을 주는 단점을 포함한다. 자연유래 항균물질의 경우, 소비자에게 보다 화학적 항균제에 비해 좋은 평가를 보이나, 제한적인 항균성과 처리 후 관능적이 품질 등의 처리에 아직까지 여러 단점을 가지고 있는 형편이다. 따라서 최근에는 열을 사용하지 않는 물리적 처리법인 비가열 처리기술에 대한 관심이 높아지고 있으며, 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 비가열 처리기술로는 초고압 살균, 고전기장펄스, 진동자기장, 방사선 조사 그리고 자외선(ultraviolet, UV) 처리 등이 있다. 이 중 자외선 살균처리기술은 다양한 식품에서 병원성 세균과 곰팡이를 제거하는데 효과적인 방법이라고 알려져 있으며, 독성을 포함하지 않고 식품가공 과정에 사용될 경우, 소독 규제나 법적 제한이 없다는 장점을 가지고 있다. 또한 다른 비가열 처리기술에 비해 저렴하고 손쉽게 이용할 수 있는 방법으로 알려져 있다. 최근까지 많은 연구에서 다양한 식품의 살균과 미생물 처리에 있어 자외선 살균처리 효과에 대하여 조사 연구

* Corresponding Author: Sun-Young Lee
School of Food Science and Technology, Chung-Ang University
72-1 Nae-ri, Daedeok-myeon, Anseong-si, Gyeonggi-do, Korea
Tel: +82-31-670-4587, Fax: +82-31-676-8741, E-mail: nina6026@cau.ac.kr

되었다. 하지만, 자외선 살균처리기술 처리 효과는 처리된 식품군에 따라 그 효과에 차이가 나타날 수 있다. 따라서 본고에서는 채소, 과일, 음료, 어육류, 건조식품 등 각 식품군에 따라 달라지는 병원성 미생물에 대한 UV의 살균효과를 요약, 정리하고자 한다.

## 2. 식품군에 따른 UV 처리효과

### 2.1 채소류

채소류와 같은 신선식품의 경우, 소비자가 구매 후 가열 조리과정 없이 그대로 섭취하는 경우가 많다. 따라서 채소류에 있어서 미생물의 살균과정은 매우 중요하며, 기존의 여러 연구에서 자외선(UV-C: 190-280nm)을 처리했을 때의 채소에 오염된 미생물의 살균효과가 조사되었다. Table 1은 이러한 연구결과를 보여주고 있다.

병원성세균에 대한 자외선 살균효과를 보면, 세척당근(Washed carrot)의 경우 *Escherichia coli* O157:H7과 *Listeria monocytogenes*을 접종한 후 UV-C조사 처리에 따른 저장 중 미생물 수의 변화를 조사하였을 때 10 kJ/m² 처리 시 각각 2.13, 2.20 log CFU/g가 감소하였다(Kim et al., 2009). 또한 UV-C 처리가 미생물의 저장 중 생육 저해에 미치는 영향은 조사선량이 증가할수록 미생물 수가 유의적으로 감소하였는데($p < 0.05$), 이러한 결과는 낮은 조사 선량보다 높은 UV-C 조사선량을 양배추(Lettuce)에 처리하였을 때, 미생물 수의 유의적으로 감소하였다는 보였다는 연구 결과와 동일하게 나타났다(Allende and Prtes, 2003). 어린 시금치 잎(Baby spinach leaf)의 경우 *L. monocytogenes*, *Salmonella enterica*, *Pseudomonas marginalis*를 접종한 후 in virto에서 각각 UV-C (0, 2.4, 7.2, 12, 24 kJ/m²)를 조사하였을 때 조사량이 가장 높은 24 kJ/m²에서 미생물 수가 유의적으로 감소하는 것이 나타났고, 각각 1.1~2.5, 1.1~2.5, 4.3~4.8 log CFU/g 수준의 감소가 관찰되었다(Escalona et al., 2010). 롤라로사 상추(Lollo rosso' lettuce)의 경우 8.14 kJ/m²의 UV-C를 조사하였을 때 대조군과 비교한 결과 Psychrotrophic bacteria, *Escherichia coli*의 수가 각각 약 2 log CFU/g (0.40 kJ/m²), 약 1.5 logCFU/g (0.40 kJ/m²) 수준이 감소된 결과를 보여주었다(Allende and Artes, 2003).

효모, 곰팡이에 대한 UV 살균효과를 보면, 색동호박(Cucurbita pepo)을 14일간 10°C에서 저장 후 1, 10, 20분 동안 UV-C를 조사하였을 때, 효모와 곰팡이의 감소가 관찰되었으며, 1분 동안 UV-C를 조사하였을 때 미생물 수의 감소는 없었지만 10, 20분 동안 UV-C를 조사하였을 때 미생물 수가 3 log CFU/g 수준으로 감소되었다(Erkan et al., 2001). 다른 연구에서 롤라로사 상추(Lollo rosso' lettuce)에 4.07 kJ/m²의 UV-C 조사하였을 때 효모의 수가 약 1 log CFU/g 감소된 결과를 나타났으며, 곰팡이(Mold)와 젖산균(Lactic acid bacteria, LAB)도 감소가 되었다고 보고하였다(Allende and Artes, 2003).

Allende & Artes(2006)는 미생물의 그람 양성과 음성에 따른 UV-C 처리효과에 대해 연구하였다. 붉은잎상추(red oak leaf' lettuce)를 8.14 kJ/m²의 UV-C 처리를 하였을 때 대조군과 비교하여 저온균(Psychrotrophic bacteria), *E. coli*, 효모의 수가 0.5~2 $\log_{10}$CFU/g 감소하였다. 하지만 젖산균에 대하여는 감소효과가 나타나지 않아 그람 양성균이 그람 음성균에 비해 UV-C에 대한 저항성이 높게 나타났다. 또한, UV-C의 효과는 조사량과 상관관계가 있으며 2.44 kJ/m² 이상의 조사량에서만 붉은잎상추의 관능적 변화 없이 미생물 성장을 억제하여 유통기한을 연장하는 효과가 있다고 보고하였다(Allende and Artes, 2006).

UV처리로 인한 식품군별 살균효과를 보면 채소류의 살균효과는 대체적으로 효과가 매우 높거나 낮지 않은 평균 정도의 효과가 나타났다. 어린 시금치 잎의 *P. marginalis*, 세척당근의 *L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7균 순으로 감소효과를 나타내었으며, 이를 제외한 롤라로사상추의 다른 균들이 가장 적은 감소효과를 나타내었다. 이러한 보고들은 자외선 처리가 채소류의 초기 미생물 수 감소에 효과적임을 시사한다. 더불어, 채소에 자외선의 조사선량이 증가할수

Table 1. Effect of UV sterilization against microorganism on vegetables

| Food | Treatment method | Dose | Time | Microorganism | Log reduction | Reference |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Washed Carrot | UV-C | 10 kJ/m² | | *E. coli* O157:H7 | 2.35 | Kim et al.,2009 |
| | UV-C | 10 kJ/m² | | *L. monocytogenes* | 2.38 | Kim et al.,2009 |
| Baby spinach leaf | UV-C | 24 kJ/m² | | *L. monocytogenes* | 1.1-2.5 | Escalona et al., 2010 |
| | UV-C | 24 kJ/m² | | *S. enterica* | 1.1-2.5 | Escalona et al., 2010 |
| | UV-C | 24 kJ/m² | | *P. marginalis* | 4.3-4.8 | Escalona et al., 2010 |
| Cucurbita pepo | UV-C | | 10-20 min | Yeast and Fungi | 3 | Erkan et al., 2001 |
| Red oak leaf' Lettuce | UV-C | 8.14 kJ/m² | | Psychrotrophic bacteria | 0.5-2 | Allende and Artes, 2006 |
| | UV-C | 8.14 kJ/m² | | Coliform | 0.5-2 | Allende and Artes, 2006 |
| | UV-C | 8.14 kJ/m² | | Yeast | 0.52 | Allende and Artes, 2006 |
| | UV-C | 8.14 kJ/m² | | Lactic acid bacteria | no significant reduction | Allende and Artes, 2006 |
| Lollo rosso' Lettuce | UV-C | 0.40 kJ/m² | | Psychrotrophic bacteria | ca. 2 | Allende and Artes, 2003 |
| | UV-C | 0.40 kJ/m² | | Coliform | ca. 1.5 | Allende and Artes, 2003 |
| | UV-C | 4.07 kJ/m² | | Yeast | ca. 1 | Allende and Artes, 2003 |

록, 노출시간이 길수록, 미생물 수 감소에 효과가 있음을 알 수 있었다. 또한 자외선은 채소 중 상추와 같이 관능적 특성을 지키기 어려운 채소에 대해 관능적 특성을 보존하고 동시에 저장성은 증가시킬 수 있는 방법으로 활용가능성이 높은 방법으로 사료된다. 하지만 채소 등의 내부에 깊이 침투되거나 오염된 미생물의 저해에 한계점이 있으므로 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 2.2 과일류

채소류와 같이 과일류 또한 조리과정 없이 바로 섭취하기 때문에, 적절한 살균소독 처리 과정이 매우 중요하다. 따라서 자외선을 이용하여 과일류를 살균 처리 하였을 때의 효과에 대한 연구결과를 정리하였다(Table 2). 라즈베리(Rapsberrie)와 딸기(Strawberrie)를 pulsed UV-light로 처리한 후 대조군과 비교해보면 라즈베리에서 *E. coli* O157:H7은 2.9-72 J/㎠를 처리 시 0.9-3.9 log CFU/g의 감소량을 나타냈으며 *Salmonella*는 0.3-3.4 log CFU/g의 감소량을 보였다(Bialka and Demirci, 2008). 딸기에서의 *E. coli* 0157:H7은 2.9-64.8 J/㎠를 처리했을 때 0.8-2.1 log CFU/g의 감소량을 나타냈으며 *Salmonella*는 1.1-2.8 log CFU/g의 감소량을 나타냈다(Bialka and Demirci, 2008). 결과적으로 pulsed UV- light는 라즈베리나 딸기와 같은 작은 과일의 오염을 제거하는데 효과적인 것으로 나타났다. 또한, 포도(Grape berries)에 *Botrytis cinerea*를 접종하고 0.125-4 kJ/m²의 UV-C를 조사한 후 대조군과 비교하였을 때, 자외선 조사가 감염되어 손상을 일으키는 포도를 줄이는데 효과적이라고 보고하였다(Salinero et al., 1998).

Manzocco et al. (2011)은 멜론조각을 6 kJ/m²의 UV-C light 처리하였을 때 총균수는 2.35 log CFU/g의 감소를 보였고 *Enterobacteriaceae*는 1.2 kJ/m²로 처리하였을 때 2.61 log CFU/g의 최대 감소량을 보였다. 본 연구에 의하면 UV-C 처리는 과일 표면의 오염된 미생물 사멸할 뿐만 아니라 제품의 향미를 향상시키고, 저장기간 동안 과일의 손상을 줄여 유통기한을 증가시키는 효과가 있는 것으로 나타났다. 수박의 경우, 각 시료별로 UV-C(1.6, 2.8, 4.8 7.2 kJ/m²) 조사를 하였을 때, 7.2 kJ/m²에서 가장 높은 병원균의 저해가 관찰되었으며, 중온균(Mesophiles), 저온균(Psycrophiles), Enterobacteria가 각각 약 0.9, 0.5, 1.0 log CFU/g가 감소하였다. 특히, UV-C를 조사하며 5°C에서 11일간 저장한 수박의 중온균, 저온균, Enterobacteria를 측정한 결과 각각 2.0, 2.5, 4.0 log CFU/g가 감소되었다고 보고하였다(Artes-Hernandez et al., 2010).

Table 2. Effect of UV sterilization against microorganism on fruits

| Food | Treatment method | Dose | Time | Microorganism | Log reduction | Reference |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Grape | UV-C | 0.125~0.5 kJ/m² | | *Botrytis cinerea* | | Salinero et al., 1998 |
| Rapsberry | Pulsed UV light | 2.9-72 J/cm² | 5-60 sec | *E. coli* O157:H7 | 0.9-3.9 | Bialka and Demirci, 2008 |
| | | 2.9-72 J/cm² | 5-60 sec | *Salmonella* | 0.3-3.4 | Bialka and Demirci, 2008 |
| Strawberry | Pulsed UV light | 2.9-64.8 J/cm² | 5-60 sec | *E. coli* O157:H7 | 0.8-2.1 | Bialka and Demirci, 2008 |
| | | 2.9-64.8 J/cm² | 5-60 sec | *Salmonella* | 1.1-2.8 | Bialka and Demirci, 2008 |
| Watermelon | UV-C | 7.2 kJ/m² | | Mesophiles | ca. 0.9 | Artes-Hernandez et al.,2010 |
| | | | | Psycrophiles | ca. 0.5 | Artes-Hernandez et al.,2010 |
| | | | | Enterobacteria | ca.1.0 | Artes-Hernandez et al.,2010 |
| Melon | UV-C | 6 kJ/m² | | Total viable count | 2.35 | Manzocco et al., 2011 |
| | | 1.2 kJ/m² | | *Enterobacteriaceae* | 2.61 | Manzocco et al., 2011 |

## 2.3 어육류

일반적으로 살아있는 어패류의 근육, 장기 등 직접 외부와 접촉하지 않는 조직은 균이 없는 것으로 받아들여지고 있으나, 이미 포획된 어체의 아가미, 어체표면, 소화관 등에 세균이 부착되어 있고, 이들이 어육의 엑기스 성분이나 저분자화합물을 영양원으로 하여 어느 정도 증식한 후 어육 내부로 침입할 수 있다(Park et al., 1997). 어육은 이러한 세균의 증식과 이들이 분비하는 단백분해효소에 의하여 부패가 일어난다(Park et al., 1997). UV조사는 이러한 부패기작을 막아 어류 및 육류의 살균에 효과적이라고 보고되어 있고, Table 3은 이에 대한 연구결과를 보여주고 있다.

폴리에틸렌 필름으로 진공 포장된 고등어 조각은 2,537 Å, 30 cm거리에서 UV처리 하였을 때 세균을 초기에 감소시켜 유통저장 중의 증식을 억제함으로써 선도유지를 연장시켰다(Song et al., 2005). 본 연구에서 고등어 조각의 총균수는 48일 동안 대조군을 포함한 모든 실험군이 $10^5$ log CFU/g 이하로 나타나 신선한 상태를 유지하였으며, 특히 UV 처리구는 대조군보다 총균수가 낮게 관찰되었다(Song et al., 2005). 모든 결과를 종합하면 약 15일의 선도 유지기간을 UV처리로 약 30일까지 연장할 수 있었으며, UV처리시간이 길수록 살균효과가 비교적 효과적인 것으로 판단되었다(Song et al., 2005). 총균수 이외의 미생물학적 검사를 실시한 결과 *E. coli* 및 *Listeria* spp.은 검출되지 않았다고 보고하였다(Song et al, 2005). 그러나, 대표적인 혐기성 간균인 *Clostridium botulinum*은 미생물 살균을 위한 자외선이나 약한 열처리에도 일부 생존하여 외관상 식용 가능해 보이는 식품 중 독소분비의 우려가 있으므로 향후 이에 대한 보다 면밀한 검사가 필요할 것으로 사료된다(Doyle, 2000).

조개 산업에서 UV를 이용한 정화과정은 인간의 소비 이전에 병원균 수를 감소하는 데에 필수적이다. *Cryptosporidium*은 기생성 원생동물 중 구충류의 일종으로 6개의 종이 있다. 이 중 사람에게 감염성을 갖는 것은 *Cryptosporidium parvum* 뿐인 것으로 알려져 있다. 사람에게로의 감염은 *Cryptosporidium* 포자인 oocyst의 경구 섭취로 인해 일어나며, 이러한 oocyst는 굴 속에서 생존이 가능한 것으로 보고되어 있다. Sunnotel et al. (2007)은 굴에서 oocyst를 감소시키는 데에 자외선 처리의 효과를 조사하였다. 48시간 동안 자외선 처리를 한 것과 하지 않은 굴에서의 *C. parvum* oocysts의 생존능을 조사하였을 때, 처리하지 않은 군은 약 27.0%의 감소효과를 보였으나, 자외선을 처리한 군은 약 53.3%의 감소효과를 보여 유의적인 효과를 확인하였다(Sunnotel et al., 2007).

다음으로 육류에서의 UV 살균효과에 대해 살펴보면, 닭고기를 500 $\mu W/cm^2$에서 3분간 UV처리 하였을 때 *L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium가 0.36-1.28 log CFU/g 수준으로 감소되었다고 보고하였다(Kim et al., 2002). 슬라이스 햄의 경우,

Table 3. Effect of UV sterilization against microorganism on fish, meat, and poultry product

| Food | Treatment method | Dose | Time | Microorganism | Log reduction | Reference |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Salted and Semi-dried Mackerel | UV-C | | | | | Song et al., 2005 |
| Oyster | UV Depuration | Full UV dosage | | *C. parvum oocysts* | 53.3%(Avg viability) | Sunnotel et al., 2007 |
| Chicken meat | UV-C | 500 micro W/㎠ | 3 min | *L. monocytogenes* | 0.36-1.28 | Kim et al., 2002 |
| | | 500 micro W/㎠ | | *E. coli O157:H7* | *0.36-1.28* | *Kim et al., 2002* |
| | | 500 micro W/㎠ | | *S.* Typhimurium | 0.36-1.28 | Kim et al., 2002 |
| Ready-to-eat Sliced ham | UV-C | 8 kJ/㎡ | | *L. monocytogenes* | 2.74 | Chun et al., 2009 |
| | | 8 kJ/㎡ | | *S. enterica* | 2.02 | Chun et al., 2009 |
| | | 8 kJ/㎡ | | *C. jejuni* | 1.72 | Chun et al., 2009 |
| Chicken breast | UV-C | 5 kJ/㎡ | | *C. jejuni* | 1.26 | Chun et al., 2010 |
| | | 5 kJ/㎡ | | *L. monocytogenes* | 1.29 | Chun et al., 2010 |
| | | 5 kJ/㎡ | | *S.* Typhimurium | 1.19 | Chun et al., 2010 |
| Hamburger patties | UV-C | 10 kJ/㎡ | 33 min 20 sec | *L. monocytogenes* | 1.76 | Kim et al., 2010 |
| Broiler breast fillets | UV-C | | | *L. monocytogenes* | 2 | Lyon et al., 2007 |
| Hatching egg | UV-C | 14 micro W/㎠ | 4 min | *S.* Typhimurium | 4 | Confal et al., 2003 |
| | | 14 micro W/㎠ | | *E. coli* O157:H7 | 4-5 | Confal et al., 2003 |

*L. monocytogenes*, *S.* Typhimurium, *Campylobacter jejuni*를 접종한 후 각각 다른 량의 UV-C(1, 2, 4, 6, 8 kJ/m$^2$)를 가한 경우 조사량이 증가할수록 병원균의 수는 더 많이 감소하였다고 한다(Chun et al., 2009). 가장 많은 병원균의 감소량을 나타낸 8 kJ/m$^2$로 UV-C 조사한 결과 *L. monocytogenes*, S. Typhimurium, *C. jejuni*는 각각 2.74, 2.02, 1.72 log CFU/g만큼 감소하였다(Chun et al., 2009). UV-C 조사는 병원균을 접종한 슬라이스 햄의 저장 중에도 살균 효과가 있었으며, 특히, UV-C를 조사하며 9일간 저장한 슬라이스 햄의 *L. monocytogenes*, *S.* Typhimurium, *C. jejuni*의 균수를 측정한 결과 각각 2.62, 2.23, 1.86 log CFU/g만큼 감소되었다고 보고하였다(Chun et al., 2009). 닭 가슴살 고기에 있는 *L. monocytogenes*, *S.* Typhimurium, *C. jejuni*에 5 kJ/m$^2$의 UV-C를 조사한 결과, 각각 1.29, 1.19, 1.26 log CFU/g 양의 감소가 관찰되었다(Chun et al., 2010). UV-C 조사는 병원균을 접종한 닭 가슴살 고기를 4°C에서 저장하는 중에도 살균 효과가 나타났으며, 특히, UV-C를 조사하며 6일간 저장한 닭 가슴살 고기의 *L. monocytogenes*, *S.* Typhimurium가 각각 1.62, 1.33 log CFU/g 정도로 감소하였다고 한다(Chun et al., 2010). 결과적으로 UV-C조사는 닭 가슴살에 접종된 식품 매개 병원균을 감소시키며 저장 중에도 살균 효과가 있는 것으로 나타났다(Chun et al., 2010). 햄버거 소고기에서는 *L. monocytogene*을 인위적으로 접종한 후 10 kJ/m$^2$의 UV-C 조사 처리를 하였을 때 1.76 log CFU/g만큼 감소한 것으로 나타났으며, UV-C 처리군(1, 5, 10 kJ/m$^2$)에서 조사선량이 증가할수록 미생물 수가 유의적으로 감소함을 나타냈다(Kime et al., 2010). 또 다른 연구에서는 broiler breast fillets에 UV-C를 처리하였을 때 *L. monocytogenes*를 약 2 log CFU/g 수준으로 감소시켰다고 보고하였다(Lyon et al., 2007). Confal et al. (2003)은 인공 부화종란(hatching egg) 위생시설에서 쓰이는 자외선 처리 효과에 관한 연구를 실시하였다. *S.* Typhimurium과 *E. coli*가 접종된 인공부화종란에 254 nm의 자외선을 노출시킨 후(UV램프가 있는 캐비넷 사용, UV 강도범위 : 4-14 m W /㎠) 대조군과 비교하였을 때, *S.* Typhimurium은 4 log CFU/egg, *E. coli*는 4-5 log CFU/egg 수준으로 감소하는 것을 확인하였다(Confal et al., 2003).

Table 4. Effect of UV sterilization against microorganism on drinks

| Food | Treatment method | Dose | Time | Microorganism | Log reduction | Reference |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Apple cider | UV-C | 9402~61005 microW/㎠ | | *E. coli* O157:H7 | 3.8 | Summer et al., 2000 |
| Apple cider | UV tube | | | *E. coli* | 5 | Summer et al., 2000 |
| Apple cider | UV-C 254nm | 1.377 kJ/L | | *E. coli K12* | 7.42 | Keyser et al. 2008 |
| Milk | UV-light | | | *S. aureus* | 0.55-7.26 | Krishnamurthy et al., 2007 |
| Milk | Pulsed UV-light | Distance 11cm, flow rate of 20ml/min | 5min 52sec | *S. aureus* | 7.26±0.32 | Krishnamurthy et al., 2007 |
| Guava and pineapple juice | | 1.377 kJ/L | | Aerobic bacteria | 3.31 | Keyser et al., 2008 |
| | | | | Yeast and Mold | 4.48 | Keyser et al., 2008 |
| Mago necta | UV-C | 2.066 kJ/L | | Aerobic bacteria | 1.40 | Keyser et al., 2008 |
| | | | | Yeast and Mold | 2.8 | Keyser et al., 2008 |
| Strawberry nectar | UV-C | 2.065 kJ/L | | Aerobic bacteria | 1.32 | Keyser et al., 2008 |
| | | | | Yest and Mould | 2.45 | Keyser et al., 2008 |
| Orange juice | UV-C | 73.8 mJ/㎠ | | Aerobic bacteria | No significant reduction | Keyser et al., 2008 |
| | | | | Yeast and Mold | No significant reduction | Keyser et al., 2008 |
| Angelica keiskei | UV-C | | | Bacteria | ca. 2.5 | Kwon et al., 2010 |
| Brassica loeracea | UV-C | | | Bacteria | 2 | Kwon et al., 2010 |
| Takju | UV-C | | 1min 30sec | Fungi | ca. 4 | Choi et al., 2010 |
| Takju | Honeycomb Type-UV | 1395 W, flow rate of 2.0 L/min | 10 min | Fungi | ca. 5 | Choi et al., 2009 |
| White grape juice | UV-C | 0.459 kJ/L | | *B.bruxellensis* ISA 1649 and *S.cerevisiae* VIN13 | 0.47 | Fredericks et al., 2011 |
| Red grape juice | UV-C | 0.459 kJ/L | | *B.bruxellensis* ISA 1649 and *S.cerevisiae* VIN13 | 1.07 | Fredericks et al., 2011 |

## 2.4 음료류

Table 4는 음료류에 자외선을 처리했을 때의 효과를 보여주고 있다. *E. coli* 0157:H7 (6.3 log CFU/g)에 오염된 사과주스의 경우, UV-C를 9,402~61,005 microW/cm$^2$ 처리하였을 때 약 3.81 log CFU/ml의 유의적인 감소를 보였다(Summer et al., 2000). 또한 *E. coli* K12를 접종한 사과주스를 1.377 kJ/L로 처리하였을 때, *E. coli* K12가 7.42 log CFU/ml 감소하였다(Keyser et al., 2008). 이러한 결과는 우유에서도 관찰되었다. *Stapylococcus aureus*를 접종한 우유를 사용하여 실험한 결과, *S. aureus* 의 균수가 7.26 log CFU/mL 감소한 것을 알 수 있었다. 이러한 미생물의 감소량은 샘플과 UV와 시료와의 거리, 관통횟수, 유채의 흐르는 비율에 따라 살균의 정도에 차이가 있는 것으로 보고되었다(Krishnamurthy et al. 2007).

구아바 주스와 파인애플 주스에 1.377 kJ/L UV-C를 조사한 결과 호기성세균은 3.31 log CFU/mL가 감균된 것을 볼 수 있었고, 효모과 곰팡이는 4.48 log CFU/mL가 저해됨을 나타내었다. 망고과즙과 딸기과즙은 UV-C 2.066 kJ/L 조사하였을 때, 호기성균은 각각 1.40, 1.32 log CFU/mL 감소되었다. 효모와 곰팡이는 2.8, 2.45 log CFU/mL 감소되었다. 오렌지 주스에서는 73.8 mJ/cm$^2$ UV-C를 조사 시 호기성 세균과 효모, 곰팡이는 유의적 차이가 나타나지 않았다(Keyser et al., 2008). 따라서 오렌지 주스를 제외한 주스와 과즙에서 UV-C에 대한 저해 효과를 보였지만, 미생물의 종류가 각각 다르며 어떠한 조사량에서 일어나는 품질변화의 추이, 미생물이 모두 사멸하는 조사량이 다르기 때문에 각 식품 별로 개별적인 UV-C살균이 필

요할 것으로 예상된다.

케일녹즙과 신립초를 시료로 UV살균 실험에서도 유의적인 결과가 보고된 바 있다. 신립초 녹즙의 대조군 초기 균 수는 5.5 log CFU/mL의 균수로 측정되었다. 하지만 유속을 달리하여 UV를 조사한 실험군의 경우 균수가 대조군에 비해 2 log CFU/mL 정도의 감소를 나타냈다. 또한 저장 5일째에도 기준치인 5 log CFU/mL 보다 낮은 균수를 보였다. 케일녹즙의 경우 대조군의 균수는 4.8 log CFU/mL의 균 수를 보였으며 UV처리를 한 후 실험군의 균 수는 3.5~4.4 log CFU/mL 로 대조군보다 균수가 감소하는 결과가 나타났다(Kwon et al., 2010).

또한, 탁주를 이용한 UV-C 살균 실험에서도 유의적인 진균수의 감소가 보고되었다. 시료는 탁주를 원심분리기를 이용하여 3000rpm에서 10분간 원심분리한 청징탁주를 사용하였다. 살균방식은 직접 설계 제작한 허니컴 방식의 UV살균장치를 사용하였다. 청징탁주의 UV살균기 유속을 2 L/min으로 고정을 하고 살균시간을 1.5, 30, 4.5, 6분으로 달리하여 살균한 시료에 대한 살균효과를 알아본 결과 1.5분만에 일반 세균수는 약 4 log CFU/mL 감소하였다. 이와 같이 청징탁주를 허니컴방식으로 살균한 또 다른 논문에서도 약 10분이 지난 후에는 진균수는 4 log CFU/mL 감소하였고, 이는 탁주의 저장성 향상을 위한 살균기술로 UV-C 살균효과가 유효하다는 것을 보여준다(Choi et al., 2009). 하지만 살균 시간 측면에서 2분간 살균기 가동으로는 6 log CFU/mL 이상의 일반세균수와 진균수를 나타내어 저장성 향상이 기대되기 어렵다. 따라서 탁주를 유속 2 L/min 로 4분 동안 살균하는 것이 관능적으로 생탁주와 가장 근접한 점수를 유지하면 4 log CFU/mL 수준의 낮은 일반세균수와 진균수를 나타내어 UV 살균기 가동 조건으로 적합하다고 판단을 내렸다(Choi et al., 2009).

그리고 포도주스와 와인을 대상으로 UV를 조사한 결과에서도 살균효과라 할만한 대조군과 실험군의 균수에 유의적인 차이가 있었다. 사용된 시료로는 백포도와 적포도주스이며 이에 *Brettanomyces bruxellensis* ISA 1649 와 *Saccharomyces cerevisiae* 을 접종 한 후 초기 균수를 측정해 보니 6 log CFU/mL 이었으며 여기에 각각 UV-C의 조사량을 달리하여 (0.459, 0.918, 1.377, 1.836 ,2.295, 2.754, 3.672 kJ/L) 실험을 진행한 결과 가장 낮은 조사량의 경우 *B. bruxellensis* ISA 1639과 *S. cerevisiae* VIN 13 의 균수가 각각 0.47, 1.07 log CFU/mL 씩 감소하였다. 또한 조사량 1.377 kJ/L 이후에는 *S. cerevisiae* VIN 13가 모두 사멸하였기 때문에 조사량 1.377 kJ/L 이후부터는 모두 효과적인 살균력을 나타내었다(Fredericks et al., 2011).

### 2.5 건조식품

자외선을 건조식품에 처리했을 때의 미생물 살균효과는 Table 5에 나타나있다. 건어류, 문어포, 고춧가루, 선식, 미숫가루 각 각의 시료에 대해 UV-C 조사 시 총 호기성세균수의 저해 효과를 보았다. 건어포류는 수입된 시료를 사용하였으며, 본 실험결과 건어류와 문어포에서는 UV-C 를 20kJ/㎡ 조사시 0.82 log CFU/g , 1.2 log CFU/g 감소함을 볼 수 있었다(Kim et al., 2008). 고춧가루 UV-C 조사량을 108 kJ/㎡로 처리하여 27, 54, 108 kJ/m2 UV-C조사(조사시간: 30, 60, 120분) 후 총 호기성 세균수는 6.72 log CFU/g에서 처리후 총 호기성 세균수는 각각 6.13, 6.03, 5.69 log CFU/g 으로 120분 처리시 1.03 log CFU/g 균수 감소로 저해 효과가 좋음을 알 수 있었다(Chun et al., 2009). 총 호기성 세균수는 선식에서 27kJ/㎡의 UV-C 조사량으로 30분동안 처리하였을 때, 2.94 log CFU/g에서 2.36 log CFU/g으로 감소하였다고 보고하였다(Chun et al., 2009). 미숫가루 처리시의 총 호기성 세균수 또한 0.93 log CFU/g 의 감소량으로 저해 효과가 나타남을 볼 수 있었다(Chun et al., 2009). 건어류와 문어포에서 UV-C 를 20 kJ/㎡로 조사시 효모와 곰팡이 저해 효과를 본 결과 각각, 대조구에 비해 건어류에서는 1.23 log CFU/g, 문어포에서는 1.01 log CFU/g의 감균 효과를 보였다(Kim et al., 2008). 또한 저장 중 모든 처리구에서 미생물 수에 있어서 큰 변화가 없었으며 초기 미생물수의 감소 효과를 그대로 유지함을 나타내었다. 병원성균인 *B.*

Table 5. Effect of UV sterilization against microorganism on dehydrated foods

| Food | Treatment method | Dose | Time | Microorganism | Log reduction | Reference |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Dried fish | UV-C | 20 kJ/m² | 22min 12sec | Total aerobic bacteria | 0.82 | Kim et al., 2008 |
| | UV-C | 20 kJ/m² | 22min 12sec | Yeast&mold | 1.23 | Kim et al., 2008 |
| Dried octopus | UV-C | 20 kJ/m² | | Total aerobic bacteria | 1.2 | Kim et al., 2008 |
| | UV-C | 20 kJ/m² | | Yeast&mold | 1.01 | Kim et al., 2008 |
| Red pepper powder | UV-C | 108 kJ/m² | | Total aerobic bacteria | 1.03 | Chun et al., 2009 |
| | UV-C | 108 kJ/m² | 120min | B. cereus | 0.90 | Chun et al., 2009 |
| Sunsik | UV-C | 27 kJ/m | 30min | Total aerobic bacteria | 0.58 | Chun et al., 2009 |
| Misutkaru | UV-C | 108 kJ/m² | 120min | Total aerobic bacteria | 0.93 | Chun et al., 2009 |
| Misutkaru | UV-C | 108 kJ/m² | | B. cereus | 0.9 | Chun et al., 2009 |

*cerus* 균은 고춧가루와 미숫가루 시료에서 UV-C 108 kJ/m²를 조사하여 미생물 저해 효과를 본 결과 두 시료에서 0.90 log CFU/g 균 수 감소량을 보였다.

따라서 본 연구의 결과는 건어포류의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이 수가 UV-C 20 kJ/m² 조사에 의해 0.8-1.2 log CFU/g의 감균 효과를 나타내었다는 보고와 유사하지만 건어포류와 비교하여 고춧가루에서의 미생물을 살균시키기 위해서는 보다 높은 UV-C 조사선량이 필요하다는 것을 알 수 있다(Kim et al., 2008). 또한 UV-C 조사 처리는 국내에서 유통되고 있는 수입 건어포류와 고춧가루와 같은 건제품의 효과적인 표면 살균 기술로써, 기존의 훈증제나 감마선 처리 등에 비해 비용, 간편성, 색도 등 품질 유지 측면에서 바람직하다고 판단된다.

## 3. 요약 및 결론

현재까지 여 가지 식품에 자외선을 처리했을 때 미생물을 저감화한 효과를 보고한 논문이 다수 발표되었다. 본고에서는 자외선 살균처리에 대한 미생물 저해효과를 각 식품군별로 분류하여 정리해 보았다. 최근의 연구결과에서 자외선 살균처리법의 가장 주요한 대상이 되었고, 저감화가 된 미생물은 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*와 같은 병원성 세균으로 나타났다. 또한 대체적으로 모든 식품에서 자외선(UV-C)의 조사선량이 증가할수록, 노출시간이 길수록 미생물 수의 감소효과가 크게 나타났다. 앞선 원고에서 볼 수 있듯이 자외선 살균처리는 여러 종류의 식품에 오염된 미생물을 살균하는데 큰 가능성을 보여주고 있다. 비가열 살균기술 중 자외선 조사는 식품 및 용기 표면에 부착된 미생물을 사멸시키고, 기존의 감마선이나 전자선 등의 방사선과 비교했을 때 소비자의 거부감이 적고 영양손실이 적으며, 설치비용과 조사비용이 저렴하다는 장점을 지니고 있다. 하지만 자외선은 직사광선이 닿는 물체의 표면에만 주로 작용하며, 단백질이 함유된 식품에서는 흡수되어 살균효과가 현저히 떨어지는 단점이 있어 다른 살균처리 기술과 비교했을 때 살균력이 제한된 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하여 상업적인 활용을 늘리기 위해 자외선 조사의 응용처리 또는 기타 다른 기술과의 병합 처리를 통해 보다 위생적이고 안전한 식품의 개발에 적용영역을 확대할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고 문헌


1. Allende, A. and Artes, F. (2003) Combined ultraviolet-C and modified atmosphere pachaging treatments for reducing micrbial growth of fresh processed lettuce. LWT - Food Science and Technology 36, 779-786.
2. Allende, A. and Artes, F. (2003) UV-C radiation as a novel technique for the keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce. Food research international 36, 739-746.
3. Allende, A., McEvoy, J.L., Luo, Y., Artes, F. and Wang, C.Y. (2006) Effectiveness of two-sided UV-C treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed 'Red Oak Leaf' lettuce. Food Microbial 23, 241-249.
4. Artes-Hernandez, F., Robles, P.A., Gomez, P.A., Tomas-Callehas, A. and Artes, F. (2010) Low UV-C illumination for

keeping overall quality of fresh- cut watermelon, Postharvest Biology and Technology 55, 114-120.
5. Bialka, K.L. and Demirci, A. (2008) Efficacy of Pulsed UV-Light for the Decontamination of Escherichia coli 0157:H7 and Salmonella spp. On Rasberries and Strawberries. Journal of Food Microbiology 73, M201-M207.
6. Choi, E.J., Jung, J.J., Lee, J.W. and Kang, S.T. (2009) Changes in Quality of UV Sterilized Takju during Storage by Honeycomb Type-UV Sterilizer. Korean Journal Food Science Technology 41, 652-656.
7. Choi, E.J., Jung, J.J., Lee, J.W. and Kang, S.T. (2010). Effect of UV Sterilization on Quality of Centrifuged Takju during Storage. Journal of The Korean Society of Food Science and Nutrition 39, 461-466.
8. Chun, H.H., Kim, J.Y., Chung, K.S., Won, M.S. and Song, K.B. (2009) Inactivation kinetics of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteric* serovar Typhimurium, and *Campylobacter jejuni* in ready-to-eat sliced ham using UV-C irradiation. Meat Science 83, 599-603.
9. Chun, H.H, Kim, J.Y., Kim, H.J. and Song, K.B. (2009) Effect of UV-C irradiation on the quality of red pepper powder during storage. Journal of Korean Food Preservation 16, 454-458.
10. Chun, H.H., Kim, J.Y., Kim, H.J and Song, K.B. (2009) Effects of UV-C irradiation on the quality of Sunsik and Misutkaru during storage. Journal Food Science Nutrition 14, 226-232.
11. Chun, H.H., Kim, J.Y., Lee, B.D., Yu, D.J. and Song, K.B. (2010) Effect of UV-C irradiation on the inactivation of inoculated pathogens and quality of chicken breasts during storage. Food Control 21, 276-280.
12. Confal, C.D., Chavez, C., Knape, K.D. and Carey, J.B. (2003) Evaluation of a method of Ultraviolet Light Sanitation of Broiler Hatching Eggs. Poultry Science 82, 754-759.
13. Doyle, E. (2000) Foodborne pathogens. Annual Meeting of Food Research Institute, 4.
14. Erkan, M., Wang, C.Y. and Krizek, D.T. (2001) UV-C irradiation reduces microbial populations and deterioration in Cucurbita pepo fruit tissue. Environmental and Experimental Botany 45, 1-9.
15. Escalona, V.H., Aguayo, E., Martinez-Hernandez, G.B. and Artes, F. (2010) UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and baby spinach. Postharvest Biology and Technology 56, 223-231.
16. Fredericks, I.N., Du Toit, M. and Krugel, M. (2011) Efficacy of ultraviolet radiation as an alternative technology to inactivate microorganisms in grape juices and wines. Food Microbiology 28, 510-517
17. Keyser, M., Muller, 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 and emerging technologies 9, 348-354.
18. Kim, H.J., Kim, S.K., Chun, H.H. and Song, K.B. (2010) Effect of UV-C Irradiation on the Inactivation of *Listeria Monocytogenes* and Lipid Oxidation in Hamburger Patties during Storage. The Korean Society of Food Preservation 17, 425-429.
19. Kim, J.H., Kim, E.K., Shin, S.R. and Song, K.B. (2009) Effect of UV-V Irradiation on Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on Washed carrot during Storage. Korean Journal Food Preservation 16, 636-643.
20. Kim, J.Y., Chun H.H. and song, K.B. (2008) Effect of UV-C irradiation on the quality of imported dried fish during storage. Korean Journal Food Preservation 15, 922-926.
21. Kim, T., Silva, J.L. and Chen, T.C., (2002) Effects of UV irradiation on selected pathogens in peptone water and on stainless steel and chicken meat. Journal of Food Protection 65, 1142-1145.
22. Krishnamurthy, K., Demirci, A. and Inrudayaraj, J.M. (2007). Incativation of *Staphylococcus aureus* in milk using flow-throught pulsed UV-Light treatment system. Journal Food Science 72, M233-9.
23 Kwon, S.C., Choi, G.H., Yu, K.w. and Lee, K.H. (2010) Microbiological and Physicochemical Changes of Vegetable Juice(Angelica keiskei and Brassica loeracea var, acephala) Treated by UV Irradiation. Journal of Korean Society Food Science Nutrition 39, 1030~1037.
24. Lyon, S.A., Fletcher, D.L. and Berrang, M.E. (2007) Germicidal ultraviolet light to lower number of Listeria monocytogenes on broiler breast fillets. Poultry Science 86, 964-967.
25. Manzocco, L., Pieve, S.D. and Maifreni, M. (2011) Impact of UV-C light on safety and quality of fresh-cut melon. Innovative Food Science and Emerging Technologies 12, 13-17.
26. Park, Y.H., Jang, D.S. and Kim, S.T. (1997) Processing and using of fishery science. Hyungseol Press. Seoul, Korea, p73.
27. Salinero, O., Garrido, J.J., Wandosell, F., Nigro, F., Ippolito, A. and Lima, G. (1998) Use of UV-C light to reduce Botrytis storage rot of table grapes. Postharvest Biology and Technology 13, 171-181.
28. Song, H.N., Lee, D.G., Han, S.W., Yoon, H.K. and Hwang, I.K. (2005) Quality changes of salted and semi-dried mackerel fillets by UV treatment during refrigerated storage. Korean Society of Food and Cookery Science 21, 662-668.
29. Sumner, J.R., Hackney, S.S., Hackney, C.R., Pierson, M.D. and Zoecklein, B.W. (2000) Efficacy of ultraviolet Light for reducing *Escherichia coli* O157:H7 in unpasteurized apple cider. Journal of Food Protection 63, 563-567.
30. Sunnotel, O., Snelling, W.J., McDonough, N., Browne, L., Moore, J.E., Dooley, J.S.G. and Lowery, C.J. (2007) Effectiveness of Standard UV Depuration at Inactivating *Cryptosporidium parvum* Recovered from Spiked Pacific Oysters(Crassostrea gigas). Applied and Environmental Microbiology 73, 5083-5087.