

초음파를 활용한 식품 살균 기술의 연구 현황

Current status of research on microbial disinfection of food using ultrasound

송경모^{1*}

Kyung-Mo Song^{1*}

¹한국식품연구원

¹Korea Food Research Institute

Abstract

Microbial disinfection is essential to increase the preservation and safety of food. In general, thermal sterilization technology is most frequently used, but it often causes nutrient denaturation, and deterioration of food quality. Accordingly, non-thermal sterilization using a novel technology is emerging as an alternative technology. Among them, ultrasonic technology produces a disinfection effect by promoting the destruction of microorganisms by cavitation. Ultrasound technology alone has a low effect, so research is being actively conducted to develop an effective technology by applying as a hurdle technology with various other technologies. Ultrasound can be treated with various processes

including traditional sterilization methods such as heating, high pressure, and chemical treatment, as well as novel technologies such as ultraviolet irradiation. Ultrasound assisted sterilization technology still remains at the laboratory level, requiring additional research such as the development of equipment for industrial application and establishment of an optimal process.

Keywords: ultrasound, sterilization, cavitation, hurdle technology

서론

식품의 제조·유통 및 보관 중 보존성 및 안전성을 확보하는 것은 식품 산업에서 반드시 해결해야 할

* Corresponding author: Kyung-Mo Song

Research Division of Strategic Food Technology, Korea Food Research Institute, Wanju-gun, Jeollabuk-do, 55365, Korea

Tel: +82-63-219-9376

Fax: +82-63-219-9876

E-Mail: rudah@kfri.re.kr

Received August 12, 2020; revised August 30, 2020; accepted August 31, 2020

중요한 과제 중 하나이다. 이를 위해 식품의 부패 및 품질 저하 등을 유발하는 병원성 미생물 및 효소 활성을 불활성화하기 위한 살균기술의 적용이 필요하다. 현재 산업적으로는 대부분 가열 살균 방식이 활용되고 있으나, 영양성분의 파괴, 맛과 향의 저하, 색상의 변화 등 품질 저하가 발생하는 경우가 많은 단점이 있다. 최근에는 신선편이식의 소비가 증가함에 따라, 원재료의 변화를 최소화하면서 미생물만 제어할 수 있는 살균 기술이 요구된다. 가열 살균 기술의 단점을 보완하면서도 효율적인 살균 효과를 달성하기 위한 비가열 살균 기술에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 대표적인 비가열 살균 기술로는 초고압(high hydrostatic pressure, HHP), 고전압펄스전기장(high-voltage pulsed electric field, PEF), 진동 자기장(oscillating magnetic fields, OMF), 조사법(ionizing radiation), 광펄스(high-intensity pulsed light), 초음파(ultrasonics) 등의 물리적 공정기술과 이산화탄소, 오존, 박테리오신, 양이온 다중 고분자(polycationic polymer)와 같은 화학물질과 세포벽 분해 효소(lytic enzyme) 등을 처리하는 방법 등이 있다(Park 등, 2010). 화학적 처리 방법은 첨가물 등의 규제로 인하여 사용이 제한적일 뿐 아니라, 첨가물에 대한 소비자들의 인식 변화에 따라 점차 배제되고 있는 상황이다. 따라서, 물리적 가공기술을 활용한 살균 기술의 개발 필요성이 더욱 대두되고 있다.

초음파는 인간의 가정 주파수 이상의 음파로 주로 주파수 20 kHz 이상의 음파를 일컫는다. 저주파 초음파를 유체 중에 처리하면 진공상태의 기포(cavity)가 발생과 소멸을 반복하게 되는데 이를 공동현상(cavitation)이라 한다. 기포는 빠르게 수축과 팽창을 반복하다 붕괴되는데 이 때 순간적으로 주변에 고온, 고압의 환경이 발생한다(Piyasena 등, 2003). 이러한 에너지를 이용하여 세정, 유화, 숙성, 추출, 분산 등에 이용할 수 있다. 반면, 고주파 초음파는 식품 산업에서 초음파 기술은 세척, 살균, 혼합, 유화, 추출 등에 유기용매 등을 대체할 수 있는 친환경 기술로 이용할 수 있다. 또한 주파수가 낮을수록 기포의 밀도는 적은 반면 폭발력이 커지고, 주

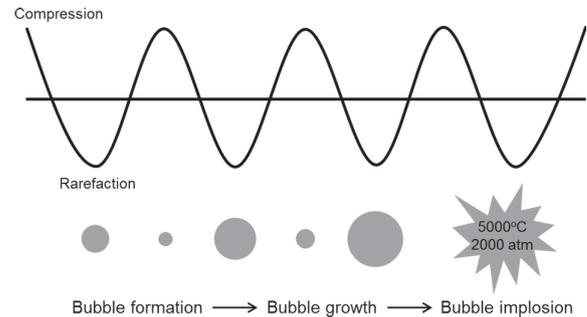


그림 1. 초음파에 의해 발생한 기포의 발생과 소멸 과정 (Vyas 등, 2018)

파수가 높을수록 기포의 밀도는 높은 반면 폭발력은 작아진다. 이러한 성질을 이용하여 목적에 따라 다양한 기술을 적용할 수 있다(Lee, 2011).

본론

1. 초음파 살균 기술의 원리

초음파에 의한 살균 효과는 저주파인 20~24 kHz 범위에서 가장 높은 것으로 알려져 있다. 초음파를 유체 내에 처리하였을 때 발생하는 캐비테이션 현상이 살균 효과의 원인으로 캐비테이션 현상은 안전형(stable)과 천이형(transient)으로 분류할 수 있다. 안전형 캐비테이션은 기포가 주기적으로 확장, 축소하는 현상을 의미하는데 이에 의해 미생물의 표면을 따라 미세 기포가 흐르는 미세흐름(microstreaming)이 발생하며 이것이 세포막에 공격을 발생시켜 붕괴를 촉진시킨다. 반면, 천이형 캐비테이션 현상에서는 기포가 수축과 팽창을 반복하다 폭발하면서 발생하는 고온, 고압의 에너지가 세포의 표면을 붕괴시킨다(Earnshaw 등, 1995). 이 때 발생하는 에너지는 순간적으로 특정 부위에서만 발생하기 때문에 시료 전체의 온도 상승 효과는 크지 않다. 캐비테이션에 의해 용매 분자가 분해되면서 발생하는 자유라디칼 역시 세포막에 직접적으로 작용하면서 미생물의 제어에 영향을 주는 것으로 알

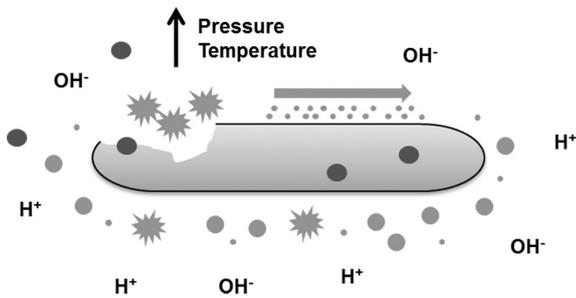


그림 2. 캐비테이션에 의한 미생물의 살균 효과 (Bermudez-Aguirre D, 2017)

려져 있다(Tsukamoto 등, 2004). 캐비테이션에 의한 온도와 압력의 증가, 자유라디칼(H^+ , OH^-)의 증가 및 이로 인한 세포막의 손상과 세포 내 물질의 용출 등 미생물의 살균 효과를 그림 2에 나타내었다 (Bermudez-Aguirre D, 2017).

그러나, 초음파 단독으로는 살균 효과가 약한 것으로 알려져 있으며, 다른 살균 기술과 병행 처리할 경우 높은 효과를 기대할 수 있다. 미생물의 특징도 살균 효과에 영향을 미치는데 예를 들어 그람음성균이 그람양성균에 비해, 그리고 표면적이 큰 미생물이 초음파에 의한 살균 효과가 더 크다고 알려져 있다(Chemat 등, 2011). 또한, 살균 대상 식품에 따라 효과도 다를 수 있어 각 식품에 대한 최적 살균 공정 확립이 중요하다.

2. 초음파 병행 살균 기술의 연구 현황

2-1. 가열 기술

초음파 기술을 병행 처리하는 것은 기존의 가열 살균에 비해 낮은 온도에서도 살균 효과를 볼 수 있다는 이점이 있다. 일반적으로 초음파 살균 기술은 50°C 이상의 온화한 온도 조건에서도 살균 효과가 증가하는 것으로 알려져 있다. 실제로 Salleh-Mack 과 Roberts(2007)에 따르면 온도를 27.1°C 로 유지하면서 초음파 처리 시 *Escherichia coli* 수가 3 log 감소한 것에 비해 59.9°C 에서는 6.29 log까지 감소하는

것으로 나타났다. 이는 캐비테이션에 의한 세포막의 손상 등으로 인하여 미생물의 열 저항성이 낮아지기 때문으로 보인다. Raso 등(1998a)에 따르면, 50°C 까지의 살균 효과는 초음파에 기인한 것이며, 50°C 이상에서의 살균 효과는 열에 의한 것이 대부분으로 초음파의 효과는 거의 없는 것으로 보고하였다. 이는 높은 온도에서는 증기압의 증가와 표면장력의 감소로 인하여 작고 폭발력이 약한 기포가 많이 생겨 캐비테이션 효과가 약해지기 때문이다(Ugarte-Romero 등, 2007). 반면, 일부 연구에서는 70°C 이상의 온도에서 초음파를 병행 처리할 경우 포자의 사멸 효과가 증가하는 것으로 나타났다(Evelyn과 Silva, 2015; 2016). 포자는 열에 강하여 일반적인 가열 살균만으로는 제어가 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 결과들은 식품 보존성 증진을 위해 매우 중요하지만 제어가 까다로운 포자의 사멸에 초음파 기술의 적용 가능성이 높음을 시사한다. 또한 맛과 풍미, 조직감 등의 변화를 최소화함으로써, 소비자에게 제공되는 제품의 질을 높일 수 있다. 초음파-가열 기술의 연구 사례를 표1에 정리하였다.

2-2. 고압 처리 기술

초음파와 고압을 병행 처리하면 기포의 폭발력이 증가하면서 살균 효과가 증가하게 된다. 앞서 초음파 처리만으로도 캐비테이션에 의해 국소적으로 고온, 고압의 환경이 형성되고 이로 인해 미생물이 파괴된다고 하였는데, 여기에 압력을 더 가하면 시너지 효과로 인하여 살균 시간이 단축되는 등 보다 효율적인 살균 효과를 얻을 수 있다.

또한, 많은 경우 살균 효과를 높이기 위해 압력과 열처리를 병행하고 있다. *E. coli* K1를 대상으로 한 연구에서 초음파 기술에 열처리와 고압을 각각 병행 처리한 경우와 초음파, 열, 고압을 한꺼번에 처리한 경우 세포의 손상 정도에 차이는 없었으나, 살균에 걸리는 시간은 단축할 수 있었다(Lee 등, 2009). 또한, 강한 내열성을 가진 미생물의 살균이나 포자의 사멸에도 효과가 있음을 확인하였다 (Pagán 등, 1999; Raso 등, 1998b). 이처럼 가열이나 초음파 처

표 1. 초음파-가열 기술에 의한 살균 효과 연구 사례 (Bermudez-Aguirre, 2017)

균주명	식품	공정 조건	감소치 (Log 값)
<i>E. coli</i> ATCC 35218	배지, 사과주스, 오렌지주스	20 kHz, 95.2 μ m, 40 $^{\circ}$ C, 20분	2, 1, 1.8
<i>E. coli</i> ATCC 25922	석류주스	20 kHz, 500 W, 35 $^{\circ}$ C, 100% amplitude, 30분	5
<i>Cronobacter sakazakii</i> ATCC 11467	분유(가루형태)	20 kHz, 1500 W, 50 $^{\circ}$ C, 61 μ m, 2.5분	7
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ATCC 2366	석류주스	20 kHz, 500 W, 35 $^{\circ}$ C, 100% amplitude, 30분	1.36
<i>S. cerevisiae</i>	중국식 막걸리	750 W, 35 $^{\circ}$ C, 120분	0.76
<i>S. cerevisiae</i> ATCC 4113	파인애플, 포도, 크랜베리 주스	24 kHz, 400 W, 120 μ m, 40, 50, 60 $^{\circ}$ C, 10분	0-7
<i>S. cerevisiae</i> ascospores	맥주	24 kHz, 105 W/cm 2 , 125 μ m, 60 $^{\circ}$ C, 10분	3.9
<i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i> spores	오렌지 주스	24 kHz, 20.2 W/mL, 78 $^{\circ}$ C, 60분	4.2
<i>Neosartorya fischeri</i> ascospores	사과 주스	24 kHz, 0.33 W/mL, 75 $^{\circ}$ C, 10분	0
<i>Byssochlamys nivea</i> ascospores	딸기 주스	24 kHz, 0.33 W/mL, 75 $^{\circ}$ C, 15분	1.8
<i>Clostridium perfringens</i> spores	소고기(혈탁액)	24 kHz, 0.33 W/g, 75 $^{\circ}$ C, 60분	<1.5
<i>Geobacillus stearothermophilus</i>	우유	20 kHz, 45 $^{\circ}$ C, 30초; 20 kHz, 67.5 $^{\circ}$ C, 17.5초	4.8(세포) 0.45(포자)
Mesophiles	사과 주스	20 kHz, 0.30 W/cm 3 , 60 $^{\circ}$ C, 10분	ND
Mesophiles	배 주스	20 kHz, 750 W, 65 $^{\circ}$ C, 70% amplitude, 10분	ND

표 2. 초음파-고압 기술에 의한 살균 효과 연구 사례 (Bermudez-Aguirre, 2017)

균주명	식품	공정 조건	감소치 (Log 값)
<i>E. coli</i> O157:H7	사과주스, 오렌지주스	200 kPa, 20 kHz, 110 μ m, 35 $^{\circ}$ C, 2.5분	2.8
<i>E. coli</i> O157:H7	사과주스, 오렌지주스	200 kPa, 20 kHz, 110 μ m, 60 $^{\circ}$ C, 0.8분	2.9
<i>E. coli</i> O157:H7	블루베리주스	350 MPa, 560 W, 40 $^{\circ}$ C, 5분	5.85
<i>E. coli</i> O157:H7	사과-당근주스	300 kPa, 20 kHz, 60 $^{\circ}$ C, 30초	5
<i>E. coli</i> K12	인산버퍼	100 kPa, 20 kHz, 124 μ m, 40, 47, 54, 61 $^{\circ}$ C	4, 4.5, 4.7, 6.8
<i>E. coli</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i>	우유	225 kPa, 90 W/cm 2 , 36 $^{\circ}$ C, 240초	1.6
<i>Staphylococcus aureus</i>	우유	225 kPa, 90 W/cm 2 , 36 $^{\circ}$ C, 240초	1.05
<i>Listeria monocytogenes</i> STCC 5672	사과주스, 오렌지주스	200 kPa, 20 kHz, 110 μ m, 35 $^{\circ}$ C, 4분	\approx 2
<i>L. monocytogenes</i> STCC 5672	사과주스, 오렌지주스	200 kPa, 20 kHz, 110 μ m, 60 $^{\circ}$ C, 0.8분	2.5
<i>Cronobacter sakazakii</i>	구연산-인산 버퍼	200 kPa, 20 kHz, 450 W, 117 μ m, 35 $^{\circ}$ C, 1분	3.5
<i>S. cerevisiae</i> ascospores	맥주	300 MPa, 24 kHz, 125 μ m, 105 W/cm 2 , 60 $^{\circ}$ C, 5분	5.5

리만으로 높은 사멸 효과를 기대할 수 없는 내열성 미생물이나 효소에 대해서는 고압 처리를 병행하여 원하는 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

다양한 연구에서 초음파와 고압을 병행 처리하였을 때 살균 효과가 증가하기는 하였으나, 증가폭이

각각의 처리 효과를 합친 것보다 낮은 것으로 보고되고 있다(Huang 등, 2006; Lee 등, 2003). 이것은 고압 조건에서 캐비테이션 현상이 약해지기 때문인 것으로 보인다. 따라서, 두 기술을 접목할 경우에는 동시 처리 뿐 아니라 순차적 처리 등 방법적인 연



표 3. 초음파-화학적 처리에 의한 살균 효과 연구 사례 (Sandra 등, 2017)

균주명	식품	공정 조건	화학물질	감소치 (Log 값)
<i>Wickerhamomyces anomalus</i> DSM 70130	파인애플 주스	20 kHz, 130 W, 80%	Sodium benzoate	3.2-4.7
<i>Bacillus cereus</i> spores	양상추, 당근	40 kHz, 40 μm, 39 W/L, 5분	Surfactant	1.5-2.5
<i>E. coli</i>	로메인	170 kHz, 40.1~50.3℃	Chlorine dioxide	1.3-2.3
<i>Salmonella enterica</i>				1.6-3.8
<i>E. coli</i>	사과	170 kHz, 40.1~50.3℃	Chlorine dioxide	1.1-3.8
<i>S. enterica</i>				1.7-4.0
Aerobic mesophilic	방울토마토	45 kHz, 10분	Sodium dichloroisocyanurate + hydrogen peroxide	0.7-4.4
Yeast and molds	방울토마토	45 kHz, 10분	Chlorine dioxide + peroxiacetic acid	1.1-3.0
<i>C. sakazakii</i> KCTC 2949	양상추	37 kHz, 380 W, 5-100분, 상온	NaOCl	1.7-4.4
Total aerobic plate count, yeast and molds	당근	45 kHz, 80%, 1분	Chlorination	1.0-1.1
Total plate counts of psychrophilic bacteria	양상추	20 kHz, 2분, 4 또는 50℃	Chlorinated water	2.1-2.9
			Peroxiacetic acid	1.5-3.0
			Copper ion water	3.8
<i>E. coli</i> O157:H7, <i>L. monocytogenes</i>	사과	22-48 kHz, 20-25℃, 3분	Sodium hypochlorite	3.5-4.2
			Sodium hypochlorite + copper ion water	5.1-5.3
<i>E. coli</i> O157:H7	시금치 잎	21.2 kHz, 0-500 W/L, 2분, 상온	Acidified sodium chloride	3.1
			Acidic electrolyzed water	2.9
			Peroxyacetic acid	4.0

구가 더 필요할 것으로 보인다. 초음파-고압 기술의 연구 사례를 표2에 제시하였다.

2-3. 화학적 처리

신선 식품의 표면에 존재하는 균의 세척을 위해 주로 살균제나 항균제 등의 화학물질이 사용되어 왔다. 이 때 초음파를 같이 처리할 경우 크게 두 가지 작용에 의한 세척 효과의 상승을 기대할 수 있다. 첫째로는, 캐비테이션에 의해 발생한 기포가 식품의 표면에 작용함으로써 일반적인 세척으로는 제거할 수 없는 부착되어 있는 이물질을 제거하는 것이다. 둘째로는, 초음파에 의해 손상을 입은 미생물 세포로의 항균제 등의 침투력이 높아져 더욱 효율

적으로 작용하는 것이다. 다양한 화학물질(과산화수소, 오존, 과산화아세트산, 염소계 물질, 유기산 등)과 초음파의 병행 처리에 대한 연구들이 보고되어 있으며, 표3에 정리하였다.

2-4. 기타 신공정 기술

일반적인 살균 기술인 가열, 고압, 화학적 처리 외에도 자외선 조사, 펄스전기장 기술(Pulsed Electric Field, PEF) 등 다양한 신공정 기술 역시 식품 살균에 이용되고 있다.

자외선 조사의 목적은 미생물 DNA의 변형을 유도하여 세포 분열을 막고 균을 사멸시키는 것이다 (Gomez-Lopez, 2007). 하지만 자외선 조사는 투과

표 4. 초음파-신공정 기술에 의한 살균 효과 연구 사례

균주명	식품	공정 조건	감소치 (Log 값)	참고문헌
<i>E. Coli</i> ATCC 35218	오렌지 주스	초음파(20 kHz, 600 W, 95.2 μ m) + UV-C 조사(18.7 kJ/m ² , 0.2 L/min), 20분, 40 $^{\circ}$ C	3.5	Char 등(2010)
<i>L. monocytogenes</i> ATCC 19114 <i>S. cerevisiae</i> KE 162	사과 주스	초음파(20 kHz, 400 W, 35 $^{\circ}$ C) + UV-C 조사(100 W, 6 mL/s, 1100 μ W/cm ²) 5분	4-5	López-Malo 등 (2005)
<i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i> CCT 4384	사과 주스	초음파(35 kHz, 120-480 W, 5분) 후 UV-C 조사(13.44 W/m ² , 25분)	5	Tremarin 등 (2017)
<i>S. aureus</i> SST 2.4	오렌지 주스	초음파(30 kHz, 55 $^{\circ}$ C, 10분) + PEF(40 kV/cm, 63.0-11.8 mL/min, 25-150 μ s, T _{initial} 9.7 $^{\circ}$ C, T _{final} 56 $^{\circ}$ C)	6.8	Walkling-Ribeiro 등 (2009)
<i>E. coli</i> K12 DSM 1607	구연산-인산 버퍼	초음파(20 kHz, 150 μ m, 48-50 $^{\circ}$ C) + PEF(24 kV/cm, 18 Hz, 130.5 J/mL)	4.0	Muñoz 등 (2012)

도에 한계가 있어 이를 극복하기 위한 허들 기술로 초음파를 이용할 수 있다. 초음파 처리에 의해 약해진 미생물의 세포막 등으로 자외선의 투과율이 높아져 살균 효과가 증가함을 기대할 수 있다.

펄스전기장 기술은 액상 식품의 비가열 살균에 활용가능한 기술로 짧은 펄스의 전기장을 처리하여 미생물의 세포막에 구멍을 내거나 손상을 주어 불활성화시키는 기술이다. 자외선 조사 및 펄스전기장 처리와 초음파를 병행 처리하한 연구 결과를 표 4에 정리하였다.

3. 초음파 살균 기술의 한계 및 향후 연구 방향

앞서 다양한 초음파 살균 기술에 관한 연구 현황을 소개하였으나, 실험실 수준의 연구에 그치고 있다. 초음파 기술이 산업적으로 적용된 사례는 대부분 추출, 유화, 분산, 파쇄 등으로 살균 기술에 대한 적용은 미흡한 실정이다. 최근 초음파 기술을 활용한 가정용 식기 세척기나 과일 세척기 등이 개발되어 보급되고 있으나, 산업적인 공정에 적용하기에는 규모나 기술적인 측면에서 아직 부족하다. 따라서, 초음파 살균 공정을 산업적으로 이용하기 위해서는 장치의 개발이 함께 연구되어야 한다. 식품 산업에서 사용되는 초음파 장치는 크게 수조형(bath type)과 프로브형(probe type)으로 나누어 볼 수 있

다. 수조형은 세척, 탈기 등에 주로 사용되며, 프로브형은 유화, 분산, 추출 등에 주로 사용된다. 최근에는 초음파 발생기 여러 대를 직렬 배치하여 사용할 수 있는 산업적 규모의 순환식 장치가 개발되기도 하였다(Song 등, 2018). 그러나, 초음파 살균 기술의 특성상 단독 기술보다는 허들(hurdle) 기술로 다른 공정과 병행처리가 필요하므로 장치의 개발도 이러한 측면을 고려하여 수행되어야 한다. 또한, 식품의 형태나 성분, 타겟 미생물 등에 따라 살균 조건이 모두 다르기 때문에 최적 살균 공정을 확립하기 위한 연구 역시 함께 이루어져야 한다.

요약

식품의 보존성 및 안전성 증대를 위해 살균이 필수적이다. 일반적으로 가열 살균 기술이 가장 많이 사용되고 있으나, 공정 중 식품의 품질 저하를 막기 위한 살균 기술로 신공정 기술을 활용한 비가열 살균 기술의 중요성이 대두되고 있다. 그 중에서도 초음파 기술은 특유의 캐비테이션 현상으로 미생물의 파괴가 촉진되어 살균 효과를 내는 것으로 알려져 있다. 초음파 기술 단독으로는 사멸 효과가 낮으며, 다양한 공정 기술과 함께 적용하여 사멸 효과를 극대화할 수 있는 기술 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 초음파와 함께 처리할 수 있는 공정으로는 가열, 고압, 화

학적 처리 등 전통적인 살균 방법 뿐 아니라 자외선 조사, PEF 등 신공정 기술이 있다. 초음파 기술을 적용한 다른 공정과 달리 살균 기술은 아직 실험실 수준에 머물러 있어 산업적 적용을 위한 장치의 개발, 최적 공정 확립 등 추가 연구가 필요하다.

Reference

- Bermudez-Aguirre D. Advances in Thermo-and Manothermosonication for Microbial Inactivation. pp. 15-37. In *Ultrasound: Advances for Food Processing and Preservation*. Bermudez-Aguirre D (ed). Academic Press. (2017)
- Char CD, Mitilinaki E, Guerrero SN, Alzamora SM. Use of High-Intensity Ultrasound and UV-C Light to Inactivate Some Microorganisms in Fruit Juices. *Food Bioprocess. Technol.* 3: 797-803 (2010)
- Chemat F, Huma Z, Khan MK. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochem.* 18: 813-835 (2011)
- Earnshaw RG, Appleyard J, Hurst RM. Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. *Int. J. Appl. Microbiol.* 28: 197-219 (1995)
- Evelyn, Silva FVM. Inactivation of *Byssoclamys nivea* ascospores in strawberry puree by high pressure, power ultrasound and thermal processing. *Int. J. Food Microbiol.* 214: 129-136 (2015)
- Evelyn, Silva FVM. High pressure processing pretreatment enhanced the thermosonication inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in orange juice. *Food Control* 62: 365-372 (2016)
- Gomez-Lopez VM, Ragaert P, Debevere J, Devlieghere F. Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends in Food Sci. Technol.* 18: 464-473 (2007)
- Huang E, Mittal GS, Griffiths MW. Inactivation of *Salmonella enteritidis* in liquid whole egg using combination treatments of pulsed electric field, high pressure and ultrasound. *Biosystems Engineering* 94: 403-413 (2006)
- Lee DU, Heinz V, Knorr D. Effects of combination treatments of nisin and high-intensity ultrasound with high pressure on the microbial inactivation in liquid whole egg. *Innov. Food Sci. Emerg. Tech.* 4: 387-393 (2003)
- Lee H, Zhou B, Liang W, Feng H, Martin, SE Inactivation of *Escherichia coli* cells with sonication, manosonication, thermosonication, and manothermosonication: microbial responses and kinetics modeling. *J. Food Engin.* 93: 354-364 (2009)
- Lee NH. Emerging Technology - Application of Ultrasonic Technology for Protein Extraction. *Bull. Food tech.* 24: 369-376 (2011)
- López-Malo A, Guerrero S, Santiesteban A, Alzamora SM. Inactivation kinetics of *Saccharomyces cerevisiae* and *Listeria monocytogenes* in apple juice processed by novel technologies. In *Proceedings of 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering. 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering*. No. 0681 (2005)
- Muñoz A, Palgan I, Noci F, Cronin DA, Morgan DJ, Whyte P, Lyng JG. Combinations of selected non-thermal technologies and antimicrobials for microbial inactivation in a buffer system. *Food Res. Int.* 47: 100-105 (2012)
- Pagán R, Manas P, Raso J, Condon S. Bacterial resistance to ultrasonic waves under pressure at nonlethal (manosonication) and lethal (manothermosonication) temperatures. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 297-300 (1999)
- Park J, Na S, Lee Y. Present and future of non-thermal food processing technology. *Food Sci. Ind.* 43: 2-20 (2010)
- Piyasena P, Mohareb E, McKellar RC. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. *Int. J. Food Microbiol.* 87: 207-216 (2003)
- Raso JR, Condon S, Sala FJ. Influence of temperature and pressure on the lethality of ultrasound. *Appl. Environ. Microbiol.* 64: 465-471 (1998a)
- Raso J, Palop A, Pagan R, Condon S. Inactivation of *Bacillus subtilis* spores by combining ultrasonic waves under pressure and mild heat treatment. *J. Appl. Microbiol.* 85: 849-854 (1998b)
- Salleh-Mack SZ, Roberts JS. Ultrasound pasteurization. The effects of temperature, soluble solids, organic acids, and pH on the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922. *Ultrasonics Sonochem.* 14: 323-329 (2007)
- Sandra NG, Mariana F, Marcela S, Mercedes GC. Hurdle technology using ultrasound for food preservation. pp. 39-99. In *Ultrasound: Advances for Food Processing and Preservation*. Bermudez-Aguirre D (ed). Academic Press. (2017)
- Song KM, Jung SK, Kim YH, Kim YE, Lee NH. Development of industrial ultrasound system for mass production of collagen and biochemical characteristics of extracted collagen. *Food Bioproduct. Process.* 110: 96-103 (2018)
- Tremarin A, Brandão TR, Silva CL. Application of ultraviolet radiation and ultrasound treatments for *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores inactivation in apple juice. *LWT.* 78: 138-142 (2017)
- Tsukamoto I, Yim B, Stavarache CE, Furuta M, Hashiba K, Maeda Y. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* by ultrasonic irradiation. *Ultrasonics Sonochem.* 11: 61-65 (2004)
- Ugarte-Romero E, Feng H, Martin SE. Inactivation of *Shigella boydii* 18 IDPH and *L. monocytogenes* Scott A with power ultrasound at different acoustic energy densities and temperatures. *J. Food Sci.* 72: M103-M107 (2007)
- Vyas S, Ting YP. A review of the application of ultrasound in bioleaching and insights from sonication in (bio) chemical processes. *Resources.* 7: 3 (2018)
- Walkling-Ribeiro M, Noci F, Cronin DA, Lyng JG, Morgan DJ. Shelf life and sensory evaluation of orange juice after exposure to thermosonication and pulsed electric fields. *Food Bioproduct. Process.* 87: 102-107 (2009)