

식품산업에서의 파동에너지의 재조명

김영호 · 이남혁

신소재연구단

Review of Wave Energy in the Food Industry

Young-Ho Kim, Nam-Hyounk Lee

Neo Food Resources Research Group

파동에너지란 전자기파나 초음파에서 발생되는 빠른 주기의 파동(주파수, 파동수)을 식품이나 생체 등에서 흡수하였을 때 내부에서 전환되는 에너지를 말하는데, 주파수 영역에 따라 그리고 파동의 종류(횡파, 종파)에 따라 에너지 전환 방식, 에너지 강도 및 양, 그리고 이에 따른 피조사체 내부의 반응기작 등이 다르기 때문에 식품산업이나 생물공학 분야에서 파동 에너지를 이용하기 위해서는 이들 파동에너지의 특성을 이해할 필요가 있다.

파동에너지는 의학 및 생물공학 분야에서 활발히 이용되고 있는데, 최근에 파동에너지의 높은 효율성(high efficiency), 기존 방법 대비 상당히 빠른 공정, 경제적 실행 가능성 등으로 녹색기술(green technology)로써 재조명되고 있으

므로 식품산업에서의 파동에너지 이용현황과 전망에 대하여 논하고자 한다.

파동에너지의 스펙트럼

전자기파는 전기장과 자기장이 파의 진행 방향과 수직하게 진동하는 횡파로써 맥스웰(Maxwell) 이론에 의하면 전자기파의 속도는 3×10^8 m/s로 예측되었고, 이는 빛의 속도와 같아 빛이 전자기파의 일종이라는 것을 알게 되었다. 전자기파는 γ -선, X-선, 자외선, 가시광선, 적외선, 전파 등이 포함되는데 파장이 짧은 γ -선이나 X-선은 파동의 성격보다는 입자의 성격이 많이 나타나기 때문에 MeV, keV 또는 eV

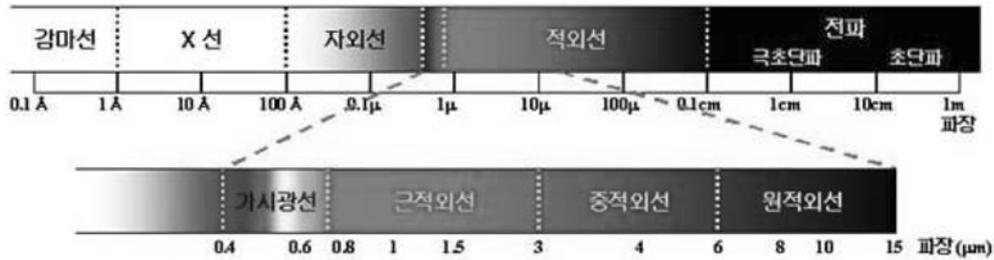


Fig. 1. Spectrum of electromagnetic wave
(출처 : wikipedia)

같은 광자에너지로 표현하고, 파장이 긴 원적외선이나 전파는 입자의 성격보다는 파동의 성격이 강하기 때문에 파동수(주파수)를 나타내는 Hz, kHz 또는 MHz 등으로 표현한다. 전자기파가 식품이나 기타 물질에 흡수되면 흡수에너지의 크기에 따라 내부 분자의 진동이나 회전 운동을 유발하는데, 일반적으로 γ -선, X-선 및 자외선을 흡수하면 전자의 전이 및 분자의 진동과 회전 운동을 동시에 유발하는 반면에 적외선 에너지는 전자의 전이를 일으키지 못하나 분자의 진동이나 회전운동은 촉진시키고, 원적외선이나 마이크로파는 분자의 회전 운동만을 유발하는 것으로 알려지고 있다. 반면에 전자기파와 전혀 다른 성질을 가지는 초음파는 공동현상(cavitation phenomenon)으로 발생하는 에너지가 세포구조 변화를 유발하는 것으로 알려지고 있다.

전자기파의 스펙트럼 분포는 Fig. 1과 같다.

파동에너지와 밀접한 관계에 있는 주파수(周波數 : Frequency)는 초(sec)당 교류의 방향이 바뀌는 완전한 사이클 수를 의미하며 진동수로 표시하기도 한다. 주파수의 표준단위는 Hz(1초

동안의 진동수가 1인 경우에는 1 Hz로 표시)이며, 초당 10^3 사이클을 나타내는 kHz(kilo hertz), 초당 10^6 사이클인 MHz(mega hertz), 초당 10^9 사이클인 GHz(giga hertz), 그리고 초당 10^{12} 사이클인 THz(tera hertz)으로 표시하며, THz 이상의 주파수에서는 10^{13} Hz 또는 10^{19} Hz 등으로 표시하고 있다.

일반적으로 전자기장 내의 주파수(f) = 광속/파장(λ)의 관계가 있으며, f (MHz)와 λ (meter)과의 관계는 $f = 300/\lambda$ 으로써 주파수가 크면 파장이 짧아지고, 파장이 길어지면 주파수가 작아지게 된다. 따라서 전자파 중에서 전파의 주파수가 가장 낮고 적외선, 가시광선, 자외선, X선, 감마선의 순으로 주파수가 높다. 전파의 경우는 편의상 30 kHz를 기점으로 하여 주파수의 수를 10배마다 구분하여 각각 장파, 중파, 단파, 초단파, 마이크로파 등으로 구분하고 있다. 전파를 통신에 이용하는 경우, 30 MHz 이하 대역은 단파 라디오방송, 선박·항공기 운행에, VHF 대역(30 MHz ~ 300 MHz)은 방송, 무전기용으로, UHF 대역(300 MHz ~ 3 GHz)은 주로 이동통신

과 방송에, SHF 대역(3 GHz ~ 30 GHz)은 고정 중계, 위성용으로, 그리고 30 GHz 이상 대역은 레이더, 위성통신에 일부 이용되고 있다.

식품산업에서의 파동에너지 연구동향

식품산업에서 이용하는 전자기파 및 초음파와 관련된 논문현황(1970년부터 2007년 8월까지 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 국내외 연구문헌 DB를 이용)을 살펴보면 전자기장을 이용한 논문이 90여 편, 초음파를 이용한 논문이 180여 편 검색되었으며, 전자기장을 이용한 연구분야는 대부분 식품미생물의 살균, 효소 불활성화, 공정개선, 물성변형, 그리고 품질특성에 대한 연구가 주류를 이루었고, 본 저자들이 관심을 가지고 있는 고분자물질의 저분자화 또는 수용화, 그리고 근육 변형기술과 관련된 가공공정에 관한 연구는 미미한 것으로 나타났다. 그리고 초음파 처리기술에 대한 연구는 1990년대 이후 꾸준히 진행되고 있는데 체성분 측정, 지방 측정, 적육생산량 측정 등과 관련된 측정기술, 규격기준 설정을 위한 표준화 연구, 이력추적에 관한 연구가 주류를 이루었고, 식품성분의 추출, 분해 등과 관련된 연구분야는 극히 일부만 검색되었다. 최근에는 기존의 공정을 개선할 수 있는 hurdle 기술로 이용하는 연구가 이루어지고 있다.

특허현황을 살펴보면 유럽에서는 전자기파 이용기술과 초음파 이용기술에 대한 특허가 균형

을 이루고 있는 반면에 우리나라와 미국에서는 초음파를 이용한 기술에 대한 특허가 주류를 이루고 있어 각국의 관심도에 약간 차이가 있다는 것을 알 수 있고, 특히 일본에서는 전자기파 특허 기술을 대량으로 보유하고 있어, 전자기파 실용화기술에 관심이 집중되고 있다는 것을 알 수 있었다.

식품산업에서의 파동에너지 이용 현황

1. 주파수 400 THz ~ 300 GHz 영역

사람의 육안으로 감지 가능한 전자기파는 0.38 ~ 0.77 μm 파장 대역인 가시광선인데, 이보다 파장이 긴 0.77 ~ 1,000 μm 영역의 전자기파를 적외선 영역이라 부른다. 적외선은 대개 0.77 ~ 3 μm 까지를 근적외선(near infrared), 3 ~ 6 μm 까지를 중적외선(mid infrared), 6 ~ 15 μm 까지를 원적외선(far infrared)라고 하고 15 μm 이상 1 mm까지를 극적외선(extreme infrared)으로 분류하나, 적외선의 스펙트럼 범위는 명확하게 정의되어 있지 않다(CIE 국제조명용어집, 제3판).

주파수 400 THz ~ 300 GHz 영역대인 적외선은 식품 및 농산물의 가열·건조 등에 오래 전부터 이용되어 왔지만, 최근 들어서는 50 THz ~ 20 THz영역대인 원적외선의 이용과 응용에 관심을 가지고 있다. 그러나 Table 1에 제시한 것처럼 식품산업 분야에서의 이용은 아직 활발하지 않은 실정이다.

Table 1. Use of far infrared in the food industry

용도	가공공정	열원	효과
살균	가열	가스	시간 단축
식품 보관	적정 온도 유지	전기	건조 방지
식품 조리	연속식 가열처리	전기	시간 단축, 미각 향상
식품 구이	가열처리, 건조	전기, 가스	에너지 절약, 균일 가열, 품질향상
식품 건조	내부 및 표면 건조	전기, 가스	에너지 절약, 생산성 향상
어묵 꼬치 제조	표면건조	가스	시간 절약, 설비 단순화
커피콩 배진	볶음	전기	균일 배진, 미각 향상
빵 제조	가열	가스	시간 단축, 품질 향상
제면	건조	전기, 가스	생산성 향상, 품질 향상
꽃감제조	건조	전기	시간 단축, 품질 향상
약초 및 다류 건조	건조	전기, 가스	시간 단축, 품질 향상

(출처 : 이정우, 2001)

Table 1에 나타난 바와 같이 식품산업에서는 원적외선의 열적 에너지 특성을 이용하여 식품의 보관, 조리(가열), 건조 및 살균 공정에 주로 이용하고 있는데, 최근에는 광파 오븐이라는 기존의 단순 오븐에 열적 기능을 가진 원적외선 발생을 병행한 제품이 상업화되기 시작하였다. 기존의 단순 오븐이 최고 250°C 온도까지 가열되는 것에 비하여 광파 오븐은 최고 320°C 까지 가열할 수 있는 것으로 알려지고 있으며, 재료의 겉과 속을 빠른 시간에 균일하게 익혀 주어 재료의 맛이 변하지 않고 영양소 파괴가 최소화된다고 홍보하고 있다. 그러나 이러한 광파 오븐은 식품 성분에 따른 흡수 파장대를 조절할 수 있는 기술이 아직 개발되지 않았으며, 전자렌지와 구분과도 아직은 애매한 상태이다.

한편, 원적외선의 열적기능 외에도 원적외선 방사 파장대와 식품의 흡수 파장대와의 관계를 규명하여 원적외선 방사 세라믹스를 식품중에 코팅하거나 공정용 컬럼 등으로 활용할 수 있는 비열 공정이 개발된다면 과일, 채소, 곡류, 육류 및 어패류 등 다양한 식품의 선도 유지, 숙성기간 단축, 풍미향상, 영양성분의 보존 등을 기할 수 있는 새로운 그린 에너지 공정으로 유용하게 이용할 수 있을 것으로 전망된다.

이와 더불어 최근에는 주파수 20 THz ~ 300 GHz(파장 15 μm ~ 1 mm) 영역대인 극적외선에 대한 연구가 이루어지고 있는데, 물질의 분자 상태에 따라 특이한 투과 특성 및 전달 신호를 나타내기 때문에 의료분야의 검진에 이용하거나, 식품이나 농산물의 품질검사에 이용하고 있다.

Table 2. Dielectric characteristics of food

식품	비유전율(ϵ)	유전역율($\tan\delta$)	손실계수($\epsilon \cdot \tan\delta$)
물(3,000 MHz)	77	0.15	11.55
얼음(-12°C, 2,450 MHz)	3.2	0.00095	0.003
돼지고기(-12°C, 2,450 MHz)	6.8	1.2	8.16
쇠고기(-12°C, 2,450 MHz)	5.0	0.15	0.75
감자(2,450 MHz)	4.5	0.2	0.9
완두콩(2,450 MHz)	2.5	0.2	0.5
시금치(2,450 MHz)	13.0	0.5	6.5
소맥분(함수율 8%, 4 MHz)	2.6	0.03	0.078

(출처 : 조광환, 1997)

2. 주파수 300 GHz ~ 1,000 MHz 영역

주파수 300 GHz ~ 1,000 MHz(파장 1 mm ~ 30 cm) 영역은 일반적으로 마이크로파로 불려지는데, 파장 영역에 따라 센치파, 밀리파 등으로 구분하기도 한다. 파장이 짧아 직진성 · 반사 · 굴절 · 간섭 등의 성질이 빛과 유사하고, 이 성질을 이용하여 레이더, 다중통신, 텔레비전 방송, 속도측정기, 위성통신 등의 통신용에 이용하고, 전파분광학에서는 물질의 원자나 분자구조 분석 등에 이용하기도 한다.

식품산업에서는 식품의 가열, 건조 등의 공정에 이용되고 있는데, 이는 마이크로파가 식품성분에 흡수될 때 발생하는 내부 유전가열 원리를 이용하는 것으로써 주파수는 ISM(Industrial Scientific and Medical Use) 대역 중에서 915 MHz와 2,450 MHz의 2종류를 이용하고 있다. 마이크로파가 식품 내부로 침투될 때 유전손실이 클수록 점차 전계강도가 약해져 발열량이 작아지게 되므로 내부 가열이 어렵게 된다. 시

간당 단위체적에서 발생하는 유전체 내부의 발열량은 다음 식으로 계산되는데 발열량은 주파수에 비례하고 손실계수($\epsilon \times \tan \delta$)에 비례하고 있음을 알 수 있다.

$$Q = 1/2 \cdot I \times f \times E^2 \times \epsilon \tan \delta \times 10^{-8} \text{ (cal)}$$

이때, Q = 발열량, f = 주파수(Hz), E = 마이크로파 전계(V/m), ϵ = 비유전율, $\tan \delta$ = 유전역율

따라서 마이크로파를 이용하여 식품을 균일하게 가열하기 위해서는 식품의 유전특성을 잘 알아야 한다. 식품의 손실계수는 조성이 복잡하여 명확하게 제시할 수는 없지만 알려진 식품의 유전특성은 Table 2와 같다.

현재 마이크로파는 대부분 가정용 전자렌지로 식품의 조리 이용하고 있지만, 식품산업에서는 가공식품의 살균, 건조 및 냉동식품의 해동 등에 이용하고 있다. 마이크로파의 살균 작용은 통상적으로는 가열살균과 유사하지만 단 시간 내에 균일한 살균이 가능하므로 품질변화

를 최소화할 수 있는 이점이 있는 것으로 알려지고 있다. 마찬가지로 식품의 건조시에도 열풍 건조시스템보다 처리시간이 5 ~ 10배 짧아지고, 생산원가도 30% 정도 낮아지는 것으로 알려지고 있으며, 짧은 건조로 인하여 인스턴트식품의 복원력이 증진된다는 보고도 있다.

냉동식품의 해동시에도 해동시간이 짧아지고, 포장상태에서 해동이 가능하므로 위생적 처리가 가능하다는 장점이 있으나, 두꺼운 식품의 경우 해동시 액화된 수분과 동결된 수분과의 손실계수 차이로 인하여 부분적 온도상승을 제어할 수 있는 기술 개발이 필요한 것으로 나타나고 있다.

한편, 본 연구진이 수행하고 있는 고분자물질의 열추출 및 분리와 관련된 가공기술에 대한 연구는 아직 초보단계에 있지만 마이크로파에 의한 분자간 마찰열을 효율적으로 이용한다면, 단백질과 같은 고분자물질의 분해 및 추출시 기존의 공정을 단순화할 수 있는 새로운 공정을 개발할 수 있을 것으로 생각된다. 현재 본 연구진은 돈피, 어피 및 어린에서 젤라틴 제조 공정을 단순화할 수 있는 기술을 개발하고자 현재 마이크로파를 이용하고 있으며, 대략적인

공정은 아래의 그림과 같다.

3. 주파수 300 MHz ~ 20 kHz 영역

주파수 300 MHz ~ 20 kHz 영역은 횡파에서는 라디오파에 해당되고, 종파에서는 초음파 영역에 해당된다.

식품산업에서 라디오파 영역을 직접 이용한 것은 냉동참치 해동에 이용한 바 있고, 이때 물 해동이나 공기 해동에 비하여 신속하고 균일한 해동을 할 수 있는 것으로 보고되고 있다. 1990년대 이후에는 전기를 이용한 Joule 가열(또는 통전 가열) 방식에서 이러한 주파수대를 활용하고 있다. Joule 가열은 식품에 교류 전류를 통과시키면 전기에너지가 열에너지로 전환되어 식품 내부에서 급속하게 발생하는 전기저항열을 이용한 가열방식인데, 최근에는 1 kHz ~ 100 kHz의 저주파 변환 교류방식을 이용하여 기존의 액상 제품 또는 균일한 상태의 에멀전 제품에만 국한하여 이용하였던 Joule 가열 기술을 액상 및 고상의 혼합 불균일 제품까지 신속하고 균일하게 가열할 수 있을 뿐만 아니라 미생

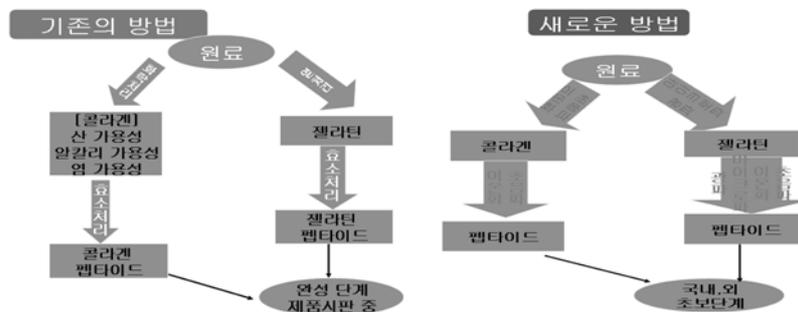


Table 3. Representative ultrasound-assisted bioprocesses

Process	Sonication parameters (kHz, W)	Sonication time (min)
생물연료 생산을 위한 트리글리세라이드와 유리지방산의 에스테르화	20~48 kHz, 120~1,200 W	10, 60, 140
생물연료 생산을 위한 식물성기름과 메탄올의 유화	40 kHz, 700~1,200 W	120
Peroxidase 존재하에 페놀의 분해	423 kHz, 5.5 W	20~60
Protease 존재하에 무두질하지 않은 가죽 폐기물의 산화	40 kHz	120
Cellulase 존재하에 증류주제조 폐기수(水)의 분해	22.5 kHz, 120 W	30~120
<i>Bacillus subtilis</i> var. <i>niger</i> 검출	460 kPa, 2~4 MHz	3
폐기 활성슬러지(activated sludge)의 dehydrogenase 활성 증가	35 kHz, 80 W	10
폐기 활성슬러지의 혐기 분해	10~20 kHz, 에너지 밀도 20~60 kJ/l	NA

(출처 : Rokhina et al, 2009)

물 살균, 효소 불활성화, 조리, 단백질 성형, 해동, 건조 및 추출 공정 등 광범위하게 활용 가능한 기술로 재조명되고 있다.

한편, 라디오파와 유사한 주파수대를 가지고 있으나, 파(wave)의 흐름, 속도 등이 상이하고 에너지 전환 및 작용기작에서 큰 차이가 있는 초음파 주파수 영역에 대한 연구는 1990년대 이후 꾸준히 진행되고 있다.

생물공학 분야에서 이러한 연구결과에 대한 Rokhina 등(2009)의 리뷰 결과를 간단히 요약하면 다음과 같다. 초음파는 주파수에 따라 의학 적 영상과 화학분석에 이용하는 고주파 저전력(high frequency and low power) 초음파(2~10 MHz), 그리고 세정(cleaning)과 용접(welding)에 이용하는 저주파 고전력(low frequency and high power) 초음파(20~100 kHz)로 구분할 수 있다. Suslick(1990)에 따르면 초음파의 화학적 작용은 분자들의 직접 반응에 의한 것이 아니

고, 초음파에 의하여 형성되는 수백만 개 이상의 기포가 순간 붕괴시 발생하는 부분적 고(高)에너지가 주변에 자유기(free radical)를 형성하여 화학작용을 촉진하고, 여기에 음파의 흐름에 의하여 형성되는 전단력이 물리적 작용을 하여 초음파 효과를 배가하는 것으로 보고하고 있다.

초음파 조사시 주파수, 강도, 충격계수, 조사 시간 등이 분자구조에 물리적, 화학적 영향을 미치는데, 초음파에 의하여 형성되는 공동현상과 전단력에 의하여 세포의 미세구조 변화, 효소 안정성 변화, 세포 용해, 핵막 파괴, DNA 유리, 중합체 물질의 파괴 등을 유발하고, 형성된 라디칼이 nitric acid, nitrous acid, hydrogen peroxide 같은 물질을 유리하고 세포 표면의 전하에 영향을 주는 것으로 나타나고 있다. 초음파를 이용한 생명공학 분야의 대표적 연구는 Table 3과 같다.

Table 3에 나타낸 바와 같이 저주파 초음파

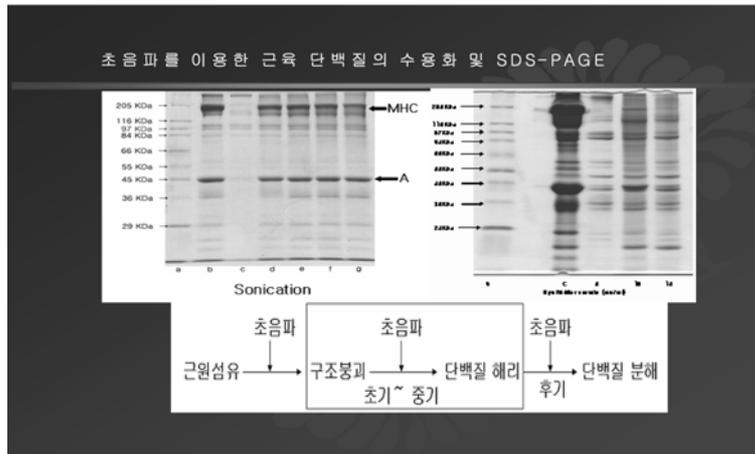


Fig. 2. Electrophoresis pattern of ultrasound radiated-myofibrillar protein

조사는 유화 공정의 효과적인 tool로써 이용하고 있으며 최근에는 기존의 stirred process보다 10배 정도까지 유화형성 속도가 빠르다는 것이 증명되고 있다. 그리고 저주파 초음파(28 kHz, 40 kHz)는 트리글리세라이드를 생물연료로 전환시 촉매사용량을 상당히 줄이고, 비누화과정이 생략되고, 반응시간을 2시간에서 30분으로 단축하면서 사용하는 메탄올과 지방산의 몰비율을 3배 이상 낮출 수 있는 것으로 보고되고 있다. 효소 활성화에 미치는 초음파의 영향에 대한 정보는 매우 미미하지만 열변성과는 달리 초음파는 효소 종류에 따라 불활성화가 달리 나타나므로 초음파 에너지 투입량과 조사시간 등을 조절하는 기술이 필요한 것으로 나타나고 있다. 생물환경정화(bioremediation) 분야에서는 효소 존재하에 초음파는 폐기물 처리에 활용되어 왔으나 효소의 촉매역할로써의 수명이 짧고 효소

생산단가가 높기 때문에 아직 상용화 단계는 아닌 것으로 나타나고 있다.

한편, 식품산업에서는 체성분 측정, 지방 측정, 적육생산량 측정 등과 관련된 측정기술, 농수축산물의 이력추적 기술에 관한 연구가 주류를 이루고 있으며, 이외에 식품의 장기보존, 건조, 살균 등에 관한 연구가 추진되고 있으나 초음파 단독 처리보다는 hurdle technology의 일부로 이용되는 경향이 많으나 아직 상용화단계는 아닌 것으로 나타나고 있다.

이미 언급한 바와 같이 초음파는 주파수, 출력 등에 따라 세포를 용해하거나 분자구조를 변형시킬 수 있는 파동에너지를 가지고 있으므로 생체 고분자 물질의 추출, 분해 등에 초음파 기술을 활용할 수 있을 것으로 예상되는데 아직 이에 대한 연구는 미미한 실정이다. 본 저자들이 수행한 연구에서 초음파를 이용하여 근

육단백질을 수용화할 수 있는 기술을 개발하였고, Fig. 2의 전기영동에 나타난 바와 같이 초음파에 의하여 205 kDa 부근의 myosin heavy chains이 해리되어 소편화되고 있음을 확인하였다.

결 론

식품산업에서 파동에너지를 이용하는 것은 해동, 살균, 건조, 추출, 분리, 단백질 성형, 보관 및 조리 등의 공정에서 공정의 단순화, 생산성 증가, 에너지 절감, 환경오염 최소화 등을 구현할 수 있는 그린 기술로써 재조명되어야 하고, 이를 위해서는 파동에너지 특성의 기초적인 이해는 물론 파동에너지와 식품성분 흡수 파장대와의 관계, 분자구조에 미치는 영향 등과 관련된 폭넓은 연구를 통하여 산업적으로 활용할 수 있는 실용화 기기가 개발되어야 한다. 파동에너지 활용기술은 식품산업은 물론 외식산업의 선도적 블루칩 기술로써 향후 그 이용가치가 무궁할 것으로 전망된다.

참고문헌

1. 금준석, 마이크로파를 이용한 식품의 가공 공정, 식품과학과 산업, **32**(1), 12-18, 1999
2. 김도연, 변유량, Ohmic heating에 의한 식품가공, 식품과학과 산업, **27**(4), 125-136, 1994
3. 김영호, 이남혁, 동물성단백질의 고부가가치

- 소재 개발을 위한 원천가공기술 수요조사 연구, 한국식품연구원, E073011-07081, 한국, 2007
4. 박지용, 박석준, 21세기의 새로운 가공기술, 식품과학과 산업, **32**(4), 37-48, 1999
5. 여익현, 박지용, 변유량, 이철호, 고압 및 ohmic heating을 이용한 식품가공 신기술 개발, 보건복지부, 한국, 1995
6. 윤철구, 박지용, 전기에너지를 이용한 동결육의 급속 해동 기술, 식품과학과 산업, **29**(3), 36-42, 1996
7. 이정우, 원적외선의 평가기술과 시장동향, 한국원적외선협회보, **10**, 33-41, 2001
8. 조광환, 마이크로파 가열이론, 한국농업기계학회지, **22**(1), 68-80, 1997
9. 최태섭, 원적외선의 기능 및 기대효과, 한국원적외선협회보, **10**, 28-32, 2001
10. Avivi S, Gedanken A, Are sonochemically prepared α -amylase protein microspheres biologically active?, Ultrason. Sonochem., **14**, 1-5, 2007
11. Electromagnetic wave, ultrasonic, <http://www.wikipedia.org/>
12. Kelkar MA, Intensification of esterification of acids for synthesis of biodiesel using acoustic and hydrodynamic cavitation, Ultrason. Sonochem., **15**, 188-194, 2008
13. Rokhina EV, Lens P, Virkutyte J, Low-frequency ultrasound in biotechnology: state of the art, Trends in Biotechnology, **27**(5), 298-306, 2009
14. Siaty NG, Improvement of biodiesel production

- based on the application of ultrasound: monitoring of the procedure by FTIR spectroscopy, J. Am. Oil Chem. Soc., **83**, 53-57, 2006
15. Suslick KS, Sonochemistry, Science, **247**, 1439-1445, 1990
16. Tiwari BK, O'Donnell CP, Cullen PJ, Effect of no thermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices, Trends in Food Sci. Technol., **20**, 137-145, 2009

김영호 공학박사

- 소속 한국식품연구원 신소재연구단
- 전문분야 근육학, 식품화학
- E-mail youngho@kfri.re.kr
- TEL 031-780-9159

이남혁 수산학박사

- 소속 한국식품연구원 신소재연구단
- 전문분야 수산학, 근육학
- E-mail lnh@kfri.re.kr
- TEL 031-780-9095