

Microwave 조사에 의한 *Salmonella enteritidis*, *Salmonella typhimurium* 과 *E. coli*의 불활성에 관한 연구

이조윤 · 이강우* · 배형철** · 김종우**

중부대학교 자연과학대학 식품영양학과

Thermal Inactivation of *Salmonella enteritidis*, *Salmonella typhimurium* and *E. coli* O111 in Liquid Cultures During Microwave Radiation

J. Y. Lee, K. W. Lee*, H. C. Bae** and J. W. Kim**

Department of Food & Nutrition, Joong-bu University,

*Dept. of Environmental Engineering, Joong-bu University

**Dept. of Dairy Science, Chung-nam National University

Abstract

The purpose of this study was to determine the thermal inactivation of *Salmonella enteritidis*, *Salmonella typhimurium* and *E. coli* O111 in liquid cultures treated with microwave energy. Furthermore, this study was to introduce new methodologies for studying nonthermal microwave effects on microorganisms, using controlled microwave energy and specially designed apparatuses. For the automatic temperature control during microwave heating, the real time data acquisition and computation system is designed with BASIC routine. The automatic temperature control system used in the experiments perform relatively stable control at the experiment temperature of 45, 50, 55, 60°C and 65°C for 30 minutes. The effects of microwave heating on liquid cultures was compared with that of conventional heating. The results show that microwave radiation, while being much quicker than conventional heating, still reduces effectively the number of pathogenic bacteria in liquid cultures. While no particular differences between microwave heating and conventional heating was observed in the activation of *E. coli* at 45°C test, the activation of *Sal. enteritidis* and *Sal. typhimurium* was slightly reduced during the microwave treatments.

Key words : microwave radiation, thermal and nonthermal inactivation.

서 론

현재 산업에 이용되는 마이크로파는 방송주파수 이외에도 식품 조리에 이용되는 microwave oven, 농작물의 건조, 의료기구 등에 사용하고 있으며 그 외 목재의 가공처리 및 산업 폐기물을 살균하여 재활용하는데 이용되고 있다^(1~3). 그 중에서 최근 들어 많이 연구되고 있는 마이크로파의 살균특성은 두 가지로 분류할 수 있다. 첫째로 열에 의해 효소, 단백질, 핵산

또는 세포의 대사와 번식에 영향을 주는 세포 물질에 열변성을 주게 되어 세포를 파괴시키는 효과이며, 또 한가지는 마이크로파의 본래 속성에 따른 비가열효과로 열에 의한 사멸효과는 관련시키지 않은 것이다⁽⁴⁾.

Grecz 등⁽⁵⁾은 65, 75, 85, 95°C 및 100°C 등의 phosphate buffer 용액에 혼탁시킨 *Clostridium* 포자를 2,450MHz의 마이크로파로 조사 시 일반적인 열처리보다 포자에 대해 더욱 치명적인 불활성화를 보였다고 보고하였다. 또한 Fung과 Culkin⁽⁶⁾이 *E. coli*와 *Sal. typhimurium* 을 토마토 soup, 야채 soup 및 beef broth 등에 각각 접종하고 915 MHz로 가열하여 부위에 따라 온도를 측정하고 생균수를 측정한 결

Corresponding author : J. Y. Lee, Dept. of Food and Nutrition, Joong-bu University, 2-25 Ma-jon Ri, Kum-san Kun, Chung-nam, 312-940, Korea.

과, 마이크로파 비가열효과가 있었다고 보고하였다. Khalil과 Villota⁽⁷⁾는 2,450MHz 마이크로파로 온도를 일정하게 유지하면서 *Bacillus* 포자의 파괴를 일반 살균법과 비교하여 시험한 결과, 살균력은 마이크로파로 가열했을 때 훨씬 높았다고 보고하였다. 또한 그 후의 연구에서 Khalil과 Villota^(8,9)는 마이크로파와 일반 가열 처리의 비교 시험한 결과, *S. aureus*의 23S RNA subunit가 마이크로파로 가열된 혼탁액에서만 상처를 받았다고 보고하였다. Sun 등⁽¹⁰⁾은 RNA에 있어 phosphoanhydride bond의 가수분해에 관한 마이크로파의 영향에 관하여 일반 가열 처리의 전도와 대류의 영향을 비교 연구한 결과, 마이크로파의 경우 일반 가열 처리에 비하여 가수분해가 가속화되었다고 보고하였다. 반면에 Vela 등⁽¹¹⁾은 마이크로파의 비가열효과의 가능성을 검정하기 위해 동결건조균주를 이용한 시험을 시도하였는데, actinomycetes를 포함한 대다수 세균, 곰팡이, bacteriophage를 동결건조된 상태와 액상 상태에서 마이크로파를 조사하여 시험한 결과, 동결건조된 균주에서는 어떠한 조사에도 사멸균이 없었다고 보고하였다. 따라서 이와 같은 결과로 미루어 마이크로파가 미생물을 사멸시키는 것은 단지 가열효과 때문이라고 보고하였다. Lechowich 등⁽¹²⁾은 열교환기를 이용하여 microwave oven내에서 온도를 조절할 수 있도록 고안하였으며 일반 가열 처리와 비교하여 시험한 결과 살균력은 별 차이가 없었다고 보고하였다. 이처럼 마이크로파에 의한 가열 또는 비가열효과에 대해서는 아직 많은 논란의 대상이 되고 있으나, 이런 결과들은 대부분 마이크로파의 가열효과에 의하여 미생물을 불활성화 시킨다고 보고하고 있다.

Microwave oven으로 가열한 식품의 안정성에 관한 문제는 마이크로파로 충분히 열처리를 하지 않거나 식품의 비자기특성과 같은 물리적, 화학적 변수들에 의해 부분 가열 소지가 있게 되므로 조리하고 식힌 식품내에서 병원균 생존의 위험성이 있는 것으로 알려져 있다. 특히 *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp. 등과 같은 식품 병원성균은 자연계에 널리 존재하면서 집단 질병을 유행시키기 때문에, 마이크로파로 열처리한 식품의 안정성에 관한 연구가 많이

수행되었다^(4,6,8,9,13).

이에 본 시험은 Salmonellasis와 집단 식중독의 주요 원인균인 *Salmonella typhimurium*, *Salmonella enteritidis* 및 *Escherichia coli* O111에 대하여 마이크로파를 조사함으로써 열에 의한 불활성 효과를 검토하고자 하였다. 특히 마이크로파 조사에 있어서 가열온도를 일정하게 유지하도록 마이크로파의 제어시스템을 구성함으로써 보다 정밀한 시험 방법을 통하여 마이크로파에 의한 가열 및 비가열효과에 대하여 검토하고자 하였다. 또한 마이크로파와 일반적인 가열처리에 의한 살균효과를 비교 검토하므로써 추후 농축산물 및 가공식품의 살균 공정에 있어 마이크로파의 이용성 여부를 판정하고 그에 따른 식품의 안전성을 확보하는데 본 시험의 목적을 두었다.

재료 및 방법

Microwave oven

현재 가정에서 보편적으로 많이 사용되고 있는 microwave Oven(LG Electronics Model MR3033, 발진주파수: 2,450MHz, 정격고주파 출력: 750W)을 마이크로파 조사 시험에 이용하였다.

Microwave heating & control System

가열온도를 일정 시간 동안 동일하게 유지하기 위해 시험에 사용한 마이크로파 제어시스템은 Microwave oven과 온도 측정을 위한 센서, 데이터를 전송하고 변환하는 장치, 데이터 모니터링 및 제어장치로 구성하였다(Fig. 1).

열처리를 위한 Microwave oven은 상부면에 직경 1cm 가량 두 개의 흠을 만들고 이를 통해 교반장치 및 온도센서를 설치하였다. 또한 마이크로파 조사에 의해 가열시 발생하는 부분적 고온 현상을 막기 위해 교반장치를 설치하였다. 온도 측정은 일반적으로 사용되는 저항센서(PT100Ω)를 이용하였고, 저항센서에는 온도조절기를 이용해 일정한 전압을 공급하도록 하였으며, 센서에서 측정된 아날로그 신호는 DAS16 ADC I/O Board에 의해 디지털 자료화되어 처리되고, 이를 IBM PC에 의해 연속적으로 모니터링하였다. PC는 센서로부터 입력되는 온도변환자료를 GW-BASIC으로

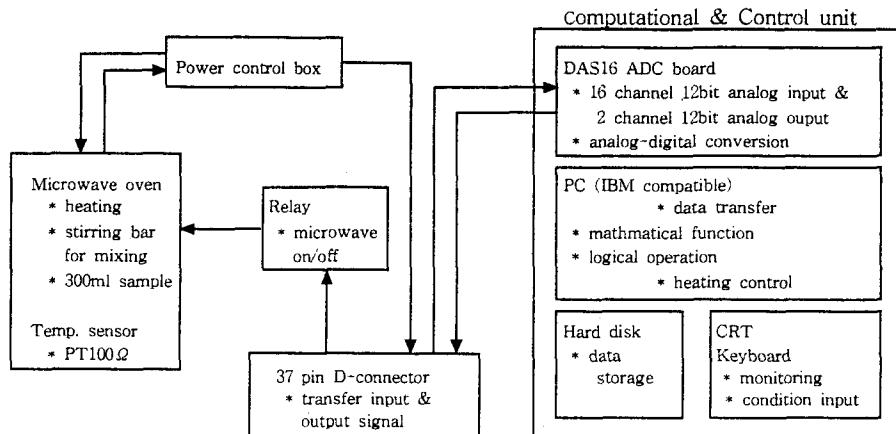


Fig. 1. Real time data acquisition and computational unit for temperature control by microwave on & off.

프로그램된 루틴에 의해 모니터링하고 기 설정된 마이크로파의 제어 조건과 비교하여 제어 신호를 송출하게 된다. 이 제어 신호에 의해 microwave oven의 열원인 마이크로파의 on/off 레일레이가 구동되며 시험제어온도 범위 내에서 시험 시간동안 마이크로파를 단속적으로 운영함으로써 온도를 제어하였다. 온도제어 시스템이 구동되는 동안 측정된 온도측정 입력데이터는 모니터링과 함께 저장장치에 저장되어지고 시험시간동안 제어된 분석 자료로 이용하였다.

공시균주

공시균주 *Escherichia coli* O111과 *Salmonella typhimurium* M-15는 생명공학연구소에서 분양 받았으며, *Salmonella enteritidis* KCCM 12021은 한국종균협회(KFCC) 부설 한국미생물보존센터(KCCM)로부터 분양 받아 시험에 사용하였다.

사용배지

분양받은 균주들을 보관하기 위하여 Nutrient Broth (Difco Lab., Detroit, Michigan, U.S.A.)에 agar를 1.5% 첨가하여 37°C에서 계대 배양한 후 냉장 보존하였으며, 중균용 시험배지는 peptone water (pH 7.2)를 사용하여 37°C에서 12시간동안 2차 중균 배양 후, microwave oven 및 conventional heating의 시험에 사용하였다. 가열처리 후 균주의 사멸효

과를 보기 위한 균주들의 선택배지로 *Escherichia coli*는 MacConkey agar (Difco Lab., Detroit, Michigan, U.S.A)를 사용하였고, *Salmonella*속 균주들은 Hektoen enteric agar (Difco Lab., Detroit, Michigan, U.S.A)를 사용하여 37°C에서 48시간 배양하여 균수를 계측하였다.

Conventional heating

1.0% Peptone water (pH 7.2)에서 *E. coli*, *Sal. enteritidis*, *Sal. typhimurium* 균주를 12시간 배양한 중균배지를 10ml용 시험판에 5ml씩 넣고, 항온수조(VS-1205W, 45A, 1kw, Vision Co.)에서 45, 50, 55, 60°C 및 65°C 등의 온도 별로 각각 30분 동안 가열하면서 5분 간격으로 sample을 채취하여 평판계측법에 의해 계측하였다.

Microwave heating

1.0% Peptone water (pH 7.2)에서 중균배양한 균주를 500ml 용 clear glass straight sided jar (Dia. × Hgt. : 91 × 95mm)에 300ml를 정확히 정량한 후, microwave oven 중앙에 위치시키고 용기 내부에 온도 센서를 위치시켰으며 용기 내부의 온도를 일정하게 유지하기 위해 교반기(MS3040, Jeio tech. Co.)를 사용하여 300rpm으로 교반하였다. 그리고 45, 50, 55, 60°C 및 65°C 등의 온도를 30분 동안 유지하도

록 마이크로파 제어 시스템을 구동시키고 5분 간격으로 시료를 채취하여 평판계측법에 의해 계측하였다.

결과 및 고찰

마이크로파 제어시스템에 의한 온도 제어 효과

마이크로파 조사에 의한 온도 제어의 정확성을 측정하기 위해 시스템의 운영시 측정되는 디지털자료와 일반 디지털온도계(Barnstead Thermolyne Co. Model PN20700)에 나타난 온도 변화를 동시에 반복적으로 측정하였다. 이 때 사용한 시료는 항온기에서 37°C로 정온한 peptone water를 사용하였다. 그 결과 본 시험에 이용된 온도의 오차 범위는 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 정도였으며 교반에 의한 용기의 부분별 오차 범위는 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 로 비교적 안정한 제어 효과를 보여주었다. 또한 센서로 부터 입력되는 아날로그 신호의 디지털 변환자료와 온도변화와의 상관관계를 분석한 결과, 시스템의 센서에서 측정된 자료는 Fig. 2와 같이 온도의 변화와 매우 밀접한 상관성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 시험에 적용된 시스템의 온도 제어 효과는 적절한 것으로 판단되어진다.

일반 가열 처리 및 마이크로파의 조사에 따른 시험 온도 설정은 양쪽 모두 45, 50, 55, 60°C 및 65°C등에서 수행되었으며 시료가 각 온도 조건에 도달한 후 30분간 온도를 유지할

수 있도록 컴퓨터제어에 의한 릴레이 구동을 통해 마이크로파의 조사량을 제한하였다. 마이크로파 조사에 의한 시료의 열처리 동안, 시간에 따른 시료의 온도변화를 모니터링한 결과는 Fig. 3과 같다. 초기에 33°C~34.5°C에서 가열되기 시작한 시료는 마이크로파의 경우, 대략 20초~110초 이내에 제어조건온도에 도달하였으며 이후 30분 동안 비교적 안정된 제어효과를 보였으며, 항온수조에서 일반 가열 처리한 경우, 대략 120초 이내에 시험 설정 온도에 도달하여 매우 안정된 온도를 유지하였다. 시료들이 시험 설정 온도에서 제어되는 동안 마이크로파의 on/off 동작의 반복으로 인해 시료에 가해진 microwave power의 정도는 마이크로파가 on된 상태의 시간에 비례하며, 본 실험에서 microwave oven이 on 상태를 유지한 시간은 전체 시간의 20%~40% 정도였다.

마이크로파 제어시스템에 의한 살균효과

E. coli, *Sal. enteritidis*, *Sal. typhimurium*의 균주에 대하여 마이크로파와 일반적인 가열처리에 의한 불활성효과를 시험한 결과는 Table 1과 같다.

Table 1에서 나타난 바와 같이 45°C의 온도에서 30분 동안 열처리한 결과 일반적인 가열처리의 경우, 열처리하지 않은 균체수와 비교하여 세 균주 모두에서 거의 변함이 없는 결과를 보여주었다. 반면에 마이크로파를 조사하여

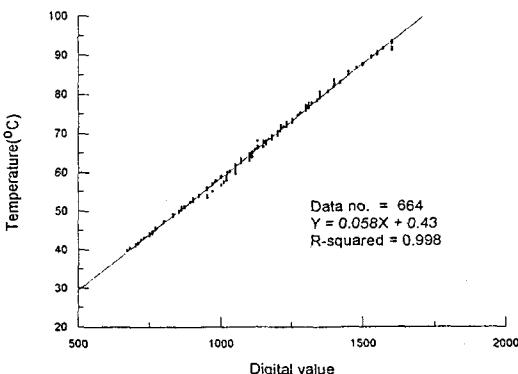


Fig. 2. The regression result showing good correlation between digital data and temperatures.

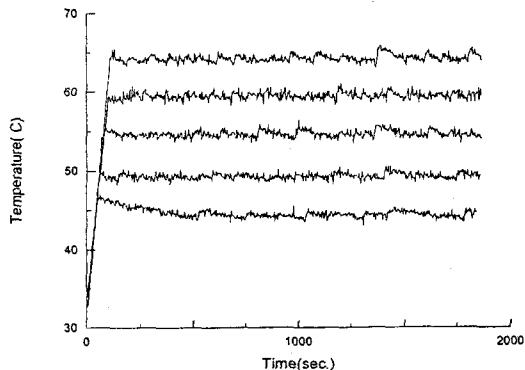


Fig. 3. Control system performance under variable temperatures at 45, 50, 55, 60°C and 65°C respectively.

Table 1. Inactivation of strains in 1% peptone water after microwave and conventional heating set at 45, 50, 55, 60°C and 65°C for 30 minutes

Heating temp.	Strains	Heating methods	CFU / ml ^a						
			0	5	10	15	20	25	30
45°C	<i>E. coli</i> O111	Mw ^b	1.90×10^9	2.54×10^9	2.20×10^9	1.85×10^9	1.92×10^9	2.24×10^9	
		Co ^c	2.85×10^9	2.21×10^9	2.95×10^9	3.40×10^9	3.24×10^9	3.32×10^9	4.45×10^9
	<i>Sal. enteritidis</i>	Mw ^b	3.22×10^7	1.35×10^7	8.43×10^6	3.80×10^6	2.97×10^6	2.30×10^6	1.30×10^6
		Co ^c		2.47×10^7	1.77×10^7	2.72×10^7	2.37×10^7	2.45×10^7	2.45×10^7
50°C	<i>Sal. typhimurium</i>	Mw ^b	7.33×10^8	6.52×10^8	9.73×10^7	8.63×10^7	9.23×10^7	8.45×10^7	5.47×10^7
		Co ^c		1.06×10^8	2.36×10^8	6.33×10^8	4.49×10^8	6.42×10^8	8.31×10^8
	<i>E. coli</i> O111	Mw ^b	3.75×10^9	1.93×10^7	5.67×10^6	1.30×10^6	1.03×10^5	1.20×10^5	4.83×10^4
		Co ^c		1.13×10^8	1.18×10^8	1.69×10^8	9.00×10^5	1.65×10^6	4.17×10^6
55°C	<i>Sal. enteritidis</i>	Mw ^b	1.85×10^7	1.00×10^5	1.95×10^5	4.60×10^5	2.03×10^4	1.73×10^4	1.96×10^4
		Co ^c		4.50×10^6	2.67×10^6	1.67×10^6	7.33×10^4	3.07×10^4	2.33×10^4
	<i>Sal. typhimurium</i>	Mw ^b	5.50×10^7	5.67×10^5	1.50×10^5	1.70×10^5	1.25×10^5	2.22×10^5	1.21×10^5
		Co ^c		3.01×10^7	1.13×10^6	9.43×10^5	9.27×10^5	1.28×10^6	1.25×10^6
60°C	<i>E. coli</i> O111	Mw ^b	1.24×10^9	2.67×10^2	2.30×10^1	ND	ND	ND	ND
		Co ^c		9.67×10^4	1.52×10^3	7.75×10^4	ND	ND	ND
	<i>Sal. enteritidis</i>	Mw ^b	1.79×10^8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Co ^c		1.80×10^3	1.70×10^1	ND	ND	ND	ND
65°C	<i>Sal. typhimurium</i>	Mw ^b	1.62×10^9	5.43×10^3	7.70×10^1	ND	ND	ND	ND
		Co ^c		9.83×10^3	8.63×10^3	5.25×10^2	ND	ND	ND
	<i>E. coli</i> O111	Mw ^b	9.36×10^9	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Co ^c		ND	ND	ND	ND	ND	ND
60°C	<i>Sal. enteritidis</i>	Mw ^b	5.73×10^6	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Co ^c		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>Sal. typhimurium</i>	Mw ^b	1.70×10^8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Co ^c		1.90×10^3	ND	ND	ND	ND	ND
65°C	<i>E. coli</i> O111	Mw ^b	9.14×10^8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Co ^c		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>Sal. enteritidis</i>	Mw ^b	4.10×10^7	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Co ^c		ND	ND	ND	ND	ND	ND
65°C	<i>Sal. typhimurium</i>	Mw ^b	2.96×10^8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Co ^c		4.40×10^3	ND	ND	ND	ND	ND

^a Viable counts (CFU / ml) were determined by plating serial dilutions on MacConkey and Hektoe enteric agar.

^b Microwave heating system

^c Conventional heating

ND ; Not detected

열처리한 경우, *Sal. enteritidis*는 3.22×10^7 / ml에서 30분후에는 1.30×10^6 / ml로 시간이 경과함에 따라 약간 감소하였고 *Sal. typhimurium*

또한 7.33×10^8 / ml에서 30분후에는 5.47×10^7 / ml로 감소하는 경향을 보여주었다. 그러나 *E. coli*의 경우 일반 가열처리와 마찬가지로

거의 변화를 보여주지 않았다. 이와 같은 결과로 미루어 실제로 균을 살균시키는 이하의 온도에서 마이크로파를 조사했을 경우, 열에너지에 의한 균의 불활성 효과에 비가열효과에 대한 여부는 명확히 판단할 수 없었지만 시험 방법의 개선을 통하여 비가열효과에 대한 시험은 계속되어져야 할 것으로 여겨진다.

50°C의 가열처리에서는 세 균주 모두 가열시간에 따라 뚜렷한 감소 효과가 있으나 30분까지 생존하였으며, *E. coli*의 경우 마이크로파 조사와 일반적인 가열처리 간의 불활성 효과를 비교한 결과, 마이크로파 조사에서 뚜렷한 균의 사멸효과를 보여주었다.

55°C의 가열처리에서는 *Sal. enteritidis*의 경우, 마이크로파를 조사했을 때 5분 이후에는 균이 검출되지 않은 반면, 일반적인 가열처리에서는 10분 이후에도 약간의 미생물이 생존하였다. *E. coli*, *Sal. typhimurium*의 경우, 마이크로파를 조사했을 때 15분 이후에는 균이 검출되지 않은 반면, 일반적인 가열처리에서는 동일 시간에서도 균이 생존함을 알 수 있었다.

60°C와 65°C의 가열처리에서는 *E. coli*와 *Sal. enteritidis*의 경우 5분 이후에는 생균이 검출되지 않았고 *Sal. typhimurium*의 경우, 마이크로파를 조사했을 때에는 검출되지 않았으나 일반적인 가열처리에서는 5분에서 약간의 균주가 생존하는 것으로 나타났다.

시험에 사용한 세 균주 모두 병원성 미생물로서 열에 대한 저항성이 약하여 60°C 이상에서는 거의 사멸하여 마이크로파의 조사와 일반적인 가열처리 간의 상호 비교는 할 수 없었으나, 50°C 와 55°C의 온도에서 마이크로파 조사로 가열처리된 경우 일반 가열 처리에 비하여 세 균주 모두에서 뚜렷한 불활성 효과를 보여주었다. 이와 같은 결과는 Papadopoulou 등⁽¹³⁾이 *E. coli*와 *S. enteritidis*에 대하여 연속적 마이크로파 heating system과 일반 가열처리와 비교하여 시험한 결과와 유사하게 나타났다.

이상의 결과에서 마이크로파가 일반 가열처리에 비하여 균의 불활성도가 높은 원인은 동일 시간대에 일반 가열처리가 가열체의 열전달에 의한 균의 사멸효과에 비하여 마이크로파 조사의 경우, 가열체의 열전달뿐만 아니라 균체에 직접 조사됨으로써 사멸되는 효과가 클 것으로 여겨진다. 따라서 액상 물질의 저온살

균공정에 있어서 마이크로파 조사로 살균하는 경우 일반 가열처리에 비하여 매우 효과적일 것으로 판단된다. 그러나 50°C 보다 낮은 온도에서, 본 시험 균주에 대하여 마이크로파 조사에 의해 불활성되는 원인을 파악하기 위해서는 새로운 시험 방법을 통하여 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

요 약

본 시험은 *Sal. enteritidis*, *Sal. typhimurium* 와 *E. coli* O111를 액체 배양한 후, 마이크로파를 조사함으로써 가열효과 및 비가열효과에 의한 불활성효과를 파악하는데 그 목적을 두었다. 2,450MHz, microwae oven을 통한 마이크로파의 온도 제어는 시료가 각각의 시험 설정 온도에 도달한 후 30분간 온도를 유지할 수 있도록 컴퓨터에 의해 제어되었으며, 온도의 편차는 ±1°C 정도로 비교적 안정된 제어 효과를 보여주었다. 마이크로파 조사와 일반 가열처리 간의 균의 불활성효과를 비교한 시험에서는 50°C 및 55°C의 제어 온도에서 마이크로파 조사에 의해 공시균주인 *Sal. enteritidis*, *Sal. typhimurium* 및 *E. coli* O111 등에 대하여 모두 뚜렷한 불활성효과를 보여주었다. 그러나 45°C에서 *Sal. enteritidis*과 *Sal. typhimurium*의 경우 시간 경과에 따라 생균수가 약간 감소하는 경향을 보여주었으나 *E. coli* O111의 경우 일반 가열처리와 마찬가지로 거의 변화를 보여주지 않았다. 본 시험 결과 마이크로파의 가열효과에 의한 균의 불활성효과는 일반 가열처리에 비하여 월등히 높았음을 확인할 수 있었지만 비가열효과에 대한 균의 불활성효과는 명확히 밝혀낼 수 없었다.

참고문헌

- Decareau, R. V. : Microwave food processing equipment throughout the world. *Food Technol.*, 40, 99 (1986).
- Geriing, J. E. : Microwaves in the food industry ; Promise and reality. *Food Technol.*, 40, 82 (1986).
- Knutson, K. N., Marth, E. H. and Wagner, M. K. : Microwave heating on

- the food. *Lebensn. Wiss Technol.*, 20, 101 (1987).
4. Ronald, A. H. and Stephanie, D. : Factors Affecting Microwave Heating of Foods and Microwave Induced Destruction of Foodborne Pathogens-A Review. *J. of Food Production*, 57(11), 1025 (1994).
 5. Grecz, N., Walker, A. A. and Anellis, A. : Effect of radio frequency energy (2450mc) on bacterial spores. *Bacteriol. Proc.*, p. 145 (1964).
 6. Fung, D. Y. C. and Culkin, K. A. : Destruction of *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium* in microwave-cooked soups. *J. Milk Food Technol.*, 38, 8 (1975).
 7. Khalil, H. and Villota, R. : A comparative study on the thermal inactivation of *B. stearothermophilus* spores in microwave and conventional heating. In M. LeMaguer and P. Jelen(eds.). *Food Engineering and Process Applications*. Vol. I. *Transtort phenomena*. Elsevier Applied Science Publishers. New York, NY. (1986).
 8. Khalil, H. and Villota, R. : Comparative study on injury and recovery of *Staphylococcus aureus* using microwaves and conventional heating. *J. Food Prot.*, 51, 181 (1988).
 9. Khalil, H. and Villota, R. : The effect of microwave sublethal heating on the ribonucleic acids of *Spaptylococcus aureus*. *J. Food Prot.*, 52, 544 (1989).
 10. Sun, W. P., Guy, J. H., Jahngen, E. F., Rossomance and Jahgen, E. : Micro-wave-induced hydrolysis of phospho-anhydride bonds in nucleotide triphosphates. *J. Org. Chem.*, 53, 4414 (1988).
 11. Vela, G. R. and Wu, J. F. : Mechanism of lethal action of 2.450-MHz radiation on microorganisms. *Appm. Environ. Microcici.*, 27, 550 (1979).
 12. Lechowich, R. V., Beuchat, L. R., Fox, K. I. and Webster, F. A. : Procedure for evaluating the effects of 2.450 megahertz microwaves upon *Streptococcus faecalis* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Microbiol.*, 17, 106 (1969).
 13. Papadopoulou, C., Demetriou, D., Panagiou, A., Levidiotou, S., Gessouli, H., Ioannides, K. and Antoniades, G. : Survival of *Enterobacteria* in liquid cultures during microwave radiation and conventional heating. *Microbiol. Res.*, 150, 305 -309 (1995).

(1998년 11월 3일 접수)