

# 마이크로파를 이용한 물 살균장치에 관한 연구

이창호\*, 이화용\*

\*호서대학교 정보통신학과

e-mail : chlee@cntc.ac.kr

## A Study on the Water Sterilizer using the Microwave

Chang-Ho Lee\*, Hwa-Yong Lee\*

\*\*Dept. of Information Communication Engineering, Hoseo University

### 요 약

본 논문은 마이크로파를 이용하여 물 살균특성을 실험 조사하기 위해 마이크로파 살균장치를 설계 제작하고, 특성을 실험한 결과 매우 양호한 효과를 얻었다. 특히 세균 함유량이 많은 하천수를 마이크로파로 10초, 20초, 30초, 40초, 50초, 60초 살균시켜 수질 검사기관에 수차례 검사를 의뢰한 결과 살균한 물의 대장균수와 일반 세균수가 살균 시간에 따라 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다.

### 2. 마이크로파 에너지 이론

#### 1. 서 론

마이크로파의 이용은 1936년 W. L. Barro에 의하여 처음 시작되었으며,<sup>(1)</sup> 제 2차 세계대전 때 영국과 미국에서 레이더가 개발됨으로서 군사용으로 사용되었고,<sup>(2)</sup> 1957년 인공위성의 개발로 전리층을 통과할 수 있는 통신용 전자파로서, 지상 마이크로파 중계를 비롯한 우주공간의 통신 방식으로 많이 활용되어 왔다<sup>(3)</sup>.

1970년대 중반 세계의 석유파동 이후 마이크로파 에너지를 가열 원으로 공업에 이용하는 움직임이 활발하게 전개되었다. 마이크로파 전력의 산업에 이용은 탈수, 표백, 조리 등 여러 분야에서 널리 사용되고 있으며, 탈수를 제외하고는 대부분 식품의 보존에 생물학적 활동을 조절하는 방법으로 이용되고 있다.

최근에 와서 마이크로파 살균 특성이 알려짐으로서 살균장치로서 연구가 활발히 진행되고 있으며, 마이크로파 살균특성을 이용하여 각종 식품, 토양, 씨앗 등을 단시간 살균처리로 여러 실험을 통하여 좋은 실험 결과를 얻은 논문도 볼 수 있었고, 지금도 활발하게 연구가 진행됨을 알 수 있었다.<sup>(4-8)</sup>

본 논문에서는 마이크로파 살균장치를 설계 제작하고, 물 살균특성을 실험하기 위해 세균이 많은 시내 하천수를 시간 별로 살균하여 정밀 검사에 의해 일반세균과 대장균의 살균특성을 알아봄으로서 물 살균을 위한 마이크로파 산업의 가능성을 제시하고자 한다.

#### 2-1. 유전체의 발열원리 및 발열에너지

식품·목재·고무 등의 유전체를 마이크로파의 전계 안에 놓으면 쌍극자(Dipole)가 마이크로파의 전장에 의해 격렬하게 진동·회전(매 초당 24억 5천만 번)하여 그 마찰열 때문에 유전체 자체가 발열하게 된다. 이것은 가정에 보급된 급속조리기인 전자렌지의 원리와 같은 것이다.

전자렌지와 같은 마이크로파 가열 오븐 내에 둔 유전체  $W_g$ 를 초기온도  $T_1$  °C에서 가열온도  $T_2$  °C 까지 상승 시키는데 필요한 에너지  $P_1$ 은 식(1)과 같은 칼로리 계산식으로 산출할 수 있다.

$$P_1 = \frac{4.18 \cdot W \cdot C \cdot \Delta T}{t} [W] \dots\dots\dots(1)$$

여기에서

$W$  : 유전체의 중량(g)

$C$  : 유전체의 비열(cal/g °C )

$\Delta T$  : 온도상승 범위(  $T_1 - T_2$  ) (°C)

$t$  : 가열시간(sec)

이다.

마이크로파 발진기(Magnetron)에 의해 발진된 에너지  $P_0$ 는 마이크로파 가열 오븐 안에 조사(Emission)되어 유전손실계수( $\epsilon_r \cdot \tan\delta$ )를 갖는 피가열 체(유전체)에 흡수되어 발열이 행해지므로 발열 에너지  $P_2$ 는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_2 = K \cdot \epsilon_r \cdot \tan \delta \cdot f \cdot E^2 \cdot \rho \cdot V [W] \dots\dots\dots(2)$$

여기에서

- $K$  : 상수  $0.556 \times 10^{12}$
- $\epsilon_r$  : 유전체의 비유전율
- $\tan\delta$  : 유전체의 유전체 역률
- $\rho$  : 유전체의 비중
- $V$  : 유전체의 체적
- $f$  : 주파수
- $E$  : 전계강도

이다.

만일, 여기에서 발진된 마이크로파 에너지  $P_0$ 가 모든 피 가열 체에 흡수되어 식(2)의 발열이 행해지는 이상 상태를 가정하면  $P_0, P_1, P_2$ 에 있어서는 다음과 같은 관계가 성립된다.

$$P_0 = P_1 = P_2 \dots\dots\dots(3)$$

그러나 실제에는 다음의 2개 요소, 즉 피 가열물의 유전체 손실계수와 장치 손실로부터 변환효율 $\eta$ 가 존재하여 식(4)와 같이 된다.

$$P_0 = P_1 / \eta \dots\dots\dots(4)$$

여기에서, 마이크로파 발진출력  $P_0$ 의 값은 변환효율의 크기에 따라 필요로 하는 출력이 결정된다. 그래서 효율이 높은 가열을 행하기 위해서는 이 변환효율  $\eta$ 를 가능한 한 1에 근접하게 하는 것이 에너지 절약 포인트로 되며, 그 구체적인 방법은 다음과 같다.

- (1) 마이크로파가 충분히 흡수되는 적정 부하량일 것 (적정한 유전체 손실계수를 가질 것)
- (2) 마이크로파 가열로(Applicator)의 손실이 적은 재질·구조로 설계 되어 있을 것

2-2. 마이크로파 에너지 계산

피 가열 물을 가열 또는 건조하는데 필요한 마이크로파 에너지는 앞에서 설명한 식(1)의 칼로리 계산에 증발잠열을 더하면 구할 수 있다.

(1) 고형 분을 100℃까지 온도를 높이는데 필요한 에너지  $P_1$ 은 다음과 같이 표시된다.

$$P_1 = \frac{4.18 \cdot W_1 \cdot C_1 \cdot \Delta T}{60 \cdot \eta} [KW] \dots\dots\dots(5)$$

여기에서

- $W_1$  : 고형분의 처리량 [ Kg/min]
- $C_1$  : 고형분의 비열 (아래 그림에서는 1로 한다)
- $\eta$  : 가열효율 [%]
- $\Delta T$  : 온도상승범위 [℃]

이다.

(2) 수분의 온도를 높이고 증발시키는데 필요한

에너지  $P_2$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$P_2 = \frac{4.18(W_2 \cdot C_2 \cdot \Delta T + 539 \cdot W_2)}{60 \cdot \eta} [KW] \dots\dots\dots(6)$$

여기에서

- $W_2$  : 증발 수분 량 [ Kg/min]
  - $C_2$  : 수분의 비열 = 1
  - 539 : 물의 증발 잠열 [Kcal/kg · sec]
- 이다.

(3) 피 건조물을 처리하는데 필요한 전체 에너지  $P$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$P = P_1 + P_2 [KW]$$

3. 마이크로파 살균장치의 설계 및 제작

3-1. 마이크로파 살균장치의 구성

본 실험에서 설계 제작한 마이크로파 살균장치는 앞의 에너지 이론을 기초로 하여 마이크로파 발진용 전원, 마이크로파 발전기(680[W]용), 살균 처리용 공진기, 열을 식혀주는 통풍 팬을 설치하고, 살균시키고자 하는 물의 통과를 위한 불연 파이프를 공진기 안에 설치하였으며, 실험용 마이크로파 살균장치의 내부 구성 도는 그림 1과 같다.

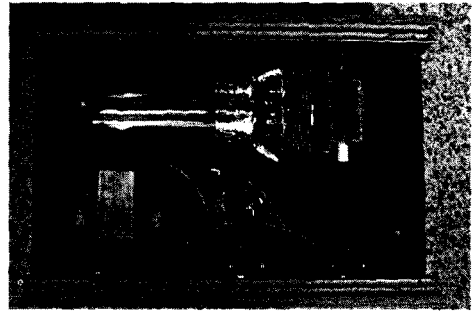


그림 1. 마이크로파 살균장치의 사진

한편, 살균시키고자 하는 물의 입구와 출구 쪽에 마이크로파의 누설을 방지하기 위해 전자파 흡수체인 카본 테이프를 설치하였으며, 공진기내의 위치에 관계없이 균일하게 살균처리 될 수 있도록 설계하였다. 또한, 전원 자동차단 장치와 적당한 검출기에 의해 공진기의 온도를 파악하여 과부하 및 과열 시에 기기의 안전을 위해 제어 계통의 기기를 동작시키는 센서 및 제어기를 부착시켰다.

### 3-2. 마이크로파 발진용 전원

마이크로파 발진용 전원은 실험에 사용된 마그네트론이 직류 고압(약 4,200[V])을 필요로 하기 때문에 그림 2와 같은 정류회로를 설계, 제작하였다.

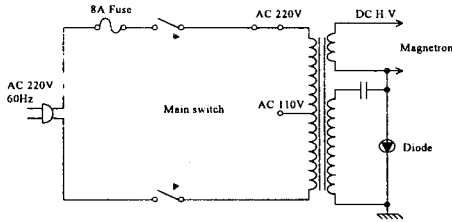


그림 2. 마이크로파 발진용 전원회로

실험에 사용된 소자는 고압 트랜스(H.V. 3W8ZP C1), 고압 용량(H.V. 2,100WV/AC, 0.77 $\mu$ F) 및 고압 다이오드(HVR-1X 3)를 사용하여 회로를 구성하였다. 한편, 이 전원회로에서 고압 트랜스가 오래 동안 사용하면 과열되어 열이 발생하므로 그것을 미연에 방지하기 위하여 공냉 장치인 통풍용 팬을 사용하였다.

### 4. 실험 결과 및 고찰

본 실험을 통하여 설계, 제작된 마이크로파 살균장치를 이용하여 비교적 대장균이나 일반 세균이 많은 시내하천수를 채취하여 1분 간격(1분, 2분, 3분), 30초 간격(30초, 60초, 90초), 20초 간격(20초, 40초, 60초), 10초 간격(10초, 20초, 30초, 40초, 50초, 60초) 등 다양한 방법으로 살균시켜 검사를 의뢰한 결과 매우 양호한 살균특성을 얻었다.

#### 4-1. 마이크로파 살균 특성

채취한 하천수를 제작한 마이크로파 살균장치로 10초 간격으로 살균 처리하여, 수질검사 전문 업체에 검사를 의뢰한 결과 표 1과 같다.

여기에서 살균처리를 하지 않은 시내 하천 수에는 총 대장균균수가 2,300/1ml, 대장균 72/1ml, 일반세균수 18,000CFU/1ml가 존재함을 알 수 있었다.

##### (1) 일반 세균의 살균 특성과 SEM 사진

표 1에서 알 수 있는 바와 같이 10초간 마이크로파로 살균 처리 후 일반 세균 수는 16,000CFU/1ml, 20초 살균 처리 후 5,800CFU/1ml, 30초 살균 처리 후

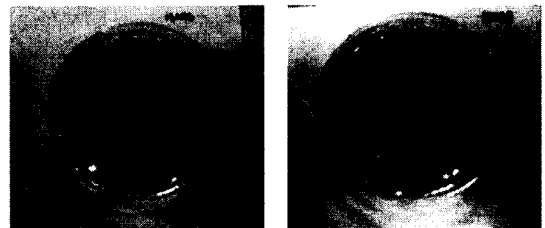
3,300CFU/1ml, 40초 살균 처리 후 990CFU/1ml, 50초 살균 처리 후 300CFU/1ml, 60초 살균 처리 후 30CFU/1ml로 감소함을 알 수 있다.

표 1. 자연 하천수와 살균한 하천수의 대장균과 일반 세균수 비교

채수장소 (시내 하천수)	검사항목 및 단위		
	총대장균군 (정량시험)	대장균 (정량시험)	일반세균
	(-/1ml)	(-/1ml)	(CFU/1ml)
살균하지 않은 물	2,300	72	18,000
10초 살균한 물	180	65	16,000
20초 살균한 물	180	65	5,800
30초 살균한 물	130	45	3,300
40초 살균한 물	18	11	990
50초 살균한 물	0	0	300
60초 살균한 물	0	0	30

\* CFU : Colony Forming Unit

그림 3에서 (a)는 살균처리 하지 않은 것이고, (b)는 20초간 살균 처리한 것, (c)는 40초간 살균처리 한 것, (d)는 60초간 살균 처리한 하천수의 일반세균수의 SEM사진이다.



(a) 살균처리 하지 않은 것

(b) 20초 살균



(c) 40초 살균

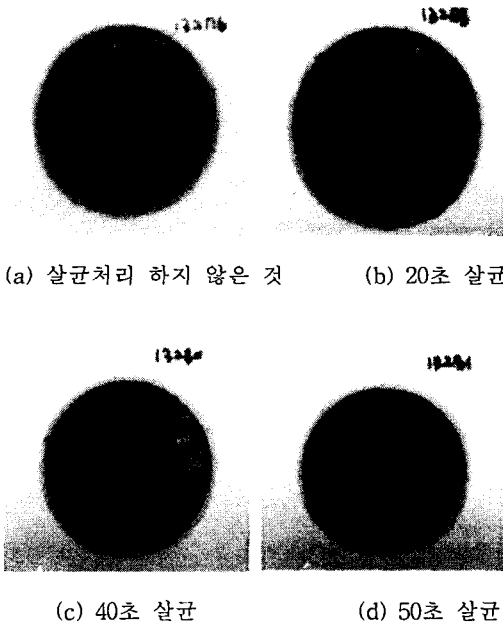
(d) 60초 살균

그림 3. 하천 수를 살균한 일반세균의 SEM 사진

(2). 총대장균군과 대장균 살균 특성 및 SEM 사진

표1에서 알 수 있는 바와 같이 10초간 살균 처리 후 총대장균군 및 대장균 은 180, 65/1ml, 20초간 살균 후 180, 65/1ml, 30초간 살균 후 130, 45/1ml, 40초간 살균 후 18, 11/1ml, 50초간 살균시켰을 때 총 대장균 군과 대장균이 완전히 살균되어 발견되지 않음을 알 수 있었다.

그림 4에서 (a)는 살균처리 하지 않은 것이고, (b)는 20초간 살균 처리한 것, (c)는 40초간 살균처리 한 것, (d)는 50초간 살균 처리한 하천수의 총 대장균 군과 대장균의 SEM 사진이다.



(a) 살균처리 하지 않은 것      (b) 20초 살균  
(c) 40초 살균      (d) 50초 살균

그림 4. 하천 수를 살균한 대장균의 SEM 사진

5. 결 론

마이크로파를 이용한 살균처리에서 미생물의 비활성화는 통상적인 가열과정에 의한 것인지 또는 미생물의 생물학적인 구성과 전자장 사이의 상호작용에 의한 것인지는 아직까지 명확하게 밝혀지지 않고 있다.

일반적으로 마이크로파 주파수에서 유전체의 열처리에 의해 미생물이 죽는 것으로 알려져 있으며, 이것은 성장하는 박테리아 *Escherichia coli*와 포자를 형성하는 박테리아 *Bacillus subtilis*는 통상적인 열처리

에서 같은 비율로 비 활성화되고, 2,450(Mhz)의 마이크로파가 투과되는 동안 거의 치사량에 가까운 온도에서 유지된 물질은 이전과 같은 생존능력을 유지한다. 그러므로 마이크로파 처리과정에서 미생물들은 치명적이고, 물질구성의 열적 변성이 동시에 일어난다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 마이크로파를 이용한 물 살균장치를 설계하여 제작하였고, 비교적 세균 함유량이 많은 시내 하천 수를 샘플로 채취한 다음, 그것을 이용하여 살균시간을 다양하게 변화시키며 살균처리한 후 수질검사 전문 업체에 수차례 검사의뢰를 한 결과 살균특성이 매우 양호하다는 검사 결과 통보를 받았다.

본 연구를 통하여 살균 수를 요하는 치과용 살수기나 식수 정수용으로 마이크로파를 사용함으로써 신속하게 완전 살균시킬 수 있는 계기가 마련될 수 있을 것으로 사료 된다

참 고 문 헌

1. W. S. Barrow, "Transmission of Electromagnetic Waves in Hollow Tubes of Metal." IEEE Proc., vol. 72, pp. 1046-1076, August 1984.
2. M. I. Skolnik, "Fifty Years of Radar." IEEE Proc., vol. 73, pp. 182-197, February 1985.
3. A. A. Oliner, "Historical Perspective on Microwave Field Theory" IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-32, pp. 1022-1045, September 1984.
4. R. V. Decareau, "Microwaves in the Food Processing Industry" Academic Press, inc. U.S.A pp 2-12, 1985.
5. 이화용, 윤희상 "Microwave를 이용한 건조 시스템 개발" 호서대 산학협동 연구소 보고서, pp. 4-7, 1996.
6. S. L. Polley, "A Compilation of thermal Properties of Foods." Food Technol. Vol. 34, pp. 76-90, 1980.
7. R.V. Decareau, "Microwave Energy in Food Processing Application." CRC Crit. Rev. Food Technol. Vol 1(2), pp. 199-224, 1970.
8. 이화용, 이창호 "Microwave를 이용한 식품 살균특성에 관한 연구" 산학 기술 성공학회 춘계학술대회, pp. 139-143, 2001.