

---

# 마이크로파를 이용한 살균장치에 관한 연구

김 행 길\*, 이 화 용\*\*

## A Study on the Sterilizer Using the Microwave

Haeng-Gihl Kim, Hwa-Yong Lee

### ABSTRACT

In this study, the chamber size was designed and manufactured so as to make a resonance with microwaves in sterilizing moisture-contained food by making good use of microwaves.

When the green-pea jelly which was made and sterilized for experimental usage with no addition of an antiseptic was left in the room temperature for 1 minute, 2 minutes or 3 minutes respectively, resulted in delaying more greatly the procession of change in quality of food for almost 7 to 15 days than in unsterilized food.

As a result of experiment conducted above, it is considered to produce good results of decreasing the resource waste and environmental pollution, by lengthening the period of preservation and circulation of food.

### 1. 서 론

마이크로파의 이용은 1936년 W.L. Barrow에 의해서 마이크로파 전파(propagation)의 실험 성공으로 시작 되었으며, 제2차 세계대전때 영국과 미국에서 레이다가 개발됨으로서 군사용으로 사용되었고, 그후 1958년 인공위성의 개발로 전리층을 통과할 수 있는 통신용 전자파로서 마이크로파의 이

용은 날이 갈수록 확대되어 지상 마이크로파 중계를 비롯하여 우주공간의 통신방식으로 많이 활용되어 왔다<sup>1)</sup>.

1970년대 중반 세계의 석유파동 이후 에너지 절약과 자원 절약을 부르짖게 되자 마이크로파 에너지를 가열원으로서 공업에 이용하는 움직임이 활발하게 전개되기 시작하였다. 마이크로파 가열방식은 다른 가열에너지와 비교하여 탁월한

---

\* 국립여수대학교 전자통신공학과 교수

\*\* 호서대학교 정보통신공학과 교수

접수일자 : 1999년 11월 17일

특징을 가지고 있기 때문에 여러 분야에서 가열, 건조에너지로 유효하게 이용되고 있다.

현재 국제적으로 이용되고 있는 ISM(Industrial Scientific Medical)주파수라 함은 산업용, 과학용 및 의학용으로 사용되는 것으로서 915±25 MHz, 2,450±50 MHz, 5,800±75 MHz, 와 22,155±125 MHz의 주파수를 배정하여 사용하며, 그 중에서도 915±25 MHz 와 2,450±50 MHz의 주파수는 식품 가공분야를 비롯하여 탈수농축 분야, 섬유가공 분야, 환경정화 분야, 목재공업 분야, 분말소재건조 분야, 총해방지 분야, 응용 분야 및 plazma 분야 등에서 다양하게 실용화 되어 왔다<sup>2)</sup>.

근래에는 환경문제가 사회문제로 크게 대두되어 음식폐기물 처리문제에 몰두하게 되었고, 그중 마이크로파를 이용한 건조 시스템이 개발되어 음식 폐기물을 건조처리하여 동물의 사료나 토양의 비료로 사용하므로 일석 이조의 효과를 얻을 수 있는 계기가 마련되어가고 있다.

건조된 견본품(sample)은 수년간 실온에 방치하여도 변질되지 않는다는 것<sup>3)</sup>과 같이, 본 논문에서와 같은 마이크로파의 살균처리 특성을 이용하면 각종 음식물의 단시간 살균처리로 유통기간을 연장시켜 변질로 폐기되는 다량의 식품 자원의 보호<sup>4)</sup>와 인체에 해로운 각종 세균을 살균시킬 수 있어 국민 건강에도 매우 유익할 것으로 본다.

본 논문에서는 이상적인 살균장치의 설계 및 제작과 각종 실험을 통해 최적 살균파의 살균처리는 30초에서 3분이내의 단시간의 처리로 에너지 소모가 극히 적을 뿐만 아니라, 음식물의 품질, 맛, 형상 및 색상 등에 거의 영향을 주지 않는 특성을 나타내었다.

## 2. 마이크로파 에너지 이론

### 2-1 유전체 발열 원리

음식, 섬유, 목재, 고무 등의 유전체를 마이크로파 전계안에 놓으면 쌍극자(dipole)가 마이크로파의 전장에 따라 심하게 진동, 회전할 때 그의 마찰열 때문에 유전체 자체가 발열하도록 하는 것이다. 이 원리는 가정에 보급된 급속조리기인 전자렌지의 원리를 이용한 것으로, 본 논문은 이 과정에서 발열에

의한 건조와 동시에 살균처리를 연구한 것이다.

마이크로파 가열 챔버(chamber)내에 유전체(wg)를 초기온도( $T_1$  °C)에서 가열온도( $T_2$  °C)까지 상승 시키는데 필요한 에너지  $P_1$ 은 다음과 같은 칼로리 계산식에서 산출 된다.

$$P_1 = 4.18 \cdot W \cdot C \cdot \Delta T / t [KW] \dots\dots\dots (1)$$

- 단, W : 유전체의 중량[g]
- C : 유전체의 비열[cal/g °C]
- $\Delta T$  : 상승온도 범위[  $T_2 - T_1$  ] [°C]
- t : 가열시간[sec]

마이크로파 발전기에서 발전된 에너지  $P_0$ 는 마이크로파 가열 챔버내에 방사되어 유전체 손실계수( $\epsilon_r \cdot \tan \delta$ )를 가지고 피가열체(유전체)에 흡수되어 발열이 이루어 지므로 발열 에너지  $P_2$ 는 다음과 식으로 표시한다.

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

- 단, K : 상수  $0.556 \times 10^{-12}$
- $\epsilon_r$  : 유전체의 비유전율
- $\tan \delta$  : 유전체의 유전체 역율
- f : 사용주파수(Hz)
- E : 전계강도(V/cm)
- $\rho$  : 유전체의 비중(g/cm<sup>3</sup>)
- V : 유전체의 체적(cm<sup>3</sup>)

만약, 여기에서 발전된 마이크로파 에너지  $P_0$ 가 모든 유전체에 흡수되어 식(2)의 발열이 행해지는 이상적인 상태를 가정하면  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

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

그러나, 실제에는 유전체 손실계수와 장치의 손실로 부터 변환효율  $\eta$ 가 존재하므로 다음과 같이 표시할 수 있다.

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

여기에서, 이 마이크로파의 발전출력( $P_0$ )의 값은 이 변환효율이 얼마냐에 따라서 필요한 출력이 결정된다. 변환효율을 높이기 위하여는 마이크로파가

충분히 흡수될 수 있도록 부하량이 적정하여야 하고, 마이크로파가 공진 챔버내에서 손실이 적게 되도록 설계하여야 한다<sup>5)</sup>.

2-2 유전체의 손실계수

식(2)를 검토하여 보면, 사용하는 마이크로파 장치는 주파수(f)와 챔버내의 마이크로파 전계강도(E)가 높은 만큼 유전체의 발열량이 크게 되는 것을 알수 있다. 또한, 피가열물의 전기적 성질로부터 보면 유전손실계수  $\epsilon_r \cdot \tan \delta$ 의 값이 높은 만큼 마이크로파의 흡수에 의한 발열효과가 큰 것을 나타내고, 마이크로파 영역에서는 일반적으로 유전체 역률  $\tan \delta$ 의 값이 크게되는 물질이 많기 때문에 효율이 좋은 가열을 할 수 있다.

마이크로파 유전가열을 종래의 고주파 유전가열(10~50MHz)과 비교하면 그 정도 만큼 전계강도(E)를 낮게 할 수 있기 때문에, 물질의 절연파괴나 방전이 일어나지 않으므로 안심하고 이용할 수 있는 특징이 있다.

몇가지 물질에 대한 마이크로파대에서의 유전체 성질을 표 1에 나타내었다.

표 1 유전체의 성질  
Table. 1 Nature of dielectrics

물질	온도 ℃	$\epsilon_r \cdot \tan \delta$	주 파 수		
			300MHz	3GHz	10GHz
물	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	77.5 0.016	76.7 0.157	55 0.54
수지 (獸 脂)	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	2.5 0.12	2.5 0.07	2.5 0.05
목재 (밥나무)	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	1.86 0.032	1.82 0.027	1.8 0.029
종이 (로얄그 레이)	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	2.27 0.066	2.7 0.056	2.62 0.04
생고무	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$		2.15 0.003	
나일론 (610)	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$		2.84 0.012	
파이렉스	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$		4.0 0.0012	

2-3 마이크로파의 침투 깊이

마이크로파가 유전체 속을 진행하면 전파 에너지는 유전체에 흡수되어 열로 바뀌기 때문에 전파의 세기는 유전체 안에서 지수함수적으로 감쇄한다. 그 비율은 주파수 및 유전체의 전기적 특성에 따라 달라지기 때문에, 일반적으로 전파의 입사 에너지가 반감하는 깊이 D(Half power depth)로 표시하고 다음과 같이 나타낸다<sup>6)</sup>.

$$D = \frac{\lambda_0}{2\pi} \left[ \frac{2}{\epsilon_r \sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

$$\approx \frac{9.56 \times 10}{\sqrt{\epsilon_r \tan \delta}} [m]$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad c : \text{광속도 } 3 \times 10^8 [m/s]$$

식(5)는 주파수 f가 너무 높거나 유전체 손실계수가 너무 크면 일반의 표면가열과 같은(얇은 표면가열) 현상으로 되고, 내부까지 균일하게 가열하는 것이 곤란하고, 반대로 유전체 손실계수가 작은 물질은 침투깊이 D가 크게되어 가열되기 어렵다는 것을 나타내고 있다.

따라서, 식품은 다량의 수분을 포함하고 있으므로 손실계수가 큰 마이크로파의 양호한 흡수체가 된다. 통상적으로 공업가열에 사용되는 주파수는 한정되어 있기 때문에 피가열물의 상태를 충분히 검토하는 것이 마이크로파 가열의 포인트가 된다.

2-4 마이크로파 에너지 계산

피가열물의 가열 또는 건조시키는데 필요한 마이크로파 에너지는 전항에서 설명한 식(1)의 칼로리 계산식에 증발잠열을 가미하여 구할 수 있다.

(1) 고체형태의 유전체를 100 ℃로 상승시키는데 필요한 에너지 P<sub>1</sub>은 다음 식으로 표시한다.

$$P_1 = 4.18 \cdot W_1 \cdot C_1 \cdot \Delta T / 60 \cdot \eta [KW] \dots\dots\dots (6)$$

단, W<sub>1</sub> : 고체형태의 유전체 처리량 (kg/min)

C<sub>1</sub> : 고체형태의 유전체 비열

ΔT : 온도 상승범위 (℃)

η : 가열 효율(%)

(2) 수분 온도를 상승시켜 증발하도록 하는데 필요한 에너지 P<sub>2</sub>는 다음과 같이 표시한다.

$$P_2 = 4.18 \cdot (W_2 \cdot C_2 \cdot \Delta T + 539 \cdot W_2) / 60 \cdot \eta [KW] \dots\dots\dots (7)$$

단,  $W_2$  : 증발수분량(kg/min)  
 $C_2$  : 수분의 비열 = 1

539 : 물의 증발잠열(cal/kg.sec)

(3) 피전조물을 건조처리하는데 필요한 전체 에너지 P는 다음과 같이 표시된다.

$$P = P_1 + P_2 [KW] \dots\dots\dots (8)$$

위의 식을 종합하여 정리하면 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.

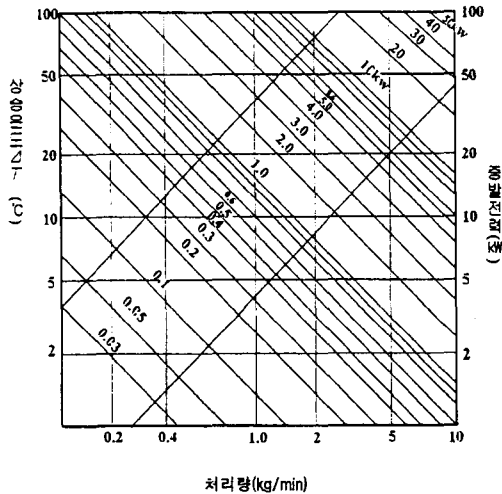


그림 1. 마이크로파 에너지 계산도  
 Fig. 1. Micro wave energy counting diagram.

2-5 마이크로파의 반사파 처리

마이크로파는 전자파이고 빛과 같은 속도로 직진하지만, 물체에 부딪치면 반사, 굴절 및 산란한다. 초음파의 경우는 재료와의 상호작용이 크고, 산란과 흡수가 심하며, 또한 X선의 경우는 상호작용이 작고, 거의 흡수되지 않고 투과되지만 마이크로파는 그 중간 성질을 갖고 있다. 즉, 금속재료에 있어서는 투과되지 않고 거의 그 표면에서 반사되며, 비금속재료에서는 투과하여 재료와의 사이에 상호작용을 한다. 마이크로파는 물체로부터 반사하면 입사파와의 사이에 간섭을 일으켜 정재파가 발

생하게 된다. 본 논문에서는 깊이가  $3\lambda/2$  깊이를 갖는 공진챔버를 사용하고, 마이크로파가 발사체(마그네트론)로 들어가지 못하도록 특수 차단장치를 하였다.

3. 살균장치의 설계 및 제작

3-1 마이크로파 살균장치의 구성

마이크로파 살균장치의 구성요소는 마이크로파 발진용 전원, 마이크로파 발진기와 방사기, 공진 챔버 및 살균시키하고자 하는 물체의 통과장치로 구성되며, 작업공정에서 적당한 검출기에 의해 온도를 파악하여 제어시스템의 기기를 동작시키는 센서 및 콘트롤러가 부가된다. 본 살균 실험장치의 구성도는 Fig. 2와 같다.

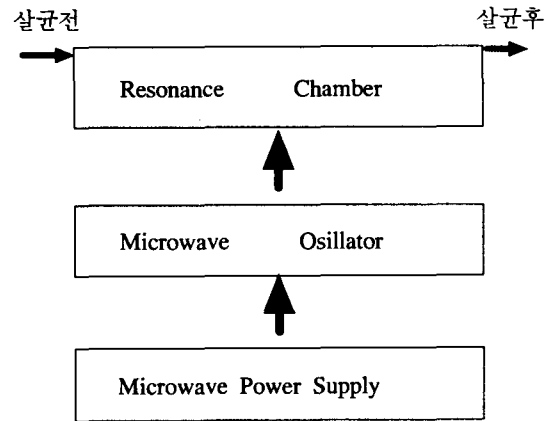


그림 2. 마이크로파 살균장치의 구성도  
 Fig. 2 Block diagram of microwave sterilizer

3-2 마이크로파 발진용 전원

마이크로파 발진용 전원은 직류 고압(약 4,200 V)을 필요로 하기 때문에 Fig. 3과 같은 정류회로를 사용하였다.

본 전원회로는 AC 110V/220V 겸용으로 220V 전원에 사용할 수 있도록 조정되어 있으며, 110V 전원을 사용할 경우에는 변압기의 1차 단자 중앙에 AC 110V에 연결하고 퓨즈는 18A로 교체하여 사용하여야 한다.

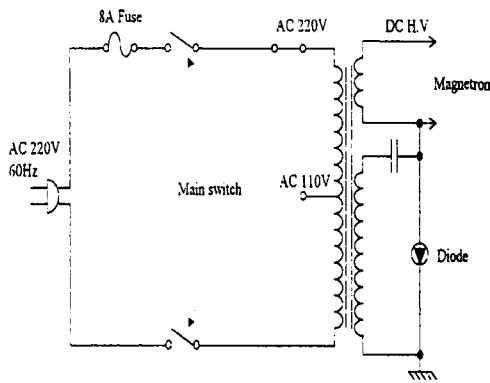


그림 3. 마이크로파용 전원회로  
Fig. 3. Power supply circuit for microwave

### 3-3 마이크로파 발진기와 방사기

#### (1) 마이크로파 발진기

보통의 고주파 발진기에는 진공관이나 트랜지스터가 사용되지만, 마이크로파 영역으로는 대전력의 발진이 되지 않기 때문에 발진동작이 다른 전자관인 진행파관(TWT: Travelling Wave Tube), 속도변조관(Klystron) 및 자전관(Magnetron) 등을 들수 있지만, 안정한 대출력을 얻을 수 있는 자전관이 흔히 이용된다<sup>7)</sup>.

본 실험에서 사용된 마이크로파 발생장치(Magnetron)의 제원은 Tab. 2와 같다.

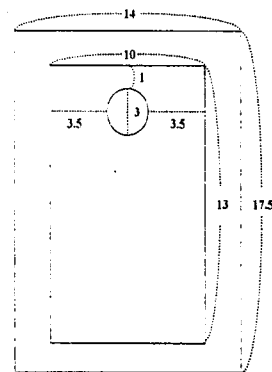
표 2 마이크로파 발생기의 제원  
Tab. 2 Specification of the microwave generator

구분	규격
1. 발진 주파수	2.45 GHz
2. 마그네트론	0M 755
3. 마이크로파 출력	660 W
4. 전원장치	2M204-M3 (DC 4,200V)
5. 파장	12.24 Cm

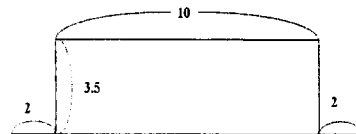
Magnetron의 내부구조는 Filament와 Anode의 두 전극으로 이루어진 2극 진공관으로 Filament는 텅

스텐 코일로 되어 있고, Anode은 마이크로파의 주파수에 공명하는 공동공진기(cavity resonator)로 되어 있으며, 외부에 강한 전자석이 설치되어 있다. 발진 원리는 Filament에 전원회로부터 전류가 공급되어 2천 수백도의 고온에 가열된 Filament 표면에서 다량의 열전자가 방출되어 Anode로 가는 사이에 Filament와 Anode사이에 인가된 고전압과 Magnetron의 외부에 설치된 전자석에서 나오는 자력선의 작용에 의해 열전자의 궤도가 구부러져 원형운동을 하면서 Anode의 공동공진기에 +, -로 변화하는 전계를 발생시켜 발진하게 된다.

(1)위면: 단위: cm



(2) 앞면



(3)옆면

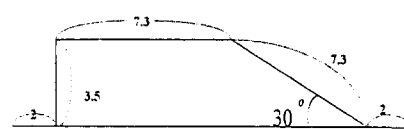


그림4. 마이크로파 방사기 설계도  
Fig.4. Microwave radiator design.

#### (2) 마이크로파 방사기

마이크로파는 일반적으로 도파관(Wave guide)을

이용하여 목적지까지 유도하는 것이 관례이나, 그렇게 할 경우 도파관 양단의 임피던스정합 관계로 손실이 커지고, 회로가 복잡해지는 것을 피하기 위하여 본 연구에서는 개방형 혼(Horn) 방사기를 설계하여 발전기와 방사기 및 공진챔버를 동시에 연결하는 방식을 택하였다. 본 실험에서 사용한 방사기의 규격과 형태는 Fig. 4와 같다.

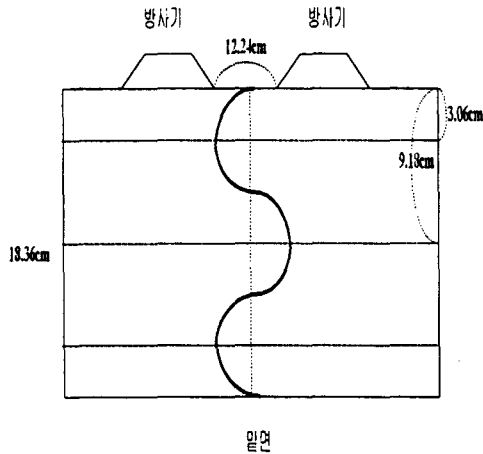


그림 5. 챔버내의 전력 분포  
Fig. 5. Power distribution in chamber.

### 3-4 공진 챔버의 설계

마이크로파를 이용한 가열장치나 살균장치의 주요 부분의 하나는 공진챔버의 규격에 있다고 할 수 있다. 본 실험에서는 수차례에 걸쳐 여러 가지 형태의 모형을 설계, 제작하여 실험 해본 결과 각각의 특성이 다르게 나타났으며, 최종적으로 검토하여 설계, 제작한 것이 가로  $9/2\lambda$  (55.08 Cm), 세로  $5/2\lambda$  (30.6 Cm), 높이  $3/2\lambda$  (18.36 Cm)로 하였을 때 가장 좋은 효율을 보였다. 또한 Fig. 5와 같이 챔버내의 전력분포를 고려해서 중앙에 테프론 벨트를 모터로 서서히 회전시키면서 살균처리 하려는 물체를 통과시켜 살균특성을 조사할 수 있도록 하였다.

또한, 가습기를 이용하여 챔버내에 수증기를 넣

으면서 동작시키면 Magnetron에서 방사된 마이크로파가 Horn 방사기를 통해 챔버내로 전파되면서 수증기분자에서 난반사 되어 챔버내에서 균일하게 전파되므로 음식물을 살균처리 시키는데 위치에 관계없이 일정하게 처리할 수 있는 특징도 발견하였다.

## 4. 실험 재료

시중에서 유통되고 있는 두부, 청포묵, 어묵등의 수분함량이 비교적 많은 식품을 구입하여 마이크로파로 살균처리 실험을 해본 결과, 다수의 식품에서 표면에 첨가된 불순물(방부제) 때문에 살균처리 직후에 표면 색상이 변질되는 현상을 발견하였다. 이것은 식품 제조업자로부터 알아본결과 부패를 방지하기 위해 대다수의 식품업자들이 방부제를 첨가시킨다는 사실을 알게 되었다. 그리하여 실험에 사용한 재료는 방부제를 전혀 첨가하지 않은 재료를 이용하여 실험하였다.

## 5. 결론

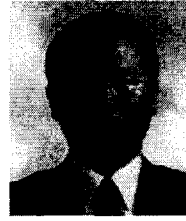
마이크로파를 이용하여 수분이 많은 음식물을 살균처리하면 마이크로파에 의한 분자이동으로 인하여 알이 균일해 지며, 단시간에 처리되므로 전력 효율이 좋고, 완전 살균시킬 수 있으며, 음식의 품질이나 맛, 색상 등에 거의 영향을 주지 않는 특징이 있다.

본 연구를 통하여 수분이 많은 음식물을 마이크로파로 살균처리하면 완전 살균되어 변질되는 기간이 약 15일 이상 연장되므로 유통기간이 짧아 폐기처분되는 양이 많아서 자원낭비와 환경오염에 막대한 지장을 초래하는 문제를 해결할 수 있으며, 또한 유통기간을 늘리기 위해 인체에 해로운 방부제를 식품에 첨가하므로 물의를 일으키는 일이 줄어들 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 이화용, "Microwave를 이용한 건조 시스템 개발", 산학협동연구소 보고서, pp. 4-5. 1996

2. "マイクロ波 應用加熱裝置", ミクロ電子株式會社. pp. 9-11, 1980
3. Samuel Y. Liao, "Microwave Devices & Circuit", Prentice-Hall Inc., pp. 244-253. 1980
4. Om. P. Gandhi, "Microwave Engineering & Application", Pergamon Press Inc., pp. 305-324. 1989
5. K. F. Sander, "Microwave Components & Systems", Addison-Wesley Publishing Co., pp. 61-68. 1987
6. Tatsuo Itoh · Givseppe Pelosi · Peter P. Silvester, "Finite Element Software for Microwave Engineering", John Willy & Sons Inc., pp. 214-223. 1996
7. David M. Pozar, "Microwave Engineering", Addison Wesley Publishing Co., pp. 348-374. 1990



김 행 길(Haeng-Gihl Kim)

1979. 2. 건국대학교 행정대학원  
행정학과 행정학석사  
1991. 2. 호서대학교 대학원 정  
보통신공학과 공학석사  
2000. 2. 호서대학교 대학원 전  
자공학과 공학박사

1968~1974 국립 목포해양전문대학 교수  
1981~1998 한국통신학회 이사, 감사, 호남지부장,  
광주·전남지부장, 부회장역임  
현재 국립여수대학교 전자통신공학과 교수, 국립여  
수대학교 산업대학원장

이 화 용(Hwa-Yong Lee)

현재 호서대학교 정보통신공학과 교수