캐비티내 슬롯안테나를 이용한 적응분사

김태봉, 김상권, 박윤서
삼성전자(주) 기술총괄 생활시스템연구소

Adaptive Radiation in the Cavity using Slot Antenna

T. B. Kim, S. G. Kim, Y. S. Park
Samsung Electronics Co., Ltd. R&D Center Living Lab.

ABSTRACT - In this paper, New radiation system is presented to improve efficiency and distribution of MWO. And it has one input for two excitatied lines with located on them radiation elements(slots). Radiation elements are distributed along the lines the way that the same electrical distances from the magnetron. New radiation system recompences change of impedance at wide band frequency .

1. 서 론

전자렌지는 2450MHz의 마이크로파를 가열원으로 사용하며 신속한 조리와 사용 편리성등으로 간접 가열원중에 가장 보편화된 조리기중에 하나이다. 마이크로파 발생원인 마그네트론은 제품확대에 힘입어 여러 가지 마이크파 튜브중에 가장 안정화된 제품이기도 하다. 음식물을 적재하는 전자렌지의 캐비티는 멀티모드 공진기로서 매우 짧은 파장을 고려할때 조리특성을 결정하는 캐비티내 전계분포는 매우 중요하다. 또한 캐비티내 고유전율의 음식물(물, 우유, 물반죽등)을 위해서는 전자렌지를 생산하는 업체에서 마이크로파 방사형태 역시도 중요한 고려대상이다. 마그네트론에서 최대 전력전달을 위한 임피던스 매칭은 에너지 효율향상에 기여한다. 본고는 전자렌지의 가열효율과 분포성능 향상을 위한 새로운 방사형태 구현에 관한 것이다.

2. 본 론

전자렌지 도파관은 Horn 형태의 Aperture 방사기를 사용하고 있으며 그 구조가 간단하고, 제조성에 잇점이 있어 폭넓게 사용되고 있다. 전자렌지에 있어서 방사 시스템은 특정부하(수부하 1,000cc등)에 임피던스가 치중되어 있어 다양한 부하에 대해서는 효율저하 손실을 감수해야 한다. 최근들어 전자렌지 각 제조업체들은 전자렌지의 기본성능(효율,분포등)을 개선하기 위해 새로운 방사형태에 관한 연구가 활발히 진행중이나 특별한 대안이 제시되지 못하고 있는 실정이다.

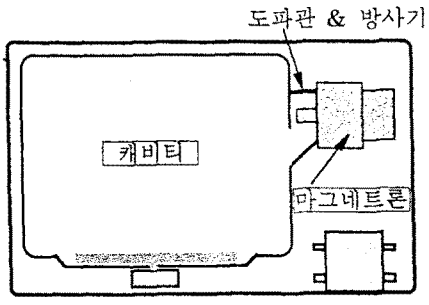
유전특성이 각기 다른 음식물, 각종 형상물 그리고 이방성 재질등에 대한 마그네트론의 특성변화는 본고에서 제외한다. 기본적인 전송선로의 중간 매개체인 도파관의 광대역 임피던스 매칭을 연구대상으로 선정하여 부하의 임피던스 변화에 최적화 시킴으로써 마그네트론의 안정성을 높여 전자렌지의 전반적인 가열효율과 캐비티내의 가열분포를 향상 하는 것이다.

2.1 전자렌지의 기본구성

- 캐비티(Cavity)
- 도파관 & 방사기(Waveguide)
- 마그네트론(Magnetron)

2.1.1 캐비티(Cavity)

캐비티의 기하학적 크기는 다공진 멀티 모드 필드의 생성, 즉 다량의 전자기장 진동이 발생



[그림 1. 전자렌지 구성]

도록 크기가 결정되어 진다.(E-진동, H-진동)

전자렌지에는 약15~20 정도의 전자파 모드가 발생한다. 이정도의 수는 대체적으로 캐비티내 균일한 전자계 분포와 음식물 부하(피자, 우유, 해동 대상물등)가열에 충분한 수이다. 따라서 캐비티내의 멀티모드 필드는 각종 유전체의 가열에 적절한 가열분포를 제공하는데 적합하다.

2.1.2 도파관 & 방사기(Waveguide)

전자렌지의 마이크로웨이브 방사기는 마그네트론과 캐비티와의 임피던스 매칭기능을 하며 일반적으로 캐비티내 멀티모드 생성을 위해 방사기의 형상과 위치가 선정된다. 모드타입(E-진동, H-진동)의 수(양)는 방사기에 의존하는데 형태별로는 단독 또는 다중방사기를 가지고 있으며 위치는 캐비티 전면을 제외한 모든면에 적용가능하다. 일반적인 방사기의 형상은 Horn형태로 E 평면에 개방되어 있다.

방사기에서 바라본 유전체와의 상호작용을 가정해보자.

1) 캐비티는 다공진기이다. 캐비티내 손실이 없으면 반사효율은 P=1과 동일하고 V.S.W.R은 무한대가 된다.(V.S.W.R=∞)
2) 만일 캐비티내 부하가 있으면(손실이 있으면) 반사효율은 이미 P=1 이 아니다.

이유는 부하가 전자계 에너지를 흡수하여 유전체 가열이 존재하기 때문이다. 따라서 부하가 다양해지면 유전체의 유전율(ε)과 전도율(σ)의 값도 각각의 값을 가지며 반사효율이 달라진다. 또한 ε 와 σ 의 변화는 주파수와 온도의 함수로 캐비티내 부하 가열시에도 발생한다.

Horn형 Aperture형태의 단일 방사기나 이중 방사기를 가지고 있는 기존의 전자렌지는 캐비티내 조리물과 방사기와의 매칭문제 또는 캐비티내 모드수가 변화(감소)되는 문제가 발생한다. 즉 Horn형태의 방사기로는 식품의 전도성변화에 대한 임피던스 매칭과 멀티모드 발생요구에 부합되지 못한다.

2.1.3 마그네트론(Magnetron)

마그네트론 자체의 임피던스 특성변화에 대한 고찰은 자체적인 연구를 실시하였으나 본고에서는 제외하였다.

2.2 신 방사 시스템

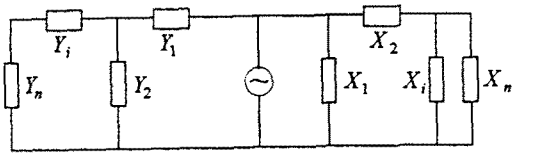
상기와 같이 전자렌지의 전기적 안정성과 성능향상을 도모하기 위해서는 새로운 방사시스템의 연구가 요구된다. 본 연구에서는 Horn형 Aperture 방사기대신 슬롯 방사기를 사용하였다. 슬롯 방사기는 간단한 구조로 양질의 특성을 얻는 곳에 많이 이용되는데 고속 비행체등에 통신수단으로 많이 사용한다. 전류전송하는 구성으로 중심점에서 위상이 반대되어 감쇄되는 구조와 끝단에 전류는 같은 위상을 갖는 기본개념에서 여러개의 슬롯을 이용하여 지향성을 높일 수 가 있다. 즉, 슬롯 Array에의한 멀티방사에 의해 캐비티내에는 멀티모드의 전자계분포가 형성된다.

2.2.1 기본구성

기본 구성은 하나의 Input Port(마그네트론)에 연결된 2개의 전송라인과 2개이상의 슬롯으로 구성되며, 각 슬롯의 위치는 Input Port에 대하여 상대적으로 전기적인 대칭위치에 있다. 슬롯간의 거리는 $\lambda_g/4$이며 도파관폭에 관계된다.

2.2.2 이론적 고찰

Input port에 대하여 전기적인 대칭위치에 있는 각 슬롯들은 [그림2]의 등가회로처럼 서로 연결되며 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.



[그림 2. 방사기 등가회로]

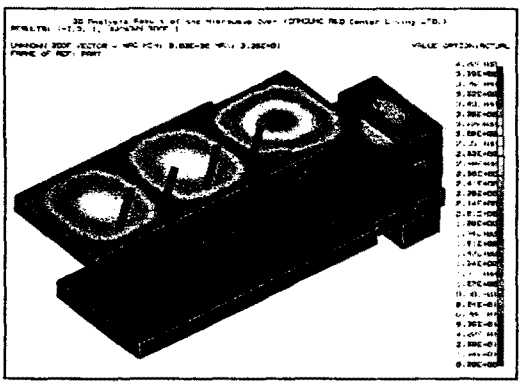
$$X \cdot Y = G_1 \cdot G_2 \quad \text{---------- (1)}$$

$$X_i \cdot Y_i = 1 \quad \text{---------- (2)}$$

$$X_i = \frac{1}{Y_i} \quad \text{---------- (3)}$$

여기서 X,Y는 슬롯방사기의 전도율(Conductivities)이며 G1,G2는 각 전송라인의 전도율이다. Input Port에서 인입된 마이크로파 에너지는 X · Y=G1 · G2로 각 전송라인으로 분배되며, 또한 상호대칭관계에 있는 각 슬롯의 전도율의 합은 Xi · Yi=1로 일정하며 Xi=1/Yi로 반대의 전도율 특성을 갖는다. 따라서 각 슬롯의 전자계는 직각/서로반대/전기적대칭이 된다. 즉, 전자계가 서로의 위상 또는 크기가 역전도의 방법으로 $\lambda_g/4$ 에서 상대적(대칭적)으로 움직인다. 이러한 움직임은 각 슬롯간의 상호 에너지 교환작용(상쇄,보완)이 이루어져 부하의 전도성변화, 즉 부하의 양,종류,가열중 유전율변화등의 경계조건의 변화에 따른 임피던스 변화를 보상하여 준다. 또한 이러한 방식은 매우 폭넓은 주파수 영역에 대하여 임피던스 매칭이 된다.

그림3은 본 연구의 적용예로 도파관내 전계분포를 시뮬레이션 프로그램으로 해석한 결과를 나타낸 것이다.

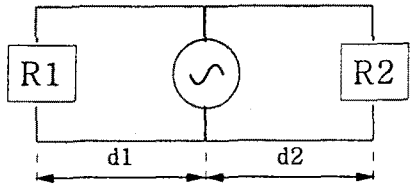


[그림 3. 적용예]

2.3 기존 방사기와의 차이

본 적용예는 2개 또는 그 이상의 방사기(R1, R2)와 그 사이에 마그네트론의 Input이 존재하는 면에서 기존의 이중 방사시스템과 외형적으로 유사하다[그림 4]. 그러나 다음과 같이 기본개념은 다르다.

① 마그네트론으로부터 동일거리(d1=d2)에 각각 Aperture방사기 대칭적으로 구성된 경우는 각 방사기의 위상 φ가 서로 같기 때문에 하나의 방사기를 가진 것과 차이가 없다.



[그림 4. 2방향 지로의 등가회로]

② 2개의 Aperture방사기의 선로저항이 R1=R2로 같고, 마그네트론으로부터의 거리차 Δd=d1-d2=$\lambda_g/4$로 위상차가 φ=90인 이중방사기의 경우 합성파는(같은부하에 같은 크기를 가질 때) 서로 상쇄되어 임피던스변화를 보상하여 준다. 이는 2개의 서로 다른 전자파의 임피던스 매칭방법으로 잘 알려진 사실로 입력 임피던스 관점에서 볼때 선로상에 $\lambda_g/4$거리마다 선로저항R이 그의 반대값인 1/R로 변환되기 때문에 Active load도 같이 반전된다. Reactive conductivities jb는 $\lambda_g/4$거리를 두고 그 위상이 반전되는데 일반적으로 Reactive conductivities의 보상을 위해서는 슬롯사이의 거리 Δd를 정확히 $\Delta d=\lambda_g/4$로 결정하지는 않고 다음의 Conductivities b 값을 산출하는 공식에 의한다.

$$\Delta d = (\frac{\lambda}{2\pi}) \tan^{-1}(\frac{1-b^2}{2b}) \quad \text{.....(4)}$$

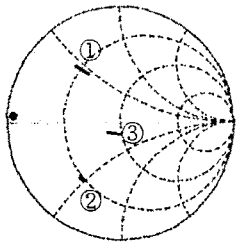
따라서 위상이 φ=180° 변위된 주파수에 대해서만 반사파 보상이 이루어진다. 왜냐하면 선로상의 전기적인 거리 $(2\pi/\lambda_g)\Delta$d가 주파수에따라 변하기 때문이다. 이것은 보상주파수 범위가 좁다는 것을 의미한다.

③ 본 연구 시스템은 각각의 슬롯 방사기가 R1=R2로 크기는 같고, 마그네트론으로부터 같은 거리 d1=d2에 있다. 그러나 위상이 R과 1/R로 반전되어 있으며 또한 선로의 전파 저항관계는 $R1 \cdot R2=R^2=1$이 된다. 외형적인 차이점은 Δd=0이다. 따라서 주파수에 대하여 폭

넓은 임피던스를 매칭영역을 보장하여 준다.

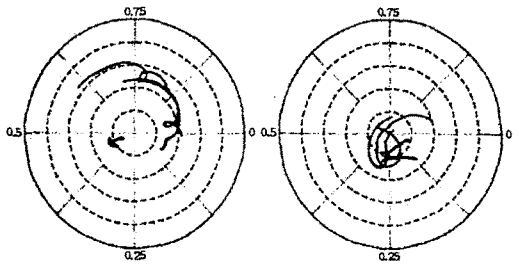
3. 결 론

식품의 전도성 변화, 즉 유전율과 전도율 변화시 부하(식품)의 경계조건이 변화한다. 본 연구의 방사 시스템은 이러한 변화에도 기존의 방사시스템과는 달리 부하와 캐비티 또는 부하와 방사기사이의 임피던스 변화를 보상,상쇄하여 폭넓은 임피던스 매칭영역을 유지한다 [그림5] [그림6]. 본 방사시스템의 결과로 전자렌지의 전반적인 효율과 가열분포가 개선되었다.[그림7] [그림8].



① 전송선로 한쪽의 슬롯을 막았을때
② 전송선로 반대쪽의 슬롯을 막았을때
③ 합성 임피던스 특성

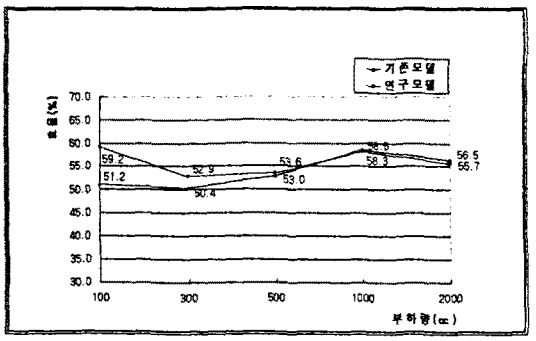
[그림 5. 임피던스 보상특성]



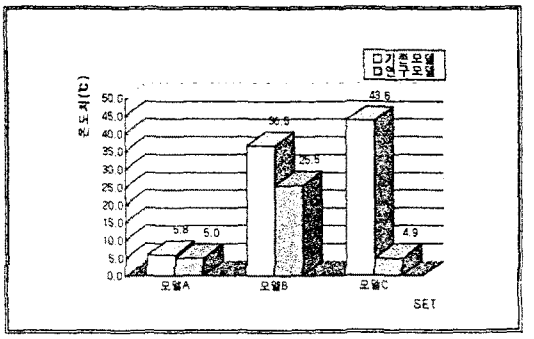
주파수 범위 : 2.44GHz ~ 2.47GHz

a. 기존 모델 b. 연구모델

[그림 6. 부하량(100~1000cc)에 따른 임피던스 특성]



[그림 7. 부하량(100~1000cc)에따른 효율]



[그림8. 우유온도차]

[참 고 문 헌]

[1] Jhon D. Kraus, "Antennas", McGraw-Hill Book Company, 1988

[2] Shamanov Anatolyi Nikolaevich, "Linear Radiation System", Russia Device Production R& D Center, Technical Report, 1996.

[3] 김태봉, "Adaptive Radiation System", 삼성전자(주) 생활시스템연구소 기술 Report, 1997.