

## 구동조건에 따른 전자레인지 내부 온도 분포

최윤환<sup>†</sup> · 김동균<sup>1</sup>

(원고접수일 : 2010년 7월 14일, 원고수정일 : 2010년 8월 23일, 심사완료일 : 2010년 9월 8일)

### Temperature Distributions of Inner Microwave for Various Working Conditions

Yoon-Hwan Choi<sup>†</sup> · Dong-Kyun Kim<sup>1</sup>

**요 약 :** 가정용 조리기구인 전자레인지는 구동시 필요한 고주파의 형성을 위하여 고전압 발생장치와 고전압 축전지 등의 장치가 사용된다. 이 장치들은 높은 전압에서 구동되기 때문에 다량의 열에너지를 방출한다. 따라서 방출된 열에너지는 전자레인지 본체의 온도를 상승시키는 요인이 된다. 본 연구에서는 쿨링팬 구동조건과 열에너지 발생조건에 따른 전자레인지 내부의 온도 분포를 해석하였다. 해석결과 쿨링팬에서 유출되는 공기의 속도가 증가함에 따라 내부 온도가 감소하는 것을 확인하였으며 감소하는 정도를 정량적으로 분석하였다. 그리고 열에너지 방출량을 조정하여 내부 온도분포를 조사하였다.

**주제어 :** 마그네트론, 전자레인지, 고전압 변압기, 고전압 축전기, 냉각팬, 전산유체역학

**Abstract:** Microwave oven and household cooker are devices of high voltage producer and high voltage storage batteries respectively for formation of necessary high frequencies at drive. These devices emit much heat energy because they are run at high voltages. Therefore, emitted heat energy becomes a factor that raises temperature of microwave ovens' main frame. In this research, the analysis shows the temperature distribution in microwave oven with the cooling fan drive conditions and the heat energy occurrence conditions. According to the analysis, as the speed of air outpoured in cooling fan increases, and the internal temperature decreases quantitatively. Also the inside temperature distribution was investigated by controlling heat energy emission.

**Key words:** Magnetron, Microwave oven, High voltage transformer, High voltage capacitor, Cooling fan, Computational fluid dynamics

### 1. 서 론

주방에 사용되는 대표적인 백색 가전제품인 전자레인지는 마그네트론(Magnetron)이라 불리는 고주파 발생장치에 의해 생성된 고주파를 이용하여 음식물을 가열하여 조리하는 장치이다[1~2]. 전자레인지를 구성하는 부품은 여러 가지가 있으나 가장 핵심적인 부품은 고주파를 발생시키는 마그네트론이다.

마그네트론이 고주파를 발생시키기 위해서는 필

요한 전압(4000V)을 만들어 내는 장치인 HVT(High Voltage Transformer)와 고전압의 축전지로서 고전압의 에너지를 저장하고 방출시키는 장치인 HVC(High Voltage Capacitor)가 필수적으로 장착이 된다[3~4]. 마그네트론, HVT 그리고 HVC 중에서 마그네트론과 HVT는 전자레인지 구동시 고전압으로 인하여 많은 열을 방출하기 때문에 전자레인지가 오작동하거나 수명이 단축되는 것을 방지하기 위하여 적절한 방식을 사용하

<sup>†</sup> 교신저자(부경대학교 스마트기계사업단, E-mail: neoyoon@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6162)

<sup>1</sup> 동명대학교 기계공학과

여 열을 배출시켜야 한다. 발생열을 배출하는 가장 대표적인 방식이 쿨링팬을 이용하는 것이며, 쿨링팬에 의해 형성된 기류는 차가운 외부의 공기와 열교환을 통해 전자레인지 내부 및 마그네트론과 HVT 주위 온도가 일정 수준 이상으로 상승하는 것을 방지하게 된다. 그러나 음식을 조리하는 경우 여러 가지 조건에 따라 전압이 달라지게 되며 마그네트론과 HVT에서 발생하는 열량도 변하게 된다. 따라서 변화하는 열량에 맞춰 쿨링팬의 풍량도 연동하여 변동할 수 있는 시스템을 구성해야 하며 시스템 구성을 위해서는 각 상태에 따른 전자레인지 내부의 온도분포를 계산해야 할 필요가 있다.

쿨링팬 구동에 따른 전자레인지 내부 온도분포에 대한 기존연구는 그다지 많지 않으며, 전자레인지 내부의 가열물의 높이 변화에 따른 조리 특성에 대한 실험적 연구가 금준석[5~6] 등에 의해 행해졌다. 따라서 본 연구에서는 CFD를 활용하여 마그네트론과 HVT 그리고 쿨링팬의 구동조건에 따른 전자레인지 내부 온도를 해석하여 전자레인지 설계 시 사용할 기초 데이터를 확보하기 위해 수행되었다.

## 2. 수치해석 방법

### 2.1 해석모델

전자레인지 내부 유동장 해석을 위하여 3차원 CAD 프로그램인 CATIA V5를 이용하여 모델을 형성하였다. 해석의 간소화를 위하여 유동에 영향을 주지 않는 부분과 열에너지가 발생하는 발열체 부분의 형상은 단순화 과정을 거쳐 Figure 1과 같이 형성하였다.

Figure 1은 전자레인지 내부의 유동장에 대한 3차원 모델이며, 유동해석을 위하여 유체가 차지하는 영역을 제외한 모든 고체영역을 제거한 형상에 해당한다(그림에 나타난 치수의 단위는 mm이다). Figure 1에서와 같이 내부의 경계면은 크게 4가지 영역으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 상면에 존재하는 히터영역(Upper heater)이며 HVT 영역에 해당한다. 두 번째는 하면에 존재하는 히터(Lower heater)이며 HVC에 해당한다. 세 번째는 후면에 위치하는 쿨링팬(Cooling fan)이며 팬

을 통하여 비교적 낮은 온도의 외기가 유입된다. 마지막으로 유입된 공기가 유출되는 상부에 위치한 통기구(Outlet)이다.

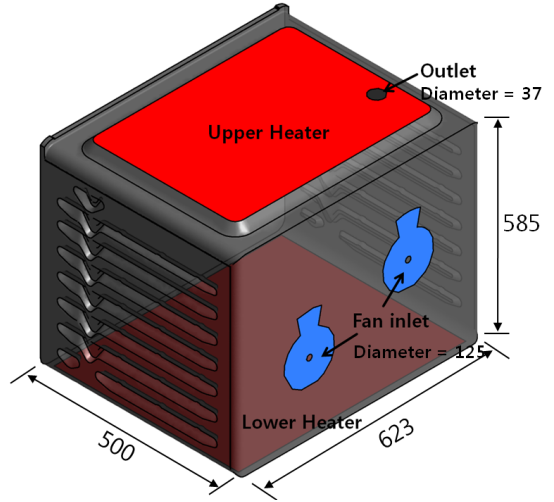


Figure 1: Fluid domain of microwave.

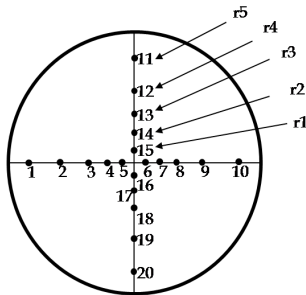
### 2.2 경계조건

전자레인지 내부 온도장 해석에 사용된 상용소프트웨어는 CFX-11.0이다. 전자레인지 상면과 하면에 존재하는 열원에 대한 처리는 표면에 열유속(Heat flux)을 적용하여 열에너지가 발생하는 효과를 구현했다. Table 1은 해석에 적용된 상면과 하면의 열에너지를 나타낸 것이다.

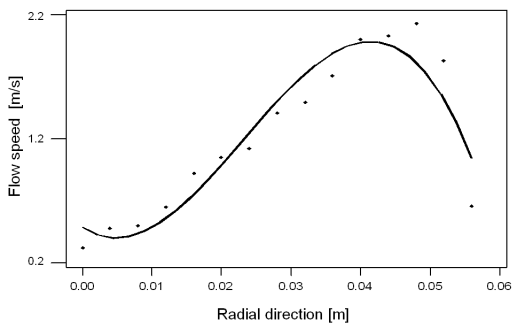
Table 1: Heat flux of lower and upper surface for each cases.

case	upper heater [W/m <sup>2</sup> ]	lower heater [W/m <sup>2</sup> ]
1	1000	3400
2	2000	3400
3	4000	3400
4	4000	1700
5	4000	850
6	4000	6800
7	8000	3400
8	8000	6800

전자레인지 등의 가전제품에 많이 사용되는 쿨링 팬은 시로코팬이나 축류팬인데 본 연구에서는 축류팬이 적용된 전자레인지 사용하였다. 팬에서 나오는 공기는 팬의 회전에 의해 축을 기준으로 반경 방향으로 서로 다른 속도 분포를 가지게 된다. 따라서 가장 정확한 경계조건을 적용하려면 3차원 팬 형상을 모델링하여 실제 팬 구동에 의한 유동을 구현하는 것이 해석의 정밀도를 향상시키는 방안이겠으나 본 연구에서는 팬에서 나오는 풍량 변화에 대한 것을 변수로 하기 때문에 3차원 팬 형상은 고려하지 않고 다만 실제 팬이 구동될 때 팬에서 토출되는 속도를 측정하여 측정된 속도를 평균하여 해석에 사용하였다. Figure 2(a)는 속도 측정에 사용된 측정 포인트이며, (b)는 반경에 따른 풍속을 측정된 결과이며, 그 평균속도는 약 1m/s이다. 수치해석에 사용된 팬에서 유출하는 공기의 평균 속도는 각각 0.25, 0.5, 1, 2[m/s]이다.



(a) measuring point of cooling fan



(b) flow speed for radial directions

Figure 2: Measuring point of cooling fan and flow speed for radial directions.

### 3. 해석결과

#### 3.1 팬 풍속의 영향

Figure 3은 전자레인지 내부의 온도분포에 대한 정량적인 데이터를 확보하기 위한 X, Y, Z 방향에 대한 각 위치를 설정한 것이다. 그림에서와 같이 측정지점은 전자레인지 중앙지점에서 각 방향 위치에 대한 것이다.

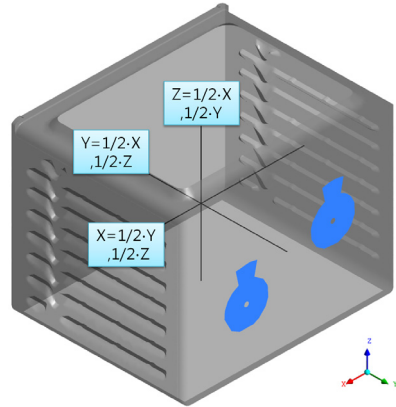


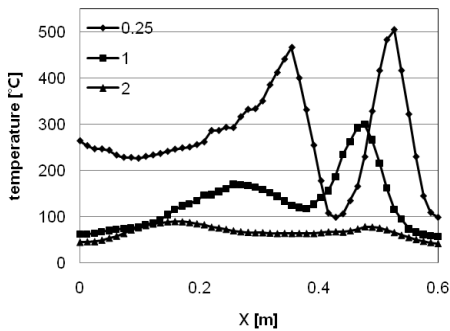
Figure 3: Measuring line of temperature for each directions.

팬에서 토출되는 차가운 공기에 대한 풍속 변화에 따른 전자레인지 내부의 온도 분포를 계산하기 위하여 상면(上面) 열원의 열속을 4000 [W/m<sup>2</sup>]로 하면 (下面) 열원의 열속을 3400 [W/m<sup>2</sup>]로 고정하고 팬에서 토출되는 풍속을 각각 0.25, 1, 2[m/s]로 변화시켜 해석을 수행하였으며 X, Y, Z 방향에 대한 온도분포를 Figure 4에 도시하였다. 본 연구에서는 풍속 또는 열원의 변화에 따른 전자레인지 내부의 온도 분포를 예측하는 것을 목적으로 하기 때문에 정상 상태 유동으로 가정하고 해석을 수행하였다.

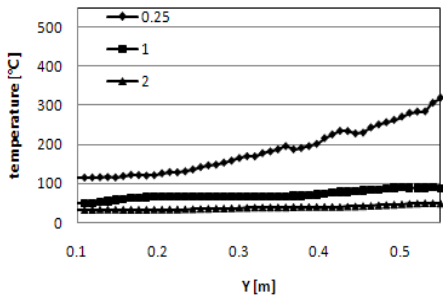
그림에서 유입되는 풍속이 가장 낮은 0.25 [m/s]인 경우 내부 온도가 가장 높게 형성되며 풍속이 증가할수록 온도가 하강하는 것을 확인할 수 있다. 특히 팬이 위치한 영역의 온도는 주위 온도에 비해 낮게 형성된다. 또한 Figure 4(a)에서 알 수 있듯이 풍속 0.25[m/s]인 경우 최고 온도는 X=0.55[m] 지점에서 약 500℃ 정도이며 X=1[m]인 경우 300℃ 그리고 X=2[m]인 경우 90℃정도이다. 일반적으로 전자레인지 내부의 적

정 최고온도는 약 300℃ 이하이므로 계산결과를 토대로 적정풍속은 1~2[m/s] 정도임을 알 수 있다.

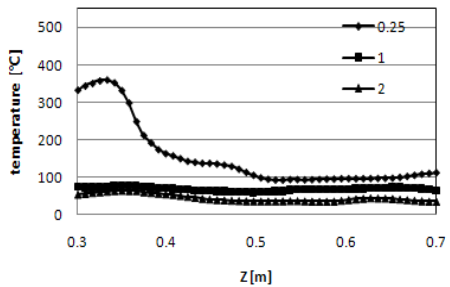
Figure 4(b)에서와 같이 Y-방향의 온도는 풍속 0.25[m/s]를 제외하면 모든 지점에서 온도편차가 크지 않다. 이는 Y-방향은 냉각팬에서 유출되는 공기와 직접적으로 접촉하는 부분이기 때문이다. 풍속이 1, 2[m/s]인 경우에 있어 Z-방향의 온도도 Y-방향과 유사한 형태를 보이고 풍속이 0.25[m/s]인 경우 최고온도는 약 370℃ 정도이며 상부로 갈수록 온도가 하강하는 경향을 보인다.



(a) along X-direction

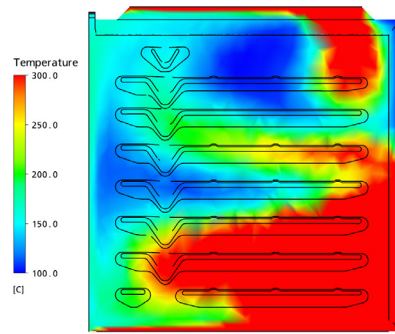


(b) along Y-direction

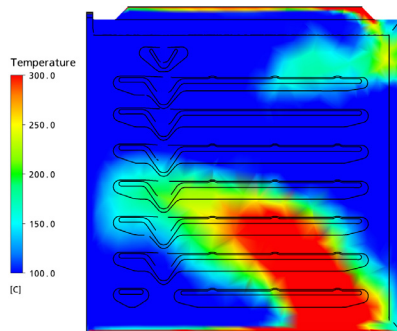


(c) along Z-direction

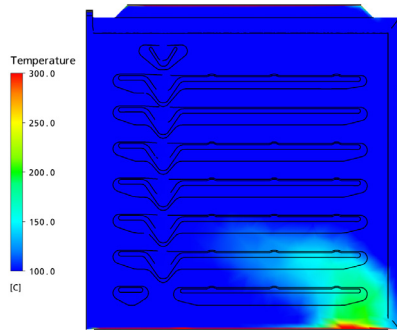
Figure 4: Temperature for measuring line of X, Y, Z-direction.



(a) flow speed = 0.25 [m/s]



(b) flow speed = 1 [m/s]



(c) flow speed = 2 [m/s]

Figure 5: Temperature distributions for various flow speed at Y, Z section(X=0.3[m]).

풍속 변화에 따른 전자레인지 내부 각 단면에 대한 온도분포를 Figure 5에 나타내었다. 그림에서 상부와 하부에 위치한 열원으로 인하여 상부면과 하부면의 온도가 가장 높게 형성된다. 여기서 특이한 점은 상부의 열원이 4000[W/m<sup>2</sup>]이고 하부의 열원이 3400[W/m<sup>2</sup>]이므로 둘의 차이는 크지 않

지만 실제 계산된 온도장에서는 하부의 온도가 상부보다 높게 형성되는 것이다.

이러한 현상은 Figure 6에서 알 수 있듯이, 중앙에 위치한 쿨링팬이 구동되어 차가운 공기가 전자레인지의 중앙부를 거쳐 상부에 위치한 토출구로 유출되기 때문으로 여겨진다. 즉 팬에서 나온 냉기의 일부는 하부로 향하지만 더 많은 냉기가 상부로 향하기 때문에 상, 하부의 온도 편차를 줄이기 위해서는 토출되는 쿨링팬의 각도를 하부로 향하는 방향으로 조정해야 할 것이다.

또한 Figure 4와 유사하게 풍속이 낮을수록 단면의 온도는 높게 형성되며 풍속이 증가하여 냉기가 많이 유입될수록 내부 온도가 하강하는 것을 확인할 수 있다.

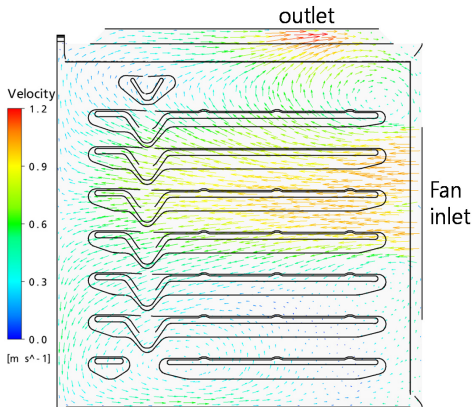


Figure 6: Velocity vector profile at Y, Z section (X=0.3[m]).

### 3.2 열원의 영향

전자레인지 상부와 하부에 존재하는 열원의 세기는 전자레인지 내부 온도 형성에 팬 풍속과 더불어 큰 영향을 주는 인자이다. 본 연구에서는 Table 1에 나타난 바와 같이 상·하부의 열원의 세기를 다양하게 변화시켜 열원 세기에 따른 전자레인지 내부 온도장을 조사하였다.

Figure 7은 풍속 1[m/s]인 경우에 대하여 각 열원에 따른 전자레인지 중심부의 높이 방향 온도를 계산한 것이다. 그림에서 열원의 세기가 증가하면 높이 방향의 온도는 전체적으로 상승한다. 그리

고 모든 크기의 열원에서 높이가 0.4~0.5[m] 부근에서 온도가 가장 높은 것을 확인할 수 있는데 이는 바닥의 열원에 의해 내부 공기가 가열되어 상승하여 차가운 외기와 만나기 전의 위치이기 때문이다.

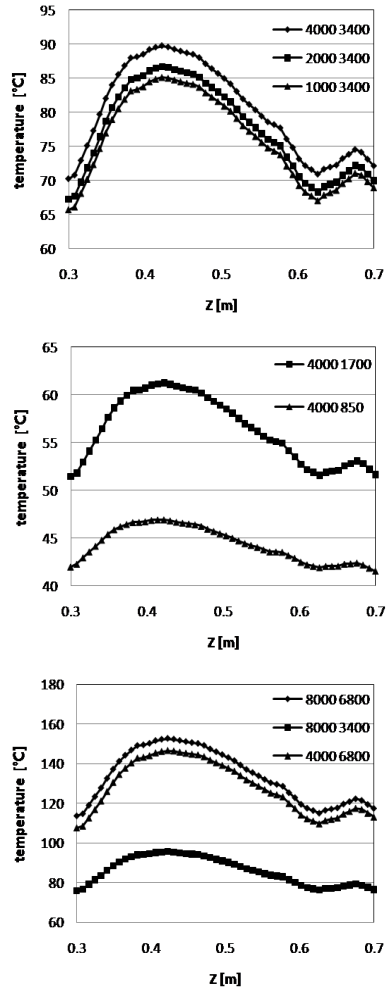


Figure 7: Temperature for various heating source on the Z-direction.

그러므로 높이가 0.5[m] 이상이 되면 차가운 외기에 의해 내부 공기가 급속히 냉각되고 토출구가 있는 0.6~0.7[m] 부근에서 가장 낮은 온도분포를 보인다. 그리고 상부의 열원보다 하부 열원의 세기가 전자레인지 내부 온도를 결정하는 요인으로

작용한다. 따라서 하부열원이 비교적 큰 case1, 2, 3이 case 4, 5에 비해 온도가 높게 형성되는 경향을 보인다. 이는 각 열원에 대한 피크온도 및 최저 온도를 나타낸 Table 2로 확인할 수 있다. 표에서 하부 열원의 영향으로 상부와 하부의 열원을 합한 수치가 높은 case4가 case1 보다 낮은 온도 분포를 보인다. 따라서 효과적인 하부의 냉각을 위해서 팬에서 토출되는 냉기의 유로를 조정할 필요가 있다.

Figure 7에서 나타난 바와 같이 하부열원이 3400(W/m<sup>2</sup>)이고 상부열원이 1000, 2000, 4000(W/m<sup>2</sup>)로 변하면 열원 증가에 비례하여 내부 온도가 상승하고 높이에 따라 온도 기울기도 거의 동일한 양상을 보인다. 한편 하부열원이 6800(W/m<sup>2</sup>)이고 상부열원이 4000, 8000 [W/m<sup>2</sup>]로 변하는 경우는 열원증가에 따라 온도는 비례적으로 상승하지만 상부열원이 4000인 경우는 8000에 비해 높이에 따른 온도 편차가 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

**Table 2:** High and low temperature for each cases.

case	high temp. [°C]	low temp. [°C]
1	85	65
2	87	67
3	90	70
4	48	41
5	62	50
6	95	78
7	148	108
8	153	112

#### 4. 결 론

본 연구에서는 열원의 세기와 냉각팬의 조건에 따른 전자레인지 내부 온도장을 조사하였으며 이에 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 전자레인지 내부의 적정 최고온도 약 300°C 이하를 유지하는 적정풍속은 1~2(m/s) 정도이다.
2. 상·하부의 온도 편차를 줄이기 위해서는 쿨링 팬의 각도를 하부로 향하는 방향으로 조정해야 한다.
3. 높이가 0.4~0.5[m] 부근에서 온도가 가장 높게 형성되고 0.6~0.7[m] 부근에서 가장 낮은

온도분포를 보인다.

#### 참고문헌

[1] V. D. Rebert, "Microwave foods", Food & Nutrition Press, Inc., pp. 67, 1992

[2] J. Rice, "Coated aluminum tray with protection dome tops", Food processing, vol. 45, no. 112, 1984

[3] J. Rice, "GF breaks new ground in convenience packaging", Food processing, vol. 47, no. 21, 1986

[4] C. M. Olsen, "Microwave inhibit bread mold", Food engineering, vol.37, no.51, 1995

[5] 금준석, 이창호, 한익, "마이크로파 해동에서 냉동식품의 해동높이 변화가 해동 후 품질에 미치는 영향", 한국식품영양과학회지, 제27권 제1호, pp. 109-114, 1998

[6] 금준석, 하태열, 한익, "전자레인지 내부에서 가열 높이 변화가 품질 특성에 미치는 영향", 한국식품영양과학회지, 제27권 제3호, pp. 489-494, 1998

#### 저 자 소 개



##### 최윤환(崔允煥)

1973년 3월생, 1996년 동아대학교 기계공학과 (공학사), 1998년 동 대학원 기계공학과(공학석사), 2001년 동 대학원 기계공학과(공학박사), 현재 부경대학교 기계자동차공학과(박사후연구원). 관심분야 에너지절감시스템, 공조냉동시스템



##### 김동균(金東均)

1970년 1월생. 2001년 동아대학교 기계공학과 대학원 졸업(공학박사). 현재 동명대학교 기계공학과 전임강사. 관심분야 : 지식기반모델링, 시스템제어