

유도가열장치에 의한 고추의 가열건조 실험 및 특성

한 경희*, 백 주원**, 조 기연**, 백 수현*
 동국대학교*, 한국전기연구원**

Heating Dryness Experiment and Characteristic of red pepper by Induction Heating apparatus

K.H.Han*, J.W.Baek**, K.Y.Joe**, S.H.Baek*
 Dongguk University.*, KERI**

Abstract - The scope of applications, industrial or household manufactures, is on the increase. In this study, it applies a principle of induction heating to food dryness for preservation of food. And it applies indirect heating process using overheating steam, which analyzes thermal characteristic of heating apparatus depending on its construction. It was verified that application of proposed process was appropriate by drying test of food.

$$P_h = \eta f B_m^{1.5} V [W] \tag{2.1}$$

η : Hysteresis계수 f : 주파수
 B_m : 최대자속밀도 [T] V : 철심의 체적 [m³]

이 도체 내에는 전자유도 작용에 의하여 코일내에 있는 금속은 변압기의 2차권선에 기전력이 발생하는 것과 그림 3과 같이 유도전류가 발생하여 와전류(Eddy current)가 흐르게 된다.

1. 서 론

유도가열의 원리는 산업제반 분야, 심지어는 가정용 가전기기에서도 사용될 만큼 사용면에 있어서 인간에게 매우 친숙하다. 주로 가열장치로 사용하는데 본 논문에서는 식품을 건조하여 장기간 보관을 위한 건조장치로의 활용할 경우를 주 관심사로 두고 있다.

현재까지 식품건조는 주로 저온의 열풍을 이용하여 식품 손상을 최소화하기 위해 장시간 건조하였다. 이에 따라 효율적인 건조가 힘든은 물론, 건조시간의 길어지는 단점이 있었다.

고온 건조는 보다 빠른 건조특성을 얻을 수 있으나 식품에 손상을 피할 수 없다. 이에 따라 식품의 손상을 줄여주면서도 건조시간을 단축할 수 있는 방법의 하나로써 과일증기에 의한 건조가 있으며, 100도에서 374도사이의 수증기로 지칭하는 과일증기를 이용하여 살균작용과 급속한 건조효과를 낼 수 있다. 건조 오븐 내부의 열순환에 의한 고효율 건조, 건조식품에서 건조품질 개선 효과, 빠른 열전도에 의한 건조시간의 단축 그리고 환경오염이 없으며 건조제품의 품질이 우수한 장점을 들 수 있다.

본 과제에서는 일반증기를 과일증기상태로 가열한 뒤에 이를 건조에 활용하고자 하였다. 과일증기를 식품처리기에 적용함으로써 고온 사위에 의한 순간적인 표면살균 처리 또는 지속적인 열처리 및 급속 온도 제어로서 우수한 건조기능을 실현할 수 있다.

전체적 시스템에 대한 제시와 이중에 유도가열 장치 내의 온도 조절 과정을 시뮬레이션을 통해 보였으며, 최종 식품에의 적용시 일반건조와 과일증기를 이용한 건조의 차이를 보였다.

2. 본 론

2.1 유도가열의 적용

그림 2.1과 같이 가열하고자 하는 도체에 코일을 감고 이 코일에 고주파 교류 전류를 흘리면 도체 내에는 고주파 자속이 발생한다. 이로 인하여 히스테리시스 손실(Hysteresis loss)이 나타난다. 이 손실의 크기는 자성체에 따라 다르지만 면적이 클수록 손실이 크며 이 손실인 P_h 를 Steinmetz 식으로 나타내면 다음과 같다.

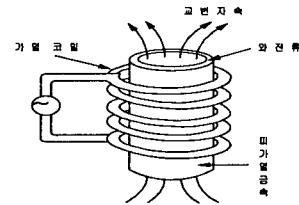


그림1 유도가열 코일

$$I_x = I_o \epsilon^{-\left(\frac{x}{P}\right)} \epsilon^{\left(\frac{x}{P}\right)} \tag{2.2}$$

I_x : 면에서 중심부 $x(m)$ 지점의 전류치 [A]
 I_o : 원통형 금속의 전류치 [A]
 P : 전류치가 표면의 $1/\epsilon$ 로 감소한 깊이 [m]

$$P_e = \frac{(\pi f a B_m)^2 V}{4 \rho} [W] \tag{2.3}$$

a : 철심의 반지름 [m] f : 주파수 [Hz]
 B_m : 최대자속밀도 [T] ρ : 저항률 [Ω/m]
 V : 철심의 체적 [m³]

발생한 열은 이를 와전류 손실(Eddy current loss)로 인한 손실에너지와 같으며 식(2.3)과 같이 나타내었다.

2.2 유도가열 장치의 구성

건조 가열방식은 크게 나누어서 두 가지로 분류할 수 있는데 직접 가열방식과 간접 가열방식이 그것이다.

직접 가열방식은 열원으로부터 얻은 열풍을 직접 건조기로 보내서 피가열체를 가열하는 방식이다. 그러나 이 경우, 경우에는 연소가스의 분진이나 고온인 특성에 의해 식품에의 사용은 적합하지 않다.

간접 가열방식은 열원으로부터 열교환기에 의해 열풍을 얻는 방식으로 직접 가열 방식에 비해 열풍의 온도가 낮고 효율이 떨어지지만 건조물이 청정해야 하는 용도에

는 적합한 방식이다.

본 과제에서는 기존의 건조장치에서 보다 에너지 효율과 건조 특성에서 보다 나은 점을 찾기 위해 간접 가열 방식인 유도가열 챔버를 이용하고 건조 오븐 내부를 일정 온도 이상으로 동작시켜 과열증기로 대상 식품을 건조함으로써 열순환방식을 이용함은 물론 습도를 오히려 높게 유지하여 건조 특성을 개선시키고자 하였다.

다음 그림 2는 연구대상이 되는 기술의 처리 공정 및 기기의 개략도를 나타낸 것이다.

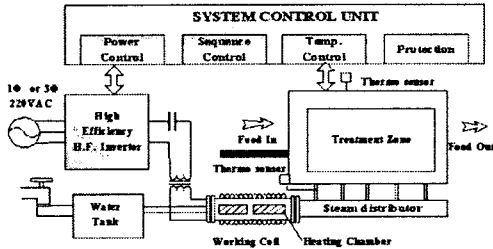


그림2. 개발하고자 하는 기술의 구성 및 처리 공정 개략도 (고주파 인버터 + 유도가열에 의한 열교환기)

2.3 유도가열장치의 열분포 해석

그림3의 모델을 대상으로 하여 매질의 초고속 가열을 위한 고주파 유도가열 장치의 유도가열 매커니즘 해석을 위한 시뮬레이션을 행했다. 그림3의 단면의 형상을 그림 4에 나타내었다.

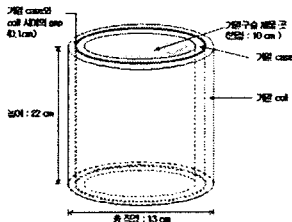


그림3. 시뮬레이션 모델의 형상

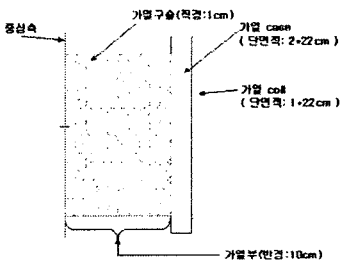
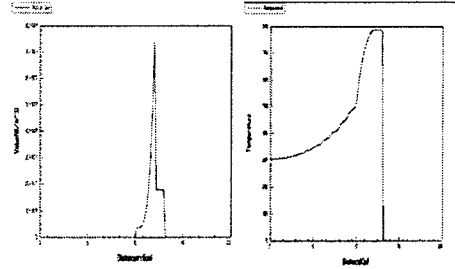


그림4. 시뮬레이션 모델의 단면도

이 모델은 내부 가열구슬(직경1cm)과 이를 감싸고 있는 열원 case(두께2 cm), 코일단부1cm)로 구성되어 있으며 그림4는 이 모델의 종단부를 나타낸다. 그림4의 형상이 실제 시뮬레이션에서 사용된 모델이며 중심축을 기준으로 회전한 완전한 모형이 그림3이 된다. 가열 구슬의 사이에는 물이 차 있으며 가열 구슬과 case가 가열되면 구슬 사이의 물은 고온 가열된다. 그림5는 코일 단면의 전류가 1000[A]일 때의 소비전력 (W/m^3)과 그때의 열분포를 나타낸다.



(a) 전력분포 (b) 온도분포

그림5. 1000[A] 인가 시 시뮬레이션 결과

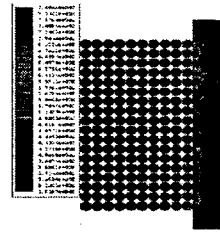


그림6. 유도 가열에 의한 열분포

위의 분포하는 전력에 의해 case에는 열로서 손실이 발생하고 이로 인해 내부의 철구슬을 통해 열이 전도된다. 시뮬레이션 상에서는 case에만 전력이 분포하도록 가정하였다. 그림5는 중심부로부터의 열분포를 그래프로 나타낸 것이다.

외부 case에서 발생한 전류손이 열을 발생시켜 내부의 도체를 통해 열이 전도되어 구슬과 구슬 사이의 매질을 가열하게 된다. 이때의 인가 전류는 단면적에 1000 [A]이며 case의 재질은 steel_stainless, 내부 철구슬의 재질은 iron이다.

표1에는 case의 두께별 가열특성을 알아보기 위한 시뮬레이션 모델의 재질 및 인가전원을 표시한다.

표 1. 각부분 재질 및 정격 전원 특성

각부 명칭	재질	유전율	열전도율 (Watt/meterKelvin)
가열구슬	iron	4000	79
가열 case	aluminum	1	237.5
가열코일	구리	0.999	400
정격전류	1000[A]	-	-
정격전류 주파수	1[kHz]	-	-

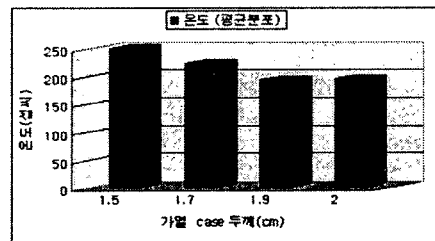


그림 7. 가열 case의 두께에 따른 열분포 특성 (전원전류=1000[A], 전원주파수=1kHz)

그림7은 가열case의 두께에 따른 열분포 특성을 나타낸 그래프이다. 가열 case의 두께가 1.5에서 2 cm까지 변화에 따라 열 발생량은 감소함을 알 수 있다. 따라서 본 과제에서 실제 챔버 제작 하하면서 case 두께를 절

반 정도로 감소시켜 가열 특성을 개선하고자 하였다. 이러한 효과는 와전류의 분포에 따름을 알 수 있다.

주파수가 변함에 따라서 와전류의 분포범위가 달라지게 되는데 표피 효과에 의해서 주파수가 증가할수록 와전류는 가열 case의 표면에 가깝게 분포할 것이고 열의 분포도 또한 가열 case의 표면으로 갈수록 높은 온도를 띄게 될 것이다. 그러나 와전류의 분포가 외부 쪽으로 치우치므로 열의 전도량이 떨어지게 되고 가열정도도 떨어지게 된다.

2.4 실험결과 및 고찰

당해 년도에서는 유도가열기에 의한 과열증기 발생장치를 구현하는 데에 주안점을 두었으며 이에 따라 장치의 제작과 함께 과열증기의 발생을 시험하였다.

유도가열기에 의해 전력은 약 평균 4(kW)가 주입되는 상태에서 약 2분 후에 챔버의 온도가 상승하면서 증기가 발생하였으며 다음 그림8은 챔버의 가열사진과 증기의 발생을 시험한 사진을 보여준다. 증기는 육안과 달리 사진에 잘 포착되지 않아서 미세하게 나타났다.

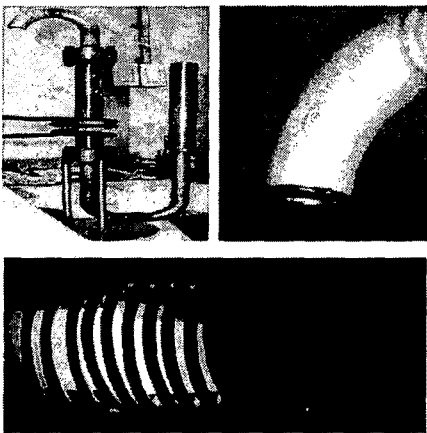


그림8. 챔버 가열 및 과열증기 발생 사진

먼저, 일반 오븐에서 건조특성을 비교 데이터로 얻기 위해 시작품에서 동일한 오븐에서 과열증기가 아닌 일반 건조로 운전하여 시험하였다. 동일한 건조장치를 두고 과열증기로 처리한 것과 일반 건조장치로 운전한 것의 차이를 얻도록 동일한 가열 시간과 가열 특성을 갖도록 하였다.

그림9과 10은 건조 특성을 나타낸 것으로 건조 총량을 기준으로 그림을 나타내었다. 과열증기 상태에 도달한 후의 건조질량을 비교하면 과열 증기가 보다 빠른 건조효과를 가졌다.

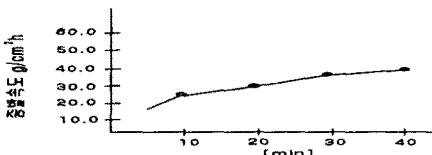


그림9. 일반 건조로에 의한 건조특성

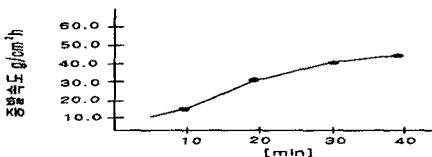
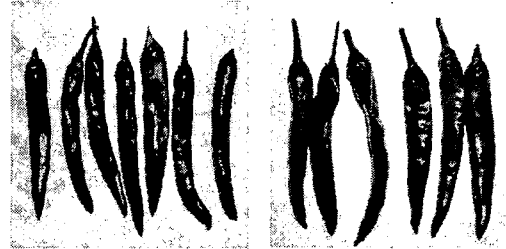


그림10. 과열증기 건조로에 의한 건조 특성

그림10은 과열증기를 연속적으로 주입하여 약 10~30%의 상대습도를 유지하면서 시험한 결과이다. 바라는 바와 같이 초기에 고온 상태에 도달하지 못한 때를 제외하고는 보다 빠른 건조 특성을 나타내었다.

다음은 향신료인 고추의 건조시험을 하여 건조특성을 파악하였다. 먼저, 식품의 특성을 판별할 수 있는 표면의 건조 후 변화를 살펴보았다. 다음 그림은 일반 건조 방식과 과열증기 건조방식에 의해 건조된 식품의 사진이다.



(a)일반 건조-170도 (b)과열증기 건조-190도
그림11. 고추의 건조전과 후 사진

일반건조는 가열 10분만에 완전히 색도 변화가 일어났으나 과열증기에 의한 방법은 30분 건조 후에도 색도 변화가 일반건조에 비해 작게 일어났다.

3. 결 론

유도가열 설비를 이용한 과열증기의 발생과 이를 이용한 건조장치의 제작과 시험 연구를 수행하였다. 열분포 해석을 통해 유도가열부의 외부 case의 두께에 따른 온도분포를 파악하고, 유도가열에 의해 열교환 챔버의 가열을 시험하였으며 물을 가열된 챔버에 주입하여 과열증기를 발생시켰다.

건조기에는 과열증기가 주입되고 계속해서 유도가열 챔버로 증기의 순환가열이 일어나도록 하여 건조장치의 내부가 고온 고습인 상태로 유지되게 하였다.

건조장치의 건조성능을 알기 위해 우선, 물의 증발 시험을 하였다. 과열증기가 없는 저습 고온 건조기로 동작시킨 결과와 비교 연구 하였다.

건조특성은 예상대로 과열증기가 보다 색도변화를 적게 가져옴을 알 수 있었으나 보다 개선하기 위해서는 증기의 발생량과 운전 온도의 적정점을 찾아나가야 할 것으로 판단되었다.

향후 식품의 건조와 이에 따른 이화학적 성분 변화 분석 및 챔버의 구조와 재질에 관한 연구가 수행되어야 한다. 식품의 건조뿐 아니라 품질 변화에 따라 건조기의 온도와 동작 운전 조건을 반복적인 실험을 통해 찾아야 할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] D.W.TEEB and L. Hhbson, "Design of Matching Circuitry for100kHz MOSFET Induction Heating Power Supply", IEEE, Industrial Electronics, Vol.1 E-34, No.2, May 1987
- [2] Akao, T. 1983. Applications of pressurized super-heated steam to food processing. In Chemical Engineering Symposium Series1.13-18.Tokyo, Japan, The Society of Chemical Engineers(cited by Shibata and Mujumdar 1994).
- [3] AOAC. 1984. Moisture in frozen french-fried potatoes(32.083). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 14th ed., Arlington, VA:Association of Official Analytical Chemists.
- [4] Bimbenet, J.J., J.D. Daudin and E. Wolff. 1985. Air drying kinetics of biological particles. In drying '85, Selection of Papers from 4th International Drying Symposium,178-185.Washington, DC: Society of Chemical Engineers