

저전력 가정용 식품건조기 개발에 관한 실험적 연구 Experimental Study on the Development of Food Drying Machine for Home Use Using Low Electricity

김순호* · 김기완** · 김 훈**

Soon-Ho Kim*, Ki-Wan Kim** and Hoon Kim**

(Received 06 May 2015, Revision received 28 July 2015, Accepted 28 July 2015)

Abstract: This study has been analyzed and investigated the possibility for the substitution of a heat source with the application of PTC(Positive Temperature Coefficient Heater) in a food drying machine. And this experiment was conducted to measure temperatures at the upper part of the vessel and the heat sink. And the structure has the many holes plane connected with the external air in the upper part of similar volumetric vessel, and attached to the PTC heater (3sets) of total consumption electricity of 120[W] in AI radiant heat structure and the small fan (2sets) in the suitable space of the lower part. Consequently, it was found that at the most conditions of food drying test with the seven holes(5mm) under the control temperature 62℃, the optimum drying condition formatted and the optimum time range especially appeared from 6,500 second to 7,000 second in case of drying test on banana sample.

Key Words : PTC Heater, Food Drying Machine, Heat Sink, Small Fan, the Substitution for a Heat Source

1. 서 론

채소나 과일을 말리면, 평균적으로 수분이 20~50% 정도 제거됨으로써 상대적으로 무기질이나 식이섬유 함량이 높아지게 되어 적은 양으로도 영양 손실이 없는 맛있는 영양간식이 될 수 있다. 그러나 현대인들은 주거지 베란다나 마당 등 실외에서 채소나 과일 등을 자연 건조하는 경우가 많은데, 이러한 경우에는, 미세먼지나 매연 등 공해 물질로 인해 건조 과정에서 오히려 건강에 해로운 물질이 첨가될 가능성이 높을 수가 있다. 또

한 시중에서도 다양하게 건조식품들에 대한 구매가 이루어지고 있는 바, 그 또한 비중증적이며 비위생적인 생산시설로 인해 그 제품의 신뢰성이 떨어지고 있는 것이 현실이다. 그래서 다수의 가정에서는 가정용 식품 건조기를 이용하여 신선하고 위생적인 건강식품을 섭취하고 있는 실정인데, 이 또한 그 사용 전력이 약 300~600 [W] 정도^{1, 2)}로 높아, 전체 국가적 측면에서는 전력소모가 크다고 할 수 있다. 이러한 전력손실이 큰 원인의 하나로 우선 열원의 방식을 들 수 있겠는데, 일반적으로 사용되고 있는 가정용 식품 건조기의 경

*† 김기완(교신저자) : 신라대학교 자동차기계공학과

E-mail : jasang00@naver.com Tel : 051-999-6957

* 김순호 : 신라대학교 자동차기계공학과

** 김훈 : 고려대학교 전기전자전파공학과

*† Ki-Wan Kim(corresponding author) : Department of

Automotive and Mechanical Engineering, Silla University

E-mail : jasang00@naver.com Tel : 051-999-6957

* Soon-Ho Kim : Department of Automotive and Mechanical

Engineering, Silla University

** Hoon Kim : Department of Electrical Engineering, Korea

University

우, 주로 사용되는 열원이 니켈크롬 히터와 스틸 코일 방식인 바, 이러한 열원의 방식은 두 방식 공히 전력이 크게 소모된다는 것이다. 다음으로는 건조방식의 문제인데, 현재까지는 전통적인 건조 방식으로 통기식 및 열풍 건조방식을 적용하고 있는데, 이러한 건조방식은 국내에 설치되어 있는 건조기의 약 90% 이상을 차지하고 있을 정도로 그 사용범위가 넓은 건조방식^{3,4)}으로서, 그 가열공기와 피 건조물이 접촉하여 수분을 증발시키는 대류전열 방식을 이용하고 있어, 전도전열이나 복사전열 등을 이용하는 건조방식에 비해 그 전력 및 에너지 손실이 크다고 할 수 있다. 뿐만 아니라 식품공업, 화학공업, 섬유공업, 요업공업, 제지·목재, 금속부품 및 폐기물에 이르기까지 모든 산업의 생산과정에서 다양한 건조기가 사용되고 있는 바, 산업부문 건조기 보유업체의 연간 에너지 사용량 중, 약 30%(1,413천 TOE/년)를 건조공정에서 소비하고 있어⁵⁻⁷⁾, 산업부문 에너지 효율성 제고 및 에너지 절약에 미치는 영향이 매우 크다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 녹색성장에 기여하고, 전력 에너지를 줄이기 위한 방안의 일환으로, 현재 가정용 식품 건조기에 사용되고 있는 니켈크롬 히터 등의 고전력 발열원을 저전력 발열원인 PTC 소자로 대체한 후, 시험을 통해 그 효과 및 실효성에 대하여 조사해 보고자 한다. 여기서 본 연구에 적용할 PTC 소자는 수명이 반영구적인 PTC 서미스터를 이용한 전기 발열체 소자의 총칭으로서, 일정 온도에 도달할 경우 발열이 되는 반도체로, 정밀제어가 가능하며, 티탄산 바륨계 (Ba TiO₃계) 반도체와 같이 특정온도 이상에서 급격한 저항값의 증가를 나타내는 저항체에 전기를 통하여 발열시키면 자신의 저항치가 증가되는 것과 동시에 전류를 제한하는 특성을 가질 뿐만 아니라, 외기의 온도나 전원 및 전압의 변동에도 불구하고 그 온도는 거의 일정하게 되는 특성⁸⁻¹⁰⁾을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 발열체, 온도센서 및 전력 컨트롤러의 세 가지 작용 및 과열 걱정이 없는 자기제어 히터로서 드라이어, 보온기, 난방기 등에 널리 응용되고 있고, 소비전력이 약 40 [W] 내외인 PTC 발열체를 적용하여 시험을 행함으로써, 가정용 식품 건조기 발열

원으로서의 활용 가능성에 대해 조사하고, 향후 일반적인 건조공정에도 대체할 수 있는지에 대한 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 Fig. 1에서와 같이, 실제 가정용 식품 건조기 체적(445×310×270mm)과 유사한 체적(350×465×200)을 갖는 실험장치를 구성하여 시험하였다. 실험장치 재질은 내부 발열이 상존하므로 내부 발열에 견딜 수 있는 재질(-40~140℃)을 선정하였으며, 부식이 없고 절연이 우수하며 방수 및 방진의 경우에도 대비할 수 있는 구조를 채택하였다. 아울러 다수의 천공이 있는 식품 트레이를 상하 2단으로 장치한 후, 온도센서를 건조 시험장치 상단 트레이 중앙우측 30mm, 최상부에서 아래로 5mm 위치 및 하부 트레이 하단부 중앙좌측 50mm, 최하단부에서 위로 5mm 위치 등 두 곳에 설치하여 온도를 측정할 수 있도록 하였다. 또한, 건조식품의 건조 적정온도인 60~70℃에 적합하도록 디지털 온도 제어기를 부착함으로써, 온도 분포가 작은 상부온도를 감지케 하여 그 값을 기준으로 발열원 전력을 제어해 가면서 건조장치 상·하부의 시험값들을 측정하였다.

또한 PTC 소자 중에서 시험에 적용할 발열체로는 Fig. 2와 같은 소비전력 40 [W], 최고 발열온도가 120~180℃까지 발열되는 PTC 소자를 사용하였

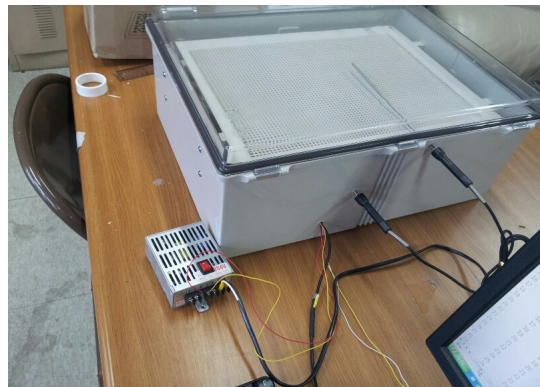


Fig. 1 External structure of experimental equipment

으며, 강제대류를 위해 0.5 [W], 60 [mm], D C 팬 2조를 활용하였다. 그리고 온도센서로는 백금측온 저항체로 세라믹 방식인 PT 100[Ω] (오차율 ±0.35)을 채택하였고, 시험기간 내내 온도 측정에 더욱 더 정확성을 기하기 위하여 Fig. 3과 같은 MBL (Micro Computer Based Laboratory)장비를 이용하였다.

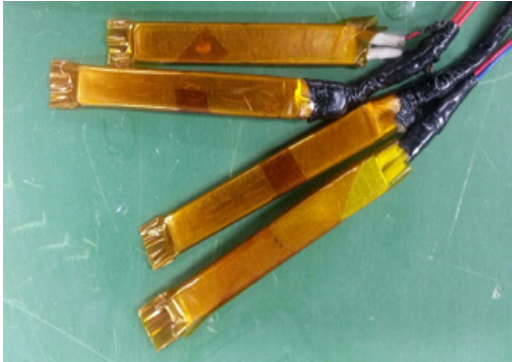


Fig. 2 PTC elements



Fig. 3 Systematic diagram of MBL

2.2 실험방법

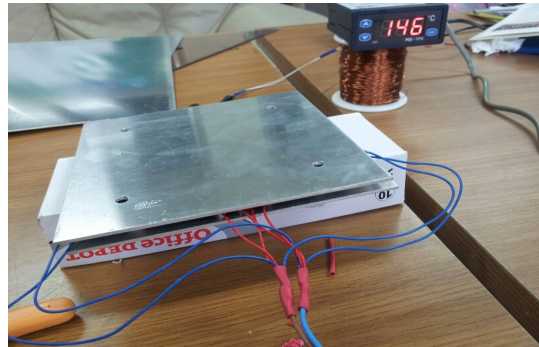
2.2.1 방열구조 설정 및 시험온도 측정

우선 PTC소자의 발열에 대한 최적의 방열 구조를 설정하기 위한 작업의 일환으로, Fig. 4(a)에서와 같은 실험장치를 설정하여 방열판 치수, PTC 소자의 설치구조 등에 대한 시험을 행하였는데, 시험 결과, 최적 방열구조로는 302mm × 380mm × 2mm 체적의 알루미늄 판재를 선정하였다. 특히 발열체 PTC 3조 (약120W)의 온도 측정을 위해서

는 Fig. 4(b)에서와 같이 실내 온도 20℃의 환경에서 매회 자연 초기화를 시키며 10회 측정의 평균값을 취하였는데, 그 결과, 식품 건조기 내부의 적정온도인 60~70℃가 이루어짐을 확인할 수 있었다.

2.2.2 대류 팬 적정치수 선정

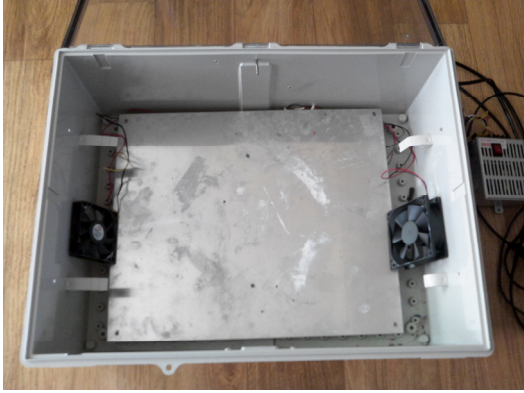
Fig 4(c)는, 본 연구 시험에 적정한 대류 팬들의 치수를 선정하기 위한 장치로서, 40~120mm 직경의 강제대류 팬들에 대하여 온도상승과 냉각 시험을 한 결과, Table 1에서와 같이, 40mm 팬의 경우, 트레이 상부 온도가 60℃에 근접할 때까지 걸리는 시간이 약 1,500초, 60mm의 경우, 약 1,200초, 80mm에서는 약 1,400초, 120mm에서는 적정 온도가 이루어지기 어려웠다. 따라서 본 시험에 적정한 대류팬 규격은 60mm 팬으로 선정하였다.



(a) Experimental equipment for fixation of radiant heat structure



(b) Experimental equipment for testing temperature



(c) Experimental equipment for choice of convection fan size

Fig. 4 Structure diagrams of Experimental equipments

Table 1 Convection fan size and the necessary time during the attainment at 60°C

Size	Necessary Time
40mm	1,500[s]
60mm	1,200[s]
80mm	1,400[s]
120mm	Not Measurement

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 건조장치 시험

3.1.1 건조장치 상부온도 60°C 제어 시험

Fig. 5는 온도 제어로 상부온도 설정을 60°C로 한 상태에서, 건조 시험장치 상단 트레이 중앙 우측 30mm, 상부 5mm 높이 및 하부 트레이 하단 부 중앙좌측 50mm, 5mm 하단으로 장치된 온도 감지센서를 활용하여 건조 시험장치 내부 2단 트레이 상·하부에 대한 시간대별 온도변화에 대한 측정결과를 나타낸 것으로서, 그림에서와 같이 일정 온도까지 도달 시간은 상부 트레이 상단 부분 온도(상부온도) 및 발열원 상단과 하부 트레이 하단 부분 사이 온도(하부온도)는 공히 약 1,500초이었다. 특히 상부온도를 60°C로 설정하였으나, 상부 평균온도는 약 64.73°C로 나타났으며, 하부 온도의 경우는 평균 73°C 이상으로 나타나 식품 건

조기 내부 적정온도인 60~70°C를 상회함으로써 상시 활용에 부적합하다고 판단되었는데, 이는 지속적인 발열이 일어나는 상태에서 발열판에 남아 있는 잔류열의 영향이 큰 것으로 사료되었다.

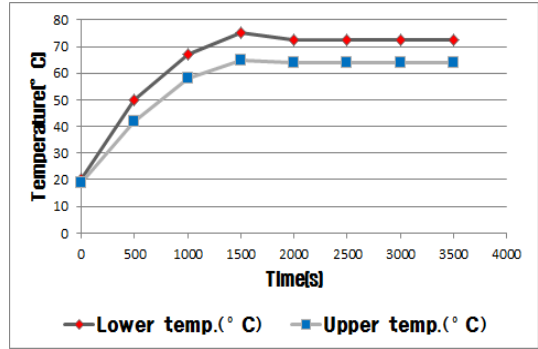


Fig. 5 Temperature distribution diagram in case of the control temperature 60°C

3.1.2 건조장치 상부온도 59°C 제어 시험

Fig. 6의 경우는 건조 시험장치 상부온도 설정을 59°C로 했을 때의 시간대별 온도 변화를 측정 한 결과로서, 그림에서와 같이, 상·하부 온도 공히 일정온도에 대한 도달 시간이 약 1,800초이었으며, 상부 평균온도 62.64°C, 하부 평균온도 68.88°C 등으로 나타나, 건조시킬 시료를 넣지 않은 상태에서 상·하부 평균온도가 식품 건조기 내부 적정온도인 60~70°C에 근접하였다.

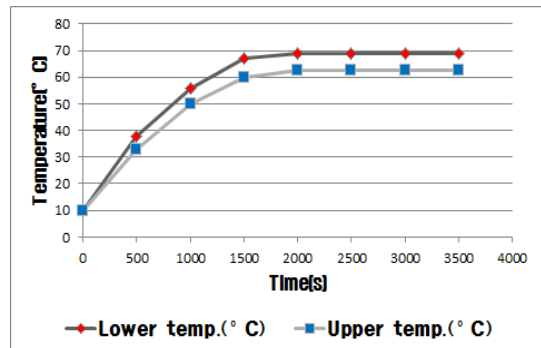


Fig. 6 Temperature distribution diagram in case of the control temperature 59°C

3.1.3 건조장치 상부온도 58℃ 제어 시험

Fig. 7의 경우는 건조장치 상부온도 설정을 58℃로 했을 때의 시간대별 온도 변화를 측정된 결과로서, 여기서는 상·하부 온도가 일정온도에 도달하기까지의 시간이 약 1,300초이었으며, 상부온도는 평균 60.08℃, 하부온도인 경우는 평균 65.28℃로 나타났다. 그리고, 2개 시험장치 내부에 공히 식품 건조기 적정온도인 60~70℃에 근접하였으나, 건조시킬 시료를 넣지 않은 상태를 감안하면 상부 평균온도가 다소 낮은 결과로 해석되었다. 따라서 이와 같이 온도 제어기로 건조장치 상부온도를 60℃, 59℃, 58℃ 등의 3종류로 제어한 상태에서의 건조장치 시험의 결과, 59℃에서의 제어시험의 결과가 가장 적정하다고 판단되었다.

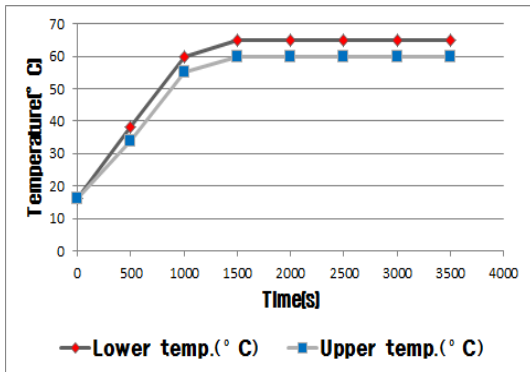


Fig. 7 Temperature distribution diagram in case of the control temperature 58℃

3.2 식품건조 온도 시험

3.2.1 바나나 시료 건조시험

Fig. 8은 함수율 약 28%인 바나나 시료 (두께 2mm, 시료량 200g)에 대한 건조시험을 행한 결과로서, 시험방법은 건조시킬 시료를 넣지 않은 상태에서 측정 평균온도가 식품 건조기 내부 적정 온도 60~70℃에 가장 근접했던 경우인 3.1.2와 동일한 방법으로 행하였으며, 시험 결과, 그림에서와 같이 일정온도 도달시간은 약 1,000초로 다소 앞당겨졌는데, 이는 바나나 시료 자체의 열 흡수율에 기인한 것으로 사료되며, 하부온도는 평균 68.88℃, 상부온도는 61.62℃로 나타났다. 아울러

바나나의 건조는 약 2,400초 정도에서 잘 진행되었으나, 시험 중간에 건조장치 상부에 결로 현상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결로 현상의 발생 원인은 일반 식품 건조기의 경우, 상부가 다공의 형태로 되어 있어 외기와 소통되는 구조인 반면에, 본 시험 장치의 경우는 외기와 소통이 원만하지 못했던 것으로 사료되어, 본 연구에서도 시험장치 측면 상부에 천공을 한 후 재시험을 행하기로 하였다.

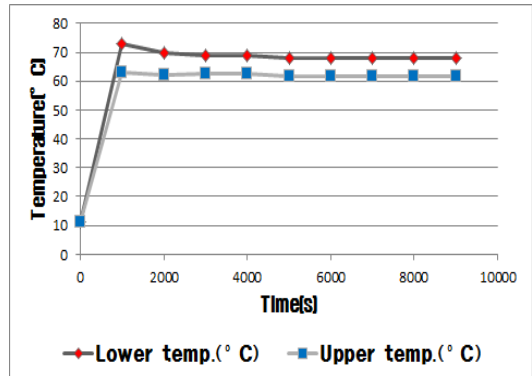


Fig. 8 Drying test on banana sample (thickness 2mm)

3.2.2 천공 1개(5mm), 온도 59℃ 제어 시험

Fig. 9는 건조기 장치 상단의 측면 중앙 부분에 5mm 홀 1개를 천공한 후, 3.2.1의 경우와 동일 함수율 및 시료량의 바나나 시료에 대한 1차 시험을 행한 결과이다. 건조장치 상부의 온도제어는 3.2.1

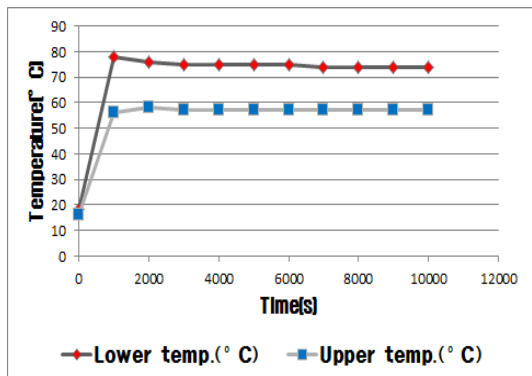


Fig. 9 Drying test on banana sample in case of one hole (5mm)

의 경우와 동일하게 59℃로 하여 시험하였으며, 아울러 다수의 반복 온도시험에 의한 온도센서 정밀도 저하를 대비하여 센서 위치를 재 변경하여 시험하였다. 시험 결과, 그림에서와 같이 상부 온도가 평균 57.24℃로 나타나 식품건조 시간이 더욱 길어질 것으로 사료되었으며, 이 시험에서도 결로 현상의 제거는 거의 변화가 없는 상태로 나타났다. 따라서 동일한 홀의 직경으로 개수를 증가시켜 가면서 수회 시험한 결과, 홀을 5개로 하였을 때 결로현상이 현저하게 줄어드는 것을 확인할 수 있었으나, 완전한 제거는 이루어지지 않았다. 아울러 온도 제어기 제어온도도 61~62℃로 하여 시험을 해 보았으나 건조기 내부온도분포에서 상부온도가 다소 적합하지 않게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3.2.3 천공 7개(5mm), 온도 62℃ 제어 시험

Fig. 10은 5mm 홀을 7개 천공한 후, 건조장치 상부 온도의 제어온도를 62℃로 제어한 상태에서의 3.2.1과 동일 함수율 및 동일 양의 바나나 시료에 대한 시험 결과를 나타내었다. 그림에서와 같이 시험 적정온도에 도달하는 시간은 약 2,000초로 나타났으며, 아울러, 최적의 바나나 시료의 건조 시간은 약 6,500~7,000초 사이가 가장 적당하였으며, 이후는 지속적으로 건조가 심화되는 것으로 조사되었다. 그리고 식품 건조기 내부 건조 온도분포도 60~70℃로 적정하였으며, 결로 현상도 나타나지 않았다. 그리고 Fig. 11에서는 바나나 시

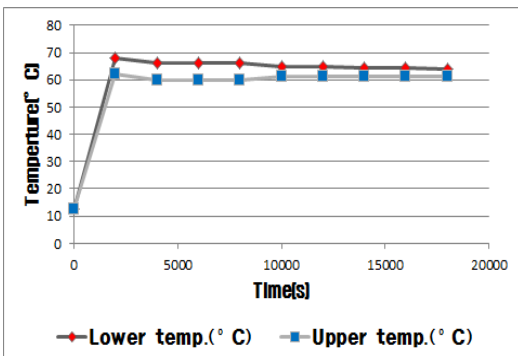


Fig. 10 Drying test on banana sample in case of seven holes (5mm)

료가 아닌 함수율 약 80%의 사과시료(두께 3mm, 200g)에 대하여 시험한 결과를 나타낸 것으로서, 시험방법은 3.2.3의 경우와 동일한 방법으로 행하였다. 시험 결과, Fig. 11에서와 같이 식품 건조기 내부 건조온도 분포는 60~70℃이었으며, 시험 적정온도에 도달하는 시간도 약 2,300초로 나타나 적정하다고 사료되었다. 그리고 건조 진행 중의 약 8,000초까지는 식품 건조기 중앙부에만 습기가 제거되었고, 그 이외의 부위에서는 미세하게 습기가 나타났으며, 약 10,000초에서 11,000초 사이에서 가장 적당한 건조 상태가 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

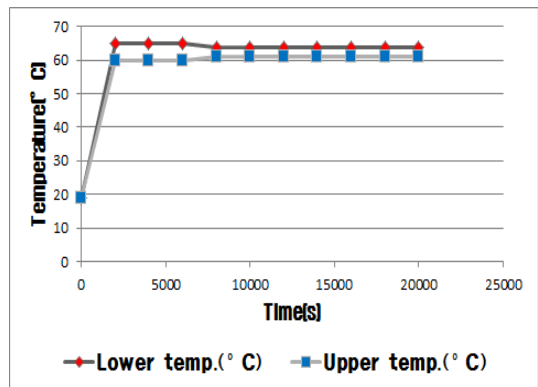


Fig. 11 Drying test on apple sample in case of seven holes (5mm)

4. 결 론

현재 전 국가적으로 전력생산의 많은 부분을 차지하고 있는 화석연료를 줄이기 위해 지속적인 노력을 가하고 있는 있으며, 특히 에너지 절약을 유도하기 위하여 다양한 절전기기들을 양산하고 있는 추세이다. 그러나 현재 실용되고 있는 가정용 식품 건조기는 고발열원인 니켈크롬 히터를 사용함으로써, 그 소비전력이 약 500Wh(본 연구의 경우 120Wh)로 높으며, 사용 건조시간도 바나나 시료 200g 건조시, 약 5시간(본 연구의 경우, 약 2시간)이 소요되는 것으로 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 소비전력이 낮은 PTC 발열체를 적용하여 가정용 식품 건조기 발열원으로서의

활용 가능성에 관한 기초시험을 행하여 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. PTC 발열체를 3조(약 120W)로 하여 0.5[W] 저전력 강제 송풍방식을 채택하고 알루미늄 방열 구조를 통하여 시험한 결과, 식품 건조기 발열원으로서의 역할을 대체할 수 있을 것으로 사료되었다.

2. 바나나 시료의 경우, 제어 온도를 62℃로 제어하면서 시험장치에 5mm 홀을 7개 천공하여 외기와 통로가 마련되었을 때, 식품 건조기 내부 건조 온도분포가 60~70℃로 나타났으며, 결과 현상도 해결할 수 있었다.

3. 아울러 최적의 바나나 시료의 건조 시간은 약 6,500~7,000초 사이가 가장 적당하였으며, 이후는 지속적으로 건조가 심화되는 것으로 조사되었다.

4. 사과 시료의 경우, 식품 건조기 내부 건조 온도분포는 60~70℃로 나타났으나, 식품 건조기 및 습기 제거에 관한 부분에서는 심층연구가 더 필요한 것으로 사료되었다.

상기와 같은 연구 결과로 보아, 본 연구가 더욱 더 심층 연구되어 실용화될 경우, 안심할 수 있는 건강 먹거리를 제공할 뿐만 아니라, 소비전력을 낮춤으로써 국가 경제를 이롭게 할 수 있는 결과로 나타날 수 있을 것으로 사료되었다.

References

1. D. J. Kim, 2013, "Numerical Analysis of the Internal Air Flow of Heat Pump Food Dryer", International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 6, pp. 1229-6422.
2. Y. S. Kim, J. M. Seo and J. Y. 2014, "A Case Study on the Quality Evaluation of the Leading Small Domestic Appliances in the Global Market - Focusing on the Food Dehydrator", Journal of the Korean Society for Quality Management, Vol. 42, No. 2. p. 253.
3. L. G Kim and et al., 1998, "A numerical study on the performance of a heat pump assisted dryer", Journal of The Korean solar energy society Vol. 18, No. 2, pp. 91-104
4. J. Y. Gong, Y. J. Lee and D. Y. Kim, 2011, "Power control of PTC heating element using variable AC Cycles", The Korean Institute of Signal Processing and Systems, Vol. 12, No. 4. p. 355.
5. Y. S. Jeon, H. H. Shin, D. J. Yoo and S. O. Yoon, 2003, "Electrical Resistivity and NTC /PTC Transition Point of a Nitrogen-Doped SiC Igniter, and Their Correlation to Electrical Heating Properties", The Korean Ceramic Society, Vol. 49, No. 1, p. 124.
6. kudra and Arun S. Mujumdar, 2007, "advanced drying technologies", pp. 40-41.
7. Y. K. Eom, et al., 2006, "Flow analysis to develop uniform thermal flow distributions of the box type dryer for agriculture products", Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration, Vol. 18, No. 1, pp. 7-16.
8. P. Juen, 2013, "Effect of Re-oxidation on the Electrical Properties of Muti layered PTC Thermistors", The Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 26, No. 2, p. 89.
9. J. K. Lim, 2009, "Improving quality of agricultural electric dryer", National Academy of Agricultural Science, Rural development administration, pp. 22-77.
10. S. H. Kim, 2013, "A Study on the Enhancement of Cooling Efficiency for the Cabinet of Automatic Controller in the Interior of Industrial Building", Journal of Korean Society for Power System Engineering, Vol. 17, No. 6, pp. 79-87.