

마이크로파를 이용한 농산물 건조기 개발

Development of Microwave Dryer for Agricultural Products

조광환*, 윤홍선*, 오병기*, 정 훈*, 김유호*
정희원 정희원 정희원 정희원 정희원
K.H.Cho H.S.Yun H.Chung B.G.Oh Y.H.Kim

1. 서 론

대부분의 농산물은 열풍에 의하여 건조되고 있어 건조시간이 길고, 건조중 고온의 열풍에 장시간 노출되므로 색택, 성분, 맛, 향 등 품질이 저하되고 있어 농산물의 고품위 건조 및 건조시간 단축을 위한 새로운 건조기술의 개발이 요구되고 있다. 특히, 황기, 당귀 등의 약용작물은 건조중 고온에 의한 약효성분 저하 및 갈변 등에 의하여 품질이 저하되고 있다.

최근 일본에서는 농산물의 고품질 건조를 위하여 제습건조 및 원적외선건조 등 새로운 건조기술을 이용한 벼, 표고버섯 등의 건조기가 개발되어 실용화단계에 이르고 있다.

마이크로파가열은 피가열물 자체가 발열체가 되어 물질의 내·외부가 동시에 가열되기 때문에 열풍에 의한 가열보다는 가열속도가 빠르고, 열손실없이 물질을 높은 효율로 가열할 수 있어 식품의 가열뿐만아니라 최근에는 공업적인면에서 많은 이점이 있어 식품의 살균 및 건조, 의약품 및 목재의 건조 등에 널리 이용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 마이크로파가열건조기술을 농산물건조에 도입하고자 상용규모의 건조기를 제작하여 표고버섯, 황기, 당귀 등을 건조한후 건조성능 및 색택, 약효성분 등 건조후의 품위에 대하여 검토하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시작기 제작

시작기는 건조상자가 순환되면서 피건조물이 마이크로파가열실에서 1차가열된후 전기히터에 의하여 온도가 조절된 열풍실에서 2차건조되도록 제작하였다. 그림1에 건조기의 구조를 나타낸다.

마이크로파가열실은 건조상자 1개가 들어갈 수 있는 크기로 발진주파수 $2,450 \pm 30\text{MHz}$, 출력 0.7kW 의 마그네트론 2개에서 발진된 파를 도파관으로 가열실에 유도하였다. 마이크로파가 건조상자위의 피가열물에 균일하게 조사되도록 도파관의 말단부에 35rpm 의 휠을 부착하여 파를 교란시켰다. 또 마이크로파조사중에는 마이크로파가 가열실밖으로 새어나가지 않도록 건조상자출입구쪽에 공기실린더를 이용한 샷터로 차단시키도록 제작하였다.

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

조곡선과 건조중 재료의 온도를 열풍60℃건조시와 비교하여 그림7 및 8에 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 마이크로파와 열풍을 병행하여 건조함으로써 초기함수율이 64%정도의 황기가 20여시간에 20%정도까지 감소하였으나 열풍건조시는 33%까지 밖에 건조되지 않았으며 20%이하까지 건조하기에는 10여시간 더 걸렸다. 건조중의 재료의 온도는 열풍건조시에는 건조시간이 경과함에 따라 점점 증가하여 35℃정도까지 상승하였으나 마이크로파가열건조에서는 건조초기에는 40℃정도 상승한후 열풍에 노출되어 초기온도가 높아짐에 따라 건조말기에는 60℃를 넘었다.

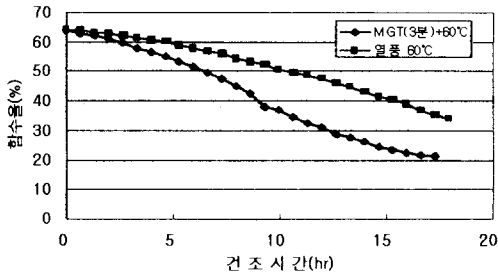


그림7. 황기의 건조곡선

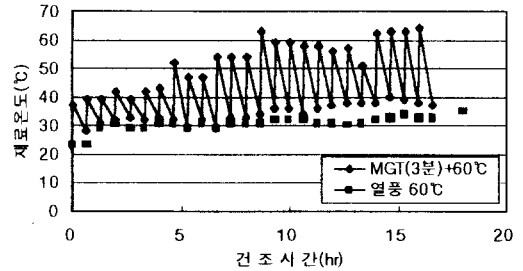


그림8. 황기의 건조중 온도변화

그림9 및 10에 마이크로파조사시간을 사이클당 3분으로 하고 열풍온도를 60℃로 하였을 때의 당귀의 건조곡선과 건조중 재료의 온도를 열풍60℃건조시와 비교하여 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 초기함수율이 73%정도 이었던 당귀를 마이크로파와 열풍을 병행하여 건조함으로써 15%까지 건조하는데 약 33시간 소요되었으나 열풍건조에서는 48%정도까지 건조되지 않아 건조시간을 20여시간 단축시킬 수 있었다. 이때 건조중 온도는 표고버섯이나 황기와는 달리 재료의 온도가 상당히 상승하여 건조말기에는 70℃를 넘었는데 이는 당귀의 굵기가 굵어 열풍실에 노출되어도 표고버섯이나 황기보다 늦게 온도가 떨어져 재가열시의 초기온도가 높았기 때문이다.

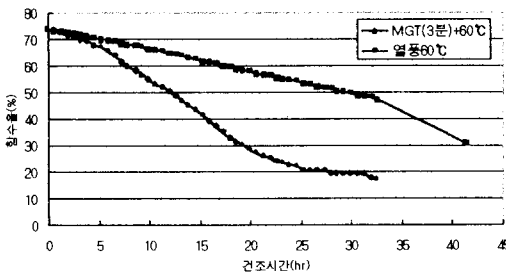


그림9. 당귀의 건조곡선

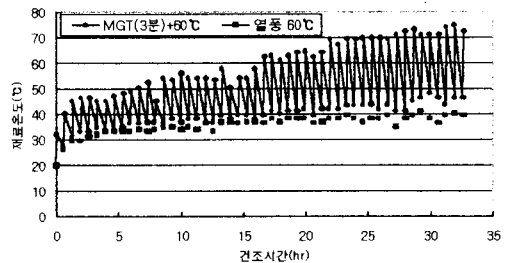


그림10. 당귀의 건조중 온도변화

라. 건조품위

표1에 건조후의 색도, 주요약효성분에 대하여 나타냈다. 표에서 알 수 있듯이 건조후의 색

이크로파에너지를 최대로 이용하여 최대의 가열효율을 얻기 위하여는 가열실내의 물의 양을 3,000cc이상으로 하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

나. 건조상자당 재료의 적정 투입량

물부하시험결과 본 건조기의 가열실에서 조사된 마이크로파에너지를 최대로 이용하여 최

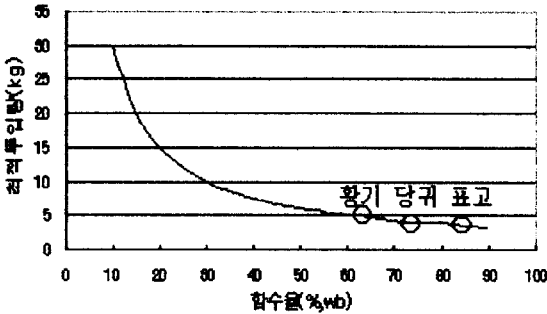


그림4. 함수율별 적정투입량

대의 가열효율을 얻기 위하여는 물의 양을 3,000cc이상으로 하여야 하므로 물의 양이 3,000cc가 되는 재료의 양을 함수율별로 계산하면 그림4와 같다. 따라서 본 연구에서 공시재료로 사용한 표고버섯, 황기, 당귀의 초기함수율은 각각 85, 65, 75%w.b.정도로 초기투입량은 각각 3.5 4.6, 4.0kg정도가 적당하나 건조가 진행됨에 따라 함수율이 저하되므로 그 이상으로 투입하는 것이 바람직할 것이다.

다. 건조성능

마이크로파조사시간을 사이클당 2분으로 하고 열풍온도를 60℃로 하였을 때 표고버섯의 건조곡선 및 건조중 재료의 온도를 열풍건조와 비교하여 그림5 및 6에 나타냈다. 그림에서 보는바와 같이 마이크로파와 열풍을 병행하여 건조함으로써 열풍건조시 33시간 소요되는 표고버섯을 20시간으로 단축시킬 수 있었다. 건조중의 재료의 온도는 건조가 진행됨에 따라 초기온도가 20℃정도 이었던 재료가 열풍 60℃건조시에는 건조마무리단계에서 36~38℃까지 서서히 상승하였으나 마이크로파가열건조시에는 건조초기에는 마이크로파조사직후 35~38℃까지 상승하여 온도상승폭이 적었으나 건조말기에는 52~56℃까지 상승하여 함수율이 낮아짐에 따라 온도상승폭이 컸다. 이는 물부하시험에서 나타낸바와 같이 가열실내의 부하가 적어 온도상승폭이 크게 된 것이다. 따라서 수분제거에 많은 에너지가 소요되는 건조말기에 마이크로파와 열풍을 병행하여 건조하는 것이 효과가 큰 것으로 나타났다.

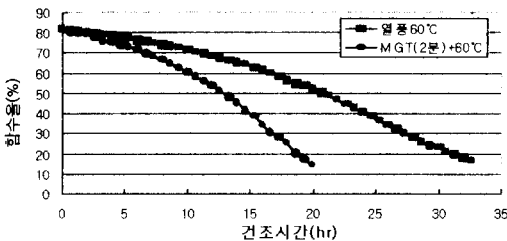


그림5. 표고버섯의 건조곡선

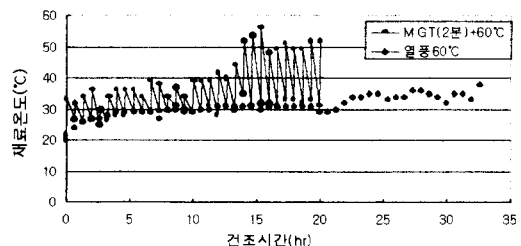


그림6. 표고버섯의 건조중 온도변화

마이크로파조사시간을 사이클당 3분으로 하고 열풍온도를 60℃로 하였을 때의 황기의 건

외선방사온도계로 물의 온도를 측정하여 물에의 마이크로파 전달량 및 전달효율을 계산하였다.

(2) 건조시험

건조시험은 20개의 상자가 모두 1번순환하는 것을 1사이클로 하여 1사이클시간을 40분으로 하고 사이클당 마이크로파 조사시간을 2~3분, 출력을 1.4kW, 열풍실의 온도를 20, 40, 60℃로 설정하여 건조시험을 수행하였으며 1회건조시의 공시량은 상자당 5kg을 기준으로 2개의 상자에 넣은후 1상자는 마이크로파조사구로 다른 1상자는 비교시험을 위해 열풍건조구로 하였다. 건조중의 함수율은 상자당 3개씩을 샘플로하여 매사이클마다 시료가 가열실로 들어가기전에 무게를 측정하였다가 건조가 끝난후 공기오븐법에 의하여 최종함수율을 측정하여 환산하였으며, 시료의 온도는 매사이클마다 가열전후의 온도를 적외선방사온도계로 측정하였다.

(3) 품위분석

건조후의 품위를 표고버섯은 색도, 황기 및 당귀는 색도와 주요 약효성분에 대하여 조사하였다. 색도는 일정량의 시료를 분쇄기로 일정시간동안 분쇄한후 색차색차계(Minolta, CR200)로 L, a, b값을 측정하였으며, 주요 약효성분은 황기에 대하여는 Astragaloside I 함량, 당귀에 대하여는 Decursin 및 Decursinol angelate 함량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 물에의 마이크로파에너지 전달량

마이크로파 조사시간을 2분으로 하였을 때의 물의 양과 온도상승량, 물에의 마이크로파 에너지전달량 및 전달효율을 그림2 및 3에 나타냈다. 그림에서 알수 있듯이 마이크로파에너지 전달량은 물의 양이 증가할수록 증가하다가 3,000cc이상이 되면 증가정도가 둔화하여 거의 일정하게 되어 3,000cc이상이 되면 조사된 마이크로파에너지가 거의 전부 물로 전달되었다는 것을 알수 있다. 또 물의 양이 적을때는 가열실내의 부하량이 적어 조사된 마이크로파의 일부가 물에 흡수되지 않고 반사되어 소실되었거나 물의 증발에너지로 소모되었기 때문에 에너지전달효율이 낮은 것으로 사료된다. 따라서 본 건조기에서는 가열실에서 조사된 마

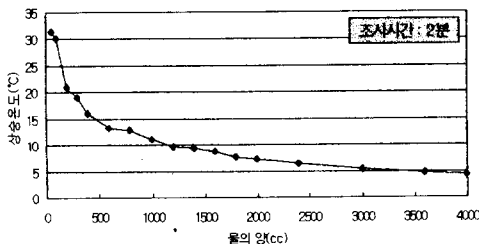


그림2. 물의 온도상승량

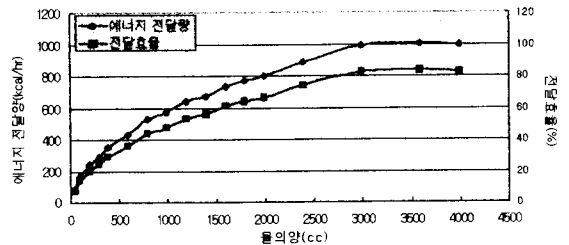


그림3. 물에의 마이크로파 전달량 및 전달효율

열풍실은 가열실을 중심으로 좌우 2개의 실로 만들어 각각의 열풍실에 10개씩 20개의 건조상자를 넣을 수 있도록 하였으며 2개의 열풍실중 1실은 서랍식으로 하여 건조상자 1개씩을 임의로 빼고 넣을 수 있도록 하였고 다른 1실은 10개의 상자가 적재되어 순환되도록 하였다.

또, 열풍실의 공기순환은 송풍팬으로 흡입하여 전기히터로 가열한후 좌우 열풍실의 뒷면에서 각층의 건조상자 상부로 송풍하여 순환되도록 하였고, 배수는 측면상부에 배풍팬을 부착하여 수동으로 하도록 하였다.

건조상자의 순환은 건조상자가 가열실내에서 가열된후 우측의 열풍실로 이동하면 열풍실의 하부에 장착되어 있는 리프터가 건조상자를 상부로 밀어 올리고 상부에 있는 로더가

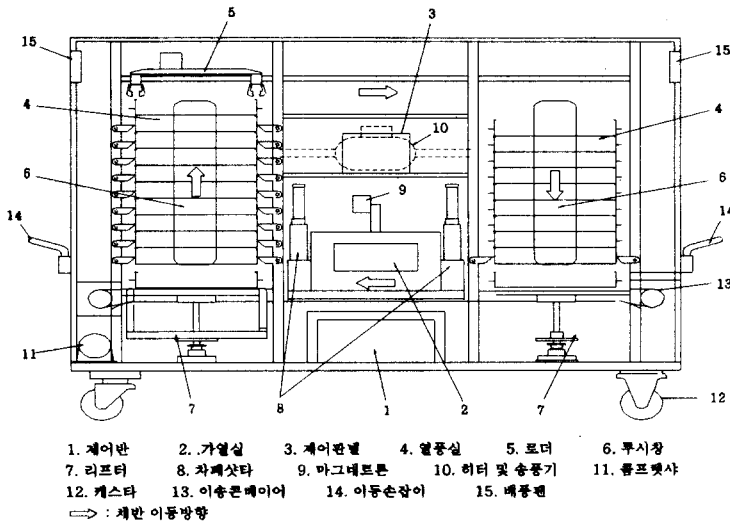


그림1. 건조기의 구조

1개의 건조상자를 핑거로 잡으면 리프터가 하향하여 나머지 상자는 하향하면서 스톱퍼에 의하여 상자별로 정렬이 되고, 로더에 의하여 좌측의 열풍실로 이동된 상자는 좌측의 열풍실 밑에 있는 리프터가 적재되어 있는 상자를 밀어올려 이동된 상자를 받아 아래로 이동시킨다. 이때 최하층의 상자는 가열실로 이동시키기 위한 이송콘베이어상에 놓이게 되고 나머지 상자는 스톱퍼에 의해 적재된 상태로 남는다.

운전은 PLC제어에 의해 마이크로파 출력 및 조사시간, 열풍실의 온도, 건조상자의 순환사이클수를 설정한후 자동운전할 수 있도록 하였다.

나. 공시재료

본 시험에 사용된 공시재료는 표고버섯, 황기, 당귀로 표고버섯은 수원근교, 황기 및 당귀는 대전지방에서 재배된 1년근을 구입하여 사용하였다.

다. 시험 및 분석방법

(1) 물부하시험

물부하시험이란 물을 피가열재로 하여 마이크로파를 조사한후 물의 온도상승을 측정한 시험으로 마이크로파가 조사되어 물질이 가열될때 가열정도는 물의 양에 따라 좌우되므로 마이크로파가열시에는 재료에 포함된 수분함량이 중요한 인자가 된다. 따라서 피가열물의 최적투입량을 결정하기 위하여 물부하시험을 수행하였다. 물부하시험은 손실계수가 물에 비하여 아주 작은 폴리에치렌용기(L16cmxW10cmxH6.5cm=1,040cm³)에 물을 넣어 가열시킨후 적

도에 있어서 표고버섯이나 황기의 경우는 기존의 열풍건조와 차이가 없었으나 당귀의 경우는 마이크로파를 병행하여 건조속도를 높임으로써 갈변이 되어 건조중 색도가 떨어지는 것으로 나타났다. 황기 및 당귀의 주요약효성분에 있어서는 황기의 경우는 주요 성분인 Astragaloside I 함량이 열풍건조시보다 높게 나타나 마이크로파를 병행하여 건조속도를 높여도 성분변화는 없는 것으로 나타났으나 당귀의 경우는 주요 약효성분인 Decursin 및 Decursinol angelate의 함량이 떨어져 마이크로파병행건조시 마이크로파 조사시간을 짧게하여 가열온도를 낮추어야 될 것으로 판단되었다.

표1. 재료별 건조후의 품위

구 분			MGT(2분) 열풍60℃	MGT(3분) 열풍20℃	MGT(3분) 열풍40℃	MGT(3분) 열풍60℃	열풍 60℃
황 기	Astragaloside I 함량(mg/100g)		-	76.17	-	80.63	60.36
	색 도	L	-	77.82	-	79.01	79.14
		a b	-	3.20 18.95	-	2.40 2.51	2.51 17.82
당 귀	Decursin함량(%)		-	-	2.74	3.24	4.22
	Decursinol angelate 함량(%)		-	-	1.92	1.88	2.76
	색 도	L	-	-	68.38	70.53	75.77
a b		-	-	2.26 15.90	2.27 15.09	0.95 13.94	
표고버섯	색 도	L	79.72	-	-	75.49	80.11
		a	2.06	-	-	2.69	2.21
		b	12.84	-	-	13.52	11.11

4. 요약 및 결론

마이크로파가열건조기술을 농산물건조에 도입하고자 상용규모의 건조기를 제작하여 표고버섯, 황기, 당귀 등을 대상으로 건조시험을 수행하여 건조성능 및 건조후의 품위를 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 마이크로파와 열풍을 병행하여 표고버섯, 황기, 당귀 등을 건조함으로써 열풍건조시보다 건조시간을 30~40%단축시킬 수 있었다.

나. 건조후의 품위를 조사한 결과 황기의 경우는 마이크로파를 병행하여 건조속도를 높여도 건조후의 색도에는 변화가 없었으나 주요약효성분이 열풍건조시보다 우수하였고, 당귀의 경우는 색도, 주요약효성분 모두 떨어지는 것으로 나타나 당귀건조시에는 마이크로파가열시간을 짧게하여 가열온도를 낮추어야 할 것으로 나타났다. 또 표고버섯의 경우 색도에는 큰 차이가 없었으나 고품질 건조를 위하여는 마이크로파가열시간을 본실험에서의 가열시간보다 약간 짧게 하여야 할 것으로 나타났다.

다. 본 시험결과 마이크로파가열건조기술의 농산물건조에의 도입이 가능할 것으로 판단되나 본 건조기의 보급촉진을 위하여는 적용대상작물을 확대하기 위한 추가시험이 요구된다.

라. 금후 건조기의 구조를 간단화하고 제어시스템을 단순화한후 현장접목연구를 통하여 건조시험 및 건조후의 품위조사를 확대할 계획이다.

5. 참고문헌

1. 宮城島 惇夫, 鈴木 洋二, 東出 福司. 1983. 마이크로波利用流動乾燥による顆粒の乾燥. 粉體工學會誌20(5):290-296.
2. 中野 浩平, 河野 俊夫, 喜田 環樹. 1996. 粳のマイクロ波乾燥に関する基礎的研究. 農業機械學會誌 58(6):13-19.
3. U.S.Shivhare, G.S.Raghavan, R.G.Bosisio. 1992. Microwave Drying of Corn. I. Equilibrium Moisture Content. ASAE 35(3):947-950.
4. U.S.Shivhare, G.S.Raghavan, R.G.Bosisio. 1992. Microwave Drying of Corn. II. Constant Power, Continuous Operation. ASAE 35(3):951-957.
5. U.S.Shivhare, G.S.Raghavan, R.G.Bosisio. A.S.Mujumdar. 1992. Microwave Drying of Corn. I. Constant Power, Intermittent Operation. ASAE 35(3):959-962.
6. J.I.Wadsworth, L.Velupillai, L.R.Verma. 1990. Microwave-Vacuum of Parboiled Rice. ASAE 33(1):199-
7. 농촌진흥청. 1990. 약초재배(표준영농교본-7).