

마이크로파 혼합건조 방식에 의한 무의 건조특성

Microwave & Hot Air Drying Characteristic of Radish

김중훈*	정진웅*	권기현*	김진주*
정회원		정회원	
J.H.Kim	J.W.Jeong	K.H.Kwen	J.J.Kim

1. 서론

UR 농산물 협상 이후 국내 농림수산물 및 가공식품 시장의 수입개방이 확대되어 생산 농어민이 직접적으로 큰 피해를 보고 있을 뿐만 아니라 국내 농산물을 원료로 사용하는 산지 가공업체도 경쟁력 확보에 어려움을 겪고 있다. 수입식품 중에서는 국내생산이 이루어지지 않아 수입이 불가피한 품목도 있고, 또한 국내의 기술수준이 뒤떨어지기 때문에 품질경쟁력에서 열위인 품목도 있지만 대다수 품목은 중국을 위시한 후발 개도국에서 낮은 기술과 저임 노동력을 이용하여 생산된 단순가공품으로서 이들 품목은 국내산에 비하여 가격은 낮지만 품질이 조악하고 안전성이 낮은 것으로 알려져 있다.

무를 건조처리하여 생산되는 무말랭이의 경우 국내산은 일반 가정에서의 반찬용으로 대부분이 사용되며, 만두속 충전용으로 소량이 사용되고 있다. 반면 중국산 무말랭이는 일반 식당의 반찬용과 시장만두의 만두속으로 사용되는데 국내산에 비해 판매가격이 약 65% 수준이기 때문에 품질이 열악함에도 불구하고 많은 양이 유통되고 있다. 따라서 국내 무 생산 농가와 산지 무말랭이 제조업체의 경쟁력을 확보하기 위해서는 건조공정의 개선을 통한 효율증대 및 생산제품의 품질을 향상시키는 노력이 요구되고 있다.

본 연구는 마이크로파를 열원으로 하여 건조실 내부는 설정한 건조온도를 유지하며 건조공기를 순환시켜 시료를 건조시키는 마이크로파 혼합건조 방식을 적용하여 새로운 무 건조공정을 검토하기 위한 기초자료로서 마이크로파 혼합건조 방식에 의한 무의 건조특성 및 건조모형을 분석하고 건조과정 중의 품질변화를 조사하였다.

+ 이 연구는 농림기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었음

* 한국식품개발연구원 특화연구본부

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

실험에 사용한 무 시료는 가락동 농수산물시장에서 구입하여 사용하였으며, 흙이 묻은 부위를 씻어서 물기를 제거하고, 가로 10mm, 세로 10mm, 길이 100mm로 절단하여 실험에 사용하였다.

나. 실험장치

마이크로파 혼합건조를 이용한 무의 건조특성을 분석하기 위하여 마이크로파 혼합건조 실험장치를 제작하였다. 그림 1은 제작된 마이크로파 혼합건조 실험장치로서 본체의 길이는 총높이 1.5m, 가로가 80cm, 세로가 60cm이며 실제적인 가용 건조실 용량은 약 10 l이다. 본 장치의 건조부에 있어서는 마이크로파 발생장치(0~750MHz), 열풍건조장치, 풍속조절장치 등이 있으며 열풍 및 마이크로파가 단독 및 조합 사용에 의해 건조시킬 수 있다. 제어부는 시료의 품온과 건조실의 온도 및 마이크로파 강도 조절이 가능하도록 하였으며, 중량 측정 시스템은 건조과정중 피건조물의 중량변화를 측정할 수 있도록 제작되었다.

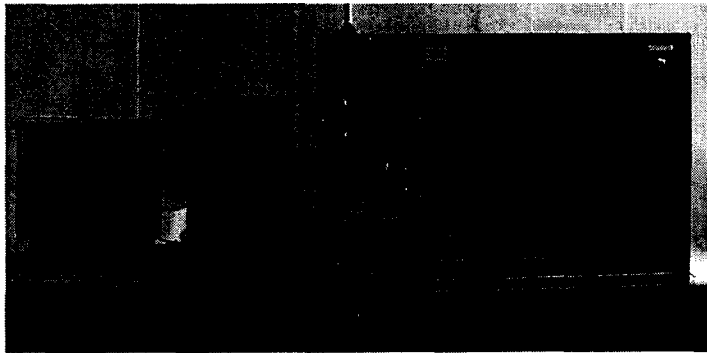


Fig. 1 View of the microwave & hot air drying system.

다. 실험방법

건조실험은 시료를 건조실 시료용기에 겹치지 않도록 한층으로 넣어 박층건조 실험을 수행하였으며, 건조 중 시료의 무게는 10분 간격으로 측정하였다. 평형함수율은 각 건조조건에서 90분 동안 중량변화가 없을 때의 수분함량으로 하였다. 건조실험은 마이크로파 강도를 조절하는 Ib값이 200(정격고주파 750W, 주파수 1500MHz), 220(정격고주파 750W, 주파수 2000MHz), 240(정격고주파 750W, 주파수 2450MHz)으로 조정하여 건조실 온도가 50, 60, 70°C에서 수행되었으며, 이때 건조실 내부의 풍속은 1.19 m/s이었다.

마이크로파 혼합건조는 마이크로파를 열원으로 하여 건조실 내부는 설정한 건조온도를 유지하며 건조공기를 순환시켜 시료를 건조시키는 방식이다. 예비실험 결과에서 마이크로파 혼합건조의 함수비 변화는 열풍건조와 유사한 형태로 나타났다. 따라서 건조방정식은 건조

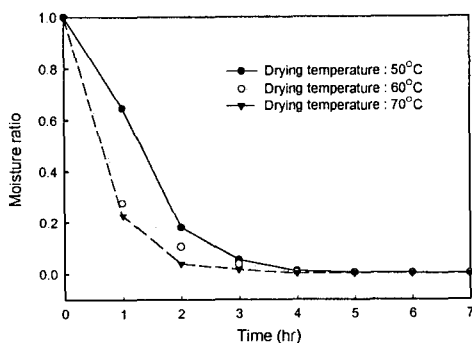
실험의 실험치를 exponential model, approximate diffusion model, Page model에 적용하여 비선형 회귀모델을 이용하여 구하였으며, 비선형 회귀모델은 통계프로그램인 SAS 6.1의 NLIN PROC를 사용하였다.

열풍건조 및 마이크로파 혼합건조 방식에 의한 건조과정 중 무 시료의 품질을 평가하기 위하여 건조방법별 건조시간에 따른 수분함량, 비체적, 갈변도, 색도, 대장균 및 총균수를 분석하였다.

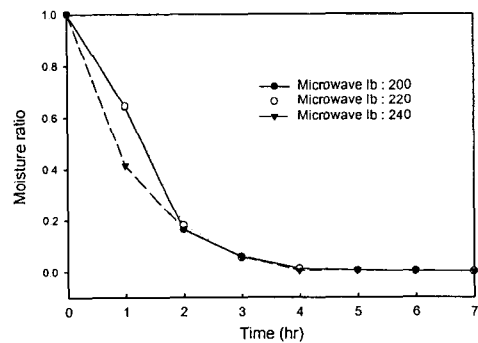
3. 결과 및 고찰

가. 건조특성

Fig. 2는 건조온도와 마이크로파 강도에 따른 무의 마이크로파 혼합건조 특성을 나타낸 것이다. Fig 2 (a)는 마이크로파 강도를 나타내는 Ib 값이 220일 때 건조시간에 대한 함수비의 변화를 나타낸 것으로 건조온도 50, 60, 70에서 건조시간 1시간에서는 0.646, 0.276, 0.226으로 나타났으며, 건조시간 4시간에서는 0.012, 0.006, 0.002로 감소하였다. 건조시간이 증가함에 따라 함수비는 지수함수적인 유형으로 감소하는 것을 알 수 있다. Fig 2 (b)은 마이크로파 강도에 따른 무의 마이크로파 혼합건조 특성을 나타낸 것으로, 건조온도가 50°C일 때 마이크로파 강도에 대한 함수비의 변화를 보여주고 있다. 건조시간 2시간 이내에서 마이크로파 강도가 함수비 차이를 나타냈을 뿐 마이크로파 강도 차이에 따른 함수비 차이는 미비한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 마이크로파 혼합건조는 마이크로파를 열원으로 사용하여 건조실 내부에 건조공기를 순환시킴으로서 마이크로파와 열풍의 혼합건조방식에 기인한 것으로 판단된다.



(a)



(b)

Fig. 2 Properties of microwave drying of radish by drying temperature and microwave intensity (a : microwave Ib 220, b : drying temperature : 50°C).

나. 건조모델

마이크로파 혼합건조방식에 의한 무의 건조속도를 예측하기 위하여 exponential model, approximate diffusion model, Page model을 적용하여 건조방정식을 구하였다. 각각의 건조모델에 대하여 적합성 검증 및 무의 적정 마이크로파 혼합건조모델 방정식을 선정을 위하여 실험치 함수비와 각 건조모델방정식에 의한 예측치를 비교, 분석하였다. 분석결과에서 exponential model, approximate diffusion model, Page model에 의한 무의 마이크로파 혼합건조모델의 이론적 예측치 함수비 값과 실험치 함수비 값의 결정계수는 각각 0.984, 0.984, 0.996으로, 개발된 모델들은 무의 건조시간을 예측하는 모델로서 적합한 것으로 판단된다. 이들 모델 중에서도 Page model에 의한 무의 마이크로파 혼합건조모델 방정식이 이론적 예측치의 함수비와 실험치 함수비의 검증모델에서 결정계수가 가장 큰 것으로 나타나 마이크로파 혼합건조시 무의 건조시간을 예측하는데 가장 적절한 모델로 판단되었다.

Table 1은 Page model을 이용하여 건조온도와 마이크로파 강도에 따른 무의 마이크로파 혼합건조모델 방정식의 결과를 나타낸 것이다. Page model을 이용한 건조모델에서 건조온도별 제곱합은 건조온도 50℃에서는 0.0003~0.0018, 건조온도 60℃에서는 0.0001~0.0003, 건조온도 70℃에서는 0.0001~0.0003으로 나타났으며, 이는 exponential model, approximate diffusion model을 적용한 모델방정식에서 나타난 제곱합 보다 낮은 값이었다.

Table 1 Models of microwave drying by Page model¹⁾

Temperature (°C)	Ib	A	B	Sum of squares
50	200	0.451206	1.923688	0.001802
	220	0.446297	1.874058	0.000936
	240	0.874543	1.077233	0.000292
60	200	1.118282	0.975947	0.000075
	220	1.280047	0.848728	0.000158
	240	1.209585	0.861929	0.000377
70	200	1.304334	1.222988	0.000266
	220	1.489404	1.074371	0.000101
	240	1.450176	1.170908	0.000159

1) Page model : $MR = \exp(-A \cdot t^B)$

Fig. 3은 Page model에 의한 무의 마이크로파 혼합건조모델의 이론적 예측치 함수비와 실험치 함수비를 비교한 결과를 나타낸 것이다.

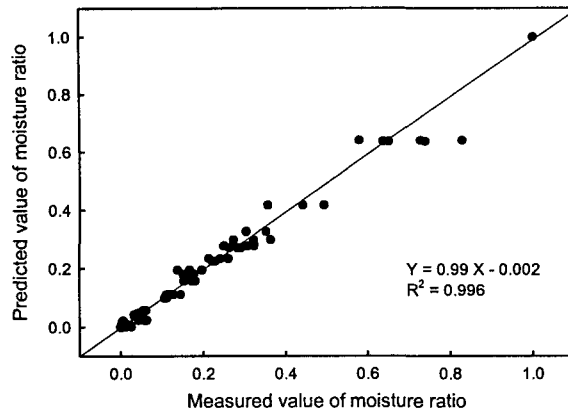


Fig. 3 Verification of microwave drying model of radish by page model.

다. 품질특성

1) 수분함량 및 비체적

마이크로파 혼합건조와 열풍건조를 이용하여 무를 8시간 건조하는 동안의 건조 방법에 따른 수분함량과 비체적의 변화를 Table 2에 나타내었다. 건조 시간이 증가함에 따라 수분함량의 감소와 함께 무의 비체적은 현저히 증가되었는데, 건조방식간에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 건조시간대 별로는 수분함량의 감소가 가장 현저했던 건조 4시간일 때 비체적도 현저히 증가하는 것으로 나타났으며 이는 급격한 수분함량 감소로 인해 세포조직 붕괴로 인해 수축현상이 심하게 일어났기 때문으로 생각된다.

Table 2 Moisture content and specific volume of radish as influenced by drying time

Drying time (hours)	Microwave drying		Hot air drying	
	M.C. ¹⁾	S.V. ²⁾	M.C.	S.V.
0	95.65	1.03	95.65	1.03
2	86.02	1.24	69.41	1.27
4	14.75	1.69	13.90	1.72
6	12.26	1.73	12.55	1.74
8	10.32	1.80	10.19	1.81

¹⁾ M.C. : moisture contents ²⁾ S.V. : specific volume

2) 갈변도 및 색도

채소류는 건조 공정 중 건조 조건에 의해서 많은 물리화학적 변화가 유발되어 품질에 영향을 미치게 되는데, 이 중 화학적 변화에서 문제가 되는 것은 maillard 반응이나 지질의 산화, 색소의 산화 등으로 인한 갈변현상이다. 이러한 갈변현상은 건조 식품의 고유의 색택에 영향을 미치게 되는 중요한 인자이므로, 건조방법을 달리한 무의 건조시간별 갈변도 및 색도의 변화를 관찰하여 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 건조시간이 증가함에 따라 무의 갈변도는 현저히 증가하였으며, 마이크로파 혼합건조가 열풍건조보다는 건조시간이 동일할 때 갈변도의 변화가 적은 것으로 나타났다. 색도의 변화를 살펴보면, 건조시간이 증가함에 따라 두 건조방식 모두 명도는 감소하고 적색도와 황색도는 증가하는 경향을 보였다. 특히 건조시간이 증가함에 따라 전체적인 색차를 나타내는 ΔE 값 또한 증가하는 경향을 보였으며, 각 건조 시간별로 비교해 볼 때 건조 4시간까지는 열풍건조를 이용한 무말랭이에서 ΔE 값이 낮게 나타났다. 그러나 건조 시간이 6시간 이상으로 길어지면 오히려 마이크로파 혼합건조가 외관 색도에 있어 더 안정한 것으로 나타났다.

Table 3 Color and browning degree of radish as influenced by drying time

Drying type	Drying time (hr)	Degree of browning (absorbance at 420 nm)	Color ¹⁾			
			L	a	b	ΔE
Microwave drying	0	0.004	77.86	-0.77	3.38	-
	2	0.075	76.69	3.09	25.29	22.28
	4	0.113	67.44	3.30	25.73	24.99
	6	0.185	65.46	3.61	25.43	25.67
	8	0.218	79.89	0.47	21.20	17.98
Hot air drying	0	0.004	77.86	-0.77	3.38	-
	2	0.134	77.47	0.40	19.93	16.60
	4	0.197	68.83	3.98	25.23	24.11
	6	0.208	65.80	4.15	28.25	28.07
	8	0.242	60.08	5.88	28.26	31.29

1) L : lightness, a : redness, b : yellowness, ΔE : Color difference

3) 미생물 변화

마이크로파 혼합건조 및 열풍건조를 이용한 무의 건조시간에 따른 미생물의 변화를 Table 4에 나타내었다. 무의 초기 총 생균수는 5.50×10^3 이었으며, 마이크로파 혼합건조는 건조 2시간만에 1 log cycle이 감소된 것으로 나타났고, 2시간 이후부터는 건조시간 증가에 따라 균이 감소하긴 했으나 현저한 차이를 보이지는 않았다. 열풍건조를 이용하여 건조한

무에서는 총 생균수가 건조 6시간에 1 log cycle이 감소되어 마이크로파 혼합건조보다는 감균효과가 적은 것으로 나타났다. 대장균군수에 있어서 마이크로파 혼합건조는 초기 8.50×10^2 에서 건조 2시간만에 완전히 사멸되어 탁월한 감균효과를 볼 수 있었으며, 열풍건조 방식으로 건조한 무에서는 건조시간이 증가함에 따라 대장균군의 수가 서서히 감소하여 건조 6시간에는 균이 검출되지 않았다. 따라서 건조방식별로 비교해 볼 때 무의 건조 시 마이크로파 혼합방식이 열풍건조 방식보다는 미생물 감균효과가 더 뛰어난 것으로 나타났다.

Table 4 Total viable and coliform count of radish as influenced by drying time
(Unit : CFU / g)

Drying time (hours)	Microwave drying		Hot air drying	
	Total viable	Coliform	Total viable	Coliform
0	5.50×10^3	8.50×10^2	5.50×10^3	8.50×10^2
2	5.20×10^2	N.D.	5.35×10^3	4.00×10^2
4	3.25×10^2	N.D.	4.05×10^3	2.15×10^2
6	2.25×10^2	N.D.	5.70×10^2	N.D.
8	1.00×10^2	N.D.	1.40×10^2	N.D.

N.D. : $< 10^1$ CFU/g

4. 요약 및 결론

본 연구는 열풍 및 마이크로파 혼합건조 방식을 적용하여 새로운 무 건조공정을 검토하기 위하여 열풍 및 마이크로파 혼합건조 방식에 의한 무의 건조특성 및 건조모형을 분석하고 건조과정 중의 품질변화를 조사하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 무의 건조특성에서 건조시간에 대한 함수비의 변화는 건조시간이 증가함에 따라 함수비는 지수함수적인 유형으로 감소하는 것으로 나타났으며, 건조온도가 함수비 변화에 미치는 영향을 보면 감률건조 기간에는 건조온도가 높을수록 함수비의 감소폭이 큰 것으로 나타났으며, 건조 후반기에는 건조온도에 따른 함수비 변화의 차이가 미비하였다.

2) 열풍 및 마이크로파 혼합건조 방식에 의한 무의 건조속도를 예측하기 위하여 exponential model, approximate diffusion model, Page model을 적용하여 건조방정식을 개발하였으며, Page model에 의한 무의 마이크로파 혼합건조 방정식이 예측치 MR 값과 실험치 MR 값의 결정계수가 0.996으로 가장 큰 것으로 나타나 생강의 건조시간을 예측하는데 가장 적절한 모델로 판단되었다.

3) 열풍 및 마이크로파 혼합건조방식에 의한 건조과정 중 무의 품질평가를 위하여 건조과정 중의 수분함량, 비체적, 갈변도 및 색도, 대장균 및 총균수 등을 분석하였다. 건조 시간이 증가함에 따라 수분함량의 감소와 함께 비체적은 현저히 증가되었는데, 건조방식간에는

큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 건조시간이 증가함에 따라 갈변도는 현저히 증가하였으며, 열풍 및 마이크로파 혼합건조가 열풍건조보다는 건조시간이 동일할 때 갈변도의 변화가 적은 것으로 나타났다. 미생물의 분석결과에서는 열풍 및 마이크로파 혼합방식이 열풍건조 방식보다는 미생물 감균효과가 뛰어난 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. Byun, M. W., I. S. Lee, K. H. Lee, H. S. Yoon, K. O. Kang. 1999. Changes of Ascorbic Contents Induced from Gamma Irradiation, Heating and Microwave Treatments. Korean J. Food Sci. Technol. 28:954-1907. (In Korean)
2. Giese, J. 1992. Advances in Microwave Food Processing. Food Technol. 46.
3. Kum, J. S., K. J. Park, C. H. Lee, and Y. H. Kim. 1999. Physicochemical Properties of Korean Ginseng Dried with Lower Power and Pulse Microwave. Korean J. Food Sci. Technol. 31:122-243. (In Korean)
4. Lee, D. S., and Y. R. Pyun. 1998. Kinetics Determination of Quality Changes for the Optimization of Food Dehydration. Korean J. Food Sci. Technol. 20(2):272-279. (In Korean)
5. Lee, J. H. and H. K. Koh. 1996. Drying Characteristics of Garlic. J. of the Korean Society or Agricultural Machinery 21(1):72-83. (In Korean)