

마이크로파-감압건조법을 이용한 식품제조 기술 및 장치

정 태 연
공정개발연구팀

1. 서 론

마이크로파-감압건조법은 마이크로파에 의한 가열과 감압건조법을 조합시킨 것으로 각각의 특징으로부터 식품에 적용시킬 수 있는 건조법의 하나라고 할 수 있다.

마이크로파 가열의 가장 큰 특징은 건조되는 물질이 외부로부터 열이 전도되는 것이 아니라 건조되는 물질 자체가 발열체가 되는 것이다. 반면, 진공건조와 같은 감압건조법의 큰 특징은 압력저하에 의한 수분의 비등점 강하를 들 수 있다. 이들의 장점들을 합하여 식품의 건조에 응용하므로써 ① 단백질의 변성, 비타민의 파괴를 감소시킬 수 있으며, ② 향기 성분의 손실을 막고, ③ 색소의 파괴를 최소화하는 이점 등이 있다고 보고되었다.

마이크로파 가열은 일반 가열에 비해 빠른 처리 속도, 적은 소요 에너지량, 신속하고 정확한 공정 조절 등과 같은 월등한 장점을 가지고 있으며, 이중 처리속도가 가장 대표적인 특징이라 할 수 있다. 특히 마이크로파 에너지는 식품의 표면을 투과하여 식품 내부를 매우 신속하게 가열할 수 있으므로 식품의 맛, 냄새, 조직감, 영양가 등에 대하여 최소한의 영향을 미치게 된다. 현재 식품산업에 있

어서 마이크로파 에너지는 cooking, tempering, baking, 해동, 건조, 및 살균(또는 멸균) 공정 등에 사용되고 있으며, 그 응용 범위도 계속적으로 확대되고 있다. 마이크로파가 가장 커다란 장점을 제공하는 식품가공 분야는 바로 건조 분야이다. 왜냐하면 건조공정에서 건조속도는 매우 중요한 작용을 하며, 이 속도는 부여된 건조 조건에 비례하는데 건조속도를 증진시키기 위하여 많은 에너지와 급격한 온도 증가를 요구하게 된다. 또한 열전달이 내부까지 전달되는 양과 속도는 전도율과 깊은 관계가 있으므로, 기존의 건조공정에서 제품 표면의 온도가 증가하게 되면 열에 의한 손상을 입게 된다. 그러므로 열 전도율이 낮은 야채류 특히 기공이 많은 식품들은 건조 공정이 매우 길어지고 이로 인한 품질의 저하를 초래하지만, 마이크로파를 이용하면 쉽게 건조시킬 수 있다. 특히 마이크로파는 감압건조단계(falling rate period of drying)에서 열전도가 더 효과적이므로 건조속도를 가속화시킬 수 있다.

진공 건조는 식품이 손상을 입는 것을 막아주어 품질을 향상시키는데 기여한다. 그래서 이러한 건조 기술은 온도 또는 산화에 민감한 제품, 또는 기계적 부하를 견디지 못하는 제품에 우선적으로 적

용하기에 적합하다. 또한 분말같이 먼지를 발생시킬 수 있는 매우 가벼운 제품에도 잘 적용된다. 기술적인 진보와 소비 시장의 요구에 의해 제품 및 공정 개발은 지속적으로 연속적인 진공 건조법의 적용을 확대시키고 있다. 그 결과 이러한 기술은 공정 공학의 여러 분야에서 다른 건조 방법의 대체 공정으로 자리 잡아 가고 있다. 특히, 즉석 식품 및 스낵류 분야에서 연속 진공건조는 깜짝 놀랄만한 결과를 보여 주었다.

마이크로파-진공 건조법은 진공 건조에 마이크로파 건조를 조합하여 사용함으로써 건조시간을 단축하기 위하여 식품에 많은 에너지를 가하여야 할 경우 매우 적합한 방법이다. 특히 접착 건조가 높은 열전달율을 얻지 못할 때 더욱 유용한 건조법이다. 반건조된 제품을 진공 상태에서 마이크로파 에너지에 노출시킴으로써, 수분은 식품의 내부로부터 외부로 확산되면서 증발한다. 여러 차례 이루어진 실험 결과에 의하면, 이러한 형태의 증발은 제품을 팽창시켜 원래의 형태와 비슷한 모양으로 되돌아가는 것을 보여주었다. 최대한 안정된 형태를 유지하기 위하여 마지막 건조는 진공상태에서 행하여진다. 이러한 공정은 제품을 다공질적이고 부스러지기 쉬운 동결 건조 제품과 유사 제품으로 만든다. 그러나 이러한 경우 자본 비용이나 공정 비용 둘 다 동결 건조를 사용하였을 때 보다 더 적게 드는 이점이 있다.

2. 마이크로파-감압건조 기술 및 경제성

진공건조는 열과 산소에 민감한 재료에 주로 사용된다. 감압하에서 식품으로부터 수분의 이동은 산소 또는 질소분자에 의해 방해받지 않으며 온도는 수분의 증기압에 의해 제한된다. 증발 작용은 제품의 온도를 떨어뜨리고 건조속도는 제품에 어떠한 형태든 열이 공급되어지지 않는 한 감소된다.

진공건조의 주요 문제점은 열을 제품에 전달시키는 것이다. 열의 전도는 식품의 건조한 표면을 통하여 특히 천천히 전달되는데 이는 마치 낮은 압력

에서 기체가 매우 부적합한 열전달 매체인 것과 같다. Meisel(1978)은 이러한 공정에 마이크로파 에너지를 사용할 수 있을 것이라고 깨닫고 'Gigavac'이라는 마이크로파-진공 건조 장치를 제작하였다. 이 건조기는 오렌지, 레몬, 자몽, 파인애플, 딸기, raspberry, blackcurrant, 차 또는 허브 추출물의 농축액을 건조시키는데 사용되었다.

이 건조기는 연속 공정용으로, 건조될 제품의 액체 농축물이 테프론 컨베이어 벨트 위에 부어진다. 이 액체가 감압하에서 마이크로파에 의해 가열되어지면 40°C보다 더 낮은 온도에서 건조되는 안정된 거품의 형태를 형성한다. 파스타 건조기와는 달리 가열조건은 각각의 속도가 6kW인 총 8개의 magnetrons이 요구되며, 이들 중 두 개는 가변적이다. 적외선 센서가 거품의 온도를 모니터하고 조절하는데 사용되었다. Magnetrons으로부터 발생된 폐열을 이용하여 제품을 예열할 수도 있다. 이러한 원리를 이용하여 시간당 49Kg의 오렌지 주스 농축액을 수분함량이 35%에서 2%로 48kW 단위를 사용하여 40분에 건조시킬 수 있는 공장이 프랑스에 건설되었다.

비록 이 건조기가 마이크로파를 사용한다지만, 대부분의 수분은 오렌지 주스에서 농축액을 만들 때 이미 제거되었다. 그래서 전체적인 공정은 파스타 건조기에서 원 수분함량에 비해 적은 비율의 수분을 제거하는데 마이크로파 에너지가 사용된 것과 유사하다. 이러한 공정은 건조되는 제품이 농축물이기 때문에 휘발성 성분을 유지 보존하는 장점이 있다. 분무 건조 또는 동결 건조 둘 다 이러한 농축된 액체를 사용할 수 없으므로 에너지 요구량은 마이크로파-진공 건조보다 훨씬 크다.

마이크로파-진공 건조기를 이용하여 건조시킬 수 있는 식품들과 이러한 건조기의 장점들을 Table 1에 나타내었다. 또한 마이크로파-진공 건조기 이외에 마이크로파-열풍 건조기 및 마이크로파-동결 건조기를 이용 할 수 있는 제품들도 같이 보여주고 있다.

일반적으로 수분함량이 높은 식품(20% 이상)을

 Ⅹ 1. A summary of microwave drying processes in food and food ingredient industry

Dryer type	Product	Advantage over conventional system	
Microwave-hot air	Pasta	<ul style="list-style-type: none"> ● Floor space reduced by 2/3 to 4/5 : 36m-8.2m for pasta equipment ● Cleanup time reduced : 24h - 6h ● Production quality superior : less starch slough-off and better bite prevent surface harding and breaking enhanced color 	
	Egg yolk powder	● Drying time reduced :	
	Dry milk for babies	8h - 1.5h (pasta) 1/30 of original time (egg yolk powder) 8h - 6min (dried milk)	
	Onions	<ul style="list-style-type: none"> ● Infestation reduced : 90% ● Energy saving in final drying : 30% 	
	Tomato paste	● Moisture-levelling control of output	
	Chocolate powder	● Higher yield	
	Rice cake	● Versatility in scheduling	
	Snack food	● Lower equipment cost	
	Seaweed		
	Bacon bits		
	Microwave-vacuum	Fruit juice powder	<ul style="list-style-type: none"> ● Continuous system : saving in labor cost, energy, and operating cost ● Product reconstitutes quickly and easily ● Saving in cost/kg product vs. freeze-dried or spray-dried product ● Superior retention of flavor
		Grains(wheat, soybean, rice, rye)	● Short drying time :
40min (orange juice powder)2h - 0.5h (soybeans)			
		● Conditioner unnecessary but required in heated air system (soybeans)	
		● Safe from fire startup or dust explosions for grains	
Cotton seed		● Improvement in product quality : higher germination rates for seed grains seeds remain whole	
Yeast		● No blowing air to carry dust, clean	
Peanut		● Improved efficiency : 48% greater	
Pecan		● Better flexibility for production	
Corn		● Better versatility : different crops using same equipment	
Fruit		● Quiet	
Tomatoes			
Peppers			
Seasonings			
Protein preparations			
Meat extracts			
Plan extracts			
Instant soluble vegetable powders			
Microwave-freeze	Coffee	● Faster drying time : 12h - 6h or less	
	Beef slices	● Low cost : 47% lower	
	Vegetable pieces	● Low energy cost : 25% lower	
	Fruit	● More than double production	
	Mushroom	● Lower capital and operating costs	
	Chicken		
	Shrimp, lobster, fish slices		

마이크로파를 이용하여 건조시키는 것은 경제적이 지 못하다. 높은 수분함량에서는 기존의 건조방법이 수분을 제거하는데 마이크로파보다 훨씬 효과적이다. 이는 비록 수분이 높은 유전상수(dielectric constant)를 가지고 마이크로파를 쉽게 흡수할 수 있음에도 불구하고 수분의 비열(specific heat)도 역시 매우 높기 때문이다. 그래서 상당한 양의 마이크로파 에너지가 온도를 현저히 높이는데 요구된다. 기본적으로 기존의 건조기를 사용하는 공장이 내는 이익금은 기존 장치를 이용하여 열용량을 두 배로 늘리면 그 이익금은 약 3배가 되지만, 마이크로파 건조기를 설치하면 이익금은 거의 7.5배 증가된다.

건조기 종류에 따른 스팀 및 전기에 대한 평균 비에너지(average specific energy) 소비량이 Aigeldinger(1989)에 의해 조사되었다. 이 에너지 소비량 자료(표 2)에 의하면, 마이크로파-진공 건조는 분무건조, 드럼건조 및 진공 밴드 건조에 비하여 경제적이지는 못하지만 동결건조에 비하면 매우 경제적이다. Meisel(1978)에 의하면 연속 마이크로파-진공 건조기와 동결 건조기를 이용하여 같은 양의 오렌지 주스 파우더를 제조할 때 연속 마이크로파-진공 건조기를 사용하였을 때 보다 동결 건조기를 사용하였을 때 제조비용이 3.5배정도

더 든다고 하였다. 이러한 비교를 통하여 보면 어떤 특별한 공정에서는 마이크로파를 이용한 건조기들이 더 경제적임을 나타낸다.

3. 마이크로파-진공 건조 장치의 예

가장 최근에 개발되어 산업용으로 사용되고 있는 마이크로파-진공 건조기인 모델명 VT0850은 열에 민감한 제품의 건조 공정을 원활히 하도록 설계되었다. 이 건조기에서 가장 주요한 장치는 연속적으로 작동이 되는 투석기(dialyser)라고 불리는 건조 장치로서 플라스틱 셸(shell)과 내부 섬유류의 묽음으로 이루어졌다. 이전 공정 단계에서부터 붙어서 남아 있는 수분 및 유기용매의 잔유물은 어떠한 열도 투석기의 중간 부분에 전달되지 않게 하면서 온도가 65℃ 이하에서 마지막 부분으로부터 제거되어야 한다.

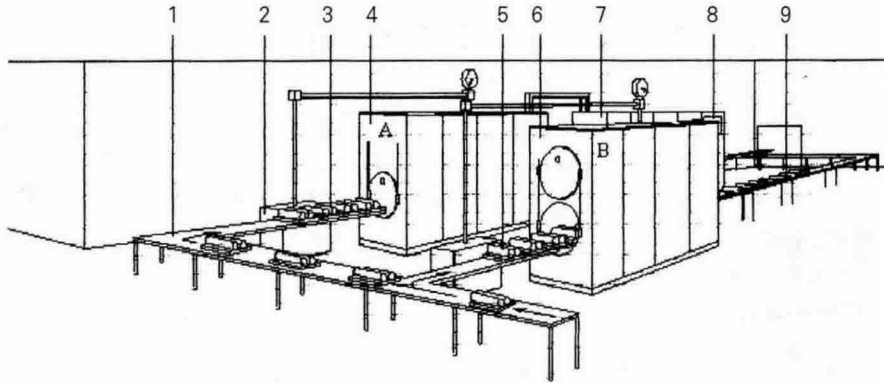
마치 연속적으로 작업하는 공장처럼 개발된 마이크로파 건조기는 통합된 전달 시스템으로 설계되었다. 플라스틱 판이 제품을 올려놓고 운반하는 도구로 사용되었다. 진공 터널로 이동하기 이전에 제품이 먼저 모아지고 나서 단혀진 형태로 터널 안으로 이동한다. 운반 매체가 진공 chamber안의 제 위치에 도달한 다음, 문은 자동적으로 닫히고 정해진 마이크로파 에너지 장이 안에서 형성된다. 그리고 제품은 2-20 mbar의 압력 하에서 건조된다. 건조하는데 소요되는 시간은 증발시켜서 제거해야 하는 수분의 함량에 따라 1분에서 5분 사이로 다양하다. 건조 공정이 진행되는 동안 다음 번에 건조될 제품은 입구 쪽에 축적된다. 평행하게 설치된 두 대의 마이크로파-진공 건조기는 시계 시간 작동 모드에 따라 선택적으로 작동한다.

4. 마이크로파-진공 건조의 응용

지금 세계가 경쟁적으로 최첨단 기술을 개발하고 있는 것과 발을 맞춰서 식품 산업계에서도 기존의 오래된 공정 방법을 개선하려고 시도하는 것은 매

표 2. Comparison of average specific energy consumption in some dryers used in the food industry.

Dryer type	Consumption/ 453.6 kg/h Evaporation		
	Steam (KG)	Electricity (KWh)	Investment (%)
Spray dryer	771-907	95	100
Drum dryer	635-771	65	90
Vacuum band dryer	272-408	36	170
Microwave vacuum dryer	136-181	110	140
Freeze dryer	227-318	230	900



- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 transfer system | 6 MW-vacuum chamber B (load cycle) |
| 2 vacuum pump | 7 power supply / control box |
| 3 blocked carrier product | for MW-vacuum chamber |
| 4 MW-vacuum chamber A (work cycle) | 8 control panel PLC control |
| 5 carrier entry | 9 dried product on carriers |

그림 1. Schematic diagram of microwave vacuum dryer VT0850

우 중요하다. 여러 식품가공 분야에서 마이크로파-진공 건조기술을 건조공정에 적용시킬 수 있는 분야는 향기성분의 캡슐화(encapsulated flavor)이다. 분무 건조법으로 캡슐화된 향기는 캡슐안에서 오일(oil)에 의해 형성된 공기주머니에 갇히는 경향이 있다. 이러한 오일 방울은 부근에 있는 산소에 의해서 산화될 가능성이 매우 높다. 그러나 마이크로파-진공 건조기를 이용하여 캡슐화된 향기를 건조함으로써 이러한 문제점을 해결하고 더욱 안정화된 향기들을 생산할 수 있다. 이러한 공정을 산업화시키기 위해서 마이크로파 건조의 역할을 밝히는 연구가 필수적으로 요구된다. 결론적으로 마이크로파-진공 건조 기술을 이용하여 식품을 제조하는 것은 고품질의 제품을 추구하는 소비자들에게 또 다른 선택의 기회를 부여할 것이다.

참 고 문 헌

- Aigeldinger, J.C. 1989. Energy saving continuous vacuum dehydration with contact or microwave heating. *Food Market and Technology*. 3(3): 53.
- Anon. 1979. The aim of efficiency combined with economy. *Food Processing Industry*. 48(575): 65-73.
- Anonymous. 1985. Processing with microwave. *Food Eng. International*. 10(10): 46.
- Attiyate, Y. 1979. Microwave vacuum drying: first industrial application. *Food Eng. International*. 4(1): 30-31.
- Cohen, J.S. and Yang, T.C.S. 1995.

- Progress in food dehydration. Trends in Food Sci. & Technol. 6(1): 20-25.
- Delwich, S.R., Shupe, W.L., Pearson, J.L., Sanders, T.H. and Wilson, D.M. 1986. Microwave vacuum drying effect on peanut quality. Peanut Science 13(1): 21-27.
- Drouzas, A.E. and Schubert, H. 1996. Microwave application in vacuum drying of fruits. J. Food Engineering. 28(2): 203-209.
- Elias, S. 1979. Microwave vacuum drying: quick, quite, clean, efficient. Food Eng. International 4(1): 32-33.
- Jayaraman, K.S. and Das-Gupta, D.K. 1992. Dehydration of fruits and vegetables - recent developments in principles and technology. Drying Technol. 10(1): 1-50.
- Lian, G., Harris, C.S., Evans, R. and Warboys, M. 1997. Coupled heat and moisture transfer during microwave vacuum drying. Journal of Microwave Power & Electomagnetic Energy. 32(1): 34-44.
- Meisel, N. 1978. Continuous microwave and vacuum dryer. U.S. Patent 4 045 639.
- Sigg, P. and Koch, A. 1995. Continuous vacuum drying: the alternative for careful product handling. Chemical Technology Europe 2(3): 32-34.
- Steel, R.J. 1987. Microwave in the food industry. CSIRO Food Res. Q. 47(4): 73-78.
- Yongsawatdigul, J. and Gunasekaran, S. 1996. Microwave-vacuum drying of cranberry. I. Energy uses and efficiency. Journal of Food Processing and Preservation 20(2): 121-143.
- Yongsawatdigul, J. and Gunasekaran, S. 1996. Microwave-vacuum drying of cranberry. II. Quality evaluation. Journal of Food Processing and Preservation 20(2): 145-156.