

Bioproducts의 건조를 위한 건조기와 건조방식의 고찰

권영안

우석대학교 식품공학과

Considerations of Dryer and Drying Method for Bioproducts Drying

Young An Kwon

Department of Food Science and Technology, Woosuk University

Abstract

Clearly, it is important to provide an overview all of the emerging drying technologies that are relevant to drying of the diverse and ever increasing numbers of bioproducts. There are a lot of different methods to dry bioproducts, but the most important thing of the bioproducts drying is the selection of dryer and drying method which is not affected to the original components of the bioproducts after drying. Moreover, conventional thermal processes in drying frequently lead to undesirable flavor and loss of desirable fresh flavor, aroma, vitamins, and essential nutrients. These negative effects on food quality can be the motivation to search a new technology and we try to emerge this new technology to conventional drying technology. Therefore, I'd like to review the emerging drying technologies and it may help to choose the dryer and drying technology for the bioproducts.

Key words: bioproducts, drying method, dryer, heat pump, microwave

서 론

Bioproducts란 화학, 의약, 식품 또는 폐기물 처리에 이용할 목적으로 생물공학(biotechnology)을 통하여 생산되는 생체 세포, 미생물 또는 효소들로 정의되어질 수 있다(Jenson, 1993). Bioproducts의 생산에 이용되는 생물공학들은 식품산업과 밀접한 관계를 가지고 있다. 이들은 현재 맛있고 영양분이 풍부하며, 편리하고 위생적인 고급 식품의 생산에 이용되고 있으며, 소비자들의 눈길을 사로잡으며, 영양 개선을 하거나, 안전한 식품을 생산하는데 이용이 될 수도 있다(John Innes Centre, 1998). 사실 생물공학의 뿌리는 고대로부터 전해지는 식품의 발효공정에서 찾아볼 수 있다. 이러한 전통 기술들은 전 세계 거의 모든 문명에서 발견되고 있으며, 전

통적 기술의 핵심은 변화 없이 수백 년에 걸쳐서 서서히 새로운 방향으로 진보하고 있다. 예를 들면, 최근의 변화로 전통적인 요구르트 제조에 있어서 유산균과 더불어 probiotic bacteria의 사용이라든지 전통적 육류 대신에 대체 육으로써 mycoprotein인 Quorn™과 같은 것을 얘기할 수 있다(John Innes Centre, 1998). 그런데, 이와 같은 bioproducts는 대부분 많은 함량의 수분을 함유하고 있으며, 생화학적 활동을 왕성하게 유지하고 있는 살아있는 세포들을 기본으로 하고 있다. 이러한 bioproducts를 단시간에 이용하지 않고 장기간에 걸쳐 이용하고자 한다면 수분을 제거한 건조 제품 형태로 저장을 할 수 밖에는 없다. 그러므로 여기에서는 bioproducts의 건조 원리와 다양한 형태의 건조 방법에 대하여 개관하고자 한다.

건조란 고체, 반고체 또는 액체상으로부터 고형물을 제조하기 위한 목적으로 수분을 제거하는 공정으로 정의된다. 어떤 bioproducts에서는 제거되어야 할 물질이 수분이 아닌 유기용매일 수도 있으며 또는 혼합물일 수도 있다. 수분을 제거하는 방법에

Corresponding author: Young An Kwon, Department of Food Science and Technology, Woosuk University, Samrye-Eup, Chonbuk 565-800, Republic of Korea.
Phone: 063-290-1440, Fax: 063-291-9312
E-mail: yakwon@woosuk.ac.kr

따라 건조공정은 직간접적 가열에 의해 수분을 제거하는 열풍건조와 수분의 동결 후 승화로 제거하는 동결건조로 크게 대별할 수 있다.

한편 생물공정을 통하여 얻어지는 제품들은 미생물 활동의 산물이며 살아있는 생물체와 깊은 연관성을 가지고 있다. 따라서 이러한 제품들의 특징 중의 하나가 이들이 매우 열에 약하다는 사실이다. 즉, 이들은 어느 특정한 온도 이상의 조건에 노출되었을 때 쉽게 손상을 받거나 denaturation되어 원래 가지고 있던 기능이 불활성화되기도 한다. 어떤 제품들은 건조과정 중에 세포벽에 가해진 기계적인 스트레스나 손상에 의해서 불활성화되기도 한다. 또한 Bioproducts는 보통 고부가가치 물질들이기 때문에 건조 비용은 품질유지 비용에 비해 부차적인 문제가 되고 있다. 따라서 품질을 유지하기 위해서라면 동결건조나 감압건조와 같이 건조 비용이 비싼 건조방법의 사용도 마다하지 않게 된다. 최근에는 이보다 조금 덜 비싼 방법인 heat pump를 이용한 건조도 실용적인 것으로 보고되고 있다.

어느 건조방법을 선택하더라도 건조의 본질은 원료로부터 수분의 제거에 있고, Bioproduct에서의 수분의 제거는 제품 내의 수분의 상태와 밀접한 관계를 가지고 있다. Bioproducts에서 일반적인 유리수 또는 자유수는 세포가 살아가는데 필요한 여러 영양소들이 녹아있는 용매로 존재하는 세포간(intracellular) 수분으로 대표되며, 결합수는 세포 자체 또는 고분자 구조물과 보통 결합되어 있는 형태로 존재한다. 이러한 수분의 역할은 기능적인 측면에서 수분활성도로 나타내는 것이 편리할 때도 있다. 즉, 저장 목적으로 할 때, 건조공정의 목적은 제품의 수분함량을 감소시키고, 이에 따른 수분활성도를 저장에 안전한 한계치 이하로 낮추는데 있다 할 것이다.

Bioproducts 품질에 미치는 건조 효과

건조제품의 품질은 열에 민감한 bioproducts를 위한 건조기와 건조과정 조건의 선택에 있어서 가장 처음 고려해야 할 문제이다. 다양한 종류의 우리가 원하지 않는 변화들이 건조과정 중에 제품에서 일어날 수도 있으며, 가장 최악의 상태는 건조 제품을 얻기는 했으나, 제품 내부의 품질 변화를 일으키는 요인들의 제거가 완전히 이루어지지 않은 경우일 수도 있다. 다음 Table 1은 다양한 bioproducts

Table 1. Possible quality changes during biomaterial drying

Material	Change type	Effect
Yeast	Biochemical	Atrophy of cells
Bacteria	Biochemical	Atrophy of cells
Molds	Biochemical	Atrophy of cells
Enzymes	Enzymatic	Loss of activity
Vitamins	Enzymatic	Loss of activity
Proteins, antibiotics, carbohydrates, fats	Chemical	Loss of activity, nutritive contents
Other	Physical/chemical/biochemical	Solubility, rehydration, loss of aroma, shrinkage

From data of Mujumdar (2003)

에서 있을 수 있는 변화와 품질에 미치는 영향을 요약한 예이다.

다양한 지표들이 건조의 결과 나타나는 품질변화를 표시하기 위해 사용되고 있으며, 이들은 명백히 제품에 따라 선택되어 진다. 간단히, 식품에 따른 지표들을 살펴보면, biopolymer들의 경우에는 이러한 지표들이 색, 물성, 관능적 성질들, 비타민 함량을 비롯한 영양가, 맛과 향들을 포함한다. 효모나 세균과 같이 살아있는 제품들이나 효소나 단백질과 같이 열에 민감하여 쉽게 불활성화될 수 있는 제품들의 경우에는 A라는 품질 지표를 분해 반응식으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dA}{dt} = f(C_i, X_i) \quad (1)$$

여기에서 C_i 는 수분함량 또는 온도와 같은 제품의 변화를 나타내는 변수들이며, X_i 는 공정변수들을 나타낸다.

공학적 정확성을 유지하면서 이 식을 간편화하는 방법으로 1차 반응식으로 가정하면 (1)식은 다음과 같다.

$$\frac{dA}{dt} = -k_d A \quad (2)$$

이 식에서 i 이며, R 은 기체상수로 $8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ 이고 ΔE 는 활성화 에너지(J/mol), T 는 절대 온도(K)이다. 이 식에 따르면 온도에서의 작은 변화가 분해 반응상수 k_d 에 큰 영향을 주게 되는데, 60~80K의 온도 변화가 분해 반응상수를 약 3~4배 증가시키게 된다. Strumillo and Kudra (1998)는 몇 가지 bioproducts에 대한 분해 반응상수 값을 계산해 내었다.

사용될 건조기의 선택

건조되어야 할 bioproducts는 보통 수분을 많이 함유하는 고체, 슬러지, 여과박, 현탁액 또는 용액의 형태로 되어있다. Mujumdar(1995)와 Devahastin (2000)은 각각 다양한 건조기들의 분류도와 일반적인 방법의 건조기 선택 기준을 제시하였다. Bioproducts에 있어서 건조기의 선택은 건조될 제품의 물리적인 양을 충분히 감당할 수 있는 용량의 것이면 어떤 건조기라도 상관없다. 반면에 건조기의 건조 조건은 건조될 제품의 열 민감성에 따라 결정되어야만 한다. Fig. 1은 전통적인 건조기와 함께 새로운 기술들이 접합된 건조기들의 종류를 분류하여 보여주고 있다. 신기술 접합 건조기들은 보통 열에 민감한 제품들을 위해 개발된 것들로 어떤 것들은 이미 상업화된 반면에 아직 상업화되지 못한 실험실적 수준의 것들도 있다.

Table 2는 주어진 bioproducts에 적용될 수 있는 건조방법의 적합성을 결정하는데 필요한 몇 가지 제한 요소들을 표로 보여주고 있다. 이 표에 따르면 bioproducts는 열에 의한 손상 이외에도 산소의 존재 유무에 따라 손상을 입을 수도 있으며, 어떤 제품들은, 특히 효소들의 건조의 경우에, 당 또는 염과 같은 첨가물에 의하여 안정화될 수도 있음을 보여주고 있다. 냉동 건조로부터 살아있는 세포의 세포벽이 손상되는 것을 방지하기 위한 목적으로 동결방지 화합물을 사용하기도 한다. 또한 건조 속도가 제품을 다루는 물리적 성질뿐만 아니라 제품의 품질에도 직, 간접적으로 영향을 미치게 된다.

비록 유동상 건조, 회분식 또는 연속식 상자 건조 또는 진공건조와 같은 것들도 쓰이고는 있으나, 분무건조와 동결건조가 bioproducts의 건조를 위해

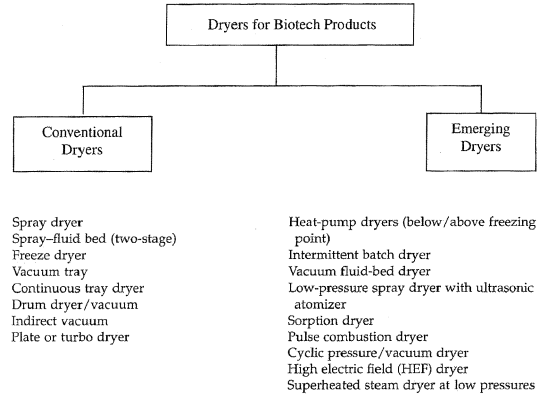


Fig. 1. Commonly used dryers and emerging drying technologies suitable for biotechnology products.

가장 많이 사용되는 건조방법들이다. Pilosof와 Terebiznik(2000)은 효소의 건조를 위해 분무건조와 냉동건조를 했을 때의 비교를 그들의 총설 논문에서 자세히 밝힌 바 있다. 최근에 산업적 촉매로써, 약품으로써, 의약품 분석제제로써 또는 분자생물학 개념에서 효소의 이용이 급격히 증가하고 있다. 그러나 대부분의 효소들이 물속에서 불안정하기 때문에 건조를 이용하여 효소의 안정화를 꾀하고 있다. 일반적으로 다중 건조 시스템들이 제품의 품질을 유지하면서 전체 건조공정 속도를 높이기 위하여 이용이 된다. 예를 들면, 표면의 수분을 분무건조를 통하여 증발시킨 후 내부 수분을 없애기 위하여 긴 시간에 걸쳐 완만한 건조조건에서 fluidized bed 또는 vibrated bed 건조를 이용할 수도 있다. 일반적인 것은 아니지만 낮은 온도에서 건조제품을 얻기 위하여 감압 유동상 건조를 실시하기도 한다.

의약품과 같이 열에 굉장히 민감한 제품들은 대

Table 2. Choice of dryers and drying conditions for biotechnology products depending on specific constraints

Restrictive criteria when drying	Possible dryer/Drying conditions
Highly heat-sensitive; thermally inactivated; or damaged	Dehumidified air drying (heat pump or adsorption dehumidifier) at low temperatures Vacuum drying with indirect heat supply Intermittent batch drying Freeze drying
Damaged by oxidation	Convective drying in N ₂ or CO ₂ Vacuum drying Freeze drying
Product subject to destabilization (e.g., enzymes)	Addition of sugars, maltodextrin, salts, etc. to stabilize some enzymes Control of pH change during drying
Product affected by physical processing	Use of gentle drying (e.g., packed bed or continuous tray as opposed to fluid bed) Better drying of some products in one type of dryer than others (e.g., yeast in spouted bed vs. fluid bed)

From Mujumdar (2003)

부분 동결건조 방식을 사용하고 있다. 실제로 전 세계적으로 1년에 약 200억불 어치 정도의 의약품이 동결건조 되고 있는 것으로 추산이 되고 있으며, 이는 고부가가치의 매우 값비싼 공정이라고 할 수 있다.

새로운 건조기술의 접목

지난 10년간 수많은 새로운 건조기술들이 제안되고 bioproducts에 응용이 될 수 있는지 시험되어 왔다. 앞에서 제시된 Fig. 1은 bioproducts에 응용될 가능성을 가지고 있는 새로운 건조기술들을 포함하고 있다. 이들에 대한 자세한 정보는 Mujumdar(1995), Mujumdar and Suvachittanon(1999, 2000) 및 Kudar and Mujumdar(2001) 등의 논문을 참조할 수 있다. 가장 최근 기술이라고 할 수 있는 히트 펌프 건조 기술에 대해서 먼저 알아보면 Chua *et al.*(2000)의 총설 논문을 참고했을 때, 이들은 다중 히트 펌프 건조를 포함하여 빙점 이하에서의 건조 기술, 전도, 복사 또는 전자기장과 결합한 히트 펌프 건조 및 열에 민감한 제품의 회분식 건조를 위한 건조공기 온도의 변화 이용 등과 같은 다양한 적용 가능성에 대하여 기술한 바 있다. Fig. 2는 다양한 히트 펌프 건조기술의 접합 가능성을 보여주는데, 이들 모두가 실용화된 것은 아니다. 이들 중 몇몇 기술들은 냉동건조에 비해서 경제적이기 때문에 bioproducts를 건조할 때 이용할 수 있을 것으로 보인다. Alves-Filho and Strommen(1996)은 2단 히트 펌프 건조기

를 설계한 바 있는데, 이 건조기는 1단에서 대기압의 유동상 냉동건조기를 이용하였으며, 2단에서 빙점 이상의 제습공기를 이용하는 유동상 건조기를 만들어 내었다. 이들은 또한 실험을 통하여 이 건조기를 이용한 건조제품의 품질이 경제적으로 훨씬 비싼 동결건조 방법을 통해 얻어진 제품들의 품질과 유사함을 증명하였다.

히트 펌프 건조기와 함께 가장 많은 관심을 받은 분야가 microwave를 이용한 가열 방법이다. Microwave파를 이용한 가열은 식품가공 공정에서 필요로 하는 온도에 도달하는 데에 일반적인 가열 방법들에 비해 훨씬 빠른 시간에 도달하는 장점을 가지고 있다(Datta and Hu, 1992). 따라서 microwave 가열은 일반적 전도나 대류에 의한 가열에서 찾을 수 없는 새로운 가능성을 제시하게 되었다. 즉, 비타민이나 향미 성분과 같이 열에 민감한 성분들도 전통적 가열 방법에 비하여 microwave 가열 방법을 이용했을 때 보유 능력이 더 나옴이 밝혀졌다(Mudgett and Schwartzberg, 1982). 그러나 microwave 가열한 식품에서의 향미 성분이 원래의 성분과는 약간의 차이가 난다는 논문도 있다(Lorenz and Decareau, 1976). 그렇지만 microwave 가열에 의한 건조가 실험실적 논의에 그치고 산업화를 가로막는 가장 큰 장애 요인은 microwave 가열의 지역적 차별성(locality)에 따른 가열 온도의 불균일성이 가장 크다(Burfoot *et al.*, 1988). 이러한 불균일성에 영향을 미치는 원인들은 다양한데, 이들은 주로 식품의 쌍극자 성질의 불균일성과 식품 성분들의 비열의 차이, 지역적 성분 농도의 차이, 식품의 위치 및 크기와 모양 등의 차이에 기인한 바가 크다(Schiffmann, 1986, 1990; Ruello, 1987; Stanford, 1990; Keefer and Ball, 1992). Microwave 건조의 산업화를 가로막는 또 하나의 요인은 산업화에 하기에 충분한 크기의 microwave oven을 제작하기 힘들다는데 있다. 그러나 이러한 장애 요인들을 극복하기 위한 꾸준한 연구들이 진행되고 있으므로 microwave 건조의 산업화도 조만간 이루어질 전망이다.

건조된 bioproducts의 품질이 원료 중에 많이 포함되어 있는 단백질, 지방 또는 당의 영향으로 매우 끈적거릴 때 일반적인 건조방법이 아닌 특별한 건조 기술을 필요로 하게 된다. 그러나 이러한 기술들은 각각의 제품 특성에 따라 다르게 적용되어야만 한다. Sadykov *et al.*(1997)은 bioproducts를 건조하는데 유용한 매우 독특한 기술을 제안한 바

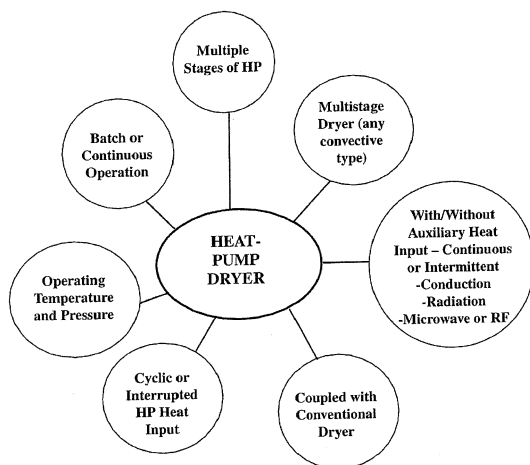


Fig. 2. A classification scheme for heat-pump dryers.

가 있는데, 이는 회분식 공정에서 공정 압력의 순환을 포함하고 있다. 즉, 일정한 기간 동안 대기압에 열이 대류 열전달에 따라 공급된 후 진공이 유지되는 건조기에 공급되어 수분을 제거하게 된다. 이 과정을 수차례 반복함으로써 건조가 이루어진다. 몇몇 프랑스 학자들도 이와 유사한 공정을 제안한 바 있으나 다만 열 공급이 건조기 벽을 통한 전도에 의해 간접적으로 공급된다는 점에서 차이를 보이고 있다. 열에 민감한 제품들에 대해서는 건조기 내의 압력을 고압과 저압의 반복적 적용을 통해서 낮은 제품온도에서 건조가 이루어지도록 할 수 있다. 그러나 이러한 공정은 회분식으로 건조할 수밖에 없다는 단점을 가지고 있다.

지난 20여 년간 주기적 발화연소에 의한 건조(pulse combustion drying)에 대한 여러 가지 기술들이 제안되었고 실험되었으나 제한적인 성공밖에는 거두지 못하였다. 이론적으로는 비타민, 효소, 효모와 같은 열에 굉장히 민감한 제품들이라 할지라도 고도의 난류 흐름을 보이는 pulse combustor exhaust tailpipe 속에 직접 주입방법에 의하여 건조될 수 있다. 즉, 배기가스의 고열에도 불구하고, 빠른 열전달 및 물질전달 속도와 함께 고도의 난류 흐름을 만들어내는 공급액의 적절한 분무에 의하여 제품의 열분해 반응이 없이 수 초 동안에 건조가 이루어진다. 이 건조공정은 소음, scale-up, 운전자금 등의 문제점들 때문에 아직 상업화되지는 않고 있다.

열풍 건조의 에너지 소비는 선택된 건조기 또는 건조 방식에 크게 좌우되며, 어느 정도는 건조하고자 하는 제품의 성질과 수분 함량에 따라서도 달라진다. 때때로 에너지 고효율 건조기들이 저품질 제품을 생산하기 때문에 제품에 따라서 에너지 효율이 낮은 건조기들이 선택되기도 한다. 예를 들면, 어류 사료를 제조하는데 있어서 direct rotary dryer를 이용하는 것이 에너지 효율이 더 좋은 steam tube rotary dryer를 사용하는 것보다 제품 품질이 더 좋다. 두 가지 방법으로 제조한 사료로 연어를 사육했을 때, 처음 방법으로 제조된 사료로 큰 연어의 중량이 두 번째 사료보다 10% 이상 더 증가한 결과를 보여 준다(Flesland *et al.*, 2000). 즉, 사용되는 건조 기술에 따라 사료의 단백질 분해능, 사료 이용도 및 더 나아가 어류의 성장속도에 영향을 미침을 알 수 있다. 간접 건조기술은 대기압 하이든 진공에서든 모두 낮은 흐름성을 가지는 섬유상 제품을 만들어내고 따라서 균일하게 압출성형되는 사료 제품을 만들어 낼 수 있다.

Table 3. Comparison of specific energy consumption of various drying technologies

Drying technology (with indirect rotary dryer as predryer)	Specific energy consumption (kWh/kg)
Superheated steam dryer	0.75
Indirectly heated steam dryer	1.00
Hot-air rotary dryer	1.15
Mechanical vapor recompression (MVR)	0.04
evaporator	0.30
Three-stage evaporator	0.20
MVR-superheated steam dryer	0.20

어류 사료의 건조에 필요한 산업적 건조기의 에너지 소비량을 서로 비교해 보는 것도 흥미롭다(Flesland *et al.*, 2000). 이들은 시간당 42 톤의 사료를 건조하는 건조기를 사용하였는데, 증발기에서 제거되는 수분의 양은 시간당 약 19.2 톤이었다. Table 3은 서로 다른 건조기술을 사용하는 건조기의 건조방식에 따른 대략적인 에너지 소비량을 kWh/kg으로 나타낸 것이다.

과열 수증기를 이용하는 건조방법(superheated steam drying)은 지난 1세기 이상 연구해온 과제임에도 실제로 산업화된 것은 제지산업이나 제당산업에서 펄프, waste sludge, hog fuel 등을 처리하는 외에는 없다. 열에 민감한 물질들을 건조하는데 과열 수증기 건조법을 사용하기 위해서는 감압 하에서 실시하는 것 이외에는 방법이 없다. 그럼에도 불구하고 Mujumdar(2000)는 이 기술을 이용하여 누에고치의 건조에 성공적으로 적용을 하였으며, 이 건조 기술을 통해 만들어진 비단실은 일반 건조에 비하여 강도가 더 세고 색이 더 흰 것을 입증하였다. 그러나 대부분의 bioproducts가 회분식 공정에서 만들어지는 소규모 양이라는 점에서 이 기술이 bioproducts의 건조 분야에서는 거의 이용이 되지 않는다.

회분식 건조 공정에서 건조가 감열건조 상태를 유지하고 있다면 에너지의 간헐적 공급(intermittent supply) 개념은 매우 흥미로운 기술이다. Jumah *et al.*(1996)은 이 이론을 간헐적으로 가열되는 spouted-bed 건조기에서 곡물 건조에 적용하였다. 그 결과 에너지와 공기의 사용량이 감소하였으며, 낮은 제품 온도로 말미암아 제품의 품질이 향상되었으며, intermittent spouting에 의한 곡물의 자연 환적으로 기계적 처리 비용도 절감할 수 있었다. 이 기술은 fluidized bed 건조기에도 즉각 적용이 되었으나,

bioproducts의 건조에 이용이 된 예는 아직 없다. 그럼에도 불구하고, 이 기술의 bioproducts 건조에의 적용은 매력적인 것으로 보이며, 조만간 이러한 노력이 현실화 될 것으로 기대가 된다.

건조하고자 하는 제품이 혼합물 속에 존재할 때, 혼합물 구성성분 중의 하나를 carrier로써 이용할 수 있다. 이 건조 기술은 contact-sorption 건조로써 알려져 있으며, carrier는 다음과 같은 다양한 역할을 수행한다. (1) 제품이 현탁액이라면, 특별한 형태의 carrier가 이를 분산시킴으로써 제품의 건조 중 수분의 증발에 필요한 충분히 큰 계면 면적을 확보하도록 만든다. (2) carrier의 존재는 물질의 흡습성을 효과적으로 감소시킨다. (3) 건조한 물질 속에 액체의 분산은 혼합물을 다루기 쉽게 하고 전통적 방식의 건조기의 이용을 가능하게 한다(특히 fluidized, convey, feed 등).

고전기장(high electric field, HEF) 건조기술은 상대적으로 최신 기술인데, Kulacki(1982)는 전기장 내의 수분 성질의 변화와 열 및 물질전달에 미치는 전기장의 영향에 대한 기본 원리를 설명한 바 있다. 고전기장 건조 기술에서 건조하고자 하는 물질은 교류의 고전기장에서 상온, 상압 (또는 낮은 온도와 압력)으로 건조된다. 마이크로웨이브를 사용할 때에는 달리 물질 내부에서 열이 생성되지는 않는다. 따라서 색, 영양성분의 손실이나 물성의 변화가 건조 중에 일어나지 않는다. 건조기의 구조가 매우 간단하며, 건조에 필요한 비용도 전기료가 대부분을 차지하게 된다. Bajgai and Hashinaga(2000)는 430 KV/m의 고전기장 건조기술을 이용하여 다진 시금치를 건조했을 때 좋은 품질을 유지했음을 보고한 바 있다. 이 기술 또한 bioproducts에 대하여 적용된 바는 없으나 적은 양의 제품 건조를 위해서는 좋은 건조 기술이라는 잠재적 이용 가능성을 가지고 있다. 또한 이 기술은 경쟁적인 여타 건조 기술과 건조 효과를 비교하는 연구들이 더 진행이 될 필요성이 있다.

Fig. 3은 간헐적 또는 주기적으로 작동되는 회분식 건조기의 예들을 정리한 것이다. 이 예들은 모든 건조기들을 포함하고 있지는 않지만 새로운 제품에 대한 새로운 건조기를 개발하거나 기존의 제품이라 할지라도 건조기의 개량을 시도할 경우에 선택의 기준으로 제시될 수 있을 것이다. Chua *et al.*(2000)과 Chou *et al.*(2001)들은 품질 지표로 각각 색깔과 ascorbic acid 함량 변화를 이용하여 열에 민

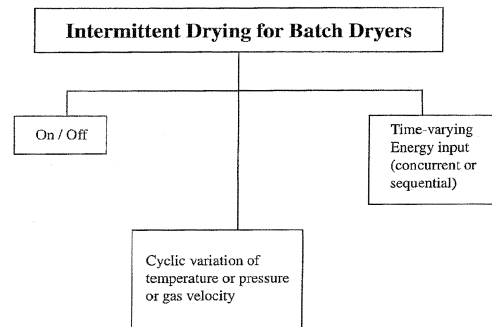


Fig. 3. A scheme of the various types of intermittent batch dryer operations.

감한 과일들의 간헐적 건조의 우수성을 실험적으로 또는 수식적으로 증명한 바 있다. 그러나 건조 시간은 다른 건조 방법에 비하여 약간씩 증가하는 경향을 보였다.

참고문헌

- Alves-Filho, O. and I. Strommen. 1996. Performance and Improvements in Heat Pump Dryers. in *Drying '96* (C. Strumillo and Z. Pakowski, Eds.). Krakow, Poland, pp. 405-415
- Bajgai, T.R. and F. Hashinaga. 2000. High electric field drying of spinach. in *Proceedings of 12th Int. Drying Symp.* Amsterdam, Netherlands
- Burfoot, D., W.J. Griffin, and S.J. James. 1988. Microwave pasteurization of prepared meals. *J. Food Eng.* 8: 145-156
- Chua, K.J., A.S. Mujumdar, S.K. Chou, M.N.A. Hawlader, and J.C. Ho. 2000. Convective drying of banana, guava and potato pieces: Effect of cyclical variations of air temperature or drying kinetics and color change. *Drying Technol.* 18(5): 907-936
- Datta, A.K. and W. Hu. 1992. Optimization of quality in microwave heating. *Food Technol.* 46(12): 53-56
- Devahastin, S. 2000. *Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying Technology.* Exergex, Canada
- Flesland, O., O. Hostmark, T.A. Samuelsen, and A. Oterhals. 2000. Selecting drying technology for production of fish meal. in *Proceedings of IDS 2000* (P.J.A.M. Kerkhof, W.J. Coumans, and G.D. Mooiweer, Eds.). Elsevier, Amsterdam
- Jenson, I. 1993. Biotechnology and the food supply: Food ingredient products of biotechnology. *Food Australia.* 45(12): 568-571
- John Innes Centre. 1998. *Biotech Bytes: Food Biotechnology.* <http://www.jic.bbsrc.ac.uk/exhibitions/bio-future/>
- Jumah, R., A.S. Mujumdar, and G.S.V. Raghavan. 1996.

- Batch drying of corn in a novel rotating jet spouted bed. *Can. J. Chem. Eng.* **74**: 479-486
- Keefer, R.M. and M.D. Ball. 1992. Improving the final quality of microwavable foods. *Microwave World.* **13**(2): 14-21
- Kudra, T. and A.S. Mujumdar. 2001. *Advanced Drying Technologies.* Marcel Dekker, New York
- Kulacki, F.A. 1982. Electrohydrodynamically Enhanced Heat Transfer. in *Advances in Transport Processes* (A.S. Mujumdar and R.A. Mashelkar, Eds.). Wiley, New York
- Lorenz, K. and R.V. Decareau. 1976. Microwave heating of foods: Changes in nutrient and chemical composition. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **6**: 339-370
- Mudgett, R.E. and H.G. Schwartzberg. 1982. Microwave food processing: Pasteurization and sterilization, a review. *Food Processing Eng.* **78**: 1-11
- Mujumdar, A.S. 1995. *Handbook of Industrial Drying*, 2nd Ed. Marcel Dekker, New York
- Mujumdar, A.S. 2000. *Drying Technology in Agriculture and Food Science.* SicPub, New York
- Mujumdar, A.S. and S. Suvachittanont. 1999. *Developments in Drying. Vol. I. Food Dehydration.* Kasetsart University, Bangkok, Thailand
- Mujumdar, A.S. and S. Suvachittanont. 2000. *Developments in Drying. Vol. II. Drying of Food and Agro-Products,* Kasetsart University, Bangkok, Thailand
- Pilosof, A.M.R. and V.R. Terebiznik. 2000. Spray and freeze drying of enzymes, in *Developments in Drying, Vol. II.* Kasetsart University, Bangkok, Thailand, pp. 71-94
- Ruello, J.H. 1987. Seafood and microwaves: Some preliminary observations. *Food Technol. Australia.* **39**: 527-530
- Sadykov, R.A., D.G. Pobedimsky, and F.R. Bakhtiyarov. 1998. Drying of bioactive products: Inactivation kinetics. *Drying Technol.* **15**(10): 2401-2420
- Schiffmann, R.F. 1986. Food product development for microwave processing. *Food Technol.* **40**(6): 94-98
- Schiffmann, R.F. 1990. Problems in standardizing microwave oven performance. *Microwave World.* **11**(3): 20-24
- Stanford, M. 1990. Microwave oven characterization and implications for food safety in product development. *Microwave World.* **11**(3): 7-9
- Strumillo, C. and T. Kudra. 1998. *Thermal Processing of Bioproducts.* Gordon and Breach, London