

진공동결 건조기의 개발에 관한 연구

박노현 · 김병삼 · 강통삼 · 신동화*
한국식품개발 연구원 *전북대학교 식품가공학과

Modification of Conventional Freeze Dryer

Noh-Hyun Park, Byeong-Sam Kim, Tong-Sam Kang and Dong-Hwa Shin*

Korea Food Research Institute, Banwol, Kyonggi-do

**Department of Food Science and Technology, Chon-Buk National University, Chonju*

Abstract

A pilot plant scale freeze dryer was designed and manufactured and its performance was tested. Freezing capacity of water vapor in the developed freeze dryer was 8kg/batch and heating and defrosting methods were conduction and hot gas types, respectively. And exhausting time of vacuum pump was 7-8 minutes and temperature of cold trap was kept below -50°C. In the freeze drying of fruits and vegetables, its optimum and maximum drying capacities were 2 and 4kg/batch, respectively. Performance of the new freeze dryer was compared quite well with a foreign-made freeze dryer.

Key words: freeze dryer, modification of freeze dryer, freeze drying

서 론

진공동결건조는 진공펌프와 냉동장치의 개발에 의해 비로소 발전하게 되었으며, 19C 초에 빙점 이하에서의 승화 탈수 원리가 제시된 이래 20C 에 들어 Shackell⁽¹⁾ 이 혈청 건조에 최초로 이 방법을 채용하였다. 이후, 미생물학, 의학, 생물학, 약학 분야등에 광범위하게 적용되기 시작하였으며 공업적 단계로의 진보는 Flosdorf⁽²⁾가 식품등에 그 이용성을 제고한 이후 크게 진전을 보게 되었다. 식품 분야에의 적용을 위한 연구로 Kidd⁽³⁾는 열펌프 원리를 이용해 동결건조식품에 대해 특허를 얻었고, Rey⁽⁴⁾는 건조중 동결 물질의 전기전도도에 의존하는 자동제어 시스템을 개발했다. 장치 분야에서의 중요한 발전의 하나는 동결건조시 승화열을 공급하는데 microwave 가열을 적용시키는 것으로 이는 다공성 건조 표면에 열을 공급하는 것이 아니라, 동결물질 내부의 한 점에 열을 공급하여 열전달에 대한 barrier 를 극복할 수 있다는 것이다.⁽⁵⁾ 이러한 진공동결건조기는 선진 미국이나 유럽등에서는 1950년대를 실용 및 개발을 위한 연구 단계라고 볼 때 60년대 이후는 기업화의 단계라 말할 수 있고 가까운

일본만 하더라도 70년대 이후 계속 보급되어 현재는 제약업체만도 30여개사가 넘고있다. 우리나라의 경우 진공동결건조기 현황을 보면 커피나 라면용 수우프 제조를 위해 일부 회사에서 외국 기계를 도입, 이용하고 있는 실정이며 개발 및 연구 실적은 전혀 찾아볼 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 식품 산업에서 이용도가 증가하고 있는 진공동결건조기를 국산화 개발시킴으로써 우리나라 식품 기계 산업의 발전을 도모하고 아울러 가공 식품의 품질 향상에 기여하고자 외국산 진공동결건조기를 reverse engineering 하였기에 그 결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

설계에 필요한 공학적 계산식

국내에 수입되어 사용되고 있는 대표적인 모델의 소형 진공동결건조기 (제작회사: LEYBOLD-HER-AEUS, 모델명: GT-2)를 선정하여 내부구조 및 원리를 검토하였으며 설계에 필요한 냉동기 용량, cold trap 및 진공펌프에 대한 계산은 아래와 같은 기초 공식에 의해 계산하였다.⁽⁶⁾

냉동기 용량:

$$Q_{\max} = \frac{W}{\theta} \cdot F_P \cdot H \quad (1)$$

Corresponding author: Noh-Hyun Park, Korea Food Research Institute, 48-1, Dangsu-ri, Banwol-myun, Hwaseong-gun, Kyunggi-do 445-820

$$Q_R = F_S \cdot Q_{max} \quad (2)$$

단, Q_{max} : 최대전열속도, kcal/h

Q_R : 냉매의 증발온도에서의 냉동열량, kcal/h

W : 시료의 수분함량, kg

θ : 항온건조시간, hr

H : 승화잠열, kcal/kg

F_P : peak factor (1.5~2.2)

F_S : 냉매계의 열손실에 대한 안전계수(1.2)

Cold trap

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{hg} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{1}{h_s} + \frac{1}{h_f} \quad (3)$$

$$A = \frac{Q_{max}}{U\Delta t} \quad (4)$$

단,

δ_c : 응고층의 두께, m

λ_c : 응고층의 열전도율, kcal/m.h.°C

δ_w : 파이프의 두께, m

λ_w : 파이프의 열전도율, kcal/m.h.°C

h_s : 오염계수(汚染計數), kcal/m².h.°C

h_f : 냉매측의 전열계수, kcal/m².h.°C

h_g : 증기측의 전열계수, kcal/m².h.°C

U : 총괄열전달 계수, kcal/m².h.°C

ΔT : 온도차, °C

A : 소요냉각면적, m²

진공배기속도

$$S = \frac{V}{T} \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (5)$$

단, S : 배기속도, m³/min

V : 진공계의 전용적, m³

P_1 : 대기압, Torr

P_2 : 조작압력, Torr

T : 진공도달시간, min.

개발 및 설계 조건

대형 진공동결건조기 개발을 위한 예비 단계로 수요량이 많고, 실험용 규모로 사용될 수 있는 소규모의 동결건조기를 reverse engineering 하였으며 각 부품에 대한 설계 조건은 다음과 같다.

압축기, 응축기 및 IFId Trap

냉매 가스를 압축하기 위하여 피스톤식 반밀폐형 압축기(Carrier CO., USA)를 사용하였으며, 압축기에서

압축된 고온 고압의 냉매가스를 응축시키기 위해 압축기 용량에 적절한 시판용 공냉식 응축기를 사용하였다. 피건조물에서 승화된 수증기를 응축, 제거시키기 위해 cold trap은 일반 증발기의 원리와 동일한 건식의 방법으로 냉매가스를 순화시키었고 나관형의 동관으로 설계 제작하였다. 또한, 고진공하에서 견딜 수 있도록 cold trap 탱크를 3.2mm의 철판으로 견고히 제작하였다.

진공 및 제어계

건조실, cold trap 및 연결관등 진공을 요하는 부위에서 공기의 누설이 발생되지 않도록⁽³⁾ 누설 테스트를 실시하였고, 진공펌프는 rotary oil pump(ULVAC CO., USA)를 사용하였고 건조 과정을 확인할 수 있도록 digital 온도 지시계와 weight indicator를 조작판에 부착시켰다. 온도지시계는 6 point를 측정할 수 있는 게이지로 cold trap, shelf, 건조시료 및 건조실에 연결 각각의 온도를 측정할 수 있도록 하고, 최대 용량 30kg까지 측정할 수 있는 load cell을 건조 트레이 밑에 부착하여 건조중 수분 감소량을 측정할 수 있게 하였다.

건조실 및 가열판

건조실은 steel로 6각형 모양으로 제작하였고, 가열판은 3mm의 aluminium 판으로 silicon heater를 장착하여 전도 방식을 택하였다.

설계, 제작 및 성능시험

기존 외국 기계의 내부 구조에 대한 설계를 검토한 후 개발 및 설계조건에 따라 제상능력 8kg의 소형 진공동결건조기(냉동기 : 1.5HP)를 자체 제작하였고 그 성능을 시험하였다. 즉, 개발된 기계에서 부품의 성능을 확인코저 압축기의 운전 조건, 진공펌프의 진공도달시간 및 누설 관계, 가열판의 온도 제어, cold trap의 온도 변화와 응결상태, 진공하의 load cell상태, hot gas에 의한 제상 상태등을 점검하였고 기존 기계와 개발된 진공동결건조기와의 성능비교를 건조실증 시험을 통해 확인하였다. 또한, 개발된 진공동결건조기에 있어 각 부품의 내구성과 실제적인 기능 및 건조 능력 확인을 위해 대표적인 농, 수, 축산물을 선정, 건조시험을 실시하였다.

건조품의 품질 평가

품질 평가를 위해 색택은 건조한 후 플레이크 상태로 색 차 계(color and color difference meter, YASUDA SEIKI CO. UC 600IV)를 이용하여 표면색

도를 측정하여 Hunter system에 의하여 L, a 및 b 값으로 나타내었다. 경도(Hardness)는 rheometer(CR-200D, Sun Sci. Co.)를 이용하여 flake 상태로 측정하였으며 측정조건은 plunger diameter, 3cm; plate speed, 50mm/min; deformation ratio, 0.8이었다. 복원율(rehydration ratio)은 동결 건조한 것을 60°C 증류수에서 1분간 수화시킨 후 filter paper 위에서 5분간 drain시킨 다음, 칭량하여 동결 건조 직후의 무게와의 비로써 나타내었다.

결과 및 고찰

기존 기계에 대한 부품별 설계 검토 소형 진공동결 건조기를 국산화하기 위한 예비 단계로 기존의 외국 기계에 대한 구조를 확인코저 당 연구원에 소장하고 있는 소형 진공동결 건조기를 분해 검토하여 Table 1과 같은 사양을 얻었다⁽⁷⁾.

Table 1. Specification of vacuum freeze dryer(foreign manufacture)

Item	Specification
Freezing capability (kg/batch)	2
Shelf	
Heating method	Conduction
Heating temperature (°C)	normal temp. ~ 80°C
Vacuum pump	
Model	D4A (250W)
Oil filling (min./max.) (ℓ)	0.5/0.7
Condenser	
Minimum temp. (°C)	- 45
Material	SUS, 95 Cm ^φ
Defroster (Kw)	0.3
Refrigerator	
Motor (HP)	$\frac{1}{3}$
Refrigerant	R - 22
Drying chamber	
Material	acrylic glass
Dimension	300cm ^φ x 37Cm ^H x 0.9Cm ^t
Tray	
Area (Cm ²)	1960
Dimension	25Cm ^φ x 1.1Cm ^t x 4 ^{ea}
Electric capacity	42V x 100w
Material	Aluminium

수입된 기계는 condenser의 파이프 길이가 4m로 제상능력은 2kg/batch로 설계되어 있었고 얼음층의 두께를 1cm로 추산하였을 때 총괄열전달계수(U)는 식(3)에 의해 40.63Kcal/m²·h·°C였으며 냉동기의 냉각 능력은 -55°C 부근에서 약 60Kcal/h로 항울 건조시간이 15시간으로 주어질 때 1 Batch당 수분증발량은 약 0.7 kg이었다. 또한, 진공계는 4.7m³/h, 10⁻² Torr까지 사용가능한 trivac-pump(250w)를 부착하였고, 가열관의 가열방식은 전도방식으로 42V×100W의 전기 heater를 사용하고 있었다.

소형 진공동결 건조기의 설계제작

실험용 규모의 소형 진공동결 건조기를 설계조건에 따라 reverse engineering하여 Table 2와 같은 사양으로 설계, 제작하였으며 그 외형은 Fig. 1과 같다.

즉, 개발된 기계는 기존 외국 기계보다 약 4배 정도 큰 용량으로 1 Batch당 수증기를 8kg까지 응결시킬 수 있었다. 기존 외국 기계와의 구조적 차이는 ice condenser를 stainless steel pipe에서 copper pipe로, 제상방법을 전기히타에서 hot-gas 방식으로 하였으며 load cell을 별도로 부착시킨 점을 들 수 있다. ice condenser의 pipe를 stainless와 copper로 제작할 경우의 장단점은 내구성 및 부식적인 면에서 stainless가 우수하나 제작의 용이성 및 열전달 측면에서는 copper가 우수하기에 본 장치는 copper로 택하였다. 또한, 제상방법은 hot-gas식, 전기히타 및 물을 이용한 제상방식이 주로 사용되나 실험용은 전기히타나 hot gas가 주로 이용되고 있다. 그리하여 본 동결 건조기에서는 전기히타방식보다 제상 속도가 빠르고⁽⁴⁾에너지도 적게 소비되는 hot-gas 방식

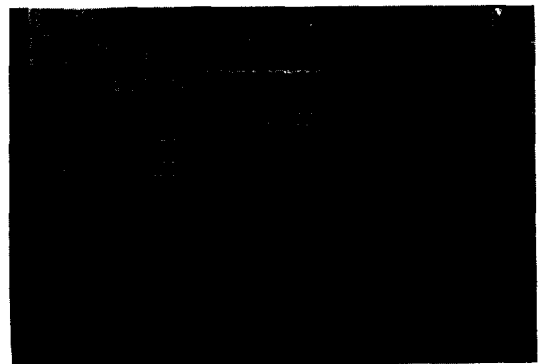


Fig. 1. Freeze dryer developed through reverse engineering.

Table 2. Specification of vacuum freeze dryer(Reversed manufacture)

Item	Specification
Freezing capability (kg/batch)	8
Shelf	
Heating method	Conduction
Heating temperature (°C)	normal temp.~80°C
Vacuum Pump	
Electric capacity (W)	400
Model	ULVAC
Discharge capacity (max.) (ℓ/min)	180
Condenser	
Minimum temp. (°C)	- 50
Material	Copper, 12.5 Cm ^φ
Defrosting method	Hot gas method
Refrigerator	
Motor (HP)	1.5
Refrigerant	R-502
Refrigerant condenser (HP)	0.5
Drying chamber	
Material	SS41
Dimension	40Cmx40Cmx50Cmx0.6Cm ^t
Tray	
Area (Cm ²)	300
Dimension	27Cmx27Cmx1.1Cm ^t x4 ^{ea}
Material (plate)	Al. 3mm
Electrical capacity	45vx100wx4 ^{ea}
Weight display	
Type	Single point indicator
Load cell (max.) (kg)	30
Temperature indicator	6 point, digital

을 택하였다. 또한, 건조실은 상압이 아닌 고진공이므로 피건조물의 건조 과정을 시시각각 측정할 수 있는 load cell을 건조실 내부에 장착시키고 이의 중량 변화를 읽을 수 있는 digital 방식의 weight display를 연결시켜 효율적인 건조실험도 할 수 있도록 제작하였다.

진공펌프의 능력시험

Fig. 2는 진공펌프의 용량과 본 동결건조기의 진공실과의 적합성을 검토하기 위해 시간에 따른 진공실내의 압

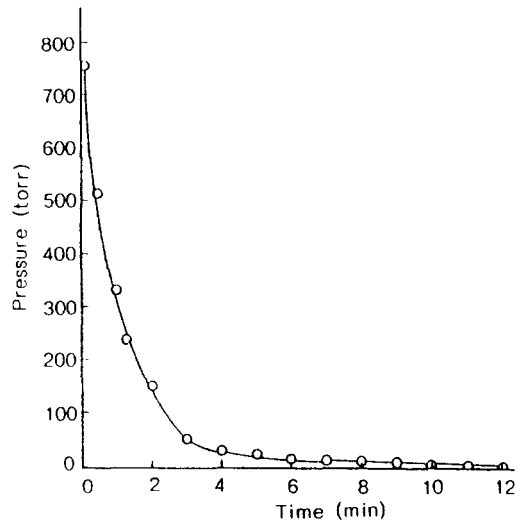


Fig. 2. Pressure variation in a drying chamber.

력 변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 얼음의 승화현상은 물의 3중점 이하에 일어나게 되기 때문에 최소한 물의 3중점인 4.567torr 이하의 진공도를 유지시켜 주는 것이 원칙이다. 그러나, 식품과 같이 다성분계 물질에서는 적어도 식품의 동결점 내지는 공용점 이하로 동결을 시켜야 하기 때문에 -30~-40°C 정도의 저온으로 동결시켜 승화시키는 것이 향기 성분등의 보존 및 최종 잔존 수분의 최소화에 적합하며 이 온도대에서 승화건조를 시키기 위해서는 1~0.01torr 정도의 진공도를 유지시켜 주어야 한다. 이와 같은 진공을 유지시키는 방식에는 여러가지가 있으나 동결건조에 있어서는 어떠한 경우라도 운전개시 후 약 5분 정도에 5torr 정도에 달하고 10분 전후에 조작 진공도에 도달하는 것이 적당하다고 한다⁽⁶⁾. Mellor 등⁽⁹⁾은 최종 조작압력에 도달하는 시간이 7분 정도 소요 되는 능력이면 적당하다고 하였다. 본 진공동결건조기에 있어서 진공펌프의 배기 능력은 Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 운전 개시 5분만에 4torr 이하로 떨어졌으며, 7~8분만에 0.1torr 까지 떨어져 운전상태는 아주 양호한 것으로 여겨졌다.

cold trap의 냉각능력

일반적으로 물이 액체 상태에서 고체 및 기체 상태로 상변화를 수반할 때는 체적이 팽창하게 된다. 더우기, 얼음 1g이 0.1torr의 진공하에서 승화할 경우 수증기의

체적은 10⁶배로 증가하기 때문에 이를 배기펌프로 제거 시킨다는 것은 에너지 문제상 큰 부담이 된다. 그러므로, 건조실에서 승화되어 나온 수증기를 재응결시켜 제거하기 위해 설치한 것이 cold trap이다. cold trap의 냉각면 온도는 얼음의 증기압이 조작시의 압력보다 낮도록 결정되어야 하며, 이는 동결 원료와의 증기압차가 승화의 추진력이 되기 때문이다. 식품용 동결건조기의 경우 응결기의 냉각면 온도는 승화 온도가 -10~-25°C의 항을 건조기에 있어서 -30~-40°C 정도이며, 건조 말기에서는 냉동부하가 작게 되기 때문에 식품의 함수율은 낮출 목적으로 -40°C이하로 냉각하여 보다 고진공으로 하고 있다. 또한, 냉매의 증발 온도는 냉각면 온도보다 5°C 정도 낮게 취한다⁽⁶⁾.

Fig. 3은 시간에 따른 cold trap의 냉각면 온도 변화를 도시한 것이다. 그림에서 알 수 있는 것은 운전개시 6분만에 -30°C이하로 떨어지며 9분 후에 -40°C, 그리고 최저 온도는 -50°C 이하로 유지되었다. 그러므로, 수증기를 응결 포집시키기 위한 응결기의 능력은 충분한 것으로 여겨지며, 설계시 얼음의 두께를 1cm로 기준했으나 실제 운전 경험에 의하면 과일, 야채와 같은 수분 함량이 많은 식품의 경우 2kg/batch의 적재를 했을 때 응결기의 온도는 -35°C 이하를 계속 유지하였기 때문에 운전상에 있어서 전혀 문제가 없었다.

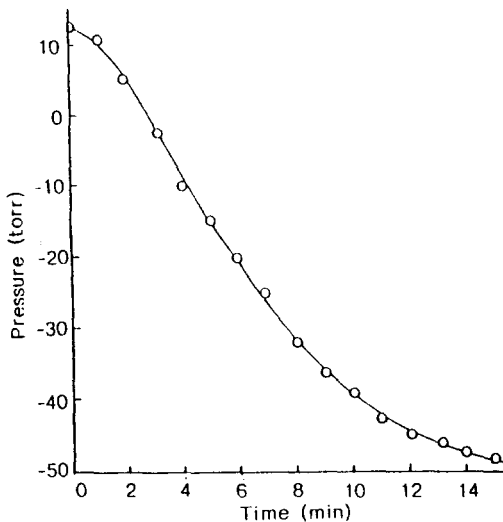


Fig. 3. Temperature variation in a condenser surface(cold trap).

식품의 동결건조 시험

Fig. 4는 개발한 진공동결건조기로 실제 식품등을 건조했을 때의 운전 cycle을 나타낸 것이다. 당근을 1cm의 두께로 잘라 미리 동결실에서 -25°C로 동결시킨 다음 1batch에 2.5kg을 넣고 shelf 온도 40°C, 진공도 0.1 torr에서 건조시켰다. 건조종점(end point)을 shelf 온도와 시료의 중심온도 및 표면온도가 일치했을 때를 기준으로 할 경우, 건조소요 시간은 14시간 정도였으며 이때, 응결기의 온도는 계속 -40°C 이하를 유지해 수증기의 제거에 거의 무리가 없는 것으로 여겨졌다. 그리고, 본 장치에서는 편의상 한쪽 면에서의 전도 가열에 의한 승화 열 공급을 행하였으나 이를 개량하여 양면가열 내지는 복사가열 등 열 공급방식을 개선했을 때는 건조시간을 훨씬 단축시킬 수 있을 것으로 여겨졌다. Table 3은 당 연구원에서 소장하고 있는 동결건조기와 reverse engineering한 동결건조기와의 성능을 비교 검토하기 위해 실험한 결과이다. -25°C로 동결시킨 두께 10mm의 당근 flake를 열판온도 40°C, 진공도 0.1torr에서 각각 건조시킨 결과 선택에 있어서는 Hunter 색차계에 의해 비교해 볼 때 두 제품간에 큰 차이는 없었으나 개발한 진공동결건조기에 의해 건조한 제품이 당근 자체의 황적색을 잘 유지하고 있었다. 그리고, 가 -하여 복원시킨 경우에 있어서도 기존 동결기 쪽에 비해 생체에 가까운 형상을 유

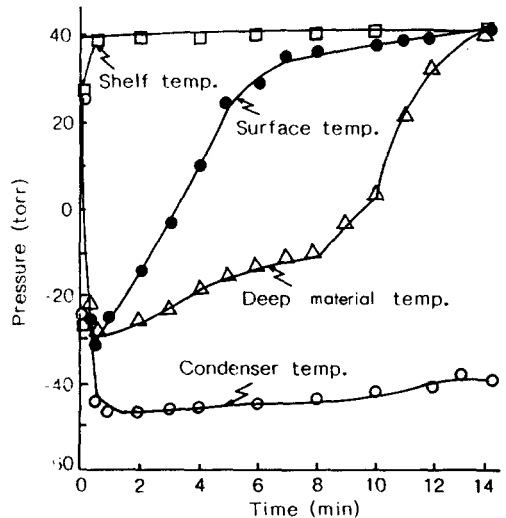


Fig. 4. Process schedule for freeze dried carrot dice(sample dimensions: 1cm×1cm×1cm, Loading material : 2.5kg).

Table 3. Comparison of freeze dried carrot by two freeze dryers

	Foreign manufacture	Rebersed manufacture
Color	L	46.3
	a	20.5
	b	22.7
Hardness (g/Cm ²)	6.95	6.97
Rehydration ratio	6.04	6.73
Drying time (hrs)	15	10
Loading material (kg)	0.5	2

Note: • Sample thickness: 1 cm
 • Drying chamber pressure: 0.1torr
 • Condenser temp.: -40°C
 • Shelf temp.: 40°C

지하였다. 이는 개발한 동결건조기 쪽이 자체 용량이 커서 건조소요 시간이 짧아 건조중의 변화가 적게 일어났기 때문인 것으로 생각되었다.

Fig. 5는 개발한 진공동결건조기의 건조용량을 측정하기 위해 두께 1cm의 당근 flake를 shelf 온도 40°C, 진공도 0.1torr에서 건조 실험하면서 건조 소요시간을 측정한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 건조용량 1000g까지는 건조소요 시간에 큰 차이가 없이 5~6시간 만에 수분함량 3~4% 이하로 건조시킬 수 있었다. 건조

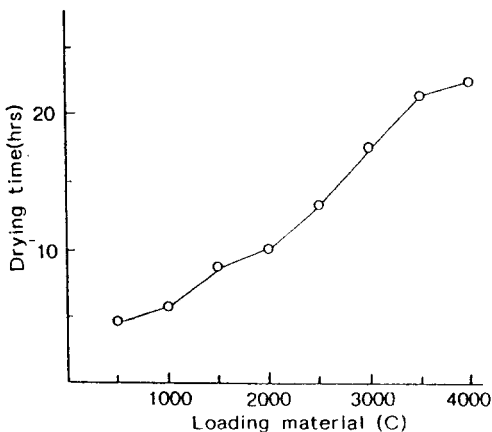


Fig. 5. Drying time of freeze dried carrot different loading materials(drying conditions: Sample dimensions: 1cm×1cm×1cm, shelf temp: 40°C, drying chamber pressure: 0.1 Torr).

물량이 증가함에 따라 건조시간은 거의 직선적으로 증가함을 보여주고 있다. 이는 건조물량이 많아짐에 따라 결과적으로 트레이에 적재했을 때 시료의 적재 높이가 달라지는 현상으로 볼 수 있다. 따라서, 건조가 진행됨에 따라 동결 부위로의 열전달 속도가 낮아지기 때문인 것으로 여겨졌다. 三宅卓一⁽¹⁰⁾은 동결건조시 건조시간은 다른 건조조건에도 영향을 받지만 시료의 적재 두께의 제곱에 비례하여 연장되는 것으로 보고 있다.

Table 4는 당근, 파, 사과, 쇠고기, 새우, 무우 및 쇠고기 추출물 등을 본 동결건조기를 이용하여 동결건조시킨 경우 건조실험 결과를 나열한 것이다. 표에서 보면 식품별 동결건조 특성은 수분함량에 따라 크게 좌우됨을 알 수 있다. 즉, 일반적으로 시료의 수분함량이 많을수록 건조소요 시간이 길고 건조수율이 낮게 나타남을 알 수 있다. 따라서, 단위 면적당 적재량도 수분함량이 많은 과채류의 경우는 육류와 같이 수분함량이 상대적으로 적은 식품에 비해 적게 적재하는 것이 적절할 것으로 여겨졌다.

일반적으로 식품을 동결건조할 때는 다른 가공 공정에서와 마찬가지로 초기시료의 성상이나 물리적, 화학적 특성을 고려하여 운전조건을 결정하는 것이 타당하다. 따라서, 진공동결건조에 있어서도 재료의 초기 수분함량, 지방함량, 열변성 특성, 점도 및 조직의 긴밀성등을 고려하여 운전 사이클을 선택하여야 한다.

요 약

식품 산업에서 이용도가 높을 뿐 아니라 외국 의존도가 높은 진공동결건조기를 reverse engineering 하여 국산화 개발한 후 그 성능을 시험하였다.

새로 개발한 진공동결건조기는 1 batch 당 8kg의 수증기를 응결시킬 수 있으며, 전도가열에 의해 열판 온도를 80°C까지 올릴 수 있고 제상방법은 hot gas 방식을 취했다. 진공펌프의 배기시간은 7~8분, cold trap의 온도는 -50°C까지 유지할 수 있었으며, 진공동결건조기의 최적 건조능력은 과채류의 경우 batch 당 2kg 정도이며 최고 4kg까지 건조시킬 수 있었다. 개발한 진공동결건조기와 기존의 외국인산 진공동결건조기를 이용^(5,6)하여 당근을 동결건조시킨 경우 양 장치간에 별 차이는 없었으며, 각 식품의 진공동결건조 특성은 각 식품의 초기 수분함량 및 초기성상에 영향을 받는 것으로 나타났다.

Table 4. Freeze drying experiments of various foods

Sample	Shape, thickness	Initial Moisture content(%)	Freezing Temp.(°C)	Shelf Temp.(°C)	Drying time(hrs)	Drying yield(%)	Loading material (kg/m)
Carrot	Slice, 1 Cm	88.2	-20	50	9.2	10	9.6
Green onion	Slice, 2 Cm	91.1	-20	40	8.5	7	6.5
Apple	Slice, 0.8 Cm	87.4	-20	45	10.8	13	9.7
Radish	Slice, 0.8 Cm	90.3	-20	40	9.0	7.1	6.6
Beef	Slice, 0.8 Cm	76.0	-35	55	7.0	27.0	12.4
Shrimp	Round	80.0	-30	40	10.0	17.0	10.0
Beef extract	-	96.2	-30	30	9.1	4.4	5.0

Drying chamber pressure: 0.1torr, Condenser temp: -40°C

문헌

1. 신호일 : 건조장치, 대광서림, 서울, p.341(1981)
2. Flosdorf, E.W. : Freeze drying, Reinhold(1949)
3. Kidd, F. : Improvements in and relating to the low temperature treatment for the preservation of perishable foods and other materials. *Brit. Pat.* No. 539, 477(1941)
4. Rey, L.R. : Procédé et dispositif pour le contrôle et la régulation de la congélation et du degal de différentes substances et notamment pour le contrôle et la régulation d'opérations de congélation- dessiccation, Brevets d'invention du centre National de la Recherche Scientifique, Paris, (1959)
5. Ang, T.K., Ford J.D. and Pei D.C.T. : Microwave Freeze Drying of Food, Int, *J. Heat Mass Trans.*, **20**, 517(1977)
6. 日本冷凍協會 : 冷凍空調装置の設計例, 東京, p.184(1978)
7. Leybold-Heraeus : Freeze dryer (GT 2) Catalog, Deutch(1978)
8. 木村進 : 乾燥食品, 光琳書院, 東京, p.66(1968)
9. Mellor, J.D. : Drying Plant and equipment. In *Fundamentals of freeze drying*. Academic Press, London, New York, San Francisco, p.197(1978)
10. 三宅卓一 : 凍結乾燥法による 乾燥野茶の製造, *食品工業*, **15**(4), 57(1972)

(1988년 2월 17일 접수)