

동결건조의 일반적 개요와 이용실태

General Outline and Status of Application for Freeze-Drying

박 노 현

N. H. Park

한국식품개발연구원



· 1954년생

· 동결건조와 식품기계분야에 관심을 가지고 있다.

1. 서 론

동결건조(Freeze-Drying)는 건조하고자 하는 재료를 동결시킨 다음 높은 진공장치 내에서 액체 상태를 거치지 않고 기체 상태의 증기로 승화시켜 건조하는 방법으로, 일반의 건조방법에서 보다 훨씬 고품질의 제품을 얻을 수 있다. 동결된 상태에서 승화에 의하여 수분이 제거되기 때문에 건조된 제품은 가벼운 형태의 다공성 구조를 가지며, 원래상태를 유지하고 있어 물을 가하면 급속히 복원이 될 뿐 아니라 비교적 낮은 온도에서 건조가 일어나므로 열적 변성이 적고, 향기 성분의 손실이 적은 잇점이 있다^{1,2)}. 그러나 동결건조는 건조속도가 일반 건조방법 보다 매우 느리고, 저온과 진공의 사용으로 고가의 건조방법이므로 고품질을 요구하는 식품과 제약 그리고 미생물 등의 건조에 이용되어 왔으나 그 활용범위는 점점 더 확대되고 있다.

동결건조법은 1890년에 Atlmann³⁾이 조직학적 연구를 목적으로 생물조직 표본작성 과정에서 물리적 탈수 방법으로 처음 이용하였으며, 1900년대에 들어와서는 Shackell⁴⁾이 세균과 혈청의 보존에 동결건조를 응용하기 시작하였다. 식품에서의 동결건조

응용은 1930년대 Flosdorf등⁵⁾의 연구에서 비롯되었으며, 제2차 세계대전 중에는 군용의 휴대식량을 개발하기 위하여 연구가 진행되었으나 실용의 단계에는 이르지 못하였고 대전 후 실용화를 위한 많은 연구가 진행되어졌다. 특히 미국에서는 NASA를 중심으로한 우주개발에서 우주인의 식량에 동결건조식품이 채택되어지는 등 기술개발이 활발하여졌다. 이후 1960년 전반에 유럽의 각국에서는 식육과 해산물 그리고 야채 등 각종 식품류의 급속한 보급이 예측되었으나 동결건조의 시설비와 건조비용이 타 건조방법에 비하여 너무 비싸기 때문에 과일주스와 차 그리고 커피 등 우수한 향미와 복원력이 요구되는 경우에만 일부 적용되었다. 또한 일본의 경우는 1957년 경부터 농림성 식량연구소가 중심이 되어 식량의 응용연구가 시작된 후 1960년 중반에 동결건조커피가 생산되었고 1970년대에는 즉석라면 등의 인스턴트 식품이 열풍건조에서 동결건조로 바뀌기 시작하였다. 우리나라에서는 1980년 중반에 라면스프와 즉석장류 그리고 복어등의 중간 소재품의 건조가 시작되었고, 후반에 들어서면서 알로에, 케일 그리고 이유식 등의 건강제품이 활발히 건조되었다.

이와같은 동결건조법이 모든 건조품에 이

용되지 못하고 제한적으로 채택되고 있는 것은 건조온도가 비교적 낮고 2.0torr이하의 낮은 압력에서 운전되므로 건조속도가 다른 건조방법에 비하여 길며 동결과 진공 그리고 가열등의 비싼 운전경비와 고가의 부대 설비비로 인하여 생산성이 낮기 때문이다. 따라서 동결건조에서 경제성을 향상시키고 그 응용범위를 확대하기 위해서는 동결건조 장치의 공학적 설계와 최적 운전조건의 확립 그리고 에너지 절감 방안에 따른 최적화가 요구되어진다. 공학적 설계를 위해서는 진공에서의 열 및 물질전달의 기본현상과 기구의 파악 그리고 단위기기의 적정 기종 조합이 필수적이며, 재료의 최적 운전조건을 찾기 위해서는 건조실의 압력, 가열판의 온도와 응축기의 온도 그리고 재료 두께의 적정 선택이 중요하며 에너지 절감을 위해서는 승화열의 공급방법, 재료의 전처리 기법과 동결방법 그리고 진공, 가열 및 해빙 등의 제어기작과 발생증기 응축을 위한 냉동시스템 구축방법을 들 수 있겠다.

2. 동결건조장치의 개요

일반적으로 식품의 건조는 향률건조기간과 하나 혹은 2개의 감율건조기간으로 이루어지고 있으며 이는 재료의 종류와 건조 운전조건에 따라 달리 나타나고 있다. 그러나 동결건조에서는 예비동결(pre-freezing)과 승화건조(sublimation drying or primary drying) 그리고 탈습건조(desorption drying or secondary drying)의 3단계로 구분 짓고 있다¹⁾. 승화와 탈습건조기간은 열풍건조에서와 같이 재료와 운전조건에 따라 다르게 나타나고 있으며 승화건조는 재료내에 함유된 수분 가운데 유리수(free water)를 제거하는 구간으로 보통 총 수분의 65~90%를 제거하게 되며 탈습건조는 결합수(bound water)를 제거하는 구간이다²⁾.

그림 1은 동결건조장치의 구성 요소를 도시화한 것으로 동결된 재료를 용기에 담

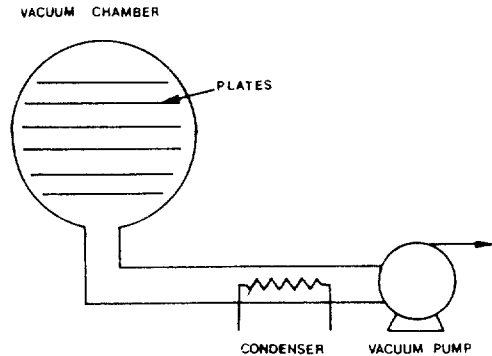


그림 1 동결건조장치의 구성도

건조실의 가열판 위 또는 사이에 놓고 건조실의 공기를 진공펌프에 의해 외부로 배기시키게 된다. 건조실의 압력이 낮아지면 재료의 증발온도는 낮아지고 이때 승화가 일어나게 된다. 진공 하에서 증발된 수증기는 체적팽창이 대단히 크기 때문에 이를 얼음으로 응축되도록 저온용의 응축기(condenser or cold trap)를 건조실과 진공펌프 사이에 장착시키며 승화와 탈습을 가속시키기 위하여 가열판의 온도를 재료의 물성에 따라 조절하게 된다. 승화건조 동안 얼음의 승화를 위하여 승화잠열이 공급되도록 가열판의 온도는 높여지게 된다. 실제 건조는 이때부터 이루어지며 건조과정은 초기, 승화건조기, 탈습건조 제1기 및 탈습건조 제2기(마무리 건조기)의 4단계로 세분할 수 있다. 즉, 초기는 건조기의 운전이 시작되어진 후부터 정상상태에 이를 때까지의 불안정한 시간으로 배기 및 가열로 인하여 건조실의 압력과 건조속도가 함께 변해서 보통 10~30분 사이에 정상상태에 도달되어진다. 이때부터 승화건조기에 들어서면서 대부분의 수분은 승화되고 동결건조의 특징이 이 기간에 나타나게 된다. 만약 평판상의 재료를 전도가열로서 건조하는 경우 공급되어진 열량은 동결층을 지나서 승화잠열로 없어지고 수분은 동결층의 윗 부분부터 제거되어 다공질의 건조층을 남기고 승화면은 점점 아래로 내려가서 결국 동결층이 사라

지게 된다.

건조초기에는 가열판에서 재료로의 열전달과 재료에서 응축기로의 물질전달 저항이 적기 때문에 건조속도가 빠르지만 건조가 진행되면서 건조층(dried layer)이 다공성으로 변하면서 열유속에 단열효과를 형성하여 재료 주위에는 높은 저항을 갖게 된다. 열과 물질 전달 저항은 압력의 함수이므로 압력을 최소로 유지하므로서 열전달을 향상시킬 수 있고 수증기의 기력도 증가하기 때문에 실질적인 건조율(drying rate)을 증가시킬 수 있다.^{7,8)} 그러므로 건조실의 압력(chamber pressure)은 동결건조에서 중요한 제어변수가 된다. 또한 가열판의 온도는 재료의 열전달율에 영향을 주고 승화경계면(sublimation interface)으로 에너지가 전달되기 때문에 중요한 변수이며, 물질전달을 위한 기력으로 수증기 이동에 영향을 주는 응축기의 온도도 제어변수 가운데 하나이다^{9,10,11)}.

품질 제한조건으로 열풍건조에서는 재료의 수축, 영양성분의 손실, 비효소적 갈변 등을 고려하여 건조공기의 온도, 습도, 풍속 및 풍량 등의 건조 외적조건과 재료의 수분함량과의 관계를 함수로 표현되고 있으나 동결건조에서는 저온, 저압에서 승화되기 때문에 건조층이 열화온도 이하($T_d \leq T_s$)이며 승화경계면 온도가 용융온도 이하($T_x \leq T_m$)에서 건조되도록 두고 있다²⁾.

3. 건조장치의 구성

동결건조장치는 규모와 용도에 따라 구성 요소가 다소 차이를 보이고 있으나 일반적으로 다음과 같은 계를 갖고 있다.

가. 예비동결계

나. 열공급계(접촉식, 복사식, 대류식, 마이크로파 등)

다. 진공펌프계(기계식, 스팀식)

라. 증발수분 제거장치(cold trap)

마. 부대설비(트레이 운송)

바. 운전제어계(릴레이, 컴퓨터, 제어기기)

3.1 예비동결계

원료는 건조공정에 들어가기 전에 반드시 동결시켜야 한다. 동결속도와 동결온도는 건조품의 품질에 큰 영향을 주므로 중요한 인자이기도 하다. 동결속도가 느리면 제품의 품질이 현저히 저하되며, 동결온도가 충분하지 않으면 가열과정에서 발포와 표면강화 그리고 용해 등의 현상이 일어난다.

순수물과 가용성 성분 그리고 섬유질 등으로 구성되어 있는 원료는 종류에 따라 동결온도를 달리하고 있다. 따라서 예비동결은 공정점이하의 온도에서 행해야 하며 그 온도는 대략 $-35^{\circ}\text{C} \sim -40^{\circ}\text{C}$ 범위이다.

동결방법으로는 별도 설치된 동결장치에서 하는 예비동결법과 건조고내에서 진공배기에 의해 냉각동결되는 자기 동결법이 있다. 어떤 방법을 채택하는가는 원료의 형상과 성질에 따라 결정되고 있다.

3.2 Chamber 및 열공급계

Chamber는 원료를 외부와 차단하기 위한 탱크로서 각형과 원형이 사용되는데 체적의 유효 이용면에서 각형을 많이 사용한다.

동결건조는 액체 또는 고체상태에 있는 수분을 기체상태로 상변화시켜 제거해야 되므로 이때 필요한 열을 공급한다. 이때 가열을 위한 가열판을 shelf라 한다. 건조계내에 원료를 넣는 방식으로는 트레이에 원료를 넣고 대차 등으로 계내에 삽입하며 트레이는 표면처리된 알루미늄 또는 스테인레스 제품이 많이 쓰인다. chamber는 내부의 청소가 용이하며 청결상태를 유지할 수 있도록 설계·제작되어야 한다. 특히 의약품의 경우는 계내를 항상 무균상태가 되도록 해야한다.

건조계 내의 열공급방식은 원료를 담은 트레이를 가열판에 직접 접촉시켜 가열하는 전도방식과 트레이를 가열판 사이의 공간에 삽입 고정하여 복사하는 방식이 있는데 식품의 경우는 복사가열방식을 많이 채용하고 의약품의 경우는 전도가열방식을 주로 채용

하고 있다. 가열제에서 가열된 열매체는 가열판 내부의 각단에 같은 양이 공급될 수 있어야 하며 사용되는 열매체는 합성유, 광유, 온수 및 스팀등이 주로 쓰이고, 가열온도 20℃~150℃범위에서는 광유가 적당하다.

3.3 진공펌프 및 증발수분 제거장치

동결건조는 예비동결(1)→진공배기(2)→열공급(3)→승화수증기의 배기(4)의 순으로 이루어진다. 승화수증기를 배기하는 방법으로는 계 밖으로 배기하는 방법과 계내에서 응결시키는 방법이 있다. 얼음 1kg이 0.1torr의 진공하에서 수증기가 되면 그 체적은 약 8,000m³이나 된다. 대형의 동결건조장치에서 많은 양의 체적을 기계적인 방법으로 배기하는 것은 비 현실적이므로 응결방법이 주로 채용되고 있다.

○진공계의 구성

동결건조에서 배기대상가스로는 공기와 같은 불용축가스와 수증기인 응축가스로 대별할 수 있다. cold trap방식에서는 불용축성가스는 기계식 진공펌프에 의해 계외로 배기하고 응축성가스는 cold trap에서 응결시키고 있다. 진공배기장치의 선택은 장치의 용적, 가스의 성분, 조작압력 및 배기시간 등이 고려되어 결정되고 있다. 특히 배기시간은 원료의 용해와 밀접한 관계가 있으므로 단시간에 진공배기가 요구된다. 대형의 동결건조장치에서는 초기배기시간을 기준으로 정한 대용량의 진공펌프와 조작압력에 도달한 후 운전되는 진공펌프를 분리하여 설치·운전하는 것이 바람직하다.

식품용 동결건조장치의 조작압력은 통상 1~0.1torr로 이에 적합한 진공펌프는 유회전형이다. 그러나 대형기계로 조작하기에는 한계가 있으므로, 대용량 배기에 상호조합하여 쓰이고 있다. 즉, 유회전 진공펌프, mechanical booster+수동펌프 등이다. 유회전 진공펌프는 진공펌프를 대표하는 것으로 회전식으로 진동소음이 적고 배기속도도 비교적 크다. Mechanical booster는 10~

10⁻³torr의 범위에서 사용하며 비교적 대용량의 배기속도를 갖는다.

실제 동결건조에 사용되고 있는 기계식 진공펌프는 도달압력이 높은 장치에 유회전 진공펌프를, 도달압력이 낮은 장치에는 Mechanical booster펌프와 유회전 진공펌프를 2단으로 조합한 것이 대부분이다.

○cold trap

원료로부터 승화한 수증기를 다시 얼음의 상태로 제거하는 장치이다. 이의 구조는 냉각부가 fin관식, coil식, 다관식, plate식 등이 있으나 외형에 비해 냉각면적이 큰 fin관식을 많이 채택하고 있다. 식품의 경우 cold trap 냉각면온도는 승화온도가 -10℃~-25℃의 항률건조기에서 -30℃~-40℃ 정도이고, 건조말기에는 냉동부하가 적게되므로 제품의 함수율을 낮출 목적으로 -40℃이하로 냉각하며 고진공을 취하고 있다.

건조시의 최대 전열량을 얻는 경험식은 다음과 같다.

$$Q_{max} = W(K.H) / \theta$$

이다.

여기서 Q_{max}는 최대전열량(kcal/h), W는 원료중의 전수분량(kg), H=승화잠열(Kcal/kg), K=peak factor(1.5~2.2), θ=항률건조시간(h)

cold trap의 냉각면 온도는 건조실 내의 조작압력보다 충분히 낮은상태에서 작동되어야 하고 이들의 압력차를 얼음의 승화추진력이라 한다.

○수증기 응축능력

cold trap는 냉동장치의 증발기에 해당하므로 Q=U·A·Δt의 식으로 계산할 수 있다. 일반냉동장치의 증발기나 응축기의 U는 계산하기 위한 실험식이 여러가지 있으나, 동결건조용의 cold trap은 조작조건이 0.01torr~0.5torr정도의 진공중에서 작동하게 되며 증발부하도 대단히 불연속적이므로 예측식을 구하기는 쉽지 않다. 전열계수는 응고면의 영향이 지배적이므로 실제의 총괄전열계

수는 30~60kcal/m²h℃로 통상 유효 트레이 면적의 0.5~1.0배 정도로 보고 있다. 전열면적의 결정은 trap의 구조상 냉각면에 부착되는 얼음두께를 고려하여 5~20mm 정도로 설계한다.

즉, 원료중의 증발수분량을 산출하여 얼음의 두께를 결정한 후 전열면적을 결정하는 것이다. 총괄전열계수로 부터 결정된 전열면적과 두께로 부터 산출한 전열면적을 비교하여 큰 수치를 택하면 된다.

4. 과채류의 동결건조공정

과실과 채소류는 건조에 들어가기 전에 이물질의 제거, 농약의 세정 및 세균과 blanching 등의 원료처리가 요구된다.

4.1 전처리

동결건조를 실행함에 있어 예비동결공정까지의 처리를 전처리공정으로 구분짓고 있다. 이는 원료의 초기상태와 최종 건조제품의 형태에 적합하게 처리되어야 한다.

가) 세정전의 처리 : 과채류에 있어서 마른 잎, 변색 및 부패부위 그리고 먹을 수 없는 부분을 제거한다.

나) 세정 : 토사의 제거, 곤충 및 유충 그리고 기타균 등의 제거이다. 일반적으로 3단계 유수세정을 취하고 있으며 필요시에 특수세정도 한다.

다) 해동 절단 : 냉동과채류를 동결건조 원료로 사용할 경우에 안전성에 주의를 기울여야 된다. 동결된 것을 해동하지 않고 그대로 절단하여 선반에 담아 건조하는 경우와 완만해동한 후 적당한 크기로 절단하여 건조하는 경우가 있다.

라) 산화방지 : 세정 등에 의한 조직의 파괴, 해동·절단 등에 의한 변색 그리고 건조 후의 스펀지 상태로 인한 산화 등은 과채류에 포함된 효소의 움직임때문이다. 이들의 변질을 방지하기 위하여는 식염수, L-아스코르빈산염 및 퇴색방지제 등에 참지하거나

가열수에서 수분간 증자(blanching)를 취하면 된다. 사과 등 산화효소가 강한 과실에 대해서는 아황산염류 용액에 침지함으로써 갈색으로 변하는 것을 방지할 수 있다.

마) 증자(Blanching) : 가열에 의해 과채류의 자가효소 활동을 억제시켜 변질을 막는 방법이다. 일반적으로 온수에 단시간 침지하는 방법을 사용하지만, 비타민의 손실과 맛 및 성분용출 때문에 blanching용액의 조성을 식품의 조직농도 보다 약간 높게 하는 것이 이상적이다. 증기처리는 열수처리에 비하여 가열이 균일하지 않은 결점을 갖고 있지만 성분용출이 적은 잇점을 갖고 있다.

바) 조미 : 맛내기는 blanching에 의한 성분손실을 보충하고 동결건조 후의 산화방지를 목적으로 조미액에 침지하는 것이다. 성분으로는 당류, 유기산류, 식염, 아미노산, 미타민류 등을 들 수 있다.

4.2 동결

전처리를 마친 과채류는 예비동결실에서 동결하는 경우와 건조실 내에서 기화잠열에 의한 자기동결법이 있다. 자기동결하는 경우는 약 600kcal/kg의 잠열을 빼앗겨 그것과 함께 수분증발이 일어나므로, 동결이 완료될 때까지 총 탈수량의 약18%를 잃어 예비동결법에 비해 건조시간 단축효과가 있다. 그러나 자기동결을 단시간에 행하기 위해서는 cold trap의 능력이 통상 운전의 수배가 필요하므로 냉동기의 용량이 대형이다. 또한 자기동결의 경우 급속히 수분증발이 일어나므로 세포벽이 파괴되고 품질이 열화된다고 볼 수 있다.

예비동결의 경우 단시간에 -30℃까지 낮추는 것이 품질상 바람직 하지만 건조 후 복원성과 제반비용 등을 고려하여 적당한 동결시간과 온도를 결정하여야 한다. 동결이 너무 완만하면 얼음의 결정이 성장하여 조직파괴가 일어나 식용으로 이용되는 음식에서는 맛이 나빠질 수 있다. 고도의 품질을

요하는 식품에서는 동결에 의한 물리적 성질 변화를 무시할 수 없다. 일례로 두부의 조직이나 유산균의 생균수는 동결건조에서 동결조건과 밀접한 관계를 갖고 있다.

4.3 동결건조

건조장치 chamber안에는 승화잠열이 공급되고, 공급방법으로는 전도가열방식과 복사가열방식이 있다. 전자는 tray를 가열판 위에 놓는 경우이고 후자는 가열판 사이에 tray가 들어가 양면복사를 받게 되는 경우이다. 건조온도의 제한조건으로는 피건조물이 용해되지 않고 건조부분이 과열에 의해 열변성을 받지 않는 것이다.

일반적으로 소형의 건조기에서는 건조가 완료될 시점에 과열에 의한 품질열화가 일어나지 않지만 대형건조기는 다단 히터의 각 부분이 균일한 열공급이 아닐 뿐 아니라 트레이에 담긴 상황이 다르므로 건조기간의 1/3을 경과하면서 부터 피건조물의 품질열화 가능성을 고려하여 온도조절에 유념하여야 한다.

건조완료 판정은 가열판의 온도와 피건조물의 품온이 일치하고, 가열을 멈추더라도 품온의 저하가 일어나지 않는 상태이다.

4.4 후처리

동결건조에서 후처리는 건조실에서 건조가 끝난 후 수납공정, 선별공정, 분쇄 및 혼합공정을 말한다. 건조품은 흡습력이 높으므로 작업실의 온도를 23℃ 전후와 상대습도 40% 이하로 조절되는 것이 좋다. 또한 동결건조품은 부서지기 쉬우므로 후처리 및 포장에 충분한 주의가 필요하다. 특히 탈수 후 빙결정 부위는 다공의 스폰지 상태로 남게 되므로 공기에 의한 산화면적이 보통 원료보다 약 100배 이상 받게 되어 15℃ 이하의 저온이나 질소를 치환하여 보관함이 좋으며, 염분이 다량 함유된 제품은 흡습성이 매우 높으므로 수납과 저장에 각별한 주의가 요구된다.

4.5 포장

건조식품은 저수분으로 유지해야 하고 효소의 존재도 바람직하지 않다. 그래서 저장용기 또는 포장재료를 통해 흡습이 되지 않고, 공기침투에 의한 산소농도의 증가도 바람직하지 않다.

건조식품의 포장재료로는 금속(캔)과 유리(병)이 좋으나, 가격과 취급상의 문제로 저렴하고 밀봉하기 쉬운 플라스틱 필름이 알루미늄박과 같은 금속과 조합하여 많이 사용되고 있다. 즉, 알루미늄박에 다층의 폴리에틸렌과 종이 그리고 셀로판등의 소재를 적층하여 사용된다.

포장을 위한 환경조건으로는

- 포장작업실의 온도는 20℃ 내외가 좋으며, 상대습도는 40% 이하여야 한다.

- 포장환경으로 먼지와 일사광선을 피하여야 한다.

- 포장용기의 내부에는 완충재 또는 완충을 위한 기체등을 충전하여 파손을 방지하여야 한다.

- 산화방지를 위해 용기내에 불활성가스나 산소흡수제를 봉입함이 좋다.

- 수분조정을 위해서는 IPD(in package desiccation)를 행함이 좋다.

5. 동결건조업체의 국내·외 이용 현황

우리나라에서 산업용의 동결건조기를 처음 사용한 것은 1976년경 불로식품에서 군비상식량을 목적으로 외국으로 부터 수입·사용한 것이다. 그후 동서식품에서 1984년 인스턴트커피를 제조하기 위하여 덴마크의 ATLAS로 부터 연속식의 대형건조기를 수입하게 되었다. 1980년대 들어서면서 라면시장의 급성장과 고급화된 즉석면의 수요증가로 스프제조용의 동결건조기가 풍양산업과 (주)농심에서 일본으로 부터 수입하게 되었다. 근래에 와서 동결건조품의 인기가 상승되고 동결건조장치의 설계·제조기술을 국산화하기 위한 업체의 노력으로 북어건조

용의 저급 동결건조장치가 1989년 이후 많이 설치되었다. 1995년 현재 국내 동결건조 업체는 약 35개가 있으며 1일 건조능력(수분탈수량)은 180톤 규모이다. 이들 업체에서 가공되고 있는 제품형태는 라면스프용, 즉석식 및 건강보조식 등의 식품소재가공이 45%로 가장 많으며 그 다음이 복어건조로 44% 그리고 커피건조가 10%이다.

일본은 1970년 중반부터 동결건조품이 시판되면서 1980년대 초에 많은 업체가 생겨 현재 약 45개가 있으며 1일 생산능력은 국내의 1.5배 정도로 추정된다. 가공품으로는 고급면, 건강식, 즉석식 등 국내 제품형태와 유사하며 천연색소와 천연향신료 등이 다른 것으로 나타났다. 일본의 동결건조업체의 운영방식은 3가지의 형태 즉, 최종상품까지를 생산·판매하는 그룹, 특정회사 제품만을 가공하는 임가공업체 그리고 다수의 불특정 회사제품을 가공하는 업체로 구분되어 있으며 이 가운데 불특정 회사제품을 가공하는 업체의 수가 가장 많다.

유럽과 구미지역의 동결건조품은 커피가 주종을 이루고 있다. 기호식품용의 연속식 동결건조기가 대형으로 사용되고 있고, 제약과 미생물 분야에서는 배치형의 중형(batch당 원료투입량 : 약 200kg 내외) 규모가 이용되고 있다.

6. 결 언

1990년대에 들어서면서 외식산업과 건강보조식품의 신장은 매년 증가추세에 있고, 즉석식과 고급편의식의 선호도는 높게 나타나고 있다. 상품가치를 제고하고 제품의 다양화를 위한 건조기술로 동결건조보다 우수한 건조방법이 등장하고 있지 못한 시점에서 동결건조에 관한 기술개발을 지속적으로 추진하여야 할 것이다.

동결건조는 일반의 열풍건조에 비하여 건조비용이 높고 시설비가 고가이므로 에너지 절약형의 장치개발과 부가가치 높은 소재의

발굴 및 동결건조 후 냉풍건조 등의 응용기술 접목방법으로 해결할 수 있을 것이다.

또한 식품, 제약 및 미생물 분야 등에서 단순 소재가공으로만 사용되고 있는 동결건조를 복합가공제품(예 : 복합조미김치)과 전통식품류(예 : 장류) 등에 응용할 수 있는 제품개발이 꾸준히 이루어진다면 동결건조가 식품산업과 국민식생활에 미치는 영향은 지대할 것이다.

참 고 문 헌

1. Mellor, J. D., *Fundamentals of Freeze Drying*, Academic Press, London, England, 1978.
2. King, C. J., "Freeze Drying of Foods," CRC Press, Cleveland, Ohio, 1971.
3. Altmann, R., *Die Elementarorganismen und ihre Beziehungen zu den Zellen*, Viet, Leipzig, 1890.
4. Shackell, L. F., "An Improved Method of Desiccation with some applications to Biological Problems," *Am. J. Physical*, Vol. 24, p.325, 1905.
5. Flosdorf, E. W. and Mudd, S., "Procedure and Apparatus for Preservation of in Lyophile form of Serum and other Biological Substances", *J. Immunol*, Vol. 29, p.389, 1935.
6. McFarlane, I., *Automatic Control of Food Manufacturing Processes*, Applied Science Publishers, New York, 1983.
7. Bralsford, R., "Freeze-Drying of Beef," *J. of Food Technol.*,
8. Dyer, D. F. and Sunderland, J. E., "Heat and Mass Transfer Mechanisms in Sublimation Dehydration," *J. of Heat Transfer*, ASME, Vol. 90, pp. 379~385, 1968.
9. Stuart, E. B. and Closset, G., "Pore

- Size Effect in the Freeze Drying Process," J. of Food Science, Vol. 36, pp. 388~391, 1971.
10. Meo, D. and Friedly, J. C., "Optimal Control of a Radiant Heat Freeze Drying Process," AichE Symposium Series, Vol. 69, No. 132, 1973.
11. Liapis, A. I. and Marchello, J. M., "Freeze Drying of a Frozen Liquid in a Phial," Drying Technol., Vol. 2, No. 2, pp.203~217, 1983.