

혼합과 건조가 가능한 건조기 개발에 관한 연구

금 성 민[†]

한라대학교 기계자동차공학부

Development of the Dryer Designed for Mixture and Drying

Sung-Min Kum[†]

Department of Mechanical Engineering, Halla University, Kangwondo 220-712, Korea

(Received February 4, 2008; revision received April 1, 2008)

ABSTRACT: The purpose of this study is to develop a paddle-type dryer and to commercialize the dryer, in which mixing and drying can be done simultaneously. According to a performance test, a newly-designed paddle-type dryer can dry Chitosan salt to a low moisture contents below 0.3%. Also the newly-designed dryer can dry air pollution materials, because the dryer can operate in a closed system. The economic efficiency of a newly-designed system and an existing system was compared in a performance test. As a result, the economic efficiency of a newly-designed system was higher than an existing system. In conclusion, it is thought that the newly-designed system has a high commercial value.

Key words: Dryer(건조기), Mixer(혼합기), Moisture content(함수율), Paddle(패들), Working volume(작업부피)

1. 서 론

건조는 섬유, 화공, 식품, 제지 등 모든 산업분야의 생산공정에 필수 단위공정으로서 열, 공기유동 및 진동, 회전 등에 의해 피건조물 중에 포함되어 있는 수분이나 유기물 등을 제거하여 적절한 함수율을 갖도록 하는 공정을 의미한다. 이러한 건조공정에서는 피건조물의 건조 후 상태가 최초에 목적했던 상태와 동일하게 되도록 건조시키는 기술이 핵심이며, 피건조물의 종류가 섬유·화공제품, 식품, 폐기물 등 매우 다양하므로 각각의 피건조물의 특성에 맞는 적당한 형태의 건조방식^(1, 2) 선택이 매우 중요하다.

따라서 산업분야에서 건조과정의 중요성을 살

각해볼 때 건조장치의 성능개선에 필요한 기술개발은 매우 중요하며 특히 고부가가치 재료 등과 같이 소량 다품종에 대응할 수 있는 조건이 구비되어야 한다. 또한 대부분의 건조장치는 개방형으로 건조 후 배출되는 열풍에 동반된 분진이 대기로 방출될 수 있으며, 환경유해물질과 같은 재료를 건조할 경우 환경오염의 원인이 되기 때문에 이 포집과 제거를 완벽하게 할 수 있는 시스템을 제작하는 것도 중요하다고 할 수 있다. 국내에서 생산되고 있는 건조기는 크게 회전식, 열풍식 및 입자 부양식 등이 있으며^(1, 3) 종류로는 약 20종에 이르고 있다. 이들 중 통기식과 기류식 등이 국내 생산의 주류를 이루고 있으나 다량의 수분을 함유한 원료의 수분함유량을 1% 미만으로 정밀하게 건조시키는 건조기 설계기술이 취약하고,⁽⁴⁾ 혼합기능이 없고 단순히 건조만 가능한 건조기가 대부분이기 때문에 혼합 및 코팅 등과 같은 공정은 후처리 공정으로 처리해야 하므로 부수적인 설비

[†] Corresponding author

Tel.: +82-33-760-1217; fax: +82-33-760-1211

E-mail address: smkum@halla.ac.kr

가 필요하여 생산성이 낮다. 또한 개방식이기 때문에 열풍 배기에 의한 환경유해물질이 방출될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 위에서 언급한 취약점을 보완할 수 있는 건조기를 설계 제작하고, 성능실험을 통해 적용기업(키토산소금 제조기업)에 적용한 후 보급을 촉진하고자 하는 것이다.

본 연구를 통해 최종적으로 개발하고자 하는 건조기는 혼합과 건조가 동시에 이루어지는 작업용량이 500 kg인 건조기로서 적용기업의 생산라인을 고려하여 건조기의 기본구조에 키토산액 공급장치, 천일염 공급장치, 서브호퍼(키토산 소금 완제품 선별 및 보관장치) 등을 추가하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치의 구조

Fig. 1은 본 연구를 통해 설계 제작된 혼합과 건조가 가능한 패들형 건조기의 개략도로서 크게 혼합부와 건조제어부로 나눌 수 있다.

시스템의 가동공정은 먼저 파이프 컨베이어를 이용하여 천일염이 혼합기에 투입되며 천일염의 양에 따라 계량된 키토산액이 펌프에 의해 혼합기 내부 노즐을 통해 분무되면서 혼합이 이루어진다. 이때 혼합과 동시에 열풍이 공급되고 건조가 완료된 키토산소금은 서브호퍼에서 선별되어 포장된다.

특히 건조후에도 키토산향이 유지될수 있도록 밀폐시스템을 채택하여 열풍은 밀폐된 시스템내

에서 순환하게 되어있으며 피건조물의 종류에 따라 개방시스템을 겸용할 수 있도록 설계하였다.

건조기의 유로체계를 살펴보면 공기는 송풍기에 의해 히터로 보내지며 온도감지센서에 의해 초기 설정온도까지 가열된다. 가열된 열풍은 혼합기의 양쪽 유로를 통해 혼합기내부로 유입된다. 혼합기 내부로 유입된 열풍은 피건조물과 접촉한 후 백필터를 통과하면서 분진이 제거된다. 백필터를 통과한 열풍은 쿨러에 의해 습기가 제거된 후 다시 송풍기로 보내지며 유속은 인버터에 의해 조절된다.

본 건조기의 모든 장치는 컨트롤패널에 의해 제어되며 시간경과에 따른 건조부의 상태는 레코더에 의해 기록되도록 되어 있다.

2.1.1 혼합기 구조

혼합기의 기본구조는 배치(batch)식으로 혼합실 내 두 개의 회전축이 있으며 한 개의 회전축에 14 개의 패들이 상호 중첩되도록 설계되었고 이 패들에 일정한 선단속도를 부여함으로써 혼합실내에 유동층영역이 형성된다. 이때 피건조물의 표면적은 극대화된다고 볼 수 있으며 그 상태에서 열풍과 접촉하여 건조가 되기 때문에 피건조물이 전체적으로 일정한 함수율을 갖게 되고 건조시간도 단축시킬 수 있다.

특히 본 건조기와 같은 형식은 혼합과 건조가 동시에 진행되기 때문에 혼합실내 데드존이 작아야 하고, 분진의 발생을 최소화해야 되는 것은 물론 가능하다면 원료의 양에 따라 스케일업이 쉽고, 보수 및 점검이 용이하며 원료의 배출이 짧은 시간에 이루어지도록 설계 제작되어야 한다. 본 연구를 위해 제작한 혼합기는 (주)세지테크에서 노르웨이 FORBERG사의 혼합기를 기술 도입하여 지난 15년동안 제작 판매하면서 수입 대체한 것으로 혼합성능에 대해서는 이미 그 우수성이 검증된바 있다.

Fig. 2는 혼합기를 나타낸 것으로 모든 혼합기는 내부에서 원료가 이동할 수 있는 유효공간을 갖고 있는데 일반적으로 혼합기 전체부피의 약 1/2정도를 작업부피(working volume)라고 하며 이것을 바탕으로 혼합기의 단위생산량이 결정된다. 작업부피는 500 kg으로서 크기는 1,360 × 1,160 × 1,180 mm, 재질은 스테인레스 304(5T)이며 단열을 위해 이중구조로 되어있고 그 사이에는 단열

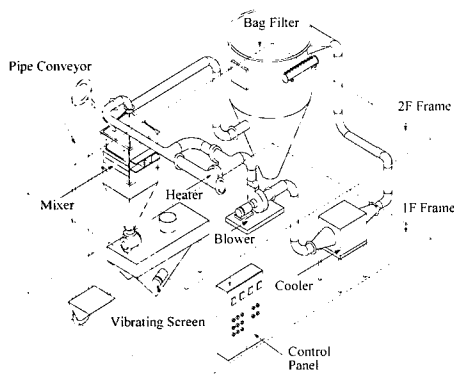


Fig. 1 Schematic diagram of dryer system.

을 위해 유리섬유(두께 50 mm)를 넣었다.

원료는 혼합기의 윗부분에서 투입되도록 되어 있으며, 혼합기 하부의 최대 경사면에 배출구를 설계하였고, 이것은 실린더에 의해 작동되며 컨트롤패널에서 조정된다. 혼합기의 양쪽 측면에는 열풍을 혼합기의 입구로부터 밑부분으로 유도시키기 위한 가이드패널(1,160×300 mm)이 설치되어 있는데, 이 패널은 열풍의 속도와 혼합기내의 온도분포를 결정하는 중요한 요소가 될 수 있기 때문에 기초실험을 위해 가변되도록 제작하였다.

Fig. 3은 혼합기 내부에 설치되어 있는 패들의 형상을 나타낸 것으로 두 개의 축으로 구성되어 있으며 한 개의 축에 14개의 패들이 상호 중첩되도록 설계하였다. 패들의 회전축은 직경 80 mm의 스테인레스를 사용하였고 혼합기 옆부분에 있

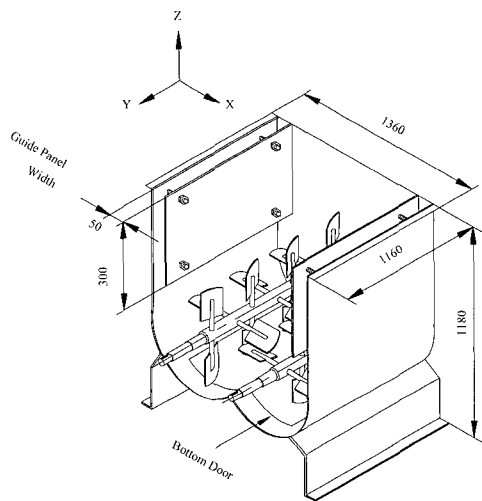


Fig. 2 Schematic diagram of mixer.

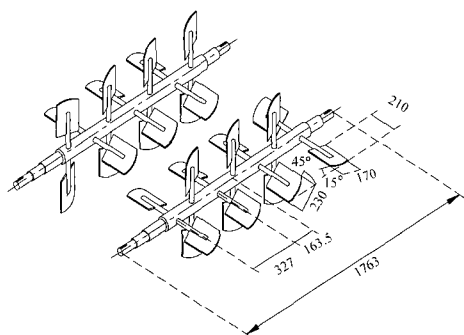


Fig. 3 Detail diagram of the paddle.

는 모터에 연결되어 컨트롤패널에서 제어된다.

특히 회전축의 회전속도는 혼합기의 성능을 결정짓는 가장 중요한 요소가 되는데, 만약 회전속도를 빠르게 할 경우 원료에 전달되는 충격량이 증가되어 분화의 원인이 되며, 반대로 회전속도를 느리게 하면 원료의 이송이 원활하지 못하여 혼합시간이 길어지거나 균일한 혼합이 되지 않는다.

따라서 본 연구에서는 기초실험의 결과를 토대로 축의 회전속도를 85 rpm으로 설정하였다.

2.1.2 건조제어부의 구조

혼합기 내부로 유입되는 열풍유입관의 내경이 310 mm, 유입되는 열풍속도를 최대 10 m/s(냉각 건조 고려)로 가정할 경우 건조기에 유입되는 열풍량은 약 2,715 m³/h이다.

따라서 열풍 속도변화를 대비하여 최대 3000 m³/h까지 가능한 원심식 송풍기로 정하고 적용업체의 생산공정에 적합하도록 컨트롤패널 내부에 인버터를 설치하여 주파수 변화에 의한 유량조절이 가능하도록 설계하였다.

유로체계가 밀폐시스템인 경우 분진이 완벽하게 포집되지 않는다면 히터 및 전체유로에 영향을 줄 수 있기 때문에 파일릿 건조기에서 채택한 Woven Fiberglass와 유사한 독일 BWF사의 Nomex(NO 601) 필터를 선정하였다.

Nomex의 통기도는 약 1~2 cc/cm²·s(196 kPa), 내열온도는 370 ℃로서 높은 압력에서도 분진의 포집능력이 우수하며 습한 분진의 필터링에 적합하다.

Fig. 4는 백필터의 형상을 나타낸 것으로 열풍의 통기를 원활하게 하기 위해 입체적 구조를 갖도록 원형의 필터케이지(직경 156 mm, 높이 2,000 mm)를 제작하고 필터케이지 바깥부분에 Nomex를 씌운 형태이다.

백필터 면적을 계산하기 위해 유속을 최대 10 m/s로 가정하면 송풍기 출구(내경 310 mm)에서 최대유량은 약 3000 m³/h이다. Nomex의 통기도가 약 1~2 cc/cm²·s이므로 전체 필요한 백필터 면적은 약 83 m²이며, 백필터 1개의 면적(D = 0.156 m, L = 2 m, A = 1.959 m²)을 고려하면 약 42개 정도가 필요하다. 건조가 진행되는 동안 백필터에 붙은 분진을 떨어뜨리기 위해 솔레노이드 밸브에 의해 4초 간격으로 고압공기가 제트분사관을 통해 백필터에 분사된다.

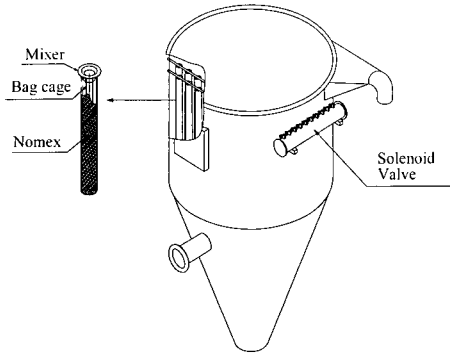


Fig. 4 Schematic diagram of bag filter.

밀폐시스템에서 운전할 경우 혼합기에서 배출된 열풍은 쿨러에 의해 습기가 제거된 후 다시 송풍기에 의해 히터(전기식, 용량 60 kW)로 보내지면서 가열되도록 설계되었기 때문에 용량 31 RT의 쿨러를 백필터와 송풍기 입구사이에 설치하였다.

2.2 실험절차 및 방법

건조시스템에서 혼합기로 유입되는 열풍은 혼합기 양쪽 측면 열풍유입구(가이드패널과 혼합기 벽사이)로부터 혼합기의 밑에서 위로 이동하는 형태로 설계되었다. 혼합기로 유입되는 열풍은 가급적 유입구 전영역에서 균일한 속도와 온도분포가 요구되며 이것은 건조성능에 중요한 변수⁽⁵⁾이기 때문에 열풍유입구 폭(Fig. 2 참조) 결정은 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 열풍유입구 폭을 결정하기 위해 열풍유입구 폭이 30, 40, 50 mm로 변할 때 혼합기 내부에서의 속도 및 온도분포에 대한 수치해석을 수행하고, 기초실험 및 수치해석 결과를 비교하여 열풍유입구 최적 폭을 결정하였다. 건조기를 제작한 후에는 모래에 대한 예비실험을 통해 성능을 확인한 후 적용업체의 생산품인 키토산소금에 대한 성능시험을 수행하였다.

열풍유입구 폭 결정 및 혼합기 내부 온도분포를 측정하기 위해 혼합기 안쪽 상 하부에 5개의 열전대(T형)를 부착하여 데이터로거(HP 3852A)에 연결하였으며, 혼합기의 입출구에는 습도계를 부착하였고, 피건조물의 함수율 측정은 건조기내에서 건조되는 과정중 일정시간 간격으로 샘플을 채취하여 모이스처 발란스(SARTORIUS, MA30)

로 측정하였다. 실험은 피건조물의 특성을 고려하여 밀폐시스템으로 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 열풍유입구 폭 결정

열풍유입구 폭 결정을 위해 혼합기 내부에서의 열풍흐름과 온도분포에 대한 기초실험을 수행하였다. 그러나 실험을 통해 혼합기 내부 전영역에서 속도 및 온도분포를 확인한다는 것은 실질적으로 불가능하기 때문에 기초 실험조건을 근거로 상용 프로그램인 Star-CD를 이용하여 혼합기 내부에서 속도와 온도분포에 대한 전반적인 경향을 알아보고 기초실험 결과와 비교하여 열풍유입구 폭을 결정하였다.

Fig. 5는 열풍유입구에서 열풍온도 120 °C, 혼합기입구 평균유속 1.2 m/s인 경우 열풍유입구 폭을 각각 30, 40, 50 mm로 변화시키면서 시간경과에 따른 혼합기내부의 열풍 평균 온도분포를 나타낸 것으로, 시간이 경과함에 따라 혼합기내부의 온도 증가 경향은 전체적으로 유사하지만 열풍유입구 폭이 클수록 최고온도(약 100 °C)에 도달하는 시간은 단축되는 것으로 나타났다. 이것은 열풍유입구의 폭이 클 경우 작은 경우보다 상대적으로 열풍의 유입이 원활하고, 입구에서의 압력손실도 작게 걸리기 때문으로 판단된다.

Fig. 6은 상용프로그램인 Star-CD를 이용하여 혼합기 내부에서 속도와 온도분포에 대한 경향을

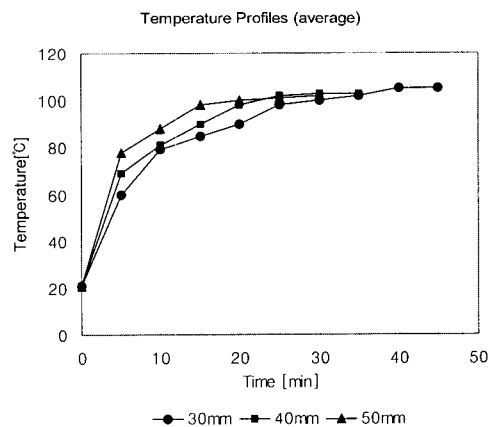


Fig. 5 Average temperature distribution in mixer.

나타낸 것으로(좌우가 대칭이기 때문에 혼합기 오른쪽만 나타냄) 초기조건은 송풍기 출구속도 6 m/s, 히터출구온도 150 °C이다.

열풍은 상부로부터 혼합기 열풍유입구를 통해 유입되고 혼합기 밑부분을 통해 혼합기 전체를 통과한 다음 상부 양쪽 출구로 배출된다.

혼합기 입구에서의 유속분포를 살펴보면 폭이 50 mm인 경우가 30 mm인 경우보다 상부 4개의 섹터에서 속도가 비교적 균일하게 나타나며, 혼합기 측면과 중앙부에서도 안정적인 흐름을 보인다. 또한 전체적인 속도분포도 50 mm인 경우가 30 mm인 경우보다 높게 나타난다(40 mm인 결과는 50 mm보다 불균일하여 지면상 생략함).

Fig. 7은 열풍유입구 폭이 각각 30, 50 mm 일 때 우측면을 기준으로 열풍유입부와 혼합기 내부 온도분포를 나타낸 것이다.

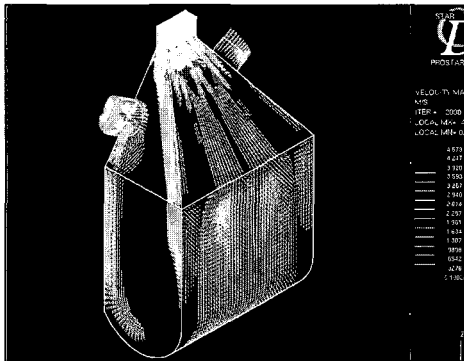
열풍유입구 폭이 50 mm일 때가 30 mm일 때보

다 혼합기 양쪽과 중앙부분의 온도차이가 비교적 작고 온도도 높게 나타난다.

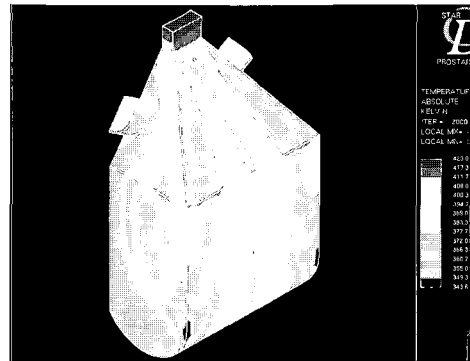
이상과 같은 수치계산결과 열풍유입구 폭이 50 mm일 때가 30 mm일 때 보다 혼합기내부에서의 온도분포가 비교적 균일한 것으로 판명되었기 때문에 예비실험 결과를 토대로 열풍유입구 폭을 50 mm로 결정하였다.

3.2 건조기의 성능실험

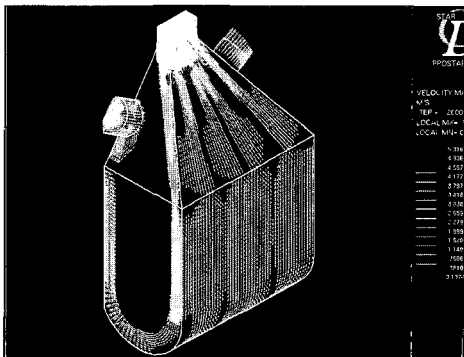
건조기의 성능실험에 앞서 건조기의 작동상태를 점검하고 외국의 유사 건조기와의 간접 비교를 위해 예비실험을 수행 한 결과 Table 1과 같이 FORBERG사 데이터와 비슷한 성능을 나타냈다.(건조시간에서 약 5분 정도 차이가 있지만 건조시간이 목표함수율, 열풍온도, 열풍속도 등과 관계가 있기 때문에 성능에는 거의 차이가 없는



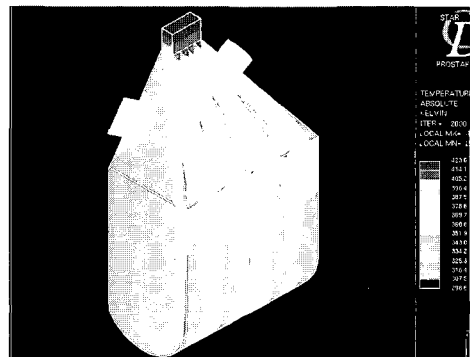
(a) Inlet width 30mm



(a) Inlet width 30mm



(b) Inlet width 50mm



(b) Inlet width 50mm

Fig. 6 Velocities distribution in Mixer.

Fig. 7 Temperature distribution in Mixer.

것으로 생각됨).

지금까지의 예비실험 결과를 분석한 결과 혼합기 및 건조제어부의 작동상태는 안정적이었고 건조성능 역시 만족할만한 수준으로 나타났기 때문에 적용기업체의 생산품인 키토산소금을 대상으로 성능평가를 수행하였다. 최종 시제품으로 제작한 건조기의 성능평가를 위한 실험조건은 Table 2와 같다. Fig. 8은 소금과 키토산액의 총중량이 220kg인 경우 초기함수율 24.1%, 목표함수율 0.3% 이하, 히터 설정온도는 150℃, 열풍 유속은 4m/s 일때 건조시간과 함수율변화를 나타낸 것이다. 키토산 소금의 온도는 건조시간이 경과하면서 높아지기 시작해 건조 종료시에는 약 58℃이며, 쿨러의 출구온도도 배기 열풍의 온도 상승으로 인하여 조금씩 높아지고 있다. 키토산소금의 함수율 변화는 20분 간격으로 측정했는데 건조시작 부터

거의 일정한 비율로 감소하여 목표함수율인 0.3%까지 도달되는 데에는 약 140분 정도가 소요된다.

건조가 진행되는 과정에서 함수율이 5% 이하가 되면 소량의 키토산 소금(매우 작은 입자)이 열풍과 함께 유동하면서 백필터에 부착되는 현상이 발생하였다.

따라서 키토산 소금의 함수율이 약 5% 이하가 될 때에는 열풍유속을 2m/s로 가변하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 목표함수율에 도달되었을 때 키토산 소금의 상태(뭉치거나 작은 입자로 깨지는 현상)는 기존 사용하던 건조시스템에 비해

Table 1 Pre-test result

	Pre-test	FORBERG data
Material	Sand	
Volume(kg)	168	187
Initial M. C.(%)	6.1	6.03
Final M. C.(%)	0.6	0.67
Initial temp.(℃)	200	270
Heating air velocity(m/s)	1.2	-
Exhaust air temp.(℃)	105	90
Final temp. of material(℃)	40	49
Drying time(min)	35	30

Table 2 Experimental condition

	Condition A	Condition B
Sand weight(kg)	160	320
Liquid chitosan weight(kg)	60	120
Initial M. C.(%)	24.1	
Final M. C.(%)	0.3	
Heater temp.(℃)	150	
Heating air velocity(m/s)	4	

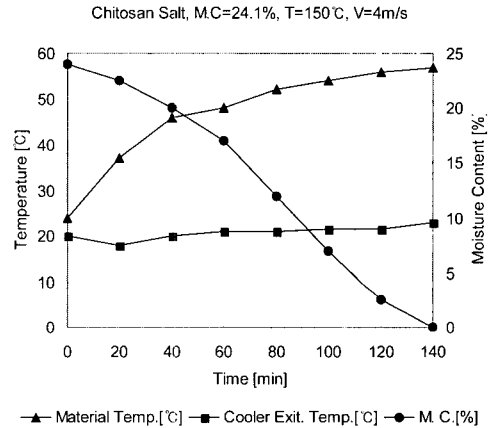


Fig. 8 Moisture contents and temperature for drying time(experimental condition A).

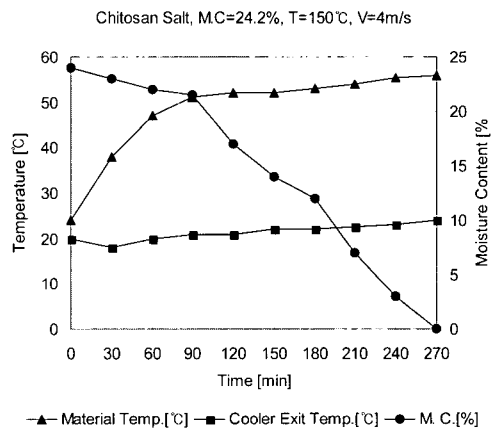


Fig. 9 Moisture contents and temperature for drying time(experimental condition B).

Table 3 Comparison of production method

	Existing System	Newly-designed System
Heater capacity (150℃)	133 kW/h	60 kW/h
Drying time	10 h	4.5 h
Invested expense	3.5 billion	2.5 billion
Production personnel	4	2
Loss of pulverizer	30%	3%
Comparison condition		
Material	Chitosan salt	
Production volume (day)	440 kg	
M. C. condition	Initial M. C. 24%, Final M. C. 0.3%	

매우 양호하였으며, 특히 기존시스템에 비해 추가 작업(작업자가 키토산 소금을 여러 개의 채반에 나누어 담거나, 완료된 덩어리 형태의 키토산 소금을 분쇄기에 넣고 일정한 크기로 분쇄하는 작업)이 필요하지 않기 때문에 생산성 향상은 물론 원가절감이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 9는 소금과 키토산액의 총중량이 440 kg인 경우 초기함수율 24.1%, 목표함수율 0.3% 이하, 히터 설정온도는 150℃, 열풍 유속은 4 m/s일 때 건조시간과 함수율변화를 나타낸 것이다. 시료온도는 건조기 가동 후 점차 증가하여 최종함수율에 도달할 때 약 55℃이며, 쿨러 출구온도는 약 22℃이다. 시간에 따른 함수율 변화관계를 살펴보면 시료투입 후 90분까지는 소금과 키토산액이 혼합되면서 동시에 건조가 되기 때문에 함수율은 조금씩 낮아지나 90분이 지나면서 본격적인 건조가 이루어지면서 30분당 약 3%씩 감소하기 시작해 목표함수율인 0.3%까지 도달되는 데에는 약 270분 정도가 소요된다. 그리고 각각의 효율은 57.5%, 60%이다.

Table 3은 생산방식에 대한 경제성 비교로서 일일 생산량 약 440 kg을 기준으로 전기료는 약 55,250 원/일(133 kW × 10시간 × 65원 = 86,450원, 60 kW × 4.5시간 × 65원 = 32,200원)정도 절감되며, 이외에도 인건비(필요인원은 4명에서 2명)를 고려하면 매월 5백만원 이상 절감이 가능하다.

4. 결 론

본 연구는 혼합과 건조가 동시에 이루어지는 건조기에 대한 개발 연구로서 (주)바이오테크의 키토산소금에 대해 성능실험을 수행하였으며 지금까지의 주요 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

(1) 저함수율(0.3% 이하) 건조는 물론 균일한 건조가 가능하기 때문에 상품화 가치가 높을 것으로 예상된다.

(2) 밀폐시스템에서 운전할 경우 환경오염물질의 건조가 가능하다.

(3) 상용화 보급할 건조기의 경제성을 평가하기 위해 적용기업인 바이오테크(주)의 기존 건조시스템(통기식 건조기)과 비교 분석한 결과 일일 생산량이 약 440 kg일 때 건조시간은 약 1/2로 줄어 들고 전기료는 약 55,000원/일 정도 절감할 수 있다.

(4) 성능평가를 위해 적용업체의 생산품인 키토산소금을 시료로 실험을 하였는데 상품화를 위해서는 보다 많은 시료에 대한 실험을 수행해야 할 것으로 생각되며 이에 대한 데이터구축이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- Sung, J. K., Park, J. T., and Kim, M. B., 2000, The present condition of industrial dryer and technical development tendency, Society for the Energy Research, pp. 3-25.
- Chun, W. P., Lee, K. W., Park, K. H., Lee, W. H. and Lee, G. J., 2005, Experimental study on the air drying characteristics using the impingement jet stream, Proceeding of the SAREK 2005 Summer Annual Conference, pp. 1107-1112.
- Park, J. T., 1996, The selection of industrial dryer, J. of Energy Management, Vol. 236, pp. 120-125.
- Kim, C. I., 1999, Drying technique and development of the overseas, J. of Chemical Engineering and Equipment, Vol. 7, pp. 89-96.
- Kim, D. K., Kum, J. S. and Kim, J. R., 2004, Economic evaluation through thermal efficiency elevation in hot air drying tower, Proceeding of the SAREK 2004 Summer Annual Conference, pp. 1208-1213.