

남은 음식물의 건조사료화를 위한 진공건조기의 성능에 관한 연구

Study on the Performance of the Vacuum Dryer for Dry Feed from the Food Waste

김상현*

신범수*

황병록*

정희원

정희원

S.H.Kim

B.S.Shin

B.R.Hwang

1. 서 론

남은 음식물 1일 발생량은 12,412톤으로 전체 생활 폐기물의 29.4%를 차지하고 있으며, 93.2%가 매립에 의존하고 있다. 이처럼 남은 음식물의 재활용이 낮은 원인은 수분이 많아 취급이 곤란하고, 악취 발생 및 부패가 쉬워 수거에 어려움이 있을 뿐만 아니라 재활용으로서의 가치를 떨어뜨리기 때문이다. 남은 음식물 재활용은 주로 사료·퇴비·바이오가스 생산을 위한 원료로 사용되지만 첨가제의 비용부담 및 염분으로 인한 퇴비의 실효성 문제 등으로 수요자들로부터 많은 호응을 받지 못하는 실정이다. 처리단계 및 시설 기준으로 남은 음식물 재활용 처리 방법으로는 건조, 건조발효, 발효분해(혐기성), 소멸화 분해, 고속발효(호기성)등으로 분류된다.

본 연구에 사용된 진공 건조 방식은 단순 사료화 방식으로 100 °C 이하의 저온에서 건조가 이루어지므로 함수율이 높은 음식물을 짧은 시간에 많은 양을 처리할 수 있으며, 영양소의 파괴를 최소화하여 사료로서의 가치를 높일 뿐만 아니라 60 °C의 고온에서 건조하므로 대부분의 병원균을 사멸시킬 수 있는 장점이 있다. 그리고, 작업자가 냄새 및 각종 유해물질로부터 안전하여 2차 환경오염을 유발하지 않는 점에서 환경친화적인 방법이다.

본 연구에서는 남은 음식물의 건조 사료화를 위해 진공 건조기를 사용하였으며, 건조 성능을 향상시키기 위한 진공 건조기의 성능을 측정하여 분석하는데 목적이 있다. 구체적으로는 첫째 진공 건조기의 작동 조건을 구명하고, 둘째 진공 건조기의 건조 성능을 향상시키는 방법을 찾고, 셋째 건조 효율을 높일수 있는 조건에서 진공건조기내의 건조 온도를 자동으로 제어할 수 있는 제어 장치를 개발하는데 목적이 있다.

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과

2. 재료 및 방법

가. 실험 장치

진공건조기는 그림 1과 같이 건조로(0.3m³), 진공펌프(1.5m³/min), 화실 및 버너(6.3 l/hr), 연료통, 컨트롤 박스 및 압력 조절 장치로 구성되어 있다. 투입 재료로는 남은 음식물과 수분 조절제(톱밥)를 혼합물로서 전체 투입량은 100kg이며, 함수율은 80%로 하였다. 이때, 톱밥의 함수율은 25~30%였으며, 남은 음식물 투입량의 무게비 10%로 하였다.

건조로내의 건조 온도 및 압력은 백금 측온 저항체(RTDs)와 스트레인 게이지식 압력 변환기(50kg/cm²)를 사용하여 측정하였으며, 측정된 신호는 터미널 스크루 보드(SC-2042-RTD)를 거쳐 A/D 변환기(Lab/pc-1200)를 통해 컴퓨터에 입력되게 구성하였다. 입력된 신호는 진공 건조기 온도 제어 프로그램에 의해 연산된 후 진공펌프의 흡입부에 설치된 압력 조절 장치를 조정하여 진공조내의 온도를 설정 및 유지할수 있게 하였다. 진공조내의 온도 설정을 위한 압력조절장치는 그림 2와 같이 구성하였다.

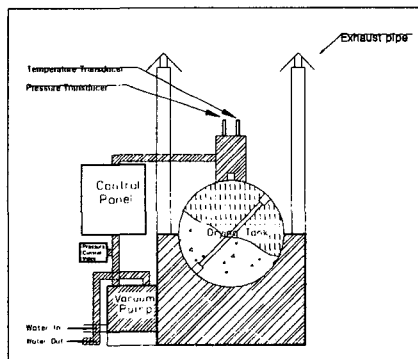


Fig. 1 진공건조기.

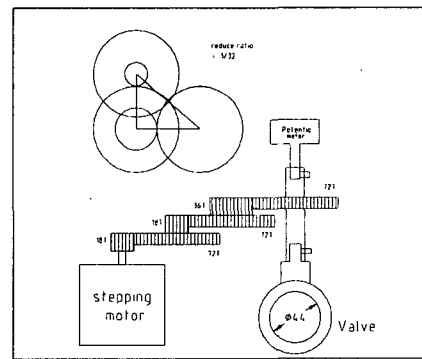


Fig. 2 압력조절장치.

나. 실험 방법

(1) 진공조내의 온도-압력 측정

진공 건조 작업시 진공조내의 온도-압력의 관계를 알아보기 위해 진공펌프 흡입부에 설치된 압력 조절 장치를 조정하여 진공조내의 압력을 변화시키면서 온도 변화를 측정하였으며, 측정된 온도-압력의 관계를 포화수증기표의 온도-압력의 관계와 비교하였다.

(2) 진공 건조기의 작동 조건

진공 건조기의 작동 조건을 찾기 위해 남은 음식물을 투입하여, 건조가 진행됨에 따라 진공조내의 온도와 압력 변화 및 건조 전·후 및 건조중 시료를 채취하여 남은 음식물의 함수율 변화를 측정하여 분석하였다.

(가) 초기 온도에 따른 건조 성능

가열로 온도를 400 °C로 일정할 때 초기온도에 따른 작동 조건 및 건조 성능을 알아보았다. 초기온도는 건조와 동시에 진공펌프를 작동한 경우와 진공펌프 작동전 건조 온도를 60 °C 까지 상승시켜 낮은 압력에서의 건조 실험을 수행하였다.

(나) 가열로 온도에 따른 건조 성능

초기 온도를 일정하게 유지하면서 가열로 온도에 따른 건조 성능을 알아보았다. 실험 1은 건조 온도를 60 °C일때 가열로 온도를 300 °C, 400 °C로 실험하였고, 실험 2는 건조 온도를 70 °C로 일정하게 유지하면서 가열로 온도 300 °C와 500 °C로 하여 실험하였다.

(다) 건조 성능 및 열효율 분석

진공 건조기의 건조 특성은 건조 과정에 따른 증기체적을 구하여 분석하였다. 증기체적(m^3/min)은 분당증발량(kgw/min)과 건조로내의 절대압력에 의한 증기비체적(m^3/kgw)으로 구할수 있다. 여기서, 분당증발량은 단위시간당 재료의 건물량에 대한 수분 증발량인 비중발유량($kgw/kgdm/min$)과 재료의 건물량(kg)으로 얻을 수 있으며, 이 값은 건조 전·후의 함수율 측정예 의한 재료 물성치를 이용하여 구할 수 있으며, 증기비체적은 포화수증기표에서 얻을 수 있다.

열효율은 투입열량에 대한 이론적인 열량으로 나타낼수 있으며, 투입열량은 연료의 저발열량을 기초로 계산되어지며, 이론적인 열량은 비점온도의 비열과 증발잠열로 알 수있다.

(3) 진공 건조기 성능 평가

남은 음식물의 사료화를 위한 적정 작동 조건을 찾아 평가하였으며, 건조로내의 건조 온도를 제어하는 압력조절장치와 온도제어를 위해 개발된 프로그램을 적용하여 실험하였다. 그리고, 건조후 교반 및 공기를 주입할 수 있는 별도의 장치에 재료를 저장하여 발효 여부를 발효 시간에 따른 온도, 함수율, 색도 변화를 측정하여 알아보았다.

3. 결과 및 고찰

가. 건조로내의 온도-압력 관계

온도와 압력은 일정한 관계를 유지하면서 변화하는 것을 포화수증기표에 의해 알 수 있다. 진공 건조기의 건조로내의 온도-압력의 관계를 건조로내의 압력을 변화시켰을 때 건조로내의 온도 변화를 측정하여 그림 3에 나타내었으며, 포화수증기표와 같이 일정한 온도-압력의 관계를 유지하면서 변화하는 것을 알 수 있었다. 진공 건조기내의 온도가 같은 압력에서 3.8 °C 정도 낮게 나타나는 이유는 온도 측정 위치가 재료의 표면으로 다소 떨어져 있는 위치 차이에 기이한 것으로 사료된다.

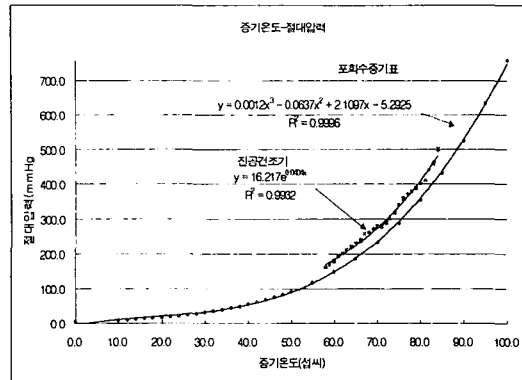


Fig. 3 진공조내의 온도-절대압력 vs 포화수증기표.

나. 진공 건조기의 작동 조건

(1) 초기 온도에 따른 건조 특성

가열로 온도가 400 °C 일 때 초기온도에 따른 건조 특성을 표 1에 나타내었으며, 건조가 진행됨에 따라 재료의 함수율이 낮아지는 것을 알 수 있었으며, 따라서 진공조내의 진공도가 높아지게 되고, 건조로내의 온도-압력의 관계에 의해 온도가 낮아짐을 알 수 있었다.

표 1 초기온도에 따른 건조로내의 절대압력 · 온도 · 함수율 변화

| 작동시간 (min) | 44 °C | | 60 °C | | |
|---------------|----------------|------------------|----------------|---------------|------------------|
| | 절대압력 (mmHg) | 함수율 (%, w.b.) | 절대압력 (mmHg) | 건조온도 (°C) | 함수율 (%, w.b.) |
| 0 | 760 | 80.0 | 760 | 60.0 | 80 |
| 30 | 120 | 75.6 | 110 | 54.5 | |
| 60 | 110 | 72.3 | 95 | 52.5 | 64 |
| 90 | 110 | 67.4 | 85 | 54 | |
| 120 | 105 | 61.2 | 65 | 53.5 | 42 |
| 150 | 100 | 54.6 | | | |

초기 온도에 따른 건조 성능 및 열효율은 표 2와 같았으며, 건조 성능에 있어서 초기 온도가 60 °C일 때가 증기체적이 44 °C에 비해 2배 정도 높게 나타났다. 그리고, 건조가 진행됨에 따라 증기 체적도 10% 범위내에서 비슷한 유량을 보여 일정 유량을 가지는 진공 펌프로 건조가 가능함을 알 수 있었다.

열효율에 있어서는 초기 온도가 60 °C 일때가 9.8% 높게 나타났다. 그러나, 진공 펌프 작동하지 않고 60 °C까지 예열시킨 경우에 있어서는 재료가 타는 현상이 발생하였으며, 수분 증발이 많아 진공도가 낮아지게 되고, 온도-압력의 관계에 따라 온도가 급격히 낮아져 후속 발효를 위한 일정한 온도에서의 건조가 불가능하였다.

표 2. 초기온도에 따른 건조성능 및 열효율

| 44 °C | | | | 60 °C | | | |
|------------------|-------------------------------|--------------|------------|------------------|-------------------------------|--------------|------------|
| 함수율 (%, w.b.) | 증기체적 (m ³ /min) | 건조시간 (hr) | 열효율 (%) | 함수율 (%, w.b.) | 증기체적 (m ³ /min) | 건조시간 (hr) | 열효율 (%) |
| 75 | 3.432 | 1 | 55.7 | 70 | 6.3 | 1 | 70.0 |
| 65 | 3.098 | 2 | 48.6 | 57 | 5.87 | 2 | 58.4 |

(2) 가열로 온도에 따른 건조 성능

건조 온도를 일정하게 유지하면서 가열로 온도에 따른 건조 성능을 표 3에 나타내었으며, 건조로내의 온도 설정은 압력 조절 장치에 의해 건조중 일정하게 설정 및 유지하여 실험하였다. 가열로 온도에 따른 건조 성능은 가열로 온도 400 °C 일때가 높게 나타났음을 실험 1과 2로 알 수 있었다.

표 3. 가열로 온도에 따른 건조 성능

| 구 분 | 실험 1 | | 실험 2 | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 300 °C | 400 °C | 300 °C | 500 °C |
| 열효율(%) | 38.2 | 44.4 | 43.7 | 40.1 |

남은 음식물 건조 사료화를 위한 진공 건조기의 적정 작동 조건에 있어서 건조 온도는 건조 후 후숙 발효를 위해 60 °C가 압력 조절 장치를 설치한 진공 건조기 건조 실험에 의해서도 건조가 가능함을 알 수 있었다. 그리고, 가열온도는 400 °C 정도가 높은 효율을 나타냈음을 알 수 있었다.

다. 진공 건조기 성능 평가

남은 음식물의 건조 사료화를 위한 진공 건조기의 성능을 평가하기 위해 실험으로 얻어진 적정 작동 조건을 적용하였으며, 건조로내의 온도를 설정 및 일정하게 유지할 수 있는 압력 조절 장치와 온도 제어 프로그램을 이용하여 건조 실험을 통하여 성능을 평가하였다.

그리고, 건조 후 후숙 발효를 알아보기 위해 교반 장치 및 공기 유입 장치가 설치된 저장 탱크에 보관하여 일정 간격으로 재료의 함수율, 온도 및 색도를 측정하여 그림 4에 나타내었으며, 재료의 온도는 40~50 °C를 유지하였고, 함수율은 건조 후 26%에서 19%로 낮아졌으며, 재료의 색깔도 연한 갈색에서 짙은 갈색으로 변하는 것을 알 수 있었다. 따라서, 건조 후 재료에서 일정기간동안 발효가 진행됨을 알 수 있었다.

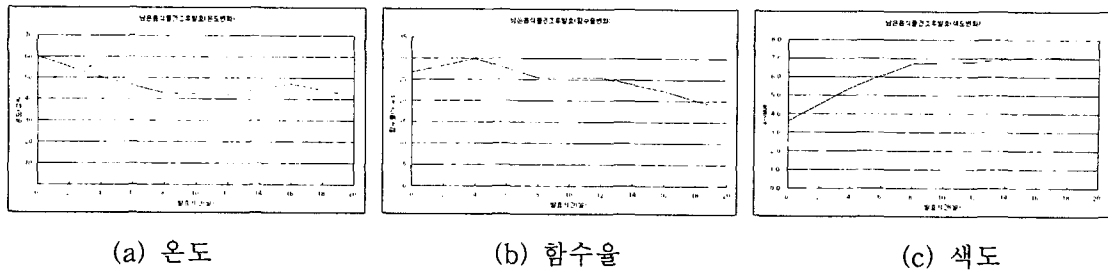


Fig. 4 발효중 재료의 물성 변화

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 남은 음식물의 건조 사료화를 위한 진공 건조기의 적정 작동 조건을 찾고, 효율 증대를 위한 건조로내의 온도 제어할 수 있는 압력 조절 장치 및 제어 프로그램을 개발하여 평가 실험하여 진공 건조기의 건조 성능을 연구하였다.

남은 음식물 건조 사료화를 위한 진공 건조기의 적정 작동 조건은 건조온도 60 °C와 가열로 온도 400 °C임을 실험으로 알 수 있었으며, 건조 후 후숙 발효가 일어남을 알 수 있었다. 따라서 본 실험 장치인 진공 건조기는 남은 음식물 건조 사료화를 위해 적용 가능성을 보여 주었다.

5. 참고문헌

- 고학균 외 6인 : 農産加工機械學. 郷文社 (1996)
- 김명배 : 고효율 건조시스템 개발을 위한 기획 연구. 통상산업부 (1997)
- 장현오 : 그래픽 프로그램의 이해. (주) A.D.C 씨스팀 (1998)
- 정완태 외 5인 : 남은음식물 사료의 가축이용 기술. 남은 음식물 사료화 심포지엄 (1998)
- 주장현 : 진공기술실무. 성원에드워드(주) (1999)
- 지재성 : 퇴비화 기술의 응용 및 발전과 전망. 한국 유기성 폐자원 학회지 pp. 15-17 (1998)
- 축산기술연구소 : 남은 음식물 사료화 이용기술. 농촌진흥청 (1999)
- 환경부 : '96 생활폐기물 및 사업장 폐기물 발생 및 처리현황. (1997)
- Paul De Smet : Vacuum Drying, Manufacturing Chemist Vol(60). No. 2, pp.31-35, pp. 37-39, pp. 49-53 (1989)
- R.M. Imanaev, L.G. Golubev, V.A. Labutin, and E.K. Voronin : Drying of Dispersed Materials in Vacuum/Conduction Units with Stirrers. Teoreticheskie Osnovy Khimicheskoi Tekhnologiiya Vol(25) No. 1, pp. 32-36 (1988)
- Wayne Miller : Trying Vacuum Drying of Radiata Pine. New Zealand forest industries Vol(23) : No. 11, pp. 26 (1992)