

터널건조기내의 절단고추 건조특성[†]

Drying Characteristics of Cut Red Pepper in Tunnel Dryer

남승호*	고학균*	홍지향*	박재복**
	정희원	정희원	정희원
S.H.Nam	H.K.Koh	J.H.Hong	J.B.Park

1. 서론

국내에 약 10여 개소의 고추종합처리시설이 설치, 운영되고 있으나, 대부분 농민으로부터 건조된 고추를 구입하여 고춧가루로 가공하여 시장에 출하하고 있다. 고추종합처리시설에 대용량의 고추건조시설을 설치하고 최적 조건에서 고추를 대량으로 건조하면 건조비용을 절감하고 품질을 향상시킬 수 있으므로 건조시설의 설치가 요구되고 있다. 고추를 절단하여 건조하면 건조시간이 단축되어 건조 비용이 절감되므로 가공용 고추원료로 절단고추를 건조하여 사용하는 것이 바람직하며, 건조장치로는 열효율이 높고 대형화, 자동화가 용이한 터널 건조기를 사용하는 것이 유리한 것으로 보고되고 있다. 그러나 터널건조기는 건조공기 유입구와 배출구에 위치한 피건조물의 함수율 사이에 큰 편차가 있는 문제가 있다. 따라서 터널 건조기를 사용하여 절단고추를 경제적이고 효율적으로 건조하기 위하여 건조공기의 유입구와 배출구에 위치한 피건조물의 함수율 편차를 줄일 수 있는 건조 조건이 구명되어야 한다.

본 연구에서 터널 건조기에서 절단고추의 함수율 편차를 줄일 수 있는 건조조건을 구명하기 위한 기초 연구로서 터널 건조기에서의 절단고추의 건조특성을 구명하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에 사용된 공시재료는 1999년 충남서산에서 수확된 마니마 품종 고추로 실험기간 동안 온도 0℃, 상대습도 90%인 저온저장고에 보관하였다. 실험재료는 150g, 300g, 450g, 600g 단위로 비닐팩에 밀봉하여 함수율과 품질의 변화를 최소화하였다. 실험 전 고추시료가 상온에서 평형 함수율에 도달하도록 12시간 방치하였다. 고추는 꼭지를 제거한 후 가위를 사용하여 길이방향으로 3회 절단하여 실험에 사용하였다.

2.2 실험장치

그림 1과 같이 실험장치를 건조공기의 온도와 절대습도를 조절하기 위한 항온항습기, 건조공기의 상대습도를 낮추기 위한 보조 히터, 실험 중 히터와 팬의 제어와 건조공기의 온도와 고추의 무게 변화를 측정하기 위한 자료수집장치, 송풍팬, 히터 덕트, 건조고추의 함수율 측정을 위한 로드셀으로 구성하였다. 항온항습기에서 일정한 절대습도로 유지된 건조공기는 덕트에 설치한 보조 히터를 사용하여 상대습도를 감소시켰다. 건조실험 중 건조고추의 함수율을 측정할 때마다 송풍팬을 약 10초간 정지하여 공기의 부력을 최소화하였다.

[†]본 연구는 농림기술개발 연구비에 의하여 수행되었음.

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

** 한국식품개발연구원

2.3 실험용 트레이

터널건조기에서의 절단고추의 건조특성을 측정하기 위하여 그림2와 같이 시료상자를 제작하여 건조 트레이 내에 수직으로 세워서 장착하였다. 시료상자의 좌우에 일정간격의 공기통로를 유지하였다. 건조실 바닥에는 凹 형태의 홈을 제작하고 식용유를 채워서 건조 트레이가 건조실의 바닥에 닿지 않고 건조실험 중 건조공기가 누설되는 것을 방지하였다.

2.4. 실험방법

본 연구에서는 절단고추의 건조특성에 영향을 주는 요인으로 건조공기의 온도, 상대습도, 송풍량, 시료의 퇴적두께를 선정하여 실험설계를 하였다. 표1은 송풍량과 퇴적두께별 건조특성을 알아보기 위한 실험조건을, 표2는 건조공기의 온도와 상대습도별 실험조건을 각각 나타내고 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 송풍량과 퇴적두께별 건조특성

건조실험은 절단고추를 약 4시간 건조하였다. 시료의 질량변화는 모든 실험에서 5분 간격으로 측정되었다. 각 실험조건에서 건조공기의 온도와 상대습도를 각각 80℃, 6.5%로 일정하게 유지하였다.

3.1.1 송풍량 변화에 따른 각 퇴적두께별 건조특성

그림 3~6은 퇴적두께가 일정할 때 각각의 송풍량에 대한 건조곡선이다. 모든 실험에서 송풍량이 많을수록 함수율이 빠르게 감소하였다.

Table 1. Flowrates and no. of layers for drying experiments.

Test No.	Layer	Flowrate (cm ³ /min)	Drying temp.(℃)	RH(%)
1	1	0.36	80	6.5
2	2			
3	3			
4	4			
5	1	0.72		
6	2			
7	3			
8	4			
9	1	1.08		
10	2			
11	3			
12	4			

3.1.2 퇴적두께 변화에 따른 각 송풍량별 건조특성

그림 7~9는 송풍량이 일정할 때 각각의 퇴적두께에 대한 건조속도를 나타낸 것이다. 모든 실험에서 퇴적두께가 깊을수록 함수율의 감소가 느리게 나타났다.

Table 2. Temp. and RH of drying air for drying experiments.

Test No.	Layer	Flow rate (cmm)	Drying temp.(°C)	RH(%)
1	2	0.72	80	22
2			80	31
3			70	20
4			70	30
5			60	17
6			60	22

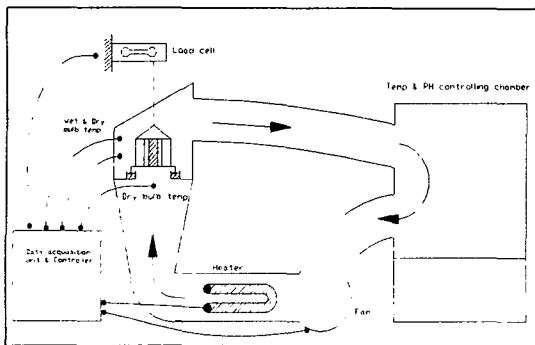


Fig 1. The schematic diagram of drying equipment.

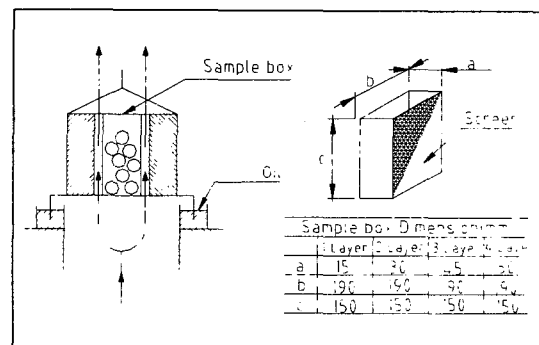


Fig 2. The schematic diagram of a drying tray and sample box.

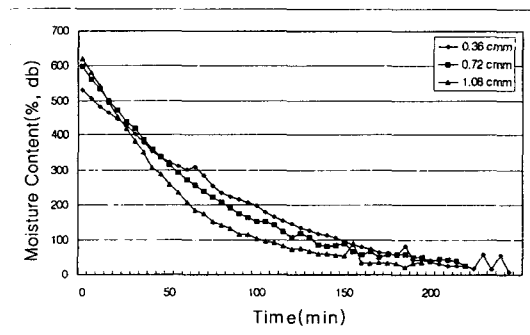


Fig 3. Drying curve of cut red pepper with 1 layer.

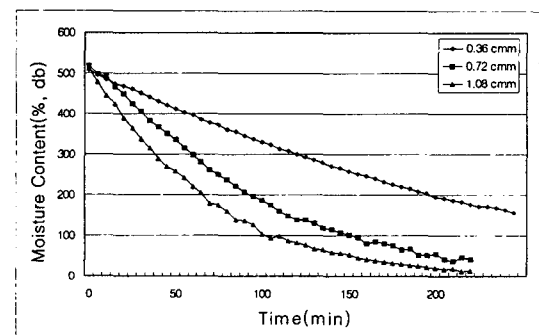


Fig 4. Drying curve of cut red pepper with 2 layer.

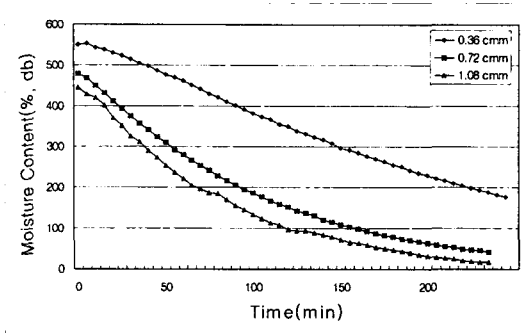


Fig 5. Drying curve of cut red pepper with 3 layer.

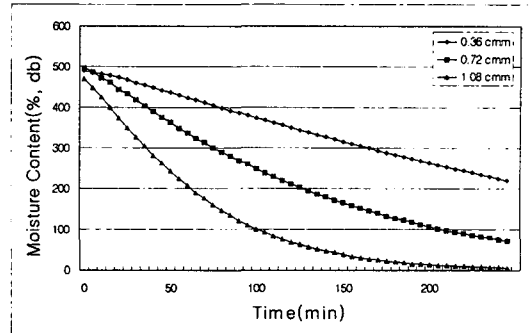


Fig 6. Drying curve of cut red pepper with 4 layer.

3.2 건조공기의 온도와 상대습도별 건조특성

건조실험은 절단고추를 약 4시간 건조하였다. 건조 중 시료의 질량변화는 5분 간격으로 측정하였다. 각 실험에서 고추의 퇴적두께는 2층(3cm)로, 송풍량은 0.72cm/min으로 일정하게 유지하였다. 그림 10~12는 건조공기의 온도에 따른 함수율 변화를 나타낸 것이다. 실험결과 같은 건조온도에서는 상대습도가 낮을수록 함수율이 빠르게 감소하는 것을 알 수 있다.

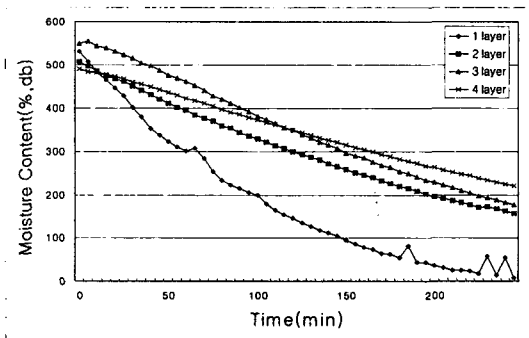


Fig 7. Drying curve of cut red pepper at 0.36 cm/min flowrate.

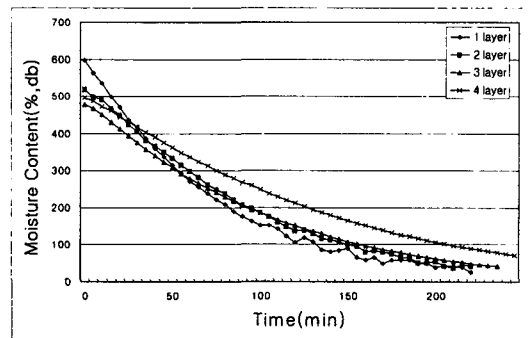


Fig 8. Drying curve of cut red pepper at 0.72 cm/min flowrate

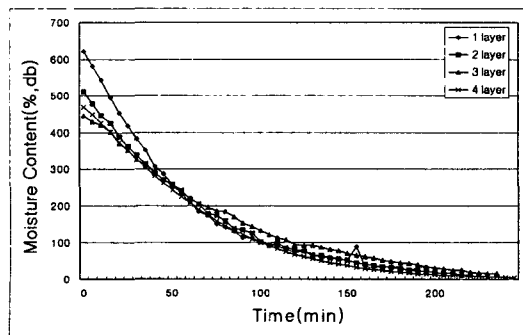


Fig 9. Drying curve of cut red pepper at 1.08 cm/min flowrate.

3.3 한계송풍량

일반적으로 송풍량이 증가하면 건조속도가 증가하나, 일정이상의 송풍량에서는 송풍량의 증가에 따른 건조속도의 증가가 두드러지게 나타나지 않는다. 이 한계송풍량 이하의 송풍량에서는 건조속도가 느리므로 건조시간이 길게되며, 초기의 함수율이 높고 건조시간이 긴 경우는 건조중 건조물의 품질 손상을 초래할 수 있다. 한계송풍량 이상의 송풍량을 공급할 경우 건조속도의 증가는 기대할 수 없으며, 건조비용의 증가를 초래한다. 따라서 건조물의 한계송풍량을 결정은 적절한 건조기의 설계와 건조비용의 최소화를 위해서 중요하다.

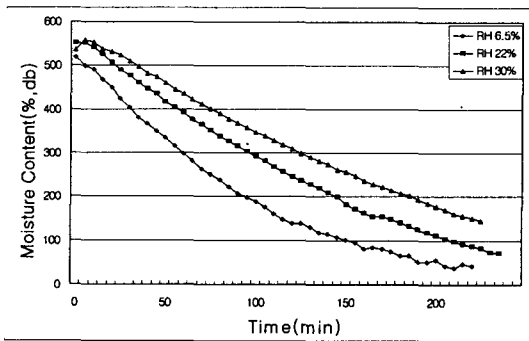


Fig 10. Drying curve of cut red pepper at drying air temp. 80°C.

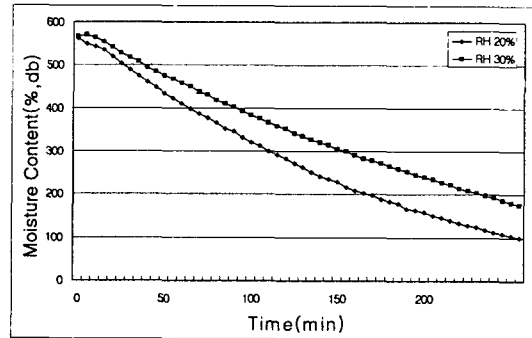


Fig 11. Drying curve of cut red pepper at drying air temp. 70°C.

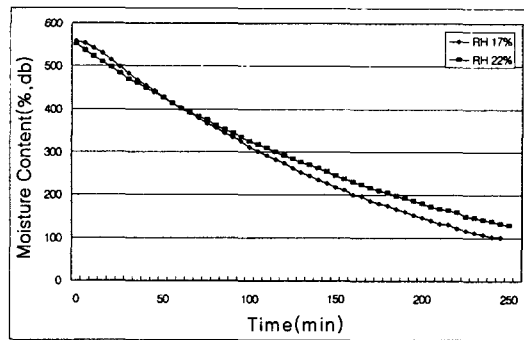


Fig 12. Drying curve of cut red pepper at drying air temp. 60°C.

그림 13은 건조시작 200분경과 후 각각의 단위 질량 당 송풍량에 대한 함수율비를 나타내고 있다. 단위 질량 당 송풍량 2cmm/kg 이상에서 함수율비가 0.1이하이었으나, 단위 질량 당 송풍량이 2cmm/kg 미만인 경우 함수율비가 급격하게 증가하였다. 실험결과 단위 질량 당 송풍량이 약 2cmm/kg 이상에서, 절단고추의 건조속도는 2cmm/kg의 초기 건조속도를 제외하고는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 또한, 가공용으로 적당한 함수율인 14%(wb)에 접근할수록 건조속도의 차이가 감소하였다. 따라서 터널건조기를 사용한 절단고추의 건조에서 절단고추의 한계송풍량은 2cmm/kg으로 결정하였다.

3.4 절단고추의 건조모델

터널건조기에서 절단고추의 건조속도는 건조공기의 온도 상대습도, 송풍량에 따라서 서로 다르게 나타난다. 터널건조기내의 절단고추의 시간에 따른 건조특성을 나타내기 위하여 종속변수를 함수율비(MR)로, 독립변수로 시간, 단위 질량당 송풍량, 온도, 상대습도로 하여 다중회귀분석을 이용하여 모델을 제시하였다.

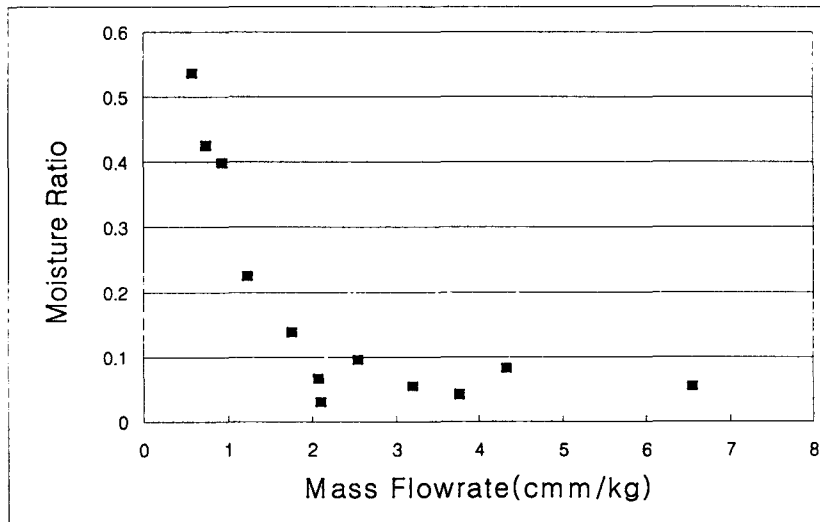


Fig. 13. Typical MR at time=200min at various mass flowrate.

식 1은 시간에 따른 절단고추의 건조속도예측 모델으로 이 모델의 R^2 는 0.8842이었다.

$$MR = a \ln t + bt + cT + dRH + eF + f \quad (\text{식 1})$$

여기서, $a = -0.169854$
 $b = -0.001498$
 $c = -0.002749$
 $d = 0.007562$
 $e = -0.085174$
 $f = 1.739437$

t : time(min)
 T : Temp.($^{\circ}\text{C}$)
 RH : 상대습도(%)
 F : Mass flowrate(cmm/kg)

식 2는 건조 후 배출되는 공기의 온도예측 모델이다. 이 모델의 R^2 은 0.9172이었다.

$$T = at + bT_0 + cRH_0 + dF + eMR + f \quad (\text{식 2})$$

여기서, $a = -0.060857$
 $b = 0.948091$
 $c = 0.341753$
 $d = -1.075274$
 $e = -32.927733$
 $f = 13.898721$

t : time(min)
 T_0 : Input temp. (°C)
 RH_0 : Input RH(%)
 F : Mass flowrate(cmm/kg)
 MR : Moisture Ratio, 여기서는 식 1의 추측값

4. 요약 및 결론

본 연구는 절단고추의 터널건조기내의 건조특성을 결정하기 위하여 터널건조기와 유사한 건조실험장치를 제작하였다. 건조특성의 변화요인으로 건조공기의 온도, 상대습도, 송풍량, 퇴적두께를 선정하고 각 요인들을 변화시켜 건조실험을 하고 특성을 분석하였고 터널건조기를 사용한 절단고추의 건조에 적합한 한계송풍량을 결정하였다. 실험으로부터 얻어진 건조곡선을 사용하여 터널건조기내의 절단고추의 건조과정을 시뮬레이션할 수 있는 모델식을 제시하였다. 모델식은 시간에 따른 절단고추의 함수율 변화를 나타내는 함수율 모형과, 유입된 공기와 건조 후 공기의 온도와 상대습도와의 관계를 나타내는 온도모형으로 나누어 제시하였다. 모델은 다중회귀분석을 통하여 결정하였다.

5. 참고문헌

1. 강정문. 1998. 가공용 고추의 건조 시스템 개발에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
2. 남승호, 고태균, 박재복. 1999. 가공용 고추의 건조시스템 개발 (II). 한국농업기계학회 1999년 동계학술대회논문집 : 414-420.
3. 조용진, 고태균, 박재복. 1991. 고추의 범용 건조모형 개발에 관한 연구. 한국농업기계학회지 16(1) : 60-82.
4. 조용진, 고태균. 1986. 고추의 건조특성과 건조모델에 관한 연구. 한국농업기계학회지 11(1) : 52-63.
5. 조용진. 1991. 고추의 건조과정 모형화 및 최적화에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.