

박 종자의 평형함수율과 박층 건조 특성

EMC and Thin Layer Drying Characteristics of Bottle Gourd Seed

서영욱*	노상하*
정희원	정희원
Y.W.Seo	S.H.Noh

1. 서론

박 종자의 경우 CGMMV(Cucumber Green Mosaic Mottle Virus:오이녹반모자이크바이러스)에 감염되면 성체의 형태에서 농약으로 효과적인 방제가 불가능하다고 알려져 있다. 최근 국내외 종자회사에서 이병된 종자를 판매하여 농가와 종자회사에 큰 타격을 입힌 것이 계기가 되어 바이러스 방제에 대한 효과적인 방제방법의 연구에 관심이 집중되고 있다. 현재 알려진 바이러스 불활성 방법 중 가장 효과적인 방법은 건열소독법(dry heat treatment)이다. 일본에서는 이미 30년 전에 효과적인 건열소독기 개발을 위하여 10년을 투자한 것으로 알려져 있는 반면, 국내에서는 건열소독을 위한 종자의 물성에 관한 연구조차 뚜렷한 결과를 얻지 못하고 있는 실정이며, 건열소독기를 제작하여 여러 종자회사에서 사용하고 있지만 계속 되는 시행착오로 많은 문제점을 드러내고 있다.

이에 본 연구는 효율적으로 바이러스를 불활성화할 수 있는 건열소독기 개발을 위한 종자의 기본적인 물성인 평형함수율과 건조특성을 구명하고 통계적인 방법으로 종자의 평형함수율 모델과 건조 모델을 개발하여 각 온도와 상대습도에 시간변이에 따른 종자의 상태를 예측하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 실험에 사용된 박 종자는 중국에서 1998년 채종된 것으로 상온 30℃에서 초기함수율 6% 수준으로 저장되었으며, 약하게 CGMMV에 감염된 것이다. 이 종자의 품종은 FR-King-II이다. 구입된 종자 중에서 지나치게 검게 변색되었거나 흰색이 강한 것(미숙종자)은 골라낸 다음 실험에 사용하였다.

종자는 함수율의 변화를 줄이기 위해 15℃의 항온항습기에서 보관하여 사용하였고, 테시케이터에 넣어 상온과 평형이 되도록 한 후에 실험에 사용하였다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

나. 실험장치

입구가 넓은 플라스틱 통(높이 11.3cm, 직경 12.8cm, 밀폐가능)에 8종의 과(過) 포화된 염용액을 넣고 4개의 오븐 및 항온 항습기를 이용하여 염용액통의 온도가 일정하게(20, 40, 60 및 72℃) 유지되도록 하면서 함수율 및 평형함수율을 측정하였고(그림 1), 고려기에서 제작한 소형 건열처리기(그림 2)를 이용하여 건조 특성 구명 실험을 실시하였다.

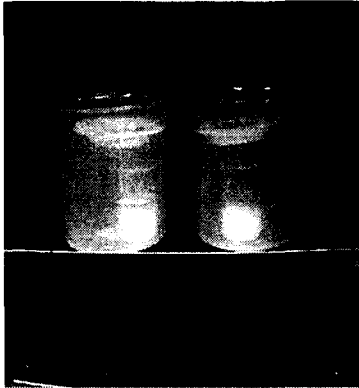


그림 1 함수율 측정 데시케이터



그림 2 소형 건열처리기

다. 평형함수율 모델 및 건조 모델 개발

박 종자의 평형함수율 특성을 구명하여 예측하는 통계적인 모델을 선택하기 위하여 ASAE Standards(ASAE, 1997)에 제시되어 있는 각종 곡류와 종자의 평형함수율에 많이 사용된 모델을 표 1에 나타내었으며, 표 2에서는 건조 특성을 구명할 수 있는 기존의 건조 모델을 나타내었다. 건조 모델은 모델을 선형화하여 함수율비를 시간의 로그함수로 나타내어 예측하였다.

표 1 평형함수율 모델

Model	Equation
Modified Chung-Pfost	$EMC = E - F * \ln[-(T + C) * \ln(RH)]$
Modified Henderson	$EMC = 0.01 \left[\frac{\ln(1 - RH)}{-K(T + C)} \right]^{\frac{1}{N}}$
Modified Oswin	$EMC = (A + B * T) \left(\frac{RH}{1 - RH} \right)^N$

Note) RH : Relative humidity(decimal)

T : Temperature(℃)

A, B, C, E, F, K, N : Parameters

표 2 건조 모델

Model	Equation
Lewis	$MR = \exp(-k \cdot t)$
Approximate - Diffusion	$MR = A \cdot \exp(-k \cdot t)$
Page	$MR = \exp(-k \cdot t^N)$
Thomson	$t = A \cdot \ln(MR) + B [\ln(MR)]^2$
Wang	$MR = 1 + w_1 \cdot t + w_2 \cdot t^2$

note) MR : Moisture ratio

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e}$$

M : Moisture content(% , db)

M₀ : Initial moisture content(% , db)

M_e : Equilibrium moisture content(% , db)

t : drying time(min)

A, B, k, N, w₁, w₂ : parameters

통계적 방법의 모델 선정은 SAS(Ver.8.1)를 이용하여 RSQUARE PROC과 REG PROC들 중 STEPWISE PROC를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 평형함수율 구명 및 모델 개발

본 연구에서는 온도와 상대습도의 함수로 이루어진 정적인 상태(static state)에서의 평형 함수율 모델을 통계적인 방법으로 결정하기 위하여 통계툴로 널리 사용되는 SAS(Ver.8.1)의 NLIN PROC의 DUD 방식을 채택하였다. 박 종자의 평형함수율 예측모델은 표(3.2)에서 제시한 3가지 모델을 선정하였으며 각 예측모델의 회귀계수, 결정계수(R²) 와 RMS error 등은 표(4.3)에 제시하였다. 세 모델의 검정은 R² 와 RMS error(root mean square error)를 사용하였으며, 그 결과는 Chung-Pfost 모델의 경우 R² = 0.9918, RMS error = 0.00210, Modified-Henderson의 경우 R² = 0.9540, RMS error = 0.479 이었고, Modified-Oswin 모델의 경우는 R² =0.9576, RMS error=0.4586이었다. R² 와 RMS error로 각 모델의 성능을 비교한 결과 박 종자의 정적인 평형함수율을 예측하는데 좋은 모델은 세 모델 중에서 Chung-Pfost 모델이 가장 적합한 모델임을 알 수 있었다.

표 3 정적 평형함수율과 동적 평형함수율의 비교

RH(%)	Temp(°C)	Measured EMC(db,%)	Predicted EMC(db,%)
5	60	2.54	0.89
	75	1.19	0.37
15	30	5.01	3.71
	45	3.49	2.89
	60	2.43	2.25
	75	2.38	1.72
30	30	5.62	5.06
	45	4.69	4.24
	60	2.83	3.60
	75	2.85	3.07
50	30	6.74	6.70
	45	6.01	5.88
	60	5.00	5.24
	75	2.77	4.71

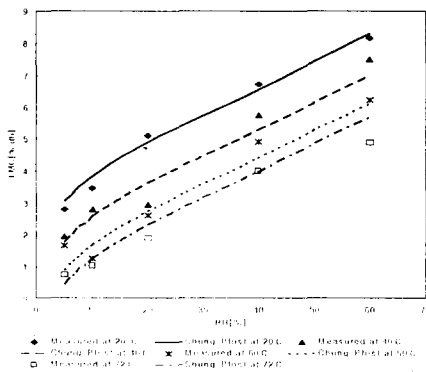


그림 3 정적 평형함수율

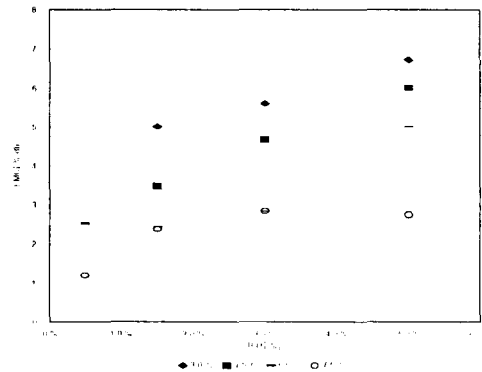


그림 4 동적 평형함수율

나. 건조특성 구명 및 건조모델 개발

그림 5는 상대습도 15%에서 4온도 조건별 건조특성을 나타내었다. 그림에서 온도가 높을수록 건조 속도가 빠른 것을 확인할 수 있다. 그림 6에서는 45°C의 조건에서 상대습도가 작을수록 건조속도가 빠른 것을 확인할 수 있다.

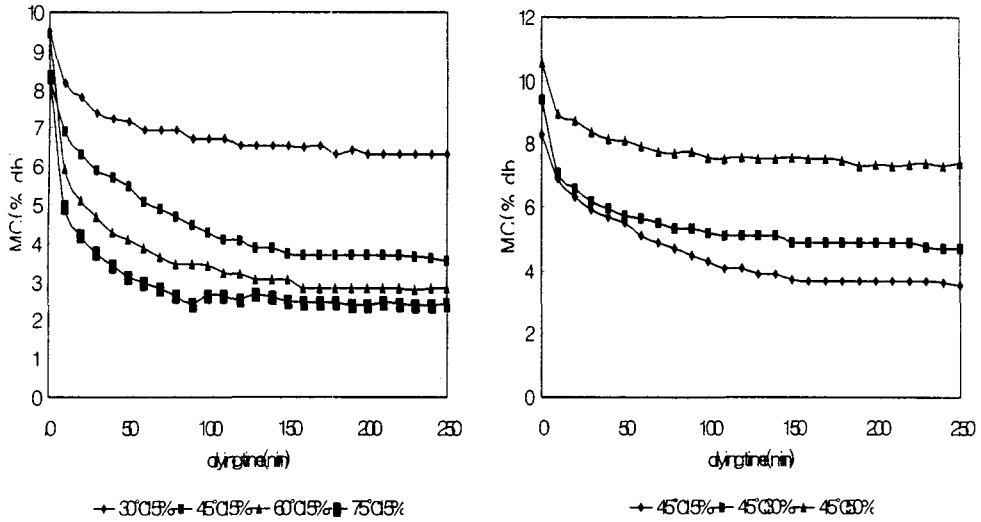


그림 5 상대습도 15%에서 각 온도별 건조특성 그림 6 온도 45°C에서 각 상대습도별 건조특성

표 4 건조 모델의 파라미터

Model	Estimated Parameters	R2	F
Lewis	$k = -1.52916 + 0.00674T + 0.99222RH^2$ $-1.84675\ln(RH) + 0.03158T \cdot RH$	0.7286	536.28
Appro.- Diffusion	$a = 9.02219 - 8.2698\ln(T) + 0.37372T \cdot RH$ $k = -0.00447T + 3.20712RH - 5.04603RH^2$	0.6483	293.77
Page	$k = -39.8688 - 10.3196T + 44.77403\ln(T)$ $-0.25811\ln(RH) + 4.9276T \cdot RH$ $N = 0.000117T - 0.99184T^2 - 3.22726RH$ $+ 0.54906RH^2 + 0.00447\ln(RH)$	0.7497	233.90
Thompson	$A = -147.89549 - 346.80809T + 1.73998T^2$ $+ 8262.59816\ln(T) - 49255RH$ $+ 38299RH^2 + 6927.87056\ln(RH)$ $+ 702110T \cdot RH$ $B = -108.50785 - 32.01237\ln(RH)$ $+ 3.20034T \cdot RH$	0.7026	187.33
Wang	$w1 = -0.6395 - 0.00001432T^2$ $w2 = -0.00000416 + 0.00411\ln(T)$	0.4216	199.45

4. 요약 및 결론

박 종자의 평형함수율과 건조특성 구명을 위한 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 온도 4수준(20, 40, 60 및 72℃)의 항온항습기 및 건조 오븐에 5가지의 상대습도 값(5, 10, 20, 40 및 60%)의 염용액을 이용하여 종자의 평형함수율을 측정하고, 그 결과를 가장 적합하게 예측하는 모델을 선정하였는데, Chung-Pfost 모델이 결정계수(R^2)가 0.9918, 평균 제곱근오차(RMS error)는 0.0021로 가장 적합한 것으로 판명되었다. 평형함수율은 대체적인 농산물에서 볼 수 있듯이 온도가 낮고, 상대습도가 높을수록 크게 나타났다. Chung-Pfost 모델로 박층건조 실험을 통해 얻은 동적인 상태의 평형함수율과 비교하였을 때 45℃에서 ($R^2=0.999$), 5%에서($R^2=1$) 가장 정확한 예측 성능을 나타내었다. 또한 동일 온도에서의 예측 성능보다 동일 상대습도의 경우에 뛰어난 예측 성능을 나타내었다.

2. 소형 견열처리기는 아래에서 위로 열풍이 통과하는 방식을 채택하였다. 직접 열풍을 받는 종자는 시간이 지나면서 무게변화를 보이는데 로드셀을 이용하여 측정한다. 온도 4수준(30, 45, 60 및 75℃), 상대습도 4수준(5, 15, 30 및 50%)에서 박 종자의 건조특성을 구명하였고, 건조 특성을 예측하기 위해서 기존의 농산물의 건조특성을 설명하기 위해 사용되었던 모델들을 박 종자에 적용하였다. 그 결과 Page 모델이 결정계수(R^2)가 0.7497, RMS error는 0.2796로 박 종자의 건조 특성을 예측하기 위해 선정한 모델 중에서 가장 적합한 모델로 판명되었다.

5. 참고문헌

1. 고헌균. 1978. 벼의 평형함수율 측정에 관한 연구. 한국농업기계학회지 3(2) : 62 - 68
2. 이정명. 1999. 첨단가공 및 종자처리에 따른 박과채소종자의 활력극대화 및 우량접목묘 양산기술 개발. 농림부 첨단농업기술개발사업연구과제 최종보고서. pp. 1-240.
3. 이정호. 1995. 마늘의 건조특성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문.
4. 정창주, 김현래, 고헌균. 1978. 농산기계학. 향문사.
5. 조용진. 1986. 고추의 건조특성과 건조모델에 관한 연구. 서울대학교 석사학위 논문.
6. 조용진. 1991. 고추의 건조과정 모형화 및 최적화에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.
7. 최병민. 1992. 인삼의 평형함수율 및 건조 모델. 전북대학교 박사학위 논문.
8. 한국종자협회. 1999. 종묘소식 1999-02호.
9. ASAE Standards 1997. 44th Edition. ASAE. St. Joseph. MI.
10. Akritidis, C. B., C. A. Tsatsarelis, and C. B. Bagiatis. 1988. Equilibrium moisture content of pumpkin seed. Transactions of the ASAE. Vol. 31(6) : 1824 - 1827.
11. Anderson, J. A. and A. W. Alcock. 1953. Storage of Cereal Grains and Their Products(Ch. 4. Drying Cereal Grains).