

# 열풍온도 및 노출시간이 벼의 동할에 미치는 영향

## Influence of the Crack for Rough Rice under Heated-Air Temperature and Exposure Time

금동혁*	김 훈*	한재웅*
정희원	정희원	정희원
D. H. Keum	H. Kim	J. W. Han

### 1. 서론

고품질쌀 생산의 주요 요인은 벼의 품종, 재배방법 및 수확 후 처리기술 등으로 대변된다. 수확 후 처리기술에는 건조, 저장, 가공, 포장 및 유통공정으로 구분된다. 특히, 건조공정은 수확 후 처리기술의 첫 번째 공정으로 건조시 벼의 품질을 유지하지 못할 경우 저장, 가공 등 후속공정에 큰 영향을 미치게 된다.

벼는 건조 중에 낱알이 금이 가는 동할이 발생하게 된다. 동할이 발생되면 저장성이 저하되며, 도정시 찌라기가 증가하여 도정수율에도 많은 손실을 가져오게 된다.

국내의 벼 건조방법은 순환식과 연속식 건조기를 이용한 열풍건조와 원형빈과 사각빈을 이용한 상온통풍건조로 구분된다. 상온통풍건조는 건조 소요시간이 매우 긴 단점이 있지만, 품질손상을 최소화 할 수 있다. 열풍건조는 상온통풍건조에 비해 건조 속도는 빠르지만 벼의 품질손상이 우려된다. 열풍온도는 함수율, 외기온도 및 건조물량 등에 따라 다르지만 통상 순환식 건조기의 경우 36 ~ 43℃, 연속식 건조의 경우 36 ~ 43℃로 설정하고 있다.

열풍온도가 낮을 경우 건조속도가 느려져 건조능력이 저하되고, 연료소비도 증가하게 된다. 반대로 열풍온도가 높을 경우 건조속도는 증가하지만 동할율이 증가하게 된다.

또한, 열풍에 노출되는 시간이 길어질수록 건조속도는 증가하지만 동할율이 증가하게 된다. 열풍건조는 열풍온도, 열풍 노출시간, 함수율, 건조물량, 외기온도 및 송풍량 등 건조능력에 영향을 미치는 많은 인자들이 있는데 특히, 열풍온도와 열풍 노출시간은 건조시 벼의 품질유지에 매우 중요한 요인이라 할 수 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 함수율 20.01 ~ 22.80%(w.b.) 범위 3수준에 대하여 40.4 ~ 60.9℃ 범위 3수준의 열풍온도와 노출시간 5 ~ 120분 동안에 벼의 동할에 미치는 영향을 구명하고, 완전현미비 실험모델을 개발하여 적합성을 검증하는데 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시재료

공시재료는 2001년 10월에 경북 선산지역에서 수확한 추청벼이며, 초기함수율은 22.80%(w.b.)이었다. 벼는 음건에서 22.80, 21.80 및 20.01%(w.b.) 3수준의 함수율로 조정하였다. 함수율을 조정한 벼는 정선 후 밀폐하여 2℃의 저온저장고에 보관하였다.

실험시작 24시간 전에 벼를 저온저장고에서 꺼내 상온에 방치하여 주위 공기온도와 평형을 이루도록 한 후 실험에 사용하였다. 함수율은 10립-135℃-24hr 건조법으로 측정하였다.

### 나. 실험방법

실험장치는 공기조화장치, 공기충만실, 송풍기, 온·습도 측정장치 및 시료대 등으로 구성하였다. 공기조화장치(MTH4100, SANYO, UK)는 온도 -45 ~ 105℃(±0.3℃), 상대습도 0 ~ 99%(±2.5%) 범위의 공기를 발생할 수 있으며, 상부에 설치된 송풍기에 의해 공기충만실로 조성된 공기가 이송되도록 하였다. 건조실은 직경 28cm, 길이 40cm의 원통형으로 구성하였다. 건조실 내의 풍속은 시료대 하부에서 풍속계(ANO6141, KANOMAX, JAP)를 이용하여 측정하였으며, 0.54m/s로 나타났다. 시료대는 하부에 다공판으로 구성된 직경 28cm의 원통형 시료대에 위에 다공판으로 구성된 90×60cm의 사각 시료대를 놓고 벼를 박층으로 퇴적하였다.

열풍온도는 40.4, 50.0 및 60.9℃ 3수준으로 하였으며, 상대습도는 40.4 ~ 41.2%로 나타났다. 각각의 열풍온도에 대하여 최초 30분까지는 5분 간격으로 시료를 채취하였으며, 이후 120분까지는 15분 간격으로 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 밀봉하여 72시간 상온에서 보관한 후 수작업으로 왕겨를 제거하여, 현미 250립에 대하여 동할립 판별기(DC-50, S.SEIKI, JAP)를 이용하여 육안으로 동할을 측정하였다.

초기함수율에 대하여 열풍온도 및 노출시간에 따른 완전현미비 실험모델을 다음의 식 1과 같이 선정하였다.

$$CR = \frac{A}{1 + \exp\left(-\frac{(t - t_0)}{B}\right)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서, CR : 완전현미비(=  $\frac{\text{건조후완전현미립수}}{\text{초기완전현미립수}}$ )

A, B, t<sub>0</sub> : 실험상수

t : 노출시간(min)

완전현미비의 실험치를 모델에 적합시켜 SAS의 비선형 회귀분석 프로그램을 이용하여 실험상수를 결정하였다. 완전현미비 실험모델의 실험상수 A, B 및 t<sub>0</sub>는 열풍온도와 초기함수율의 함수로 가정하고 다음의 식 2로 설정하였다.

$$A, B, t_0 = a_0 + a_1(M_0) + a_2(T_0) + a_3(M_0)^2 + a_4(T_0)^2 + a_5(M_0 \cdot T_0) \quad \dots (2)$$

여기서,  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  : 실험상수

$M_0$  : 초기함수율(dec, w.b.)

$T_0$  : 열풍온도(°C)

식 2의 실험상수는 SAS의 다중선형회귀분석 프로그램을 이용하여 선정하였다. 완전현미비 실험치와 모델에 의한 예측치 사이의 결정계수와 RMSE(Root Mean Square Error)를 모델의 검정에 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 열풍온도 50.0°C에서의 함수율 22.80, 21.80 및 20.01%(w.b.)에 대하여 노출시간에 따른 동할율을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 함수율 22.80%(w.b.)는 노출 25분 후에 동할율은 0.4%, 60분 후에 10.0%로 나타났으며 120분 후에는 20.4%로 나타났다. 함수율 20.01%(w.b.)는 노출 10분 후에 동할율은 0.4%, 노출 30분 후에 3.6%, 노출 60분 후에 20.4%로 나타났다. 그림 2는 열풍온도 60.9°C에서의 함수율 22.80, 21.80 및 20.01%(w.b.)에 대하여 노출시간에 따른 동할율을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 함수율 22.80%(w.b.)는 노출 15분 후에 동할율은 0.8%, 25분 후에 5.6%로 나타났으며 120분 후에는 86.8%로 나타났다. 그림 3은 함수율 21.80%(w.b.)에서의 열풍온도에 대하여 노출시간에 따른 동할율을 나타낸 것이다. 열풍온도 40.4°C에서는 노출 60분 후에 동할율은 0.8%, 노출 120분 후에는 2.4%로 나타났다. 열풍온도 50.0°C에서는 노출 25분 후에 동할율은 0.8%, 노출 60분 후에 10.0%, 노출 120분 후에 38.4%로 나타났다. 열풍온도 60.9°C에서는 노출 10분 후에 동할율은 1.2%, 노출 20분 후에 8.4%, 노출 30분 후에 26.4%로 나타났다.

따라서, 초기함수율이 낮고 열풍온도가 높을수록 노출시간이 경과할수록 동할율은 증가하는 것으로 나타났다.

완전현미비 모델의 실험상수와 결정계수는 다음의 표 1과 같다. 표에서와 같이 실험상수  $A, B$  및  $t_0$ 의 결정계수는 0.9이상으로 모두 높은 값을 나타내었다.

완전현미비 모델의 적합성을 검정하기 위하여 완전현미비의 각 온도별 실험치와 예측치 간의 RMSE와 결정계수를 표 2에 나타내었다. 표에서와 같이 결정계수는 모든 온도에서 0.9 이상으로 높게 나타났으며 RMSE는 40.4°C에서는 0.0239, 50.0°C에서는 0.0567로 나타났다. 또한, 60.9°C에서는 0.1068로 이는 완전현미비의 값이 0 ~ 1 사이의 값을 고려할 때 허용 가능한 수준으로 판단된다.

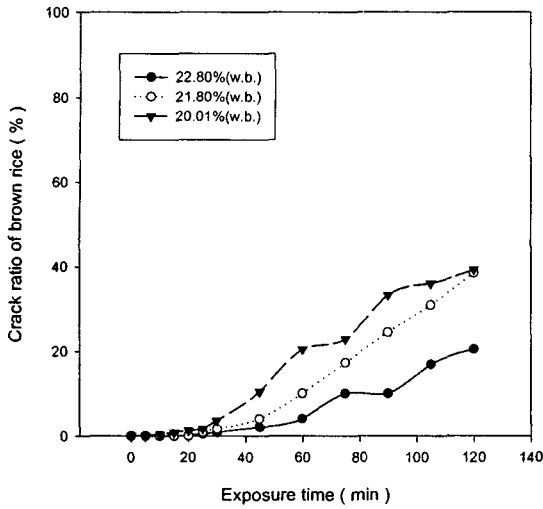


Fig. 1 Whole brown rice ratio for moisture contents of 22.80, 21.80 and 20.01% (w.b.) respectively at temperature of 50.0°C.

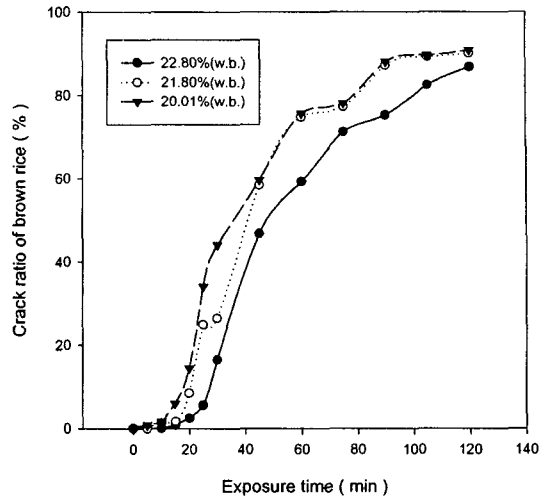


Fig. 2 Whole brown rice ratio for moisture contents of 22.80, 21.80 and 20.01% (w.b.) respectively at temperature of 60.9°C.

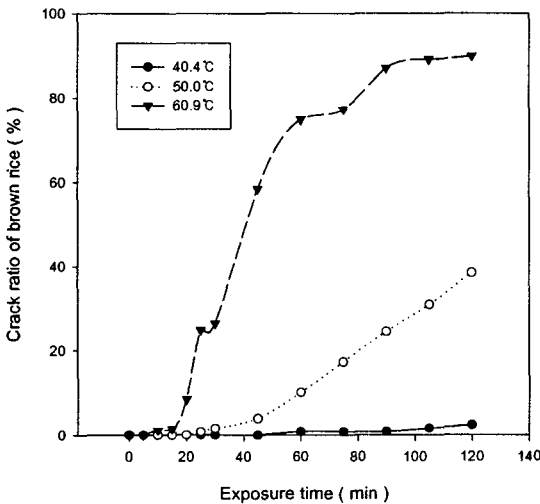


Fig. 3 Whole brown rice ratio for the temperatures of 40.4, 50.0 and 60.9°C respectively at initial moisture content 21.80% (w.b.).

그림 5 ~ 그림 7은 초기함수율 20.01, 21.80 및 22.80%(w.b.)에서 열풍온도별 노출시간에 따른 완전현미비의 실험치와 모델에 의한 예측치를 비교한 것이다. 그림에서와 같이 초기함수율 20.01%(w.b.)에서는 열풍온도 50.0°C에서 다소 오차가 나타났으나 다른 열풍온도 영역에서는 잘 일치하는 것으로 나타났다. 초기함수율 21.80%(w.b.)에서는 모든 열풍온도 영역에서 예측치와 실험치가 잘 일치하는 것으로 나타났다. 초기함수율 22.80%(w.b.)에서는 열풍온도 50.0°C 이상에서 다소 오차가 나타났지만 비교적 예측치와 실험치가 잘 일치하는 것으로 나타났다.

Table 1 Estimated experiment coefficients for whole brown rice ratio model

	Experiment coefficients	$R^2$
A	$11.67153 - 119.36352(M_0) + 0.09885(T_0) + 338.51812(M_0)^2 + 0.00061(T_0)^2 - 0.65451(M_0 \cdot T_0)$	0.9816
B	$-2405.70643 + 22898.15012(M_0) - 7.41193(T_0) - 46978.67482(M_0)^2 + 0.17417(T_0)^2 - 42.75865(M_0 \cdot T_0)$	0.9347
$t_0$	$6048.20166 - 37327.12332(M_0) - 66.94898(T_0) + 75252.80159(M_0)^2 + 0.29237(T_0)^2 + 115.53914(M_0 \cdot T_0)$	0.9787

Table 2 Estimated coefficients of determination and root mean square error of whole brown rice ratio model for the temperatures

Temperatures	$R^2$	RMSE
40.4	0.9350	0.0239
50.0	0.9805	0.0567
60.9	0.9706	0.1068

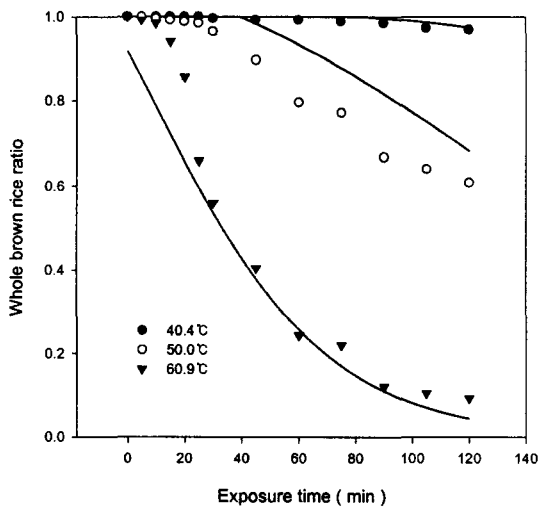


Fig. 4 Comparison of measured and predicted whole brown rice ratio at initial moisture content of 20.01%(w.b.).

그림 4 ~ 그림 6은 초기함수율 20.01, 21.80 및 22.80%(w.b.)에서 열풍온도별 노출시간에 따른 완전현미비의 실험치와 모델에 의한 예측치를 비교한 것이다. 그림에서와 같이 초기함수율 20.01%(w.b.)에서는 열풍온도 50.0°C에서 다소 오차가 나타났으나 다른 열풍온도 영역에서는 잘 일치하는 것으로 나타났다. 초기함수율 21.80%(w.b.)에서는 모든 열풍온도 영역에서 예측치와 실험치가 잘 일치하는 것으로 나타났다. 초기함수율 22.80%(w.b.)에서는 열풍온도 50.0°C 이상에서 다소 오차가 나타났지만 비교적 예측치와 실험치가 잘 일치하는 것으로 나타났다.

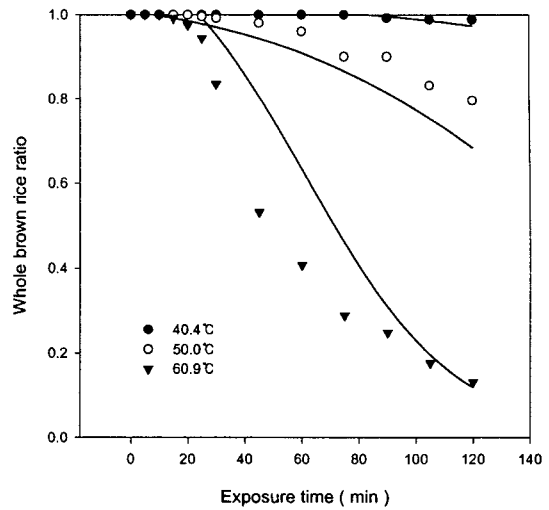
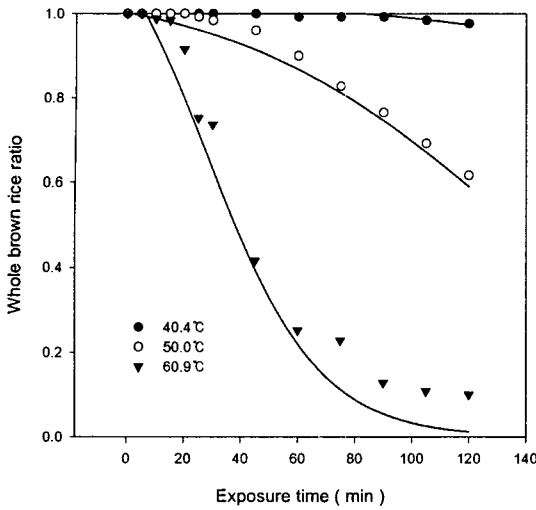


Fig. 5 Comparison of measured and predicted whole brown rice ratio at initial moisture content of 21.80%(w.b.). Fig 6 Comparison of measured and predicted whole brown rice ratio at initial moisture content of 22.80%(w.b.).

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 함수율 20.01, 21.80 및 22.80%(w.b.) 3수준에 대하여 40.4, 50.0 및 60.9°C 3수준의 열풍온도와 노출시간 5 ~ 120분 동안에 벼의 동할에 미치는 영향을 구명하고, 완전현미비 실험모델을 개발하기 위하여 수행되었다.

초기함수율이 낮고 열풍온도가 높을수록 노출시간이 경과할수록 동할율은 증가하는 것으로 나타났다.

완전현미비의 실험치를 실험모델에 적합시켜 실험상수를 결정하여 제시하였다. 완전현미비 실험모델의 결정계수는 모든 온도에서 0.9이상으로 높게 나타났으며, RMSE는 40.4°C에서는 0.0239, 50.0°C에서는 0.0567로 나타났다. 또한, 60.9°C에서는 0.1068로 이는 완전현미비의 값이 0 ~ 1 사이의 값을 고려할 때 허용 가능한 수준으로 판단된다.

#### 5. 참고문헌

1. Jindal, V. K. and L. G. Obaldo. 1985. Quality effects of heat treatments on high moisture rice. ASAE Paper NO. 85-3010.
2. Kunze, O. R. and S. Prasad. 1978. Grain fissuring potentials in harvesting and drying of rice. Transactions of the ASAE 22(2):361-366.