

열풍 건조와 관련된 벼의 동할 발생 특성

김명호

전북대학교 농과대학 생물자원시스템공학부(농업과학기술연구소)

Characteristics of Crack Development in Rice Grains Due to Heated Air Drying

Myoung Ho Kim

Division of Bioresource Systems Engineering (Institute of Agricultural Science and Technology),
College of Agriculture, Chonbuk National University

Abstract

This study was performed to examine the characteristics of crack development in rice grains due to heated air drying. Short grain rough rice was dried in an environmental chamber from 22% to 14.5% w.b. Three drying practices were used in the study - a continuous drying with 25°C and 60% rh air and two intermittent drying with 38°C and 45% rh and 50°C and 45% rh heated air, where a cycle consisting of 10 min drying period and subsequent tempering period of 50 min was repeated throughout the whole drying. Before and 48 hrs after the drying, rice kernel samples were visually examined for the occurrence and amount of light and heavy fissures and the checking ratios were calculated. Moisture content changes were also recorded during drying, and drying rates were calculated. Dried rice was milled to determine milled rice yield and head rice yield, as well as husking ratio and whiteness. Continuous drying at 25°C and intermittent drying at 38°C resulted in a negligible increase in the amount of heavily checked kernel. Intermittent drying at 50°C, however, showed 23% points increase in heavy checking ratio. It was postulated the majority of lightly checked kernels before drying might develop into heavily checked kernels due to improper drying and would be led to broken kernels during subsequent milling. The amount of increase in heavy checking ratio was apparently proportional to the drying rate and head rice yield was inversely proportional to the increase in heavy checking ratio. Husking ratio, whiteness, and milled rice yield were not affected by drying conditions.

Key words: broken rice, crack, checked kernel, fissure, rice drying

서 론

벼가 일단 수확되면 탈곡, 정선, 건조, 도정, 정백 및 저장 등의 여러 가지 수확 후 가공과정을 거쳐 비로소 쌀(백미)이 된다. 근래에는 농촌 노동력의 결핍으로 인해 콤바인에 의한 고함수율(19-26%) 물벼의 수확이 눈에 띄게 증가하고 있는데 이 경우 물벼는 정부 수매기준의 충족 뿐만이 아니라 안전저

장을 위해서도 함수율이 15% 이하가 되도록 건조를 시켜야 한다. 농산물의 건조는 단순히 피건조물 내부의 수분을 증발시켜 함수율을 낮추는 것이라 생각할 수 있지만, 실제로 벼의 건조는 열에 민감한 유기 생물체와 건조공기 간의 복잡한 열·물질·운동량의 전달현상이며, 건조 소요에너지는 물론 최종 산물인 쌀의 품질은 벼의 건조과정에 따라 크게 달라진다.

벼 건조 중 건조속도가 너무 빠르면 벼 낱알 내부에 수분구배가 형성되어 낱알 각 부분의 팽창, 압축 정도가 달라지며 이로 인해 응력이 발생, 동할이 생기게 된다. 동할립은 도정 시 완전히 깨져 쌀라기(쇄미)로 변할 확률이 매우 높는데, 쇄미는 완

Corresponding author: Myoung Ho Kim, Division of Bioresource Systems Engineering (Institute of Agricultural Science and Technology), College of Agriculture, Chonbuk National University, Chonju, Chonbuk 561-756, Republic of Korea
Phone: 063-270-2619, Fax: 063-270-2620
E-mail: myoung59@moak.chonbuk.ac.kr

지 재흡습시킨 후, 벼를 꺼내 플라스틱 용기에 밀봉한 상태로 6시간 냉장보관하여 함수율의 평형을 기하였다. 건조실험 시작 2시간 전에 냉장고에서 벼를 꺼내 실내에 방치, 시료의 온도가 실온과 평형이 되도록 하였다.

실험방법

본 연구에서는 세 가지 열풍건조 조건 하에서 건조된 벼의 동할발생 특성의 조사를 주목적으로 하였으며, 이를 위한 실험방법은 Fig. 1과 같았다. 건조실험 직전 약 1kg의 시료 벼로부터 샘플을 채취하여 기본 물성치인 함수율, 길이, 폭, 두께 및 초기 동할율을 측정하였다. 함수율은 상압오븐법(10g 입자-135°C-24시간)으로 5반복 측정하였다. 벼의 길이, 폭, 두께는 CCD 카메라와 컴퓨터로 구성된 화상분석장치(朴 등, 1998)를 사용, 완전립의 영상을 얻은 후, 이에 대해 필요한 영상처리를 가하여 기하학적 형상 정보를 획득함으로써 결정하였다. 시료 벼의 초기 동할율은 완전립 100립을 손으로 제

현한 후, 동할미 검사기(TX200 Grainscope, Kett)에 의한 육안식별법으로 3반복 측정하였다. 일반적으로 벼 낱알의 동할미 여부는 동할의 발생위치, 방향, 크기 및 개수에 따라 경동할미와 중동할미로 구분하는데(高 등, 1995), 본 연구에서는 경동할미를 제외한 중동할미만을 동할미로 정의하여 동할율 계산에 사용하였다.

벼의 열풍건조는 세 가지 조건을 사용하였는데, 상업용 순환식 건조기에서의 건조조건을 대표하고자 열풍공기의 온도 38°C 및 상대습도 45%와 온도 50°C 및 상대습도 45%를 사용한 두 가지 간헐건조 방법과 이의 대조구로서 온도 25°C와 상대습도 60%의 건조공기를 사용하는 연속건조 방법을 채택하여 2반복 실험하였다. 간헐 건조방법의 경우는 10분간 건조한 후 그 다음 50분간은 송풍기를 꺼 템퍼링을 하는 사이클을 계속 반복함으로써 건조를 수행하였고 연속 건조방법에서는 건조기간 내내 열풍을 공급하였다. 모든 건조실험에서 건조공기의 속도는 0.8 m/s가 유지되도록 하였다.

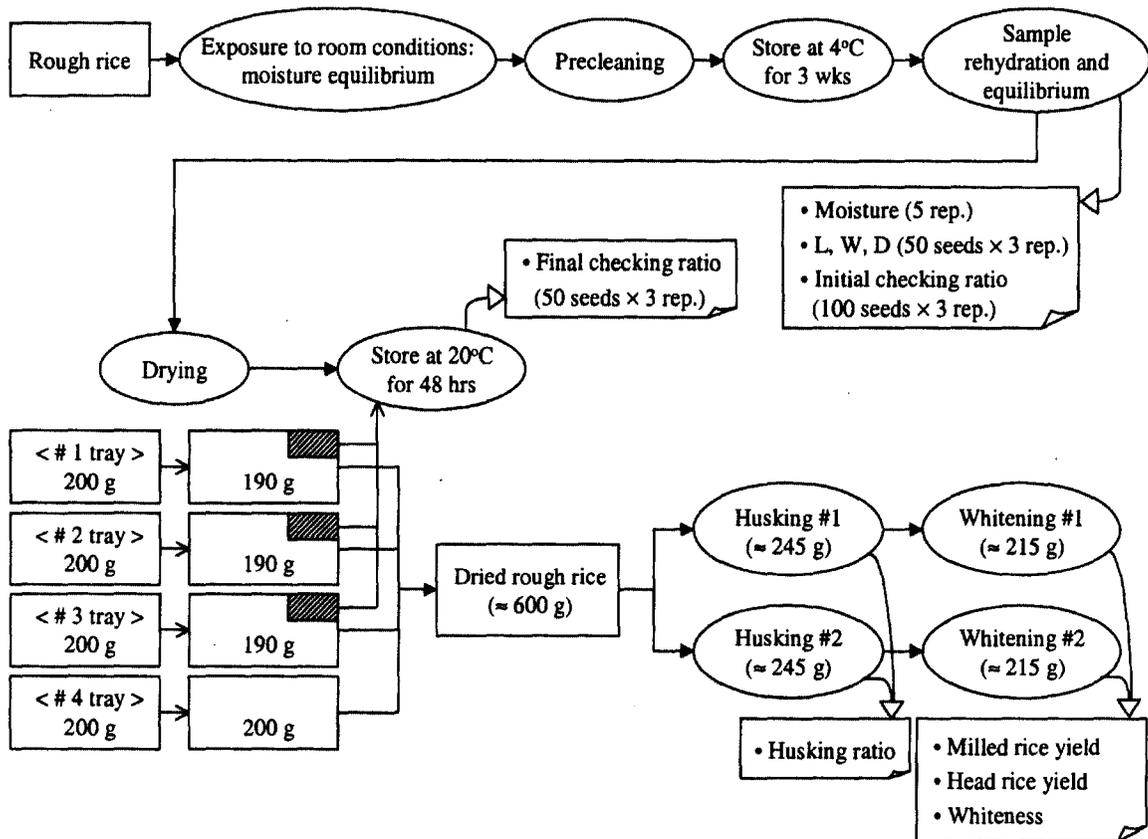


Fig. 1. Experimental procedure.

벼의 건조에는 항온항습기(Model 150L AT/P, 제이오 텍)를 사용하였는데, 항온항습기 내부 4개 트레이(17×17×2 cm)에 각각 200 g 정도의 벼를 담고, 약 14.5%의 최종 함수율까지 건조하였다. 건조 중 벼의 함수율 변화는 30분 간격으로 각각의 트레이에서 채취된 시료를 대상으로 전기저항식 미백수분계(Model SP-1, Kett Electric Laboratory)를 사용, 측정하였다. 건조가 완료된 후, 3개의 트레이에서 각각 10 g 정도의 벼 시료를 채취, vial에 넣어 20°C의 인큐베이터에서 48시간 동안 보관한 후 완전립 50립을 골라 손으로 제현하여 동할미 검사기(TX200 Grainscope, Kett)에 의한 육안식별법으로 건조 후 동할율을 트레이 당 3반복 측정하였다.

나머지 건벼 시료는 실험실용 고무 롤 현미기(Model ST-50, Kiya Seisakusho Ltd.)와 실험실용 입형 마찰식 정미기(Model VP-30T, Yamamoto Co. Ltd.)를 사용, 도정하여 건조방법에 따른 정백수율 및 완전미수율의 차이를 측정, 조사하였다. 도정기의 운전조건은 기존 문헌에서 제시된 값들을 참고로 결정하였는데(Food Agency, 1995), 현미기의 롤러 간격을 0.7 mm로 유지하여 시료 벼를 현미기에 2회 통과시켜, 90% 정도의 탈부율로 제현을 완료하고, 제현된 현미를 정미기에 2회 순환통과시켜 정백을 실시하였다. 정백수율과 완전미수율은 아래 식을 사용하여 계산하였는데, 이 때 쇄미는 현행 우리나라 농산물 검사규격(국립농산물품질관리원, 2000)과 같이 완전립 길이의 1/2(약 2.5 mm) 미만의 길이를 갖는 미립으로 정의하여, 육안판별하였다. 도정실험은 2반복으로 수행하였으며, 최종적으로 얻어진 백미 완전립의 백도는 백도계(Model C-100, Kett Electric Laboratory)로써 측정, 조사하였다.

$$\text{정백수율 (Milled rice yield)} = \frac{\text{생산된 백미의 무게}}{\text{투입된 현미의 무게}} \times 100 (\%)$$

$$\text{완전미수율 (Milled rice yield)} = \frac{\text{생산된 완전립 백미의 무게}}{\text{투입된 현미의 무게}} \times 100 (\%)$$

결과 및 고찰

건조과정

본 실험에 사용된 시료 벼의 기본 물성은 Table 1과 같았으며 길이, 폭, 두께의 평균값은 각각 7.10, 3.18 및 2.24 mm로서, 국내에서 재배되는 단립종 벼를 충실히 대표할 수 있었다(金과 安, 1997).

Fig. 2에 본 연구에서 사용한 세 가지 건조과정 중 측정된 벼의 함수율 변화를 도시하였다. 예상한 바와 같이 건조속도는 건조공기의 온도가 높아질수록 증가하여, 초기 함수율이 약 22%인 벼가 목표 최종 함수율인 14.5%로 건조되기까지는 건조공기의 온도가 38°C, 상대습도가 45%인 경우는 약 7시간이, 건조공기의 온도가 50°C, 상대습도가 45%인 경우는 약 4.5시간이 소요되었다(Fig. 2). 또한, 건조공기의 온도 38°C, 상대습도 45% 및 건조공기의 온도 50°C, 상대습도 45%인 두 가지 간헐건조의 경우는 같은 건조조건을 사용한 연속건조와의 비교를 위해 기존에 보고된 벼의 박층 건조방정식(高 등, 1995)으로부터 함수율 변화를 예측하여 Fig. 3에 건조과정 중의 함수율 변화를 함께 도시하였다. 건조공기의 온도와 상대습도가 같더라도 간헐건조의 경우는 10분 건조, 50분 템퍼링의 사이클을 반복했기 때문에 실제 유효건조시간은 전체 건조시

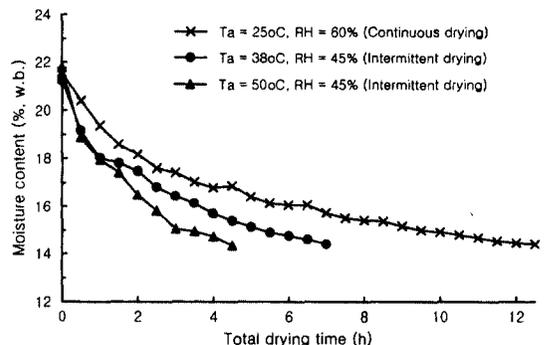


Fig. 2. Moisture content change for each drying condition.

Table 1. Basic properties of rough rice used in the study¹⁾

Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	L/W ratio	Moisture (% w.b.)
7.10 (0.05)	3.18 (0.04)	2.24 (0.03)	2.23 (0.02)	22.4 (0.6)

¹⁾Numbers in the parentheses are standard deviations

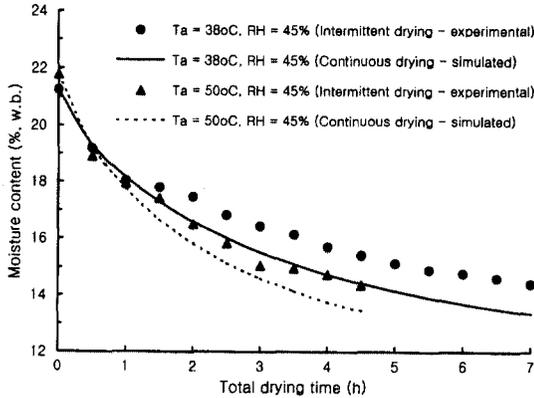


Fig. 3. Comparison of moisture content change between intermittent drying (experimental) and continuous drying (simulated).

간의 1/6 이므로 연속건조에 비해 낮은 건조속도를 나타내리라 생각되었으며, Fig. 3 역시 이에 부합되는 결과를 보이고 있다.

동할율

건조 전과 건조가 끝나고 48시간이 지난 후 측정 한 동할율을 Table 2 및 Fig. 4에 나타내었다. 건조 실험의 시료로 쓰인 벼는 어떤 형태로든 동할율을 갖고 있었는데, 경동할 및 중동할율의 평균치는 각각 87% 및 13%였다. Table 2에서와 같이 25°C 연속건조와 38°C 간헐건조에서는 건조에 따른 중동할미의 발생이 미미하였지만, 50°C 간헐건조에서는 건조 결과 중동할율이 23% 포인트나 증가하였다. 또, 건조 전(후)의 경동할율 증가량과 중동할율 증가량을 함께 비교해 볼 때, 건조결과로 발생한 중동할미의 증

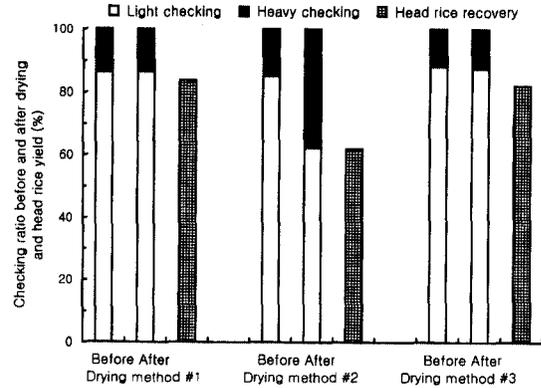


Fig. 4. Changes in light and heavy checking ratio and head rice yield for three drying treatments (Drying method #1 - intermittent drying with 38°C/45% rh air; Drying method #2 - intermittent drying with 50°C/45% rh air; Drying method #3 - continuous drying with 25°C/60% rh air).

가 원인은 건조 전 경동할을 갖고 있던 벼가 중동할미로 발전했기 때문이라 생각된다.

본 연구에서의 건조실험은 간헐건조 방법과 연속 건조 방법을 함께 사용하여 수행되었고 처리수준의 수가 적어, 건조속도와 중동할율 증가량 간의 관계를 정량적으로 분석하기는 힘들지만, 얻어진 실험 결과는 건조속도와 중동할미의 발생율은 비례한다는 기존의 보고들과 동일한 경향을 가지고 있는 것으로 보인다.

중동할미는 도정과정, 특히 정백과정에서 대부분이 부서져 쇤미가 되지만 경동할미는 쇤미로까지는 발전되지 않는다고 알려져 있는데(Bautista와 Bekki,

Table 2. Checking ratio and head rice yield for three drying treatments

Treatment ¹⁾	Moisture (% w.b.)		Drying rate ²⁾ (% w.b./h)	Checking ratio (%)				Husking ratio (%)	Whiteness (-)	Milled rice yield (%)	Head rice yield (%)	Broken rice (%)
	Initial	Final		Light checking		Heavy checking						
				Initial	Final	Initial	Final					
Drying method #1	23.0	14.4	0.98	86.5	86.6	13.5	13.4	91.9	35.0	89.1	83.7	5.4
Drying method #2	22.3	14.1	1.65	85.2	62.3	14.8	37.7	91.7	35.1	87.7	61.8	25.9
Drying method #3	21.9	14.4	0.57	88.2	87.6	11.8	12.4	90.4	36.0	87.4	82.0	5.4
Avg. (Std. Dev.)	22.4 (0.6)	14.3 (0.3)		86.6 (1.5)	86.6 (1.5)	13.4 (1.5)	13.4 (1.5)	91.4 (0.8)	35.3 (0.6)			

¹⁾Drying air temperature and relative humidity for the drying method #1, #2, and #3 are 38°C/45%, 50°C/45%, and 25°C/60%, respectively; Drying method #1 and #2 are intermittent drying where 10 min drying and 50 min tempering period are repeated throughout the whole drying run

²⁾Denominator is the total drying time

1997), 일본의 경우, 건조결과로 발생한 중동할을 증가는 3% 정도까지 통상적으로 허용되고 있다 (Regalado와 Bekki, 2000). 본 연구의 간헐건조 실험 결과로부터 3% 중동할을 증가에 상당하는 건조속도는 약 1.0% w.b./h로 계산되었으며, 실제로 이 값은 순환식 벼 건조기의 운전 시 널리 권장되고 있다.

도정수율

Table 2에 나타난 바와 같이 탈부율, 백도, 정백수율은 예상했던 대로 건조방법에 따른 차이를 보이지 않았다. 이는 제현과정에서 측정되는 탈부율은 벼 낱알에서 왕겨가 차지하는 무게의 비율에, 그리고 정백미에 대해 측정되는 백도와 정백수율은 정백과정에서 제거되는 강층과 쌀눈의 양에 의해 결정되므로 이들이 벼의 건조방법이 달라짐에 따라서 크게 변화되지는 않기 때문이다. 단립종의 경우, 일반적으로 말하는 10분도 백미는 정백수율이 약 91~93%에 해당되는데(金 등, 1988), 본 연구에서 얻어진 백미는 정백수율이 약 87~89%로서 10분도 도정도의 백미보다 강층이 약간 더 제거되었음을 알 수 있었다. 또한, 국내산 백미의 백도는 정백수율이 89~91% 범위 내에서 백도계 지시값으로 30~40 정도라고 알려져 있는데(高 등, 1995), 본 연구에서의 정백미의 백도는 35~36으로서 이 범위에 포함되었음을 알 수 있었다.

완전미수율과 중동할을 간에는 밀접한 관련성이 있음을 볼 수 있었다(Fig. 4). 온도 38°C의 열풍을 사용한 간헐건조와 건조공기의 조건이 우리나라 가을철 대기의 조건과 비슷한 연속건조에서는 각각 82.0%와 83.7% 라는 높은 완전미수율이 기록되었으나, 온도 50°C의 열풍을 사용한 간헐건조 결과 도정 후 완전미수율은 약 62%로 20% 포인트 이상 감소하였다. Fig. 4 및 Table 2에서 알 수 있듯이 건조에 따른 중동할을 증가량과 완전미수율, 그리고 중동할을 증가량과 썩미발생을 간에는 각각 다음과 같은 선형적 반비례 및 비례관계가 존재하였다.

$$\text{HRY} = 83.1 - 0.93X \quad (r^2 = 0.998)$$

$$\text{BRY} = 5.179 - 0.904X \quad (r^2 = 0.999)$$

여기서, HRY: 완전미수율(%), BRY: 썩미발생율(%), X: 중동할을 증가량(%)

요 약

1. 25°C 연속건조와 38°C 간헐건조에서는 건조에 따른 중동할미의 발생이 미미하였지만, 50°C 간헐건조에서는 건조 결과 중동할율이 23% 포인트나 증가하였다.
2. 중동할미의 발생율은 건조속도에 대체적으로 비례하는 경향을 보였고, 완전미수율은 중동할미 발생율에 반비례하였다.
3. 건조에 따른 중동할미의 증가 원인은 건조 전 중동할을 갖고 있던 벼가 중동할미로 발전하기 때문으로 생각되었다.
4. 건조조건은 탈부율, 백도, 정백수율에 별 영향을 미치지 않았다.

감사의 글

이 논문은 1999년도 전북대학교의 지원 연구비에 의하여 수행된 연구결과로서, 이에 감사 드립니다.

문 헌

- 국립농산물품질관리원. 2000. 농산물검사업무수첩
고학균 등. 1995. 미곡종합처리시설. 문운당
김광호, 안종국. 1997. 한국 쌀의 입형구분과 상품 품위 등급 설정. 한국작물학회지 42(3): 357-366
김광호, 체제천, 임무상, 조수연, 박래경. 1988. 쌀 품질의 연구현황, 문제점 및 방향. 한국작물학회지(품질연구 1호): 1-17
박승제 등. 1998. 인삼의 최적 건조 및 품질 자동 평가 시스템 개발. 농림부 보고서
전재근, 최부돌, 이정철. 1981. 생탈곡 벼의 깔아말림 특성과 건조조건이 동할미 발생에 미치는 영향. 한국농업기계학회지 6(2): 58-64
Bautista, R. C. and E. Bekki. 1997. Grain fissures in rough rice drying. *J. of the Japanese Society of Agricultural Machinery* 59(4): 97-108
Chen, H., Siebenmorgen, T. J. and B. P. Marks. 1997. Relating drying rate constant to head rice yield reduction of long-grain rice. *Trans. of ASAE*. 40(4): 1133-1139
Food Agency. 1995. Rice Post-harvest Technology. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan
Itoh, K., Terao, H., Ikeuchi, Y., and T. Yoshida. 1974. Drying of rough rice (II) - The relation between drying conditions and rice qualities. *J. of the Japanese Society of Agricultural Machinery* 35(4): 393-398
Itoh, K., Terao, H., Ikeuchi, Y., and T. Yoshida. 1975. Drying of rough rice (III) - The analysis of tempering effects. *J. of the Japanese Society of Agricultural Machinery*

- 36**(1): 115-125
- Kunze, O. R. and S. Prasad. 1978. Grain fissuring potentials in harvesting and drying of rice. *Trans. of ASAE.* **21**(2): 361-366
- Kunze, O. R. 1979. Fissuring of the rice grain after heated air drying. *Trans. of ASAE.* **22**(5): 1197-1201,1207
- Mossman, A. P. 1986. A review of basic concepts in rice-drying research. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **25**(1): 49-71
- Nguyen, C. N. and O. R. Kunze. 1984. Fissures related to post-drying treatment in rough rice. *Cereal Chemistry* **61**: 63-68
- Regalado, M. J. C. and E. Bekki. 2000. Thin-layer dehumidification drying studies on rough rice (part 1). *J. of the Japanese Society of Agricultural Machinery* **62**(3): 128-139
- Steffe, J. F., Singh, R. P., and A. S. Bakshi. 1979. Influence of tempering time and cooling on rice milling yields and moisture removal. *Trans. of ASAE.* **22**(5): 1214-1218, 1224