

소형 교반식 저장건조빈의 벼 건조 및 저장 특성

박종원 녕효봉 차영욱 강태환 한충수 조성찬

Drying and Storage Characteristics of Small Scale Accumulated / Stirred Storage and Drying Bin

J. W. Park X. F. Ning Y. O. Cha T. H. Kang C. S. Han S. C. Cho

Abstract

Not only does the labor of manufacturers used most in the drying process after rice harvest, but it also is having huge influence in quality. Also, because drying storage of rice production around the whole country is scarce with original facility, it has become a very important matter that farms develop their own safe and high-quality facilities to store and dry rice. Therefore, this study developed a small scale accumulated storage and drying bin, assessed·analyzed drying properties, and conducted analysis of research on the property of quality when storing for a long time. As a result, the drying speed of the small scale accumulated storage and drying bin was adequate of 0.042%/hr and was shown that the experimental static pressure and theoretical static pressure corresponded. Also, it was shown that drying cost was up to about 6 times inexpensive that heated air drying. For the storage of the small scale accumulated storage and drying bin, average of moisture content was around 16.5 until early April and decreased to 15.7% in July. Inside storage was maintained to 12~13% until early April and slightly increased to 14% after May. It was shown that inside storage had higher hardness and rate of cracking than the small scale accumulated storage and drying bin by storage conditions and germination rate was shown a little higher when stored in the small scale accumulated storage and drying bin.

Keywords : stirred storage, Drying bin, hardness, Crack ratio, Moisture content, germination rate

1. 서론

쌀은 우리나라의 주식으로 중요한 곡물이며, 큰 변화가 없는 한 수입에 의존하지 않고 자급자족이 가능한 곡물이다. 그러나 국제무역자유화에 따라 시장개방의 전단계인 관세화 유예로 2014년까지 의무수입량이 408,700톤으로 정해져 있고, 국민 1인당 연간 쌀 소비량은 1970년에 136.4 kg이던 것이 2010년에는 72.8 kg으로 감소하고 있어 잉여쌀 재고량으로 어려움에 직면해 있다. 그리고 벼농사 과정 중 파종부터 수확까지는 대부분 기계화가 이루어져 노동력 절감 및 벼 생산성이 향상되었지만 수확 이후인 건조부터 저장 관련공정기술에

관한 연구는 아직 미진한 상태로 노동력이 많이 소요되고 있어 고품질 쌀을 가공하는데 많은 문제점이 제기되고 있다. 이와 같은 상황을 극복하기 위해서 친환경 고품질 쌀 생산기술을 개발하여 국내 소비자에게 외국산 쌀보다 우리나라에서 생산된 쌀이 밥맛이나 안전성에서 우수하다는 인식을 갖도록 많은 노력을 기울여 왔다.

한편, 정부와 농협의 지원하에 설치·운영되고 있는 미곡종합처리장(RPC)은 산물상태의 물벼를 건조·저장·선별·가공·포장까지 일괄 자동 처리함으로써 노동력과 처리비용을 절감하고, 소비자 기호에 맞는 고품질 특미 생산이 가능한 시설이다. 특히 수확 이후의 처리 공정 중 건조공정은 생산자의 노

This study was conducted by the research grant of the Chungbuk National University in 2009. The article was submitted for publication on 2011-05-30, reviewed on 2011-06-07, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-06-14. The authors are Jong Won Park Graduate student, Xiao Feng Ning, Graduate student, KSAM member, Yeong Ok Cha, KSAM member, Tae Hwan Kang, KSAM member, Chung Su Han, and Sung Chan Cho, Professor and Dept. of Biosystems Engineering, Chungbuk National University. Corresponding author: S. C. Cho, Professor, Dept. of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea; Tel: +82-43-261-2584; Fax: +82-43-271-4413; E-mail: <secho@chungbuk.ac.kr>.

동력이 가장 많이 소요되는 과정이며, 쌀의 품질에도 큰 영향을 미치고 있다. 벼의 건조공정은 온도가 높으면 건조속도는 빠른 반면 동할율이 증가하고 발아율이 저하 된다. 또한 건조속도가 너무 빠르면 벼 낱알 내부에 수분구배가 형성되어 낱알 각 부분의 팽창, 압축 정도가 달라지며 이로 인한 내부응력으로 동할이 발생한다고 보고되어 있다(Kim, 2002).

이러한 건조·저장 방법의 개선을 위하여 Yun 등(2000)은 농가 단위에서 벼를 상온통풍 건조하는데 있어서 기존의 개량곡간의 문제점을 보완하여 균일한 건조가 가능하고, 노동력을 절감할 수 있는 곡물 순환식 상온통풍 건조기를 개발하였다. 개발된 건조기를 사용하여 벼를 건조시킬 때의 건조기 성능평가지수는 738.3 kJ/wg.water로 곡물 순환식 열풍건조기의 성능평가지수(3,500~5,000 kJ/wg.water)보다 매우 적은 값을 나타내어 에너지절감 효과가 높은 것으로 나타났다고 보고하였다. 그리고 Keum 등(1998)은 교반장치가 부착된 300톤 규모의 원형철제빈을 이용하여 벼를 누적혼합 상온통풍건조의 경우 시뮬레이션 모델을 개발하고 실험을 통하여 이를 검증하였다. 기상조건이 양호한 경우에 상대습도가 85~90% 이하일 경우에만 가열 없이 송풍기를 가동하는 간단 송풍방법이 가장 효과적이며, 가열 없이 연속 송풍하는 방법에 비하여 26~31%의 에너지가 절감된다고 하였다. 그리고 150시간 건조 후에 교반층의 함수율은 16%, 비교반층은 14.5%까지 건조되어 함수율 차는 1.5% 정도인 것으로 보고하였다. 또한 Lee 등(2008)은 겨울통풍냉각빈저장, 상온빈저장, 냉동저장, 냉장저장, 실내 저장시 저장기간 동안 벼의 저장특성을 비교하여 감모 방지 효과와 강도 유지는 통풍냉각빈, 상온빈에 저장한 경우가 양호하고, 발아율, 동할미율 측면에서는 통풍냉각빈이나 냉동, 냉장 저장한 경우가 양호한 저장 방법이라고 보고하였다.

미곡종합처리장은 1991년 이후 328개소가 조성된 후 현재 255개소가 운영 중에 있으며, 건조·저장시설은 1995년부터 2010년까지 총 1,206개소가 지원, 설치되었다. 이런 건조·저장 시설의 처리 능력은 연간 벼 생산량 5,811천톤 중 건조는 3,394천 톤으로 81.1%를 차지하고, 저장시설은 1,802천 톤으로 43.1%가 처리되고 있으며, 나머지 벼의 경우 농가에서 자체적으로 건조·저장하고 있는 실정이다(Mun, 2011). 이렇게 농가에서 따로 건조·저장되는 벼의 경우 저장고의 시설 미비 및 부적합한 저장방법으로 저장 중에 양곡의 수분이 자연 감소되어 과건조 현상과 동할 증가, 발아율 감소 등으로 품질이 저하된다. 또한 저장기간이 길어질수록 수분은 더욱 감소되어 쌀의 조직이 매우 단단해져 도정 시 미강층을 제거하는데 시간이 길어지고, 과부하로 인하여 도정효율이 저하된다고 보고하였다(Han et al., 2001).

이렇게 국내에서는 미곡종합처리장을 중심으로 연구가 많이 진행되고 있지만, 소형 교반식 저장건조빈에 대한 연구는

상당히 미진한 상태이며, 미곡종합처리장에 설치된 저장건조 시설로는 전국의 물벼생산량을 처리하기에는 용량이 부족하므로 농가에서 수확한 벼를 자체적으로 고품질 건조·저장할 수 있는 시설이 매우 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 소형 교반식 저장건조빈을 농가용으로 보급할 경우 성능과 건조 저장의 적합성을 확인하기 위하여 건조 및 저장에 따른 벼의 품질 특성을 비교 분석하였다.

2. 재료 및 방법

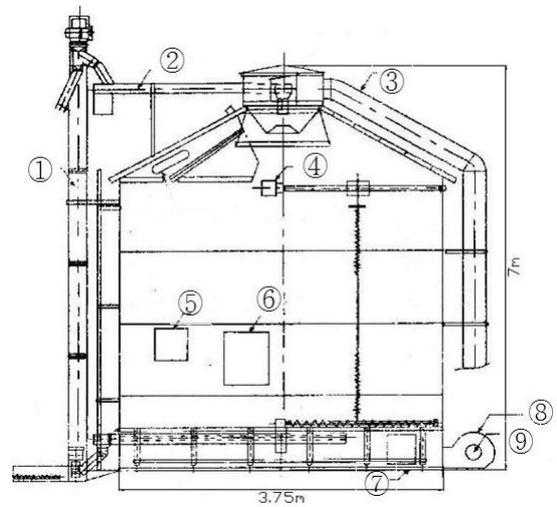
가. 공시재료

농가보급용 소형 교반식 저장건조빈(이후 소형저장건조빈으로 칭함)의 건조실험에 사용된 공시재료는 충북 청원군 오창면에서 생산된 추정벼로 21,400 kg을 사용하였다. 초기함수율은 19.1~21.1%w.b.(이후 %로만 표시함)이었다.

저장용 공시재료는 건조 후 시료를 그대로 빈에 저장한 경우와 대조구로 시료 중 400 kg을 포대(40 kg)에 넣어 실내 저장한 경우의 품질변화를 비교하였다. 저장시료의 함수율은 16.1~16.5% 범위이었다.

나. 실험장치

그림 1은 소형저장건조빈의 개략도를 나타낸 것이다. 소형저장건조빈(SHIN HEUNG, SSD-20, Korea)은 벽체(본체), 다공통기마루(다공판), 배출오거, 곡물분산장치, 교반장치, 버킷엘리베이터, 투입용 스크루컨베이어, 송풍기 등으로 구성되어 있다. 벽체는 단판 파형강판을 사용하였고, 빈의 내벽에



① Bucket Elevator ② Conveyor ③ Spiral Duct ④ Grain Stirrer ⑤ Console ⑥ Door ⑦ Plenum ⑧ Fan ⑨ Burner

Fig. 1 The schematic diagram of small scale accumulated/stirred storage and drying bin.

는 공기통로 파이프가 20개 설치되어 있다. 교반장치는 수평 축과 수직축이 각각 1본씩 설치되어 있고, 곡물을 상하·좌우로 교반 혼합한다.

다. 실험방법

건조할 시료는 일 수확량과 소형저장건조빈의 최대용량이 같은 때를 고려하여 일시에 투입하였다. 건조실험 기간은 10월 18일 19시~10월 22일 18시까지 95시간이 소요되었고, 교반기는 건조기간 중 연속 가동시켰다. 송풍기는 총 79시간 가동하였고, 이 중 버너가동시간은 총 31시간으로 외기온도가 강하할 때 가동시켰으며 주로 야간에 가동하였다. 버너를 가동할 때 송풍실 공기온도는 31~35℃ 범위가 되도록 하였다.

저장은 농가에서 벼 수확 후 보관하는 기간을 고려하여, 소형저장건조빈에서 건조가 종료된 10월 하순부터 다음해인 7월 하순까지 소형저장건조빈에 그대로 저장하고, 대조구로 빈 내부의 일부 시료를 포대에 담아 농가에서 저장하는 형태와 같이 실내에서 저장하였다. 시료 채취는 그림 2에서 보는 바와 같이 바닥부분(통기마루에서 150~200 mm), 1/3부분(통기마루에서 1 m 위치), 상층부분의 중앙, 남쪽, 북쪽부분에 시료채취봉을 삽입하여 채취하였다.

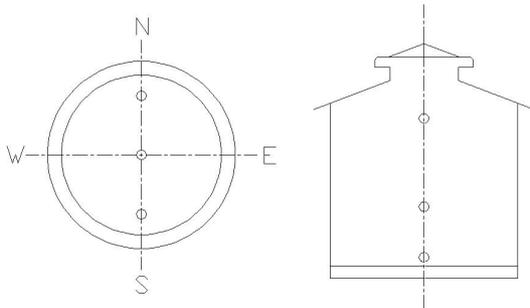


Fig. 2 Location of grain sampling point.

라. 측정항목

1) 함수율

건조 중에 벼의 함수율은 2시간 간격으로 바닥부분(통기마루에서 150~200 mm), 1/3부분(통기마루에서 1 m 위치), 상층부분에서 일정량의 시료를 채취하여 균일하게 혼합한 후, 전기저항식 함수율측정기(OGA, SH-5D, korea)로 9회 측정 후 평균값으로 나타내었다.

저장 중인 벼의 함수율 측정은 바닥부분, 1/3부분, 상층부분에서 1개월에 1회씩 시료를 채취하여 균일하게 혼합한 후, 전기저항식 함수율측정기(HANSUNG, HSMD-53, Korea)를 사용하여 5회 측정한 후 평균값으로 나타내었다.

2) 온습도

건조 중 빈내부의 곡온, 빈하부의 공기충만실 온도, 외기 온습도를 측정하였다. 온도측정은 다점온도기록계(YOKOGAQA, UR180, Japan)를 사용하였고, 상대습도는 포터블 온습도계(CUSTOM Co., CTH990, Japan)를 이용하여 측정하였다. 저장 중에도 빈내부의 곡온, 빈하부의 공기충만실 온도, 외기 온습도를 다점온도기록계와 포터블 온습도계를 이용하여 측정하였다. 실내저장의 온습도 변화는 자기온습도계(Sato, R-704, Japan)를 이용하여 저장기간 동안 온습도의 변화를 측정하였다.

3) 정압과 송풍량

정압은 U자형 마노미터(TSL, -254~254 mmAq, USA)를 이용하여 빈 하부의 공기충만실에 설치한 후 퇴적 깊이에 따라 0.5, 1, 2 m와 3.1(만량) m에서 측정하였다. 벼 퇴적층의 송풍저항은 다음 식 (1)을 이용하여 산출하였다.

$$\Delta p = 653.54 \left(\frac{Q}{60 \cdot A} \right)^{1.2727} D \tag{1}$$

Where, Δp : airflow resistance (mmAq)
 D : bed depth of rough rice (m)
 Q : airflow rate (m³/min)
 A : cross section of bin (m²)

송풍량은 시료를 빈에 투입한 후 퇴적고별로 집풍관을 놓고 풍속계(TSL, 8360-M-GB, USA)를 이용하여 풍속을 측정한 후, 이것을 면적비로 계산하였다.

4) 동할미율

동할미율은 건조 전 공시재료와 소형저장건조빈으로 건조한 벼를 각각 탈부하여 수동식 동할미측정기(Kett, RC-50, Japan)로 3~5회씩 측정하여 평균값으로 비교하였다.

5) 유류 소비량과 소비 전력량

건조 중 유류 소비량은 버너 입구에 유량계(DAEHEUNG, SSO-8, Korea)를 설치하여 측정하였고, 소비전력량은 적산 전력계(TAIHAN, TS-2G, Korea)를 이용하여 측정하였다. 건조시 톤당 에너지 소비비용을 현금가로 환산하기 위하여 농업용 실내등유는 850 원/L, 전기사용료는 36.7 원/kWh를 적용하였고 기본료는 1,070 원/kW으로 농업용 병을 적용하였다.

순환식건조기(30ton용)의 소요 건조에너지 비용은 초기함수율 20.0%이고, 최종함수율 15.0%로 건조시킬 경우를 가정하여 분석한 자료로 인용하였고, 건조에너지 소비비용은 5,850

~5,890 원/ton을 사용하였다(Han et al., 2011).

6) 강도

저장기간에 따른 시료의 단단한 정도를 알아보기 위하여 강도 변화를 측정하였다. 강도는 채취한 벼를 손으로 탈부하여 경도계(FUJIWARA, KHT-20N, Japan)로 15회 측정하여 평균값을 사용하였다.

7) 발아율

발아율은 소형저장건조빈에 저장한 것과 40 kg 포대에 담아 실내 저장한 벼를 측정하였다. 측정방법은 벼의 정립 100 개를 선택하여 물세척한 후, 살레에 잘 퍼서 넣고, 물을 35 cc 넣은 후, 25℃의 항온기에 넣어 발아상태를 점검한다. 발아율은 벼의 발아수와 초기 벼의 립수와의 비율로 나타냈다(Kim et al., 2008).

8) 용적중량

용적중량은 벼를 탈부 한 후 현미 300 g을 브라우엘 곡립계(ND-25, Japan)로 측정한 후 평균값으로 나타내었다.

9) 취반점도

짧은 저장기간이 길어질수록 품질과 밥맛이 저하된다. 특히 저장할 때 외기 온도의 상승은 함수율을 감소시켜 밥맛을 저하시킨다. 여기에서 기온이 상승하는 3월부터 1개월에 1회씩 시료를 채취하고 점도계(Now Port Scientific, RVA-30, Australia)를 이용하여 취반점도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 건조 특성

1) 건조 중 함수율 변화 및 평균 건조속도

그림 3은 건조 중 벼의 함수율 변화를 나타낸 것이다. 그림

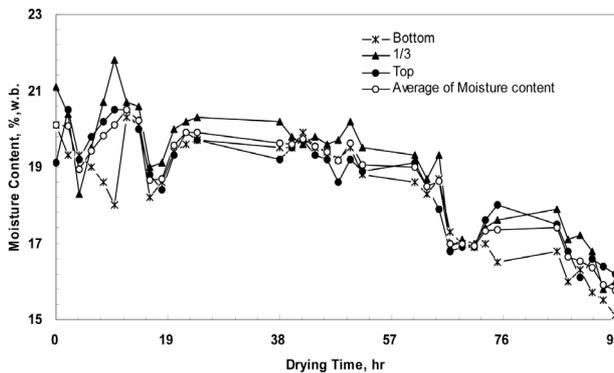


Fig. 3 Variation of the moisture content for different location of rough rice during drying.

에서와 같이 초기평균함수율 20.1%에서 최종평균함수율 15.8%까지 건조에 걸린 시간은 총 95시간이 소요되어 평균건조속도는 0.046 %/hr로 나타났다. 건조 종료 후 상·1/3(통기마루에서 1 m 위치)부분의 최종 평균함수율은 각각 16.2%, 16.0%이었고, 하층부의 최종 평균함수율은 15.1%로 상·1/3(통기마루에서 1 m 위치)부분에 비해 약 1% 정도 더 건조가 된 것으로 나타났다.

이와 같이 비교반층이 교반층보다 함수율이 낮은 이유는 소형저장건조빈을 통해 벼를 건조 할 경우 벼의 하층부터 압송방법으로 송풍하여 하부층에서부터 점차 상부층으로 건조가 진행됨으로 퇴적고별 함수율 편차가 발생하게 되고, 특히 다공통기마루에 설치되어 있는 배출장치로 인해 최하부층은 비교반층이 형성되며, 이 비교반층이 장시간 송풍으로 과건되었기 때문이라고 판단된다(Kim et al., 2007).

한편, 대형 저장건조빈보다 비교반층의 함수율이 교반층 함수율과 비교하여 함수율 편차가 작은 이유는 본 실험에 사용한 저장건조빈의 용량이 20 톤의 소형으로 송풍온도(31~35℃)에 영향을 받아 비교반층의 곡온이 22~31℃ 사이로 나타났지만, 송풍기의 총 가동시간인 79시간 중 버너 가동시간이 외기온도가 4~17℃로 강하는 야간에 총 31시간 동안만 가동시켰기 때문에 대형 저장건조빈에서와 같이 비교반층의 과건현상이 심하지 않은 것으로 판단된다.

2) 건조 중 외기 온습도와 벼 온도 변화

그림 4는 건조 중 곡온과 외기온습도 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 건조 중 외기 온습도는 건조초기에 12시간 정도 각각 4~12℃, 60~92%로 불량하였으나, 그 이후 각각 14~27℃, 30~70%로(이때 벼에 대한 평형함수율은 15% 이하로) 외기온습도는 양호한 것으로 나타났다.

한편 버너를 가동하지 않을 때 건조 벼의 온도는 대략 15~25℃ 범위를 유지하였고, 버너를 작동시킨 시기에는 공기층만실의 온도가 31~35℃ 이었다. 건조 효율을 향상시키기

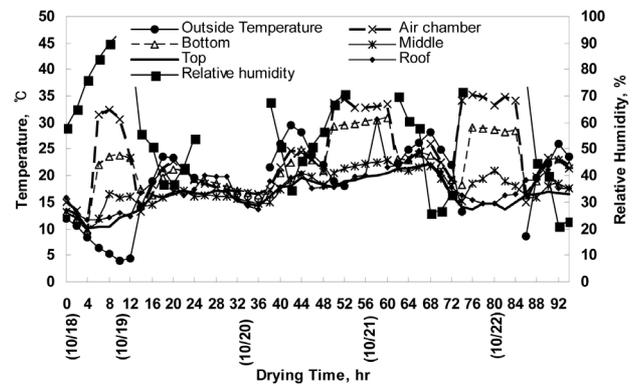


Fig. 4 Variation of the grain temperature, ambient temperature and humidity during drying.

위하여 1차 버너 가동시간대는 건조시작 후 4시간부터 11시간 사이에 가동시켰고, 이 때 외기온도는 4~12°C, 빈의 하부 곡온은 22~24°C, 중앙과 상부, 상부공간은 대략 10~16°C이었다. 또한 2차 버너 가동시간은 건조시작 후 48 시간부터 61 시간 사이에 가동시켰고, 이 때 외기온도는 14~17°C, 빈의 하부 및 중앙과 상부 곡온은 각각 29~31°C, 18~23°C를 나타내었다. 3차로 버너를 가동시킨 시간은 건조시작 후 74시간부터 85시간 사이로서 이 때 빈의 하부 곡온은 28.8~29.1°C, 중앙과 상부, 상부공간은 대략 13.7~19.3°C로 2차 버너 가동시기와 비슷한 경향을 나타내었다.

이와 같이 소형저장건조빈 내의 건조 중인 벼 온도는 외기 온도의 영향을 받기 때문에 건조할 때 외기온과 연동해서 버너가동시간을 조절하는 것이 바람직하다고 판단된다.

3) 송풍기의 적합성과 송풍저항 및 송풍량

송풍기 선택의 적합성은 송풍기 성능곡선과 지역에서 벼함수를 20%와 수확시기 10월 하순에 대한 최소풍량비(전국 0.923~0.057 cmm/m³, 청주 0.649 cmm/m³)를 이용하여 최소 송풍량과 송풍저항을 결정하고, 송풍기의 소요동력을 선택함으로 청주지역 최소풍량비와 다음 식 (2), (3), (4)를 이용하여 송풍기의 적합성을 검증하였다(Keum and Park, 1996).

$$Q_s = Q_v \cdot q_s \quad (2)$$

$$Q_v = A \cdot D \quad (3)$$

$$V = q_s \cdot \frac{D}{60} \quad (4)$$

Where, Q_s : minimum airflow (m³/min)
 Q_v : maximum rice sediment (m³)
 q_s : minimum air grain ratio (m³/min·m³)
 A : cross section of bin (m²)
 D : maximum bed depth (m)
 V : apparent velocity (m³/s·m³)

식 (2), (3)을 이용하여 산출된 최소 송풍량은 21.87 m³/min (0.3645 m³/s) 이었고, 식 (1)에 의한 송풍저항은 26.19 mmAq 이었다. 한편, 최소 송풍량은 시험성능과 실제성능 간의 차이를 고려하여 산출된 송풍량의 25% 더하여 결정한다. 따라서 최소 송풍량은 27.34 m³/min이 된다. 송풍기 성능곡선으로부터 송풍량은 송풍저항이 26.19 mmAq일 때 82.1 m³/min이므로 위에서 계산한 최소송풍량보다 크기 때문에 충분한 것으로 판단된다.

그림 5는 벼의 퇴적 깊이에 따라 실측한 정압과 식 (1)로 계산한 이론 정압을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 5에서 보

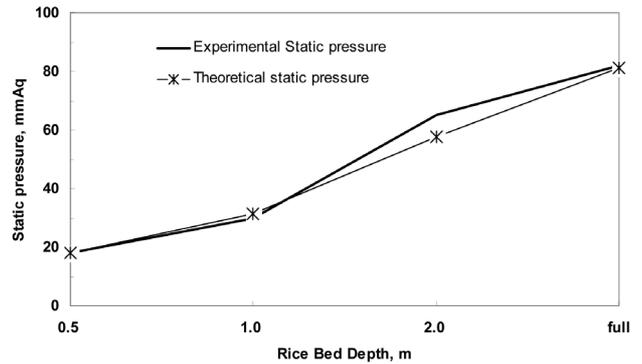


Fig. 5 Comparison of experimental and theoretical static pressure variation with rice bed depth.

는 바와 같이 실측 정압과 이론 정압이 거의 일치하는 것으로 나타났다. 각 퇴적 깊이별 실측 정압과 이론 정압을 비교해 보면 0.5 m일 때 각각 18, 18.01 mmAq, 1.0일 때 각각 30, 31.4 mmAq, 2.0 m일 때 각각 65, 57.5 mmAq, 3.1 m일 때 각각 82, 81.3 mmAq로 나타났다.

이와 같이 300톤용 빈에 비하여 이론 정압과 실측 정압이 거의 일치하는 것은 소형저장건조빈의 경우 용량이 적어 다짐 정도가 심하지 않고, 교반장치에 의해 상하층이 혼합되면서 다짐이 완화되었기 때문이라 판단된다.

4) 건조에 따른 동할미율 변화

그림 6은 건조 전후의 동할미율을 비교한 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 건조 전 공시재료의 동할미율은 6.3% 이었고, 상온통풍건조 후 동할미율은 7.5%로 약 1.2%정도 증가하였다. 이 증가율은 일반적인 상온통풍건조 후의 동할미율 발생율인 1.1~1.5%의 범위에 속하기 때문에 정상적으로 건조되었다고 판단된다.

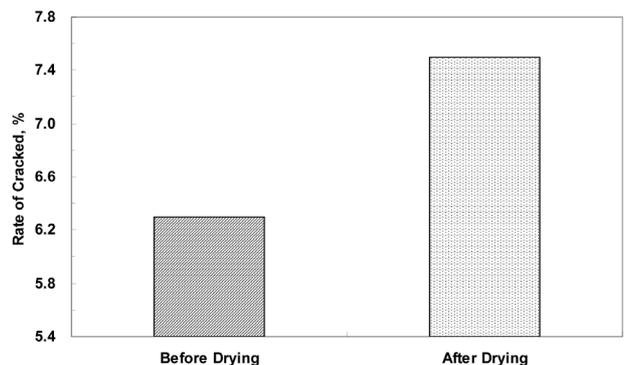


Fig. 6 Comparison of crack at before and after drying.

5) 유류 소비량과 소비전력량

버너가동시간은 위에서 설명한 바와 같이 31시간 이었고, 이때 석유의 소비량은 약 20 L로 시간당 0.645 L소비된 것으

로 나타났다. 한편 적산전력계를 이용하여 측정한 전체 소비 전력량은 230.5 kWh 이었다. 유류 소모비용은 20 L×850원 =17,000원, 전기료는 기본료 7 kW×1,070 원/kW=7,490원과 사용 전기료 230.5 kWh×36.7 원/kWh=8,459.35원이다. 따라서 건조에 소요된 총 비용은 32,949.35원이고, 톤당 건조비용은 약 32,949.35원÷21.4ton≒1,540원/ton으로 매우 저렴한 것으로 나타났다. 한편 순환식 건조기(30 ton)의 경우 건조 에너지비용은 약 5,850~5,890원/ton으로 소형저장건조빈의 건조 에너지비용이 약 73.8 % 정도 저렴한 것으로 나타났다.

나. 저장 특성

1) 저장기간 중에 벼의 함수율 변화

그림 7은 소형저장건조빈과 실내에 저장할 때 저장기간별 벼의 함수율 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 소형저장건조빈 저장의 경우 평균함수율은 다음 연도 4월 초순까지 16.5% 내외를 유지하였고, 그 이후 약간 감소하여 7월에는 15.7%로 나타났다. 한편 실내에 저장한 원료의 경우, 평균함수율은 2월 초순까지 약 2% 정도 감소하고, 4월 초순까지 약 4% 가까이 감소하여 12.3%를 나타내었다. 그리고 5월부터 실내저장 원료의 평균함수율이 약 2% 범위 내외에서 증가하는 경향을 나타내었다.

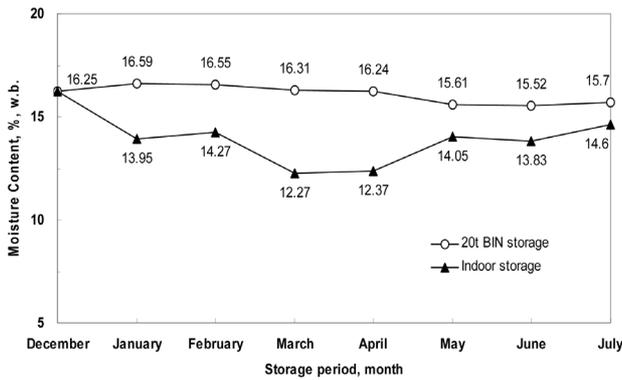


Fig. 7 Variation of moisture content during to storage period for rough rice.

이와 같이 실내에 저장한 것보다 빈에 저장한 벼의 함수율 감소폭이 작은 것은 저장기간 중에 외기의 입출입이 거의 차단되어 건조에 의한 수분 증발이 적었기 때문으로 판단된다. 이에 반해서 실내 저장의 경우는 겨울철에도 실내 온습도가 각각 15°C 내외, 50% 내외를 유지하고, 이에 대한 벼의 방습 평형함수율이 13% 이하이기 때문에 벼의 수분 증발이 활발하여 함수율이 크게 감소된 것으로 판단된다. 그리고 5월부터 실내 저장 벼의 평균함수율이 증가한 것은 일기불순으로 인하여 실내의 상대습도가 80% 이상인 날이 많아 벼가 공기 중에 수분을 흡습하였기 때문으로 생각된다.

2) 저장기간에 따른 현미의 강도 변화

저장기간에 따라 시료의 강도는 함수율과 밀접한 관계를 갖고 있으며, 강도가 강해지면 정백할 때 미강층 제거가 어려워 도정효율이 저하되고, 소비전력량이 증가한다(Han et al., 2001). 그림 8은 소형저장건조빈과 실내에 저장한 벼를 탈부한 후 저장기간에 따라 현미의 강도 변화를 나타낸 것이다.

실내에 저장한 것의 강도 범위는 8.27~10.5 kgf 이었고, 소형저장건조빈에 저장한 것의 강도는 7.54~8.25 kgf로 전체적으로 실내에 저장한 원료의 강도가 큰 것으로 나타났다. 2~3월에는 실내 저장과 소형저장건조빈의 저장의 강도 차이가 2.4~2.8 kgf로 실내 저장한 것이 강한 것으로 나타났고, 6~7월에는 강도 차이가 0.3~0.6 kgf 정도로 가장 작게 나타났다. 2~3월에 실내에 저장한 것의 강도가 큰 이유는 함수율이 크게 감소하여 조직이 단단해졌기 때문이고, 6~7월에 강도가 작게 나타난 것은 실내 저장 중 상대습도가 높아 흡습으로 인한 함수율 증가로 조직이 연해졌기 때문으로 판단된다.

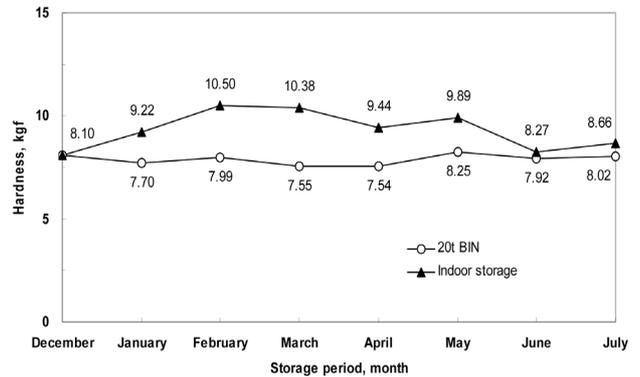


Fig. 8 Variation of hardness during to storage period.

3) 저장기간에 따른 현미의 동할미율 변화

저장기간에 따라 소형저장건조빈 저장과 실내저장한 것의 동할미율 변화를 그림 9에 나타냈다. 그림에서 보여주듯이

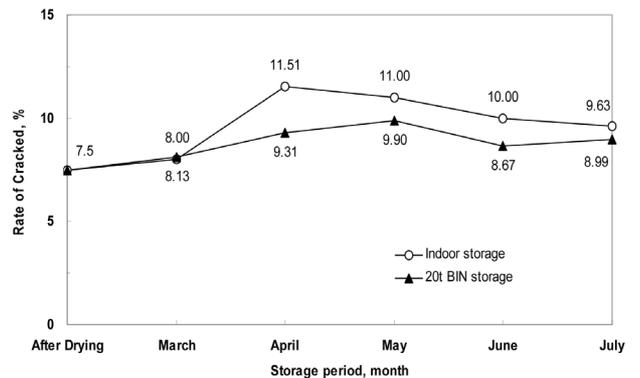


Fig. 9 Variation of crack ratio during to storage period.

소형저장건조빈에 저장한 원료보다 실내에 저장한 원료의 동할미율이 약간 높은 것으로 나타났다. 한편 소형저장건조빈과 실내 저장 모두가 3월 이후부터 동할미율이 증가하는 경향을 나타내었고, 3월부터 8월까지의 동할미율은 소형저장건조빈 저장 후가 8.13~9.92%, 실내 저장 후가 8.0~11.51%의 범위로 소형저장건조빈에 저장한 것보다 실내에 저장한 것의 동할미율이 약간 높은 경향을 나타내었다. 실내에 저장한 원료의 동할미율이 높은 이유는 소형저장건조빈에 비하여 원료의 함수율이 외기온습도에 따라 증감이 반복되면서 곡립의 수축과 팽창에 의한 응력 차이 때문이라 판단된다.

4) 저장기간에 따른 현미의 용적중량 변화

그림 10은 소형저장건조빈과 실내 저장 후 저장기간에 따라 현미의 용적중량 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 실내에 저장한 원료의 용적중량이 소형저장건조빈에 저장한 원료보다 용적중량이 큰 것으로 나타났다. 실내에 저장한 것의 용적 중량 범위는 825.31~851.69 g/L를 나타냈고, 소형저장건조빈에 저장한 것의 용적중량은 797.34~812.48 g/L로 나타났다. 실내에 저장한 것의 용적중량이 최대가 되는 시기는 3~4월로 앞에서 설명한 함수율이 최저인 시기와 일치하였다.

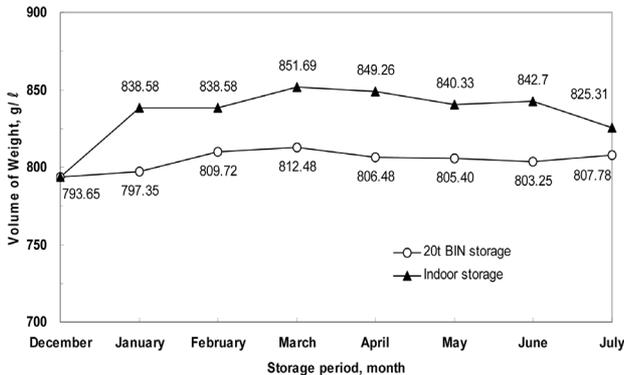


Fig. 10 Variation of test weight per liter during to storage period.

이와 같이 실내저장 원료의 용적중량이 큰 이유는 소형저장건조빈에 저장한 원료보다 함수율이 낮으므로 체적이 작고, 한 곡립당 부피가 작으면 1 L에 포함되는 곡립수가 증가하여 같은 부피일 경우 중량이 더 무겁기 때문이다. 실내에 저장한 원료의 용적중량이 크다는 것은 원료가 너무 건조되었거나 곡립당 무게가 많이 나가는 것을 의미하며, 여기에서는 전자의 의미로 함수율이 매우 낮아 품질이 저하되었음을 간접적으로 나타낸다.

5) 저장기간에 따른 취반점도의 변화

쌀의 품질 중 식미 평가에서 가장 중요한 인자는 조직감으

로 찰기가 높고 경도가 높아질수록 식미가 좋아지는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2005). 그림 11은 소형저장건조빈과 실내 저장에 따른 저장기간별 취반점도 변화를 나타낸 것이다. 여기에서 취반점도는 최종점도와 최고점도와의 차이로 이 수치가 작을수록 밥이 빨리 굳어지는 특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 취반점도에 관한 특성은 실내에 저장한 것의 취반점도가 소형저장건조빈 저장보다 작아 밥이 빨리 굳는 것으로 나타났다. 이것은 소형저장건조빈에 저장한 것이 실내저장보다 품질이 양호한 것을 의미한다.

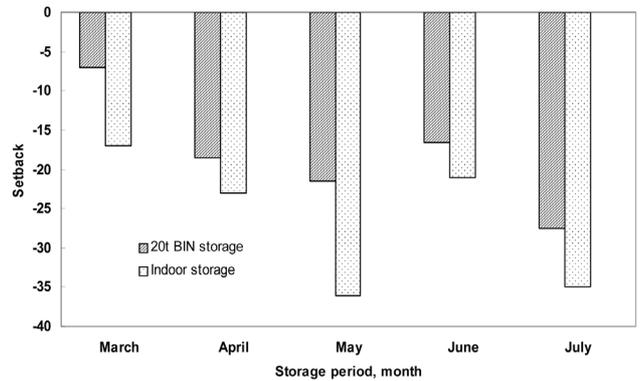


Fig. 11 Variation of setback during to storage period.

특히 3월에 실내 저장한 것의 취반점도가 급격히 저하되는 것은 벼의 함수율이 급격히 저하되었기 때문이며, 7월의 취반점도는 소형저장건조빈의 경우도 -25를 유지하여 7월 이전보다 품질이 저하되었고, 실내저장의 경우는 -35로 품질이 더욱 저하되는 것으로 나타났다.

6) 저장기간에 따른 벼의 발아율 변화

소형저장건조빈과 실내에서 8개월 저장한 벼의 경우, 발아율 상태를 표 1에 나타내었다. 발아율은 쌀의 신선도를 예측할 수 있는 척도로 고온에서 건조하면 발아율이 저하되고, 발

Table 1 Variation of germination rate during to storage period (unit : %)

Storage period	Storage methods	20ton BIN	Indoor
1		97	-
2		98	98
3		100	98
4		98	97
5		97	97
6		98	96
7		97	90
8		98	90

아가 되지 않는 쌀은 죽은 쌀과 마찬가지로 신선도가 떨어지고 식미도 저하된다. 표에 나타난 것과 같이 소형저장건조빈에서 저장한 경우 발아율은 97~100%의 범위를 나타내었고, 실내 저장한 경우 발아율은 90~98%를 나타내, 큰 차이는 아니지만 소형저장건조빈에 저장하는 것이 실내에 저장한 것보다 약간 높은 경향을 나타내었다. 이것은 소형저장건조빈의 경우 단열된 상태에서 저장하므로 외기 변화(고온, 고습)에 영향을 적게 받았기 때문이다.

4. 요약 및 결론

벼 수확 이후의 건조공정은 생산자의 노동력이 가장 많이 소요될 뿐 아니라 품질에도 큰 영향을 미치고 있다. 또한 전국의 벼 생산량을 기존 시설로 건조저장하기에는 용량이 절대 부족하므로 농가 자체적으로 안전하고 고품질로 저장·건조할 수 있는 시설이 매우 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 소형 교반식 저장건조빈을 농가용으로 보급할 경우 성능과 건조 저장의 적합성을 확인하기 위하여 건조 및 저장에 따른 성능과 벼의 품질 특성을 비교 분석하였다.

저장·건조실험은 20 ton용 소형저장건조빈을 이용하여 건조실험을 실시하였고, 저장기간은 농가에서 벼 수확 후 보관하는 기간을 고려해서 건조가 종료된 해의 10월 하순부터 다음 해의 7월 하순까지 소형저장건조빈에 저장하고, 실내에서 포대저장하는 대조구와 함께 저장기간에 따른 품질 특성을 비교하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 실험에 사용된 벼의 총중량은 21,400 kg으로 초기평균 함수율은 20.1%이었고, 최종평균함수율은 16.3%이었다. 건조는 총 95시간이 소요되었고, 상·1/3(통기마루에서 1 m 위치)·하층간의 최종함수율 차이는 약 0.5% 내외였고, 평균 건조속도는 0.042 %/hr로 나타났다.
- (2) 실측 정압과 이론 정압은 거의 일치하는 것으로 나타났다.
- (3) 건조 전 현미의 동할미율은 6.3%였고, 상온통풍건조 후 동할미율은 7.5%로 1.2% 증가하였다.
- (4) 소형저장건조빈의 건조 에너지비용은 1,540 원/ton으로 저렴한 것으로 나타났다.
- (5) 소형저장건조빈 저장의 경우 벼의 평균함수율은 4월 초순까지 16.5% 내외였고, 7월에는 15.7%로 감소하였다. 실내 저장은 4월 초순까지 약 4% 감소하여 12~13%를 유지하였고, 5월 이후는 14% 내외를 유지하였다.
- (6) 소형저장건조빈과 실내 저장한 현미의 강도 범위는 각각 7.54~8.25 kgf, 8.27~10.5 kgf로 실내 저장한 원료의 강도가 강한 것으로 나타났다.
- (7) 현미의 동할미율은 소형저장건조빈과 실내 저장의 경

우 각각 8.13~9.92%, 8.0~11.51%로 실내 저장한 것이 약간 높게 나타났다.

- (8) 실내 저장과 소형저장건조빈에 저장한 것의 현미 용적중량은 실내 저장한 원료가 큰 것으로 나타났다.
- (9) 취반점도는 실내 저장한 것이 소형저장건조빈 저장보다 작아(-값이 큼) 밥이 빨리 굳는 것으로 나타나, 소형저장건조빈에 저장한 쌀의 미질이 양호한 것으로 나타났다.
- (10) 소형저장건조빈과 실내 저장의 발아율은 각각 97~100%, 90~98%로 소형저장건조빈에 저장한 것이 매우 우수한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Yun, H. S., H. Chung, Y. G. Cho and W. K. Park. 2000. Development of a Grain Circulating Type Natural Air In-bin Dryer(1) -Development of dryer and analysis of drying performance-. Journal of Biosystems Engineering 25(3):227-232. (In Korean)
2. Kim, M. H., 2002, Characteristics of Crack Development in Rice Grains Due to Heated Air Drying. Korean Society for Food Engineering 6(4):314-320.
3. Lee, J. S., H. K. Hong, T. H. Kang, H. Li, T. M. Ham, Y. H. Kim and C. S. Han. 2008. Storage Characteristics of Rough Rice by Storage Method. Journal of Biosystems Engineering 33(3):167-172. (In Korean)
4. Mun, S. H. 2011. RPC supports the policy direction1. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries.
5. Han, C. S., K. S. Yon, T. H. Kang, H. Y. Jeon, H. K. Koh, J. D. So and D. B. Song. 2001. Study on the Conditioning of Brown Rice (1) -Property variation and predicted model of brown rice after conditioning- Journal of Biosystems Engineering 26(1):39-46. (In Korean)
6. Keum, D. H., C. S. Han, and C. W. Park. 1998. Fan and Heater Management Schemes for Layer Filling and Mixing Drying of Rough Rice with Natural Air by Simulation. Journal of Biosystems Engineering 23(3):229-244. (In Korean)
7. Kim, K. Y., G. I. Noh, H. S. Park, S. H. Shin, H. K. Park, B. K. Kim and C. K. Kim, 2008, Difference of Germination Rate, Fat Acidity, and Lipoxxygenase Activity of Rice Grain according to Storage Temperature and period, The Korean Society of International Agriculture 20(2):79-84.
8. Han, C. S. et al. 2011. Analysis of economic feasibility and drying storage characteristics of circulating grain dryer and storage drying bin. Research Report. Chungbuk National University. (In Korean)
9. Kim, Y. D., U. G. Ha, Y. C. Song, J. H. Cho, E. I. Yang

- and J. K. Lee. 2005. Palatability Evaluation and Physical Characteristics of Cooked Rice. The Korean Society of Crop Science 50(1):24-28.
10. Keum, D. H. and S. T. Park. 1996. Minimum Specific Airflow Rate Requirements for Natural Air Drying of Rough Rice in Korea. Journal of Biosystems Engineering 21(1):60-71.
11. Kim, H., D. C. Kim, D. H. Keum, H. J. Lee, J. W. Han, S. J. Hong and M. H. Shin. 2007. Characteristics of Alternation Natural Air Drying for Rough Rice. Korean Society for Agricultural Machinery 12(1):268-272.