

# 소형(20톤) 교반식 저장건조빈의 벼건조 및 저장 특성 Drying and Storage Characteristics of Small Scale Accumulated/Stired Storage and Drying Bin

\*한충수      \*연광석      \*\*차영욱      \*전홍영      \*이해철  
정희원      정희원  
C.S.Han      K.S.Yon      Y.O.Cha      H.Y.Jeon      H.C.Lee

## 1. 서론

U.R협상타결과 세계무역기구(WTO) 출범으로 1995년부터 최소시장 접근에 따라 쌀이 수입되면서 2002년도에는 소비량의 3.5%인 154,000ton을 수입해야 한다<sup>1)</sup>. 이제 쌀 시장의 완전 개방에 대비하여 생산비용의 절감과 고품질 쌀을 생산하여 경쟁력을 향상시켜야 한다.

한편, 국내의 벼농사 과정 중 건조부터 도정공정 관련기술에 관한 연구는 상당히 미진한 상태로 노동력이 많이 소요되고, 고품질 쌀을 가공하는데 많은 문제점이 제기되고 있다. 이와같은 시기에 미곡종합처리장 설치 사업은 매우 시기 적절한 사업이라 판단된다.

미곡종합처리장은 1998년까지 총 303개소가 준공되어 가동중 이고, 산물상태의 물벼를 건조·저장·선별·가공·포장까지 일괄 자동 처리함으로써 노동력과 처리비용을 절감할 수 있고, 고품질 특산미생산이 가능한 시설이다<sup>1, 2, 3)</sup>. 이와 같은 시설의 설치는 수입쌀에 대한 경쟁력을 갖출 수 있는 계기가 되었다.

그러나 수확 이후의 건조와 저장은 기존시설과 RPC의 저장건조시설로는 전국의 물벼 생산량을 처리하기에 용량이 부족하므로 농가에서 수확한 벼를 자체적으로 안전하고, 고품질로 저장건조할 수 있는 시설이 매우 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 농가보급용 20ton 교반식 저장건조빈 시스템을 개발하여 상온통풍 건조 특성과 성능을 평가·분석하고, 장기저장할 때 품질에 대한 특성을 분석하여 농가에서 안전하게 사용할 수 있는 지를 연구·분석 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 가. 공시재료

농가보급용 20ton 교반식 저장건조빈(이후 소형저장건조빈으로 칭함)의 건조실험에 사용된 공시재료는 충북 청원군 오창면에서 생산된 '97년산 추청벼로 21,400kg 사용하였다. 초기함수율은 19.1~21.1%w.b.(이후 %로만 표시함)이었다.

저장용 공시재료는 건조후 시료를 그대로 빈에 저장한 경우와 400kg을 마대자루(40kg)에 넣어 실내저장한 경우 품질변화를 비교하였다. 저장용 함수율은 16.1~16.5% 범위이었다.

\* 충북대학교 농과대학 농업기계공학과  
\*\* 신흥기술연구소

## 나. 실험장치

실험장치로 이용한 소형저장건조빈은 1997년 신흥기업사에서 설계·제작한 것으로 신흥기업사 내에 설치하였다. 빈은 벽체(본체), 다공통기마루(다공판), 배출오거, 곡물분산장치, 교반장치, 버킷엘리베이터, 투입용 스크루콘베이어, 송풍기 등으로 구성되어 있다.

벽체는 단판 파형강판을 사용하였고, 빈의 내벽에는 공기통로 파이프가 20개 설치되어 있다. 교반장치는 수평축과 수직오거가 각각 1본씩 설치되어 있고, 곡물을 상하로 교반한다.

## 다. 건조 및 저장실험기간

건조할 시료는 일수확량과 빈의 최대용량이 같을 때를 고려하여 일시에 투입하였다. 건조 실험 기간은 '97년 10월 18일 19시~ '97년 10월 22일 18시까지 95시간이 소요되었고, 교반장치는 건조기간중 연속 가동시켰다. 송풍기는 16시간을 제외(10/19 07~09시, 10/19 19시~10/20 09시)하고 연속 가동시켰다. 버너가동시간은 총 31시간으로 주로 야간에 가동하였다.

저장기간은 농가에서 벼 수확후 보관하는 기간을 고려하여, 건조가 종료된 '97년 10월 22일부터 '98년 7월 31까지 빈과 실내(신흥기술연구소 사무실)에서 실시하였다.

## 라. 측정항목

### (1) 함수율

건조 중에 벼의 함수율은 2시간 간격으로 바닥부분(통기마루에서 150~200mm), 1/3부분(통기마루에서 1m), 상층부에서 일정량의 시료를 채취하여 균일하게 혼합한 후, 전기저항식 함수율측정기(한국, 오가전자, SH-5D)로 9회 측정된 후 평균값으로 나타냈다.

저장 중인 벼의 함수율 측정은 바닥부분, 1/3부분, 상층부에서 1개월에 1회씩 시료를 채취하여 전기저항식 함수율측정기를 사용하여 5회 측정된 후 평균값으로 나타냈다.

### (2) 온습도

건조 중 빈내부의 곡은·빈하부의 공기층만실 온도·외기 온습도를 측정하였다. 온도측정은 다점온도기록계(일본, YOKOGAWA, UR180)를 사용하였고, 상대습도는 포터블 온습도계(일본, CUSTOM Co., CTH990, -10~60℃, 15~99%)를 이용하여 측정하였다.

### (3) 정압과 송풍량

정압은 U자형 마노미터(미국, TSI사, -254~254mmAq)를 이용하여 빈 하부의 공기층만실에 설치한 후 퇴적 깊이에 따라 0.5, 1, 2, 3.1(만량)m에서 측정하였다.

벼 퇴적층의 송풍저항은 다음 식 (1)로 계산하여 나타낸다<sup>3, 4)</sup>.

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

여기서,  $\Delta p$ : 송풍저항(mmAq), D: 벼 퇴적고(m), Q: 송풍량 (m<sup>3</sup>/min.), A: 빈의 단면적(m<sup>2</sup>).

송풍량은 시료를 빈에 투입한 후 퇴적고별로 집풍관을 놓고 풍속계(미국, TSI사, 8360-M-GB, 0.15~50m/s)를 이용하여 풍속을 측정된 후, 이것을 면적비로 계산하였다.

### (4) 동할미율

동할미율은 건조 전 공시재료와 소형저장건조빈으로 건조한 벼를 각각 탈부하여 수동식

동할미측정기(일본, Kett, RC-50, 50립/회)로 3~5회씩 측정하여 비교하였다.

저장기간별 동할미율도 같은 방법으로 실시하였다.

#### (5) 유류 소비량과 소비 전력량

건조 중 유류 소비량은 버너 입구에 유량계를 설치하여 측정하였고, 소비전력량은 적산전력계를 이용하여 측정하였다.

#### (6) 강도

저장기간에 따른 현미의 강도 변화는 경도계(일본, FUJIWARA, KHT-20N, 최대작용하중 20kgf)로 15회 측정하여 평균값을 사용하였다.

#### (7) 발아율

발아율은 소형저장건조빈에 저장한 것과 40kg 포대에 담아 실내저장한 벼를 측정하였다. 측정방법은 벼의 정립 100개를 선택하여 물세척하고 최아한 후, 샬레( $\phi 90$ )에 잘 펴서 넣고, 물을 35cc 넣은후, 항온기(25℃)에 넣고, 7일동안 발아시킨다. 발아율은 벼의 발아수와 초기 벼의 립수와의 비율로 나타냈다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 건조 특성

##### (1) 건조중 함수율 변화 및 평균 건조속도

그림 1에 건조 중 벼의 함수율 변화를 나타냈다.

그림에서와 같이 초기평균함수율 20.1%에서 최종평균함수율 16.1%까지 건조에 걸린시간은 총 95시간이 소요되었고, 건조 종료 후 상·1/3·하층간의 최종함수율 차이는 약 0.5% 내외 이었고, 평균 건조속도는 0.042%/hr로 나타났다.

한편 버너가동 종료 후 4~6시간 경과 후에 4시간 정도는 함수율이 급격히 감소하는 경향을 나타내고, 다시 함수율이 상승하는 경향을 나타냈다. 이것은 벼 내부의 수분이 외부로 확산되고, 곡립끼리 평형함수율까지 수분이 이동하기 때문으로 판단된다.

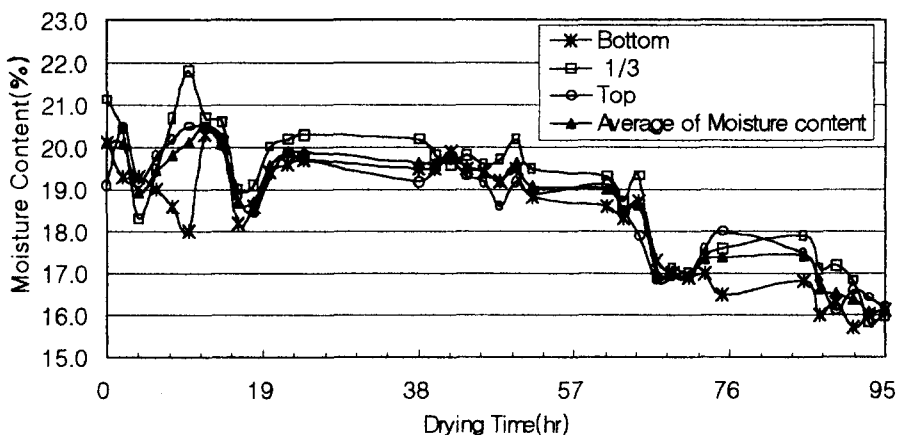


Fig 1. Moisture content variation of rough rice during drying process

## (2) 건조 중 외기 온습도와 벼온도 변화

건조 중 외기 온습도는 건조초기에 12시간 정도 각각 4~12℃, 60~92%로 불량하였으나, 그 이후 각각 14~27℃, 30~70%로, 이 때 벼에 대한 평형함수율은 15% 이하로 외기온습도는 양호한 것으로 나타났다.

한편 버너를 가동하지 않을 때의 건조벼의 온도는 대략 15~25℃ 범위를 유지하였고, 버너를 작동시킨 시기에는 공기층만실의 온도가 31~35℃ 이었다. 1차로 버너를 가동시켰을 때(외기온도 4~12℃) 빈의 하부 벼온도가 22~24℃, 중앙과 상부, 지붕은 대략 10~16℃였고, 2차로 버너를 가동시켰을 때(외기온도 14~17℃)는 각각 29~31℃, 18~23℃를 나타냈다. 3차로 버너를 가동시켰을 때도 2차와 비슷한 경향을 나타냈다.

## (3) 송풍기의 적합성과 송풍저항 및 송풍량

그림 2에 벼의 퇴적 깊이에 따라 실측한 정압과 식 (1)로 계산한 정압을 나타냈다.

그림에 나타났듯이 실측 정압과 이론 정압이 거의 일치하는 것으로 나타났다. 이와 같이 300톤용 빈에 비하여 이론 정압과 실측 정압이 잘 맞는 것은 소형빈의 경우 용량이 적어 다짐 정도가 심하지 않고, 교반장치에 의해 상하층이 혼합되면서 다짐이 완화되었기 때문이다.

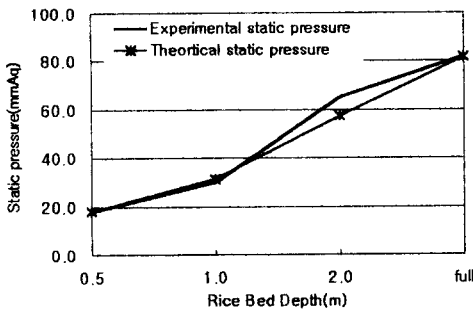


Fig 2. Comparison of experimental and theoretical static pressure variation with rice bed depth

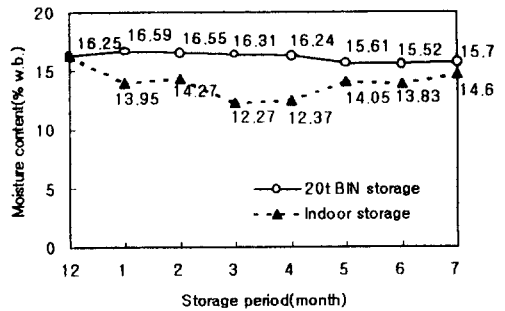


Fig 3. Monthly average moisture content variation of rough rice during storage period

## (4) 유류 소비량과 소비전력량

버너가동에 의한 석유의 소비량은 약 20 l (0.645 l/hr) 이었고, 소비전력량은 230.5kWh였다. 석유와 소비전력을 비용으로 환산하면 14,200원으로, 건조비용은 약 670원/ton이었다. 순환식 건조기는 약 4,300원/ton으로 저장건조빈이 약 6배정도 저렴한 것으로 나타났다.

## 나. 저장 특성

### (1) 저장기간 중에 벼의 함수율 변화

그림 3에 소형저장건조빈과 실내 저장할 때 저장기간별 벼의 함수율 변화를 나타냈다.

그림에서 보는바와 같이 소형저장건조빈 저장의 경우 평균함수율은 다음 연도 4월 초순까지 16.5% 내외를 유지하였고, 그 이후 감소하여 7월에는 15.7%로 나타났다.

한편 실내 저장한 원료의 경우, 평균함수율은 2월 초순까지 약 2% 정도 감소하고, 4월 초

순까지 약 4% 가까이 감소하여 12.3% 정도 었다. 한편 5월부터 실내저장 원료의 평균함수율이 약 2% 범위 내외에서 증가하는 경향을 나타냈다.

이와 같이 실내에 저장한 것보다 빈에 저장한 벼의 함수율 감소가 낮은 것은 저장기간 중에 외기의 순환이 거의 차단되어 수분 증발이 용이하지 않기 때문으로 판단된다. 이에 반해서 실내 저장의 경우는 겨울 철에도 실내 온습도가 각각 15℃ 내외, 50% 내외를 유지하고, 이에 대한 벼의 평형 함수율이 13%이하로<sup>5)</sup> 벼의 수분 증발이 활발하여 함수율이 크게 감소된 것으로 판단된다.

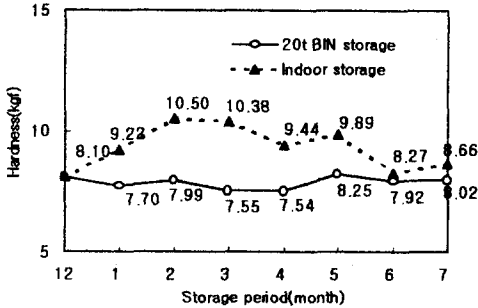


Fig 4. Hardness variation of brown rice during storage period.

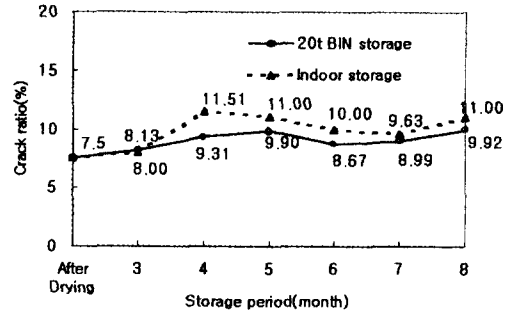


Fig 5. Crack ratio variation of brown rice during storage period

## (2) 강도

저장기간에 따라 시료의 강도는 함수율과 밀접한 관계를 갖고 있으며, 강도가 강해지면 정백할 때 미장층 제거가 어려워 도정효율이 저하되고, 소비전력량이 증가한다<sup>6, 7, 8)</sup>.

그림 4는 소형저장건조빈과 실내에 저장한 벼를 탈부한 후 저장기간에 따라 현미의 강도 변화를 나타낸 것이다. 실내에 저장한 것의 강도 범위는 10.50~8.27kgf이었고, 소형저장건조빈에 저장한 것의 강도는 7.54~8.25kgf로 전체적으로 실내에 저장한 원료의 강도가 큰 것으로 나타났다. 2~3월에는 실내 저장과 소형저장건조빈의 저장의 강도 차이가 2.4~2.8kgf로 실내 저장이 크게 나타났다. 이것은 함수율이 크게 감소하여 조직이 단단해졌기 때문이다.

## (3) 동할율 변화

저장기간에 따라 소형저장건조빈 저장과 실내저장의 동할미율 변화를 그림 5에 나타냈다.

그림에 나타냈듯이 3월부터 8월까지의 동할미율은 소형저장건조빈 저장 후가 8.13~9.92%, 실내 저장 후가 8.0~11.51%의 범위를 나타내, 소형저장건조빈에 저장한 것보다 실내에 저장한 것의 동할율이 약간 높은 경향을 나타냈다.

## (4) 발아율

발아율은 쌀의 신선도를 예측할 수 있는 척도로 고온에서 건조하면 발아율이 저하되고, 발아가 되지 않는 쌀은 죽은 쌀과 마찬가지로 신선도가 떨어지고 식미도 저하된다.

소형저장건조빈과 실내 저장한 것의 발아율은 각각 97~100%, 90~98%로 소형저장건조

빈에 저장한 것이 약간 높게 나타났다. 발아율이 높은 이유는 상온통풍 건조를 하면 건조할 때 열손상이 없기 때문이다.

#### 4. 요약 및 결론

벼수확 이후의 건조공정은 생산자의 노동력이 가장 많이 소요될 뿐 아니라 품질에도 큰 영향을 미치고 있다. 또한 전국의 벼 생산량을 기존 시설로 건조저장하기에는 용량이 부족하므로 농가 자체적으로 안전하고 고품질로 저장건조할 수 있는 시설이 매우 필요한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 소형저장건조빈을 개발하여 건조 특성과 성능을 평가·분석하고, 장기 저장할 때 품질에 대한 특성과 안전성을 연구 분석하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 벼의 총중량은 21,400kg으로 초기평균함수율은 20.1%이었고, 최종평균함수율은 16.3%이었다. 건조는 총 95시간이 소요되었고, 상·1/3·하층간의 최종함수율 차이는 약 0.5% 내외였고, 평균 건조속도는 0.042%/hr로 양호하였다.

(2) 실측 정압과 이론 정압이 거의 일치하는 것으로 나타났다.

(3) 소형저장건조빈의 건조비용은 약 670원/ton 이었고, 열풍건조에 비해 약 6배 정도 저렴한 것으로 나타났다.

(4) 소형저장건조빈 저장의 경우 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%내외 였다.

(5) 소형저장건조빈과 실내 저장한 벼를 가공한 현미의 강도 범위는 각각 7.54~8.25kg<sub>f</sub>, 10.50~8.27kg<sub>f</sub>으로, 실내 저장한 원료의 강도가 강한 것으로 나타났다.

(6) 현미의 동할미율은 소형저장건조빈과 실내 저장의 경우 각각 8.13~9.92%, 8.0~11.51%로 실내 저장한 것이 약간 높게 나타났다.

(7) 소형저장건조빈과 실내 저장의 발아율은 각각 97~100%, 90~98%로 소형저장건조빈에 저장한 것이 약간 높게 나타났다.

#### 5. 참고문헌

1. 박호석, 금동혁, 한충수의 5인. 1994. 미곡종합처리장 이론과 실무. 농협전문대학.
2. 고헌균, 금동혁, 한충수의 10인. 1995. 미곡종합처리시설. 문운당. pp1~551.
3. 고헌균외 9인. 1994. '95농협 미곡종합처리장 설계기준. 농협중앙회 연구보고서. pp1~56.
4. 금동혁, 한충수, 박춘우. 1998. 시물레이션에 의한 벼의 누적혼합 상온통풍건조의 송풍기 및 가열기의 운영방법에 관한 연구. 한국농업기계학회지. 23(3): 229~244.
5. 성균관대학교 생명자원과학대. 1998. 원형철제빈을 이용한 벼의 건조 및 저장 핸드북.
6. 한충수의 3인. 1995. 현미의 경도특성에 관한 연구. 한국농업기계학회. '95동계 학술대회.
7. 한충수의 1인. 1996. 현미의 간이수분조절이 도정수율에 미치는 영향. 협동조합연구. 18집
8. 川村 周三. 1991. 米の搗精と精白米の品質および食味(4報). 最適搗精方法と最適玄米條件. 北海道大學邦文紀要. 17(4) : 517-530.