

겨울철 냉기를 이용한 벼 냉각 후 저장특성

Storage Characteristics of Rough Rice after Cooling by Cold-Air in Winter

한충수* 이재석* 이호필* 함택모**
정회원 정회원 정회원
C. S. Han J. S. Lee P. H. Lee T. M. Ham

1. 서론

국내에서 벼 저장은 저장 중에 온도를 제어하지 않는 상온저장이 일반적이다. 한편 미국 종합처리장에 설치된 저장건조빈은 산물로 보관하기 때문에 환절기에 급변하는 온습도로 인하여 결로와 고함수율인 경우 변질미가 발생되어 경제적인 손실을 크게 입는다. 최근에 곡물 냉각기가 개발되어 저장 기간 중 곡온을 20℃이하로 제어하면서 품질 유지 및 변질을 방지하는 방법이 도입되고 있으나(김 등, 1999) 기계 가격이 비싸 아직은 널리 보급되지 못하고 있는 실정이다.

일본의 쌀 저장은 현미 상태로 상온저장과 저온저장 방법을 병행하고 있으며, 저온저장의 경우 연중 소비자에게 고품질로 쌀을 공급할 수 있고 변질 방지 및 장기 보존이 가능하지만, 고가의 대규모 냉각장치 및 운전비용 때문에 쌀의 판매 단가를 상승시키는 원인이 된다고 보고하였다.(農林省 食糧研究所, 1969)

이에 川村(2000)는 겨울철 냉기로 곡온을 저온으로 유지하면서 고품질로 장기간 저장하는 기술을 개발하였다고 보고하였다. 국내 1~2월 최저 기온도 -10℃이하인 날이 상당히 있으므로 겨울철 통풍냉각 저장기술의 도입 및 적용이 가능하면 저가의 운전비용으로 쌀의 고품질 유지가 가능하여 소비자에게 신뢰를 얻을 수 있고 판매 및 시장 확보에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

그러나 겨울철 자연냉기를 이용한 벼 저장기술의 국내 적용 및 실용화를 위해서는 국내에서 실증 시험이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 겨울철의 벼 냉각방법, 저장 중에 곡온 변화 및 품질 변화 등을 검토하여 국내에서도 실용 가능한 겨울철 통풍냉각 기술을 확립하는데 목적이 있다.

* 충북대학교 농과대학 농업기계공학과

** (주) 신홍강관

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 실험에 사용된 실험재료는 2000년 충청북도 청원군에서 수확한 벼로 청남 미곡종합처리장에서 수매한 산물벼를 이용하였다.

초기 원료는 저장건조빈(300톤, 신흥, 한국)에 투입하여 건조한 후 저장하였다. 냉각 저장용 빈과 상온 저장용 빈에서 채취한 시료의 초기함수율은 각각 18.42, 18.00% 이었다.

저장 초기함수율이 너무 높아 저장 특성 실험을 위한 시료는 2001년 1월 29일부터 채취하고 냉각 및 상온 저장 빈으로부터 각각 동, 서, 남, 북, 중앙과 깊이는 상, 중, 하로 그림 1과 같이 채취봉을 설치하여 채취하였다.

나. 실험방법 및 측정항목

(1) 실험방법

냉각 저장빈의 통풍냉각은 2001년 2월 1일부터 2월 2일까지 외부 기온이 -5°C 이하가 되었을 때 12시간 실시하였다. 송풍기의 소요동력은 20kW이었다. 저장 실험기간은 2001년 1월부터 2001년 6월까지로 300톤 용량의 저장빈을 이용하여 냉각저장과 상온저장 특성을 비교하였다. 방향과 깊이별 벼의 온도 측정위치와 시료 채취위치는 동일하며, 그림 1에 곡온 측정 및 시료채취위치를 나타내었다.

벼 시료 채취는 1개월에 2회 동(①), 서(④), 남(⑤,⑥), 북(②,③), 중앙(⑦)에서 빈 곡물 표면으로부터 각각 500, 2000, 4000mm(이후 상·중·하부로 표기함)에 설치한 채취봉을 통하여 실시하였으며, 시료는 실험용 현미기(SYTH88, 쌍용기계공업사, Korea)로 탈부한 후 함수율, 백도, 동할미율, 강도 등을 측정하여 비교하였다.

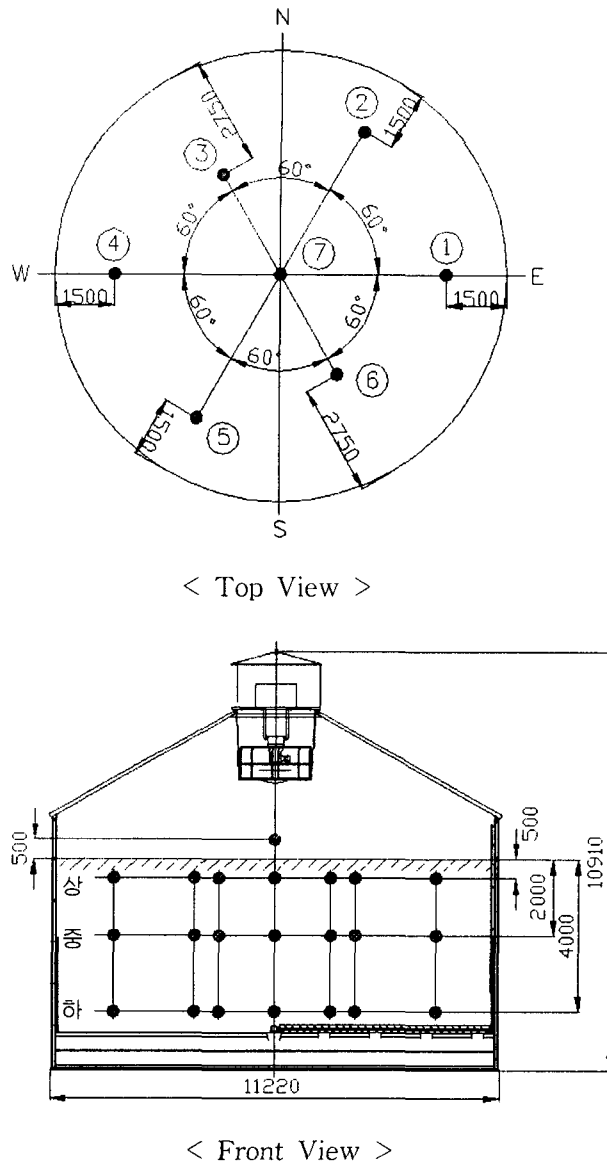


Fig. 1. Locations of gain temperature measuring and sampling.

(2) 측정항목

(가) 함수율

함수율은 실험용 건조기(WFO600ND, EYELA, Japan)를 이용하여 비 10±0.5g을 135℃에서 24시간 건조한 후 중량비로 습량기준함수율(M₁₃₅, %)을 계산하고, 이 값을 비 표준 함수율(M₁₀₅, %) 보정식 (1)로 환산하여 나타내었다(山下律也, 1975).

$$M_{105} = 100 - 1.0121(100 - M_{135}) \dots\dots\dots(1)$$

(나) 현미 백도

백도는 백도계(C300-3, Kett, JAPAN)로 10회 측정 후 평균값으로 나타냈다.

(다) 현미 동할미율

동할미율은 채취한 시료를 탈부하여 동할미투시기(RC-50, Kett, Japan)로 50립씩 10회 측정하여 평균값으로 나타내었다.

(라) 현미 강도

강도는 현미시료 중 완전립을 50립씩 선택하여 경도계(KHT-20N, FUJIWARA, Japen)로 측정 후 평균값으로 나타내었다.

(마) 곡온 및 외기온도

저장 중 빈 내부의 곡온측정은 다점온도기록계(DA-100, YOKOGAWA, Japen)와 열전대를 사용하였고, 상대습도 측정은 포터블 온습도계(RS-10, ESPEC, Japen)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 저장기간별 함수율 변화

그림 2는 냉각 저장과 상온 저장빈의 위치별 비의 함수율 변화를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 상온 저장의 경우 1월부터 6월까지 함수율이 계속 감소하여 15.47~15.88%를 나타내었고 상·중·하부의 함수율이 각각 1.27, 0.98, 1.29% 감소하였다. 이것은 공기와 접해있는 상·하부의 자연건조와 기온상승에 따른 교반 및 송풍으로 인하여 건조되었기 때문이라 판단된다. 냉각 저장의 경우 1월부터 6월까지의 함수율은 상·중·하부가 각각 0.66, 0.31, 1.57% 감소하였다. 그러나 냉각 후 6월의 함수율은 상·중부의 경우 각각 16.70, 16.77% 내외를 유지하였고, 하부의 경우 15.15% 내외를 유지하였다. 1월에서 2월 사이에 냉각 저장빈 하부의 함수율이 급격히 감소한 이유는 냉각시킬 때 송풍으로 인하여 건조되었기 때문이라 판단된다.

나. 저장기간별 백도 변화

그림 3은 냉각 저장과 상온 저장의 비를 현미로 가공한 후 저장기간에 따라 백도 변화를 비교한 것이다. 그림에서와 같이 냉각 저장의 경우 백도는 19.49~20.43이었고, 상온 저장의 경우도 19.45~20.42를 나타내 냉각 저장과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

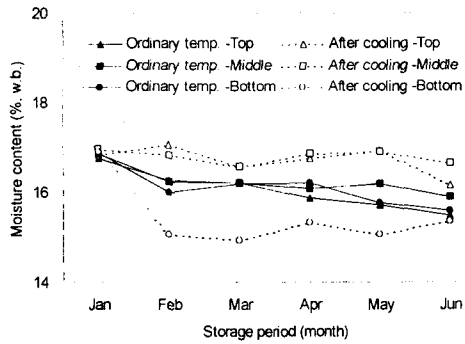


Fig. 2. Variation of moisture content by storage period.

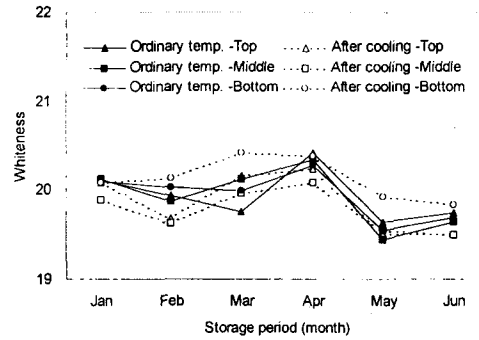


Fig. 3. Variation of brown rice whiteness by storage period.

다. 저장기간별 동할미율 변화

저장 방법에 따른 저장기간별 현미 동할미율의 변화를 그림 4에 나타내었다. 그림에 나타냈듯이 저장 기간에 따라 동할미율은 점차 증가하였고, 냉각 저장한 원료보다 상온 저장한 원료의 동할미율이 3월 이후에 증가하는 경향을 나타내었다. 상온 저장의 경우 초기동할미율보다 1.88~2.87% 증가하였고, 냉각 저장의 경우 0.10~1.02% 증가하여 상온 저장보다 동할미율 증가가 낮은 것으로 나타났다.

이와 같은 상온저장 동할미율의 증가는 외기 온도 상승에 따른 내부 곡온과의 차이를 줄여 결로를 방지하기 위한 교반 및 송풍으로 인하여 건조되면서 발생된 것으로 판단된다.

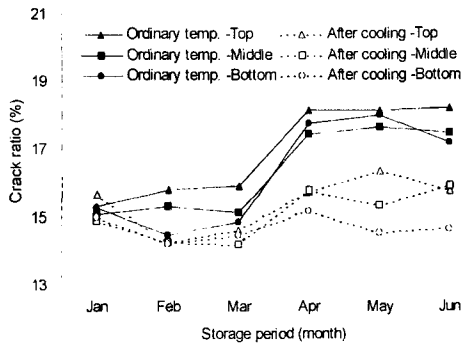


Fig. 4. Variation of crack ratio by storage period.

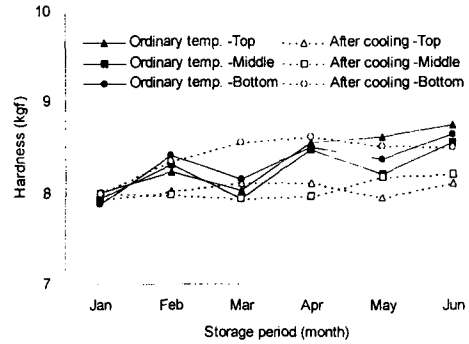


Fig. 5. Variation of hardness by storage period.

라. 저장기간별 강도 변화

그림 5에 냉각 저장과 상온 저장의 저장기간에 따른 현미의 완전립 강도를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 상온 저장의 경우 함수율 감소에 따라 강도가 증가하는 경향을 나타냈었고 상·중·하부가 초기보다 각각 0.73, 0.61, 0.76kgf 증가하여 7.68~9.69% 증가한

것으로 나타났다. 냉각 저장의 경우 1월~2월 사이 하부 시료의 강도가 0.35kgf 증가하는 경향을 보였고, 이는 앞에서 설명한 바와 같이 냉각시킬 때 하부 시료의 함수율이 감소하였기 때문으로 판단된다. 그러나 2월 이후는 그 변화가 미미하여 상·중·하부 각각 0.09, 0.21, 0.15kgf 증가한 것으로 나타났다.

마. 저장중 외기온과 곡온의 변화

그림 6은 저장 중 곡온과 외기의 온도변화를 나타낸 것으로 상·중·하 곡온은 각각 7지점의 평균값을 사용하였다. 냉각 직후 냉각 저장빈의 곡온은 $-5.1 \sim -8.5^{\circ}\text{C}$ 였고, 상온 저장빈의 곡온은 $-0.3 \sim 1.9^{\circ}\text{C}$ 이었다. 그림에서 보는 바와 같이 외기 온도가 높아짐에 따라 곡온도 점차 증가하였고, 냉각 저장과 상온 저장 모두 상부의 곡온이 먼저 상승하였다. 냉각 저장의 경우 6월에 상·중·하부가 각각 최고 24.4, 9.1, 4.5°C 까지 상승하였고, 상온 저장의 경우 상·중·하부가 각각 22.8, 21.6, 20.7°C 까지 상승하였다. 냉각 저장 상부의 곡온 상승은 빈 내의 공간 온도가 상승했기 때문으로 판단된다.

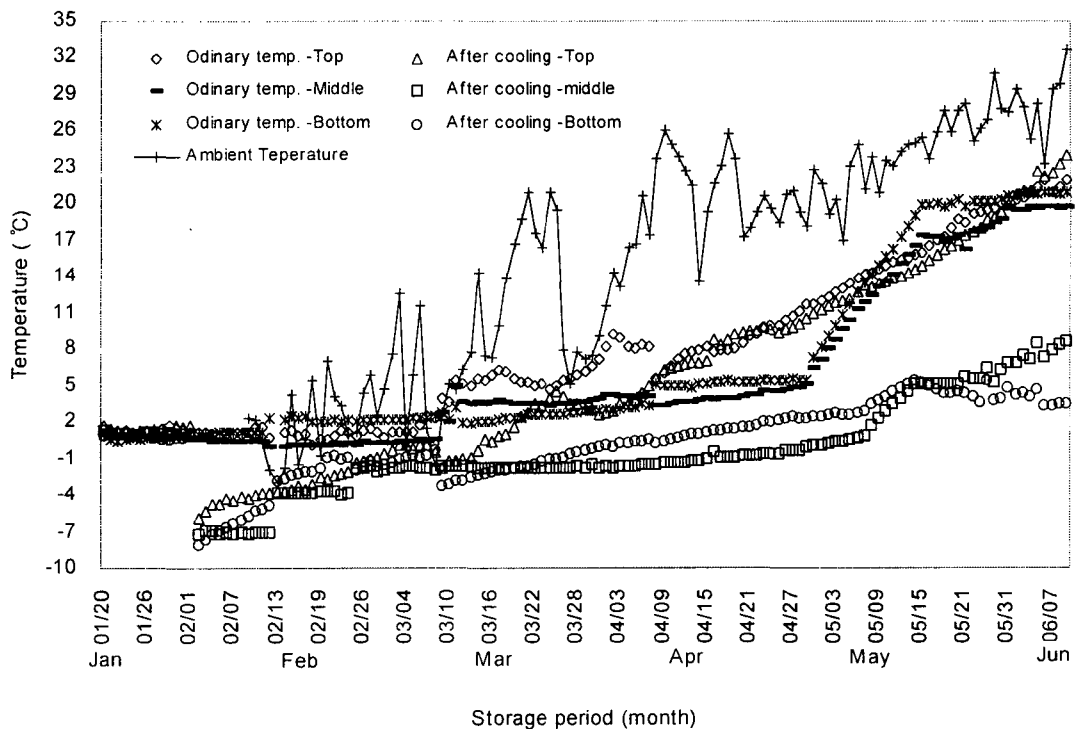


Fig. 6. Variation of gain temperature and ambient temperature by storage period.

4. 요약 및 결론

미곡종합처리장에 설치된 저장건조빈은 산물로 보관하기 때문에 환절기에 급변하는 온습도로 인한 결로와 고함수율인 경우 변질미가 발생된다. 최근에 곡물 냉각기가 개발되어 곡

온을 20℃ 이하로 제어하면서 품질 유지 및 변질을 방지하는 저장방법이 도입되고 있으나 기계가 고가이므로 널리 보급되지 못한 상태이다.

국내 겨울철 최저기온이 -10℃ 이하인 날이 상당히 있기 때문에 찬 공기를 이용하여 냉각 저장하는 기술이 도입되면 저가의 운전비용으로 고품질의 쌀을 저장할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 동절기에 벼 냉각방법, 저장 중에 곡온 변화 및 품질 변화 등을 검토하여 겨울철 통풍냉각 기술을 확립하고자 한다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 함수율은 상온 저장의 경우 1월부터 6월까지 계속 감소하여 15.47~15.88%를 나타냈고, 냉각 저장의 경우 냉각이 끝난 2월부터는 상·중부의 경우 16.80%, 하부의 경우 15.10% 내외를 유지하였다.

(2) 현미 백도는 냉각 저장이 19.49~20.43, 상온 저장이 19.45~20.42로 저장방법별로 큰 차이가 없었다.

(3) 현미 동할미율은 상온 저장의 경우 초기동할미율 보다 1.88~2.87%의 증가율을 나타내 냉각 저장의 증가율 0.10~1.02% 보다 높은 것으로 나타났다.

(4) 강도는 상온 저장의 경우 저장 기간이 길어짐에 따라 증가하는 경향을 보였으며 초기 보다 7.68~9.69% 증가하였고, 냉각 저장의 경우 1월~2월 사이 하부 시료 강도만 함수율 감소로 인해 0.35kgf 증가하였고, 2월 이후 상·중·하부 각각 0.09, 0.21, 0.15kgf 증가하였다.

(5) 냉각 직후 곡온은 -5.1~-8.5℃였고, 상온 저장빈의 곡온은 -0.3~1.9℃이었다. 외기 온도가 상승함에 따라 곡온도 점차 증가하여 6월 냉각 저장빈의 상·중·하부 최고 곡온은 각각 24.4, 9.1, 4.5℃를 나타냈고, 상온 저장빈 상·중·하부는 각각 22.8, 21.6, 20.7℃를 나타내었다.

5. 참고문헌

1. Han, C. S., K. S. Yon., Y. O. Cha., H. Y. Jeon. and H. C. Lee. 1999. Drying and Storage Characteristics of Small Scale Accumulated/Stored Storage and Drying Bin. Proceedings of the KSAM 1999 Winter Conference 4(1):444-449. (In Korean)
2. Kim, D. C., O. W. Kim. and D. H. Keum. 1999. Cooling Simulation for Fixed-Bed of Rough Rice. J. of Korean Society for Agricultural Machinery 24(1):31-40. (In Korean)
3. 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. J. of Korean Society for Agricultural Machinery 23(3):229-244. (In Korean)
4. Keum, D. H. and J. Y. Kim. 1991. Prediction of Temperature, Moisture Content and Quality Changes in Stored Bulk Rough Rice. J. of Korean Society for Agricultural Machinery 16(1):49-59. (In Korean)
5. 農林省 食糧研究所. 1969. 米の品質と貯藏, 利用. 食糧技術普及シリーズ 第7号:68-85
6. 山下律也. 1975. 穀物の含水率測定方法基準についての 提案. 農業機械學會誌. 37(3)
7. 川村. 2000. 北海道における 新規貯藏技術の確立. 北海道農業施設:23~72