

겨울철 자연냉각과 상부 쿨링 시스템을 이용한 벼의 저온저장특성

Low Temperature Storage Characteristics of Rough Rice Using Cold Air in Winter and Air Space Cooling System

이재석* 한충수** 연광석** 조성찬** 고학균*** 금동혁**** 함택모*
정희원 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원
J. S. Lee C. S. Han K. S. Youn S. C. Jo H. K. Ko D. H. Keum T. M. Ham

1. 서론

벼 저장에 영향을 주는 중요한 인자는 벼의 수분함량, 온도 및 습도이고, 이 이외에 생리적 현상으로서 곡물 자체의 호흡작용으로 인한 발열현상과 생물학적 요인으로는 해충, 미생물, 쥐 등이 있다. 따라서 저장성을 높이고 고품질로 유지하기 위해서는 저장 시 환경조건이 중요하며 현재 국내 환경에 적합한 벼 저장시설을 개발하기 위한 연구가 다각도로 진행되고 있다.(Kim 등, 1999, Keum 등, 2000)

일본의 경우 북해도 지역에서 자연냉기로 벼를 냉각시켜 곡온을 저온으로 유지하면서 고품질로 장기간 콘크리트 사이로에 저장하는 기술을 개발하여 보급하고 있다.(川村周三, 2000)

국내의 겨울철 냉기를 이용한 저장방법은 기존 미곡종합처리시설에 설치된 300톤 저장건조빈에서 시도하였고, 기존의 빈을 이용한 상온저장방법에 비해 장기간 고품질 유지가 가능하다고 보고하였다. 그러나 상온빈 저장과 마찬가지로 외기온이 급상승하는 5월 초순경부터 빈 상부공간 온도가 급상승하여 상층부 곡온 상승에 영향을 미치는 것으로 보고되고있다.(Han 등, 2001)

따라서 본 연구에서는 겨울철 자연냉기로 저장할 경우 빈 상부공간 온도와 상층부 곡온 상승을 방지할 수 있는 빈 상부공간 쿨링시스템을 이용하여 벼의 저장기간중 품질변화 및 저장특성을 구명하고, 적용성을 검토하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 실험에 사용된 공시재료는 충청북도 청원군에서 생산된 2001년산 대안벼로 오창 미곡종합처리장에서 수매한 산물 벼를 이용하였다. 초기함수율은 14.97%, w.b.(이후 %로 표시)이었고 대조구인 냉동·냉장·실내저장 시료는 실험 시작 전 겨울철 자연냉각빈(SSDC-3000D, 신흥, Korea)에서 각각 80kg씩 채취하여 사용하였다.

* 신흥기술연구소

** 충북대학교 농과대학 농업기계공학과

*** 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

**** 성균관대학교 생명자원과학대학 바이오메카트로닉스전공

나. 실험방법 및 측정항목

1) 실험방법

겨울철 자연냉각과 상부 쿨링 시스템(IZC-301, Interzero, Korea)을 이용한 저장(이후 냉각빈 저장으로 표기함)실험은 충북 청원군 오창 미곡종합처리장에서 실시하였고, 저장실험 기간은 2002년 1월 23일부터 2002년 7월 30일까지 실시하였다. 겨울철 외기에 의한 자연냉각은 기존 빈의 송풍기를 이용하여 2002년 2월 10일부터 2002년 2월 12일까지 외부 기온이 -5℃ 이하가 되었을 때 실시하였다.

냉동저장은 -5℃로 설정된 냉동고(NS22C, Nongsan22c, Korea)에 저장하였으며, 냉장저장은 10℃로 설정된 냉장고(DK900, DAIKIN, Japan)에 벼를 저장하였고, 실내저장(7.1~29.5℃)은 충북대학교 농업기계공학과 실험실에서 직사광선을 피해 저장하였다.

방향과 깊이별 벼의 곡은 측정위치와 시료 채취위치는 동일하며, 그림 1에 곡온측정 및 시료채취위치를 나타내었다.

벼 시료 채취는 1개월에 1회씩 횡 방향으로 빈 중 양과 동, 서, 남, 북 방향의 11지점을 빈 곡물 표면으로부터 각각 500, 2250, 4000mm(이후 상·중·하부로 표기함)에 설치한 채취봉을 통하여 실시하였다.

채취한 시료는 실험용 현미기(SYTH88, 쌍용기계공업사, Korea)로 탈부한 후 함수율, 백도, 동할미율, 강도, 발아율을 측정하여 비교하였다.

2) 측정항목

(가) 함수율

함수율은 실험용 건조기(WFO600ND, EYELA, Japan)를 이용하여 벼 10±0.5g을 135℃에서 24시간 건조한 후 중량비로 습량기준함수율(M₁₃₅, %)을 계산하고, 이 값을 벼 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 20회 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, Japan)로 측정 후 평균값으로 나타내었다.

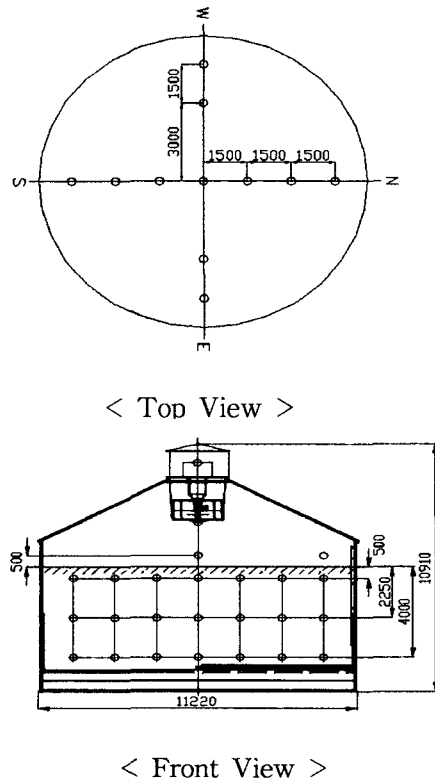


Fig. 1. Locations of gain temperature measuring and sampling.

(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.

(바) 발아율

발아율은 벼를 증류수로 세척하고, 세척시 침강하는 충실한 것을 살레 바닥에 배양지를 깔고 증류수로 충분히 적신 후, 시료별로 100립씩 3개의 살레에 놓고, 25℃ 항온항습기(4H-150L AT/I, 제이오텍, Korea)에서 발아시켰다.

발아율은 식 (2)를 이용하여 구하였다.

$$\text{발아율}(\%) = \frac{\text{발아된 총 벼의 립수}}{\text{초기에 발아실험한 벼의 립수}} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

(사) 통계분석

실험 결과의 유의성 검증 통계분석은 저장기간과 저장방법의 두 인자를 TWO-WAY ANOVA로 유의수준 0.05내에서 검정하였다. 분산분석 표에 사용된 DF, SS, MS, F, P 값은 각각 자유도, 제곱합, 평균제곱, F분석값, 유의확률을 나타내며, 저장기간은 RANDOM factor로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 저장중 외기온과 곡온의 변화

그림 2는 저장기간중 냉각빈의 상부공간과 외기온도 및 곡온 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 곡온은 2월 12일 냉각 직후 -8.9~-6.6℃의 분포를 보였고, 외기온이 상승함에 따라 저장빈 상부공간의 공기 온도도 상승하여 벼 상부층 곡온이 먼저 상승하기 시작하였다.

곡온은 상, 중, 하부의 깊이 순으로 온도가 상승하기 시작하였고 5월 중순경 상부층 곡온이 최고 19.1도까지 상승함에 따라 냉각빈 상부공기의 온도를 낮추기 위해 쿨링시스템을 가동하였다. 그 후 상부층 곡온이 낮아지기 시작하여 저장 종료 후 곡온은 15도 내외를 유지할 수 있었다.

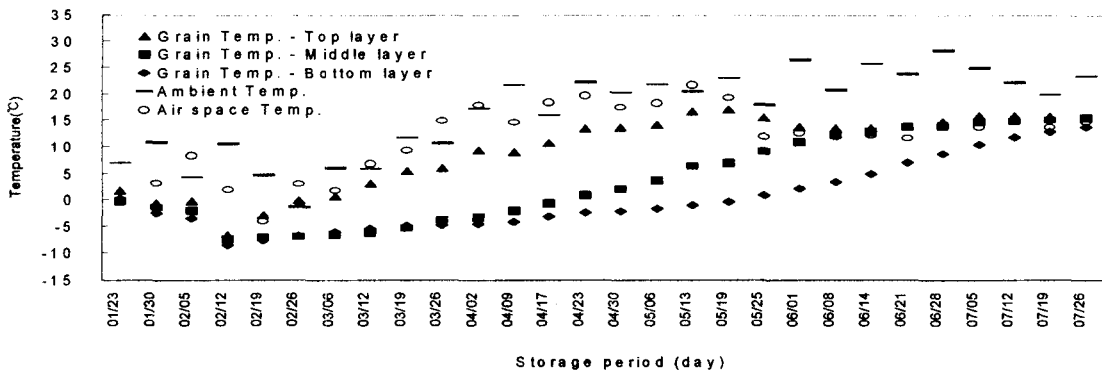


Fig. 2. Variation of grain temperature and ambient temperature by storage period.

나. 저장기간별 함수율 변화

그림 3은 저장기간에 따른 저장방법별 벼의 함수율 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 저장기간에 따라 함수율은 감소하는 경향을 나타내었고 실내저장의 함수율이 가장 크게 감소하였다.

초기함수율은 14.97%이었으며, 7월의 함수율은 초기함수율에 비하여 냉각빈, 냉동, 냉장,

실내저장 각각 0.71, 1.16, 1.49, 2.05% 감소하여 14.26, 13.81, 13.47, 12.92%를 나타내었다.

냉각빈의 경우 1~2월 함수율이 감소한 것은 냉각시 하부 층의 벼가 건조되었기 때문으로 판단된다. 실내저장의 경우 2~3월 함수율이 크게 감소한 이유는 온습도에 의한 평형함수율 때문으로 판단되며 이때의 온도는 15~23℃, 상대습도는 35~46%이었고, 온도 20℃, 상대습도 43.2% 일 때 평형함수율은 12.1%(Keum 등, 2000)이므로 평형함수율에 따라 함수율은 감소하였다.

표 1은 저장방법과 저장기간에 따른 벼 함수율의 변화를 분산분석한 결과이다.

표 1에 나타난 바와 같이 유의성 검정결과 저장방법 및 저장기간에 대하여 검정통계량 P-값이 유의수준 0.05보다 작게 나타나 저장방법 및 저장기간에 따라 함수율의 변화는 유의한 차이가 있음을 나타내었다. 또한 저장방법과 저장기간의 교호작용에서 검정통계량 P-값이 0.001로 유의수준보다 낮아 유의성이 인정되었다.

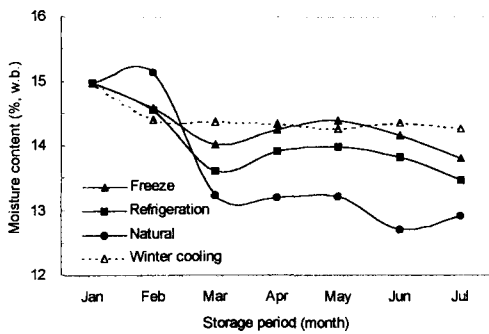


Fig. 3. Variation of moisture content by storage period.

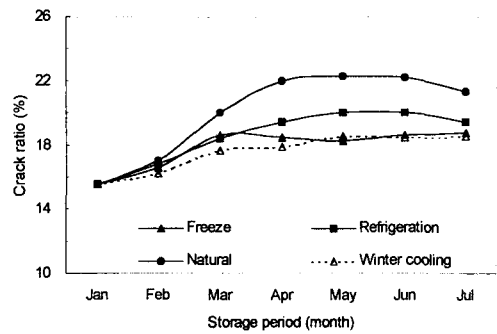


Fig. 4. Variation of crack ratio by storage period.

Table. 1 ANOVA results for moisture content according to storage methods and period.

Source	DF	SS	MS	F	P
method	3	21.7341	7.2447	724.3	0.001
period	6	22.7108	3.7851	378.42	0.001
Interaction	18	167.9643	9.3314	932.91	0.001
Error	56	0.5601	0.01		
Total	83	212.9694			

Table. 2 ANOVA results for crack according to storage methods and period.

Source	DF	SS	MS	F	P
method	3	241.19	80.4	10.07	0.001
period	6	302.14	50.36	6.31	0.001
Interaction	18	215.58	11.98	1.5	0.090
Error	252	2011.9	7.98		
Total	279	2770.82			

다. 저장기간별 동할미율 변화

그림 4는 저장기간에 따른 저장방법별 현미의 동할미율 변화를 나타낸 것이다.

그림에 나타내었듯이 동할미율은 저장기간이 경과함에 따라 점차 증가하는 경향을 나타내었다.

7월의 동할미율은 냉각빈·냉동·냉장·실내저장의 경우 각각 18.53, 18.80, 19.40, 21.30%로 초기동할미율보다 각각 2.97, 3.23, 3.86, 5.73% 증가하였다.

실내저장의 경우 냉각빈·냉동·냉장저장에 비해 높은 동할미율 증가를 보인 것은 온습도 및 큰 함수율 변화에 따른 현미 내부응력의 변화 때문이라 판단된다.

표 2에 저장방법과 저장기간에 따른 동할미율 변화의 분산분석한 결과를 나타내었다.

저장방법이 동할미율의 변화에 미치는 영향은 검정통계량 p-값이 0.001로 유의수준 0.05보다 매우 작기 때문에 유의한 차이가 있음을 나타내었다. 저장기간에 따른 동할미율의 변화를 검정한 결과는 검정통계량 p-값이 0.001로 유의수준 0.05보다 작게 나타나 유의성이 인정되었다. 저장방법과 저장기간의 교호작용에 대한 P-값은 0.090으로 유의성이 없는 것으로 검정되었다.

라. 저장기간별 강도 변화

그림 5는 저장방법에 따른 저장기간별 현미 완전립 강도의 변화를 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 저장기간이 경과함에 따라 실내저장 한 현미의 강도가 가장 크게 증가하였고, 냉장저장 한 현미의 강도는 2~3월에 큰 증가를 보였으며, 기타 저장한 현미의 강도는 미세하게 증가하는 경향을 나타냈다.

강도가 가장 크게 증가한 저장방법은 실내저장, 냉장저장, 냉동저장, 냉각빈 저장의 순 이었고, 7월의 강도는 냉각빈·냉동·냉장·실내저장 각각 8.19, 8.21, 8.46, 8.88kgf로 초기강도에 비하여 각각 0.25, 0.35, 0.60, 1.02kgf 증가하였다.

실내저장의 현미 강도가 가장 크게 증가한 이유는 함수율이 가장 크게 감소하여 조직이 단단해졌기 때문이다(Han 등, 1995).

표 3에 저장방법과 저장기간에 따른 현미 강도 변화의 분산분석한 결과를 나타내었다.

표 3에서 보는 바와 같이 유의성 검정결과 저장방법에 대하여 검정통계량 P-값은 0.001로 유의수준 0.05보다 작게 나타났고, 저장기간이 강도변화에 미치는 효과에 대한 유의성 검정 결과 P-값은 0.001로 나타났다.

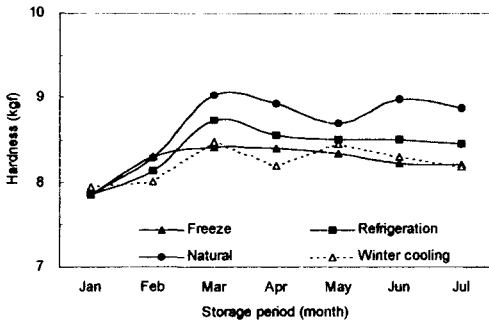


Fig. 5. Variation of hardness by storage period.

Table. 3 ANOVA results for hardness according to storage methods and period.

Source	DF	SS	MS	F	P
method	3	45.47	15.16	13.65	0.001
period	6	43.59	7.26	6.54	0.001
Interaction	18	31.64	1.76	1.58	0.058
Error	672	746.13	1.11		
Total	699	866.83			

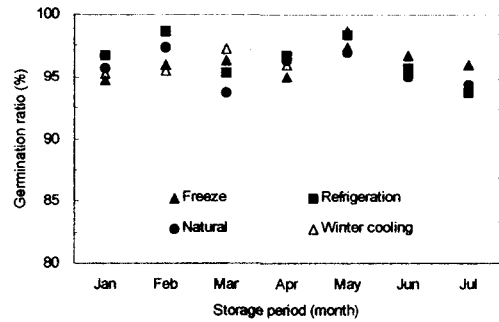


Fig. 6. Variation of germination by storage period.

Table. 4 ANOVA results for germination according to storage methods and period

Source	DF	SS	MS	F	P
method	3	2.44	0.81	0.67	0.583
period	6	21.98	3.66	3.01	0.032
Interaction	18	65.7558	3.6531	365.31	0.163
Error	18	21.91	1.22		
Total	27	46.33			

바. 저장기간중 발아율 변화

그림 6은 저장기간에 따른 저장방법별 발아율 변화를 나타낸 것이다.

그림에 나타났듯이 저장기간 동안 발아율 범위는 냉각빈 저장이 97.36~95.27%, 냉동저장 98.67~94.67%, 냉장저장 98.67~93.67%, 실내저장 97.33~93.67%로 나타나 저장방법별로 큰 차이가 없었다.

표 4에서와 같이 유의성 검정결과 발아율은 저장방법에 대하여 검정통계량 P-값이 0.583으로 유의성이 없는 것으로 나타났으나 저장기간에 대하여 검정통계량 P-값이 0.013으로 유의수준 0.05보다 작게 나타나 저장기간에 따라 발아율의 변화는 유의한 차이가 있음을 나타내었다. 교호작용을 검정한 결과 저장방법과 저장기간의 교호작용에 대한 P-값은 0.163으로 유의성은 없는 것으로 검정되었다.

4. 요약 및 결론

- (1) 냉각빈의 경우 곡온은 2월 12일 냉각 직후 $-8.9\sim-6.6^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 보였고 5월 19일에 상부층 곡온이 최고 19.1°C 까지 상승하여 쿨링시스템을 가동하였다. 쿨링시스템 가동 후부터 저장 종료 후까지 곡온은 15°C 내외를 유지하였다.
- (2) 초기함수율은 14.97%이었으며, 함수율은 실험종료 후 초기함수율에 비하여 냉각빈, 냉동, 냉장, 실내저장 각각 0.71, 1.16, 1.49, 2.05% 감소하였다.
- (3) 저장종료 후 동할미율 증가가 가장 낮은 저장방법은 냉각빈 저장이었고, 다음이 냉동·냉장저장 순이었으며 실내저장의 동할미율 증가가 가장 높게 나타났다.
- (4) 저장종료 후 강도는 실내, 냉장, 냉동, 냉각빈 저장 순으로 강도증가가 작은 것으로 나타났다.
- (5) 발아율은 냉각빈 저장의 경우 95% 이상을 나타내었다.

5. 참고문헌

1. Han, C. S., J. S. Lee, H. P. Lee. and T. M. Ham. (2001) Storage characteristics of rough rice after cooling by cold-air in winter. Proceedings of the KSAM 2001 summer conference 6(2):196-201. (In Korean)
2. Han, C. S., S. C. Cho. and K. S. Yon. (1995) Study on the Hardness and Milling Characteristics of Brown Rice. Research Reports of Institute of Thermal Energy For Rural Areas 11(1):51-59. (In Korean)
3. Keum, D. H., H. Kim. and Y. K. Cho. (2000) Desorption Equilibrium Moisture Content of Rough Rice, Brown Rice, White Rice and Rice Hull. J. of Korean Society for Agricultural Machinery 25(1):47-54. (In Korean)
4. 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)
5. Park, J. H. and J. H. chung. (2001) Simulation for performance analysis of a grain cooler. J. of Korean Society for Agricultural Machinery 26(5):449-460.
6. 川村周三. (2000) 北海道における 新規粳貯藏技術の確立. 北海道農業施設協會:23~72
7. 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)