

## 겨울철 냉기를 이용한 벼의 저온저장(I)

### - 벼 냉각 후 저장특성 -

이재석 한충수 함택모 영광석

## Low Temperature Storage of Rough Rice Using Cold-Air in Winter(I)

### - Storage Characteristics after Rough Rice Cooling -

J. S. Lee C. S. Han T. M. Ham K. S. Yon

#### Abstract

The objective of this research was to establish a domestically available cooling storage technique by cold-air in winter, using winter cool air ventilation for determining rough rice cooling method in the storage and dry bin. The rough rice storage characteristics of two test conditions, winter cool-air ventilation storage and ambient temperature storage, were evaluated from January to July 2001, using a storage and dry bin of 300-ton capacity.

Results of this research are as follows:

Grain temperature was from  $-5.1 \sim -8.5^{\circ}\text{C}$  after winter cool-air ventilation, and grain initial temperature for ambient temperature bin storage was  $0.3 \sim 1.9^{\circ}\text{C}$ . Moisture content of rough rice decreased from 0.28 to 0.93% and from 1.53 to 1.92% to compare with original moisture contents for winter cool-air ventilation, and for ambient temperature bin storage, respectively. Broken ratio of brown rice from winter cool-air ventilation bin increased from 0.16 to 0.92%, and brown rice broken ratio was from 2.24 to 2.86% for ambient temperature bin storage to compare with initial broken ratio. Hardness of stored rice increased along storage period increase in all storage methods, and cooling bin storage increased rice hardness of 0.271 kgf: this increasing was lower than the other methods from 0.059 to 2.239 kgf. Germination rates were decreased approximately 9.03, 3.14 and 3.20% for upper, middle, and bottom of ventilating winter air bin, respectively, and germination rates of 2.70, 3.47 and 4.14% were approximately decreased for upper, middle, and bottom parts of ambient temperature bin storage, respectively.

**Keywords :** Rough rice, Cooling storage, Winter cool-air ventilation, Grain temperature, moisture content change, Rice hardness, Germination rate

## 1. 서론

국내에서 벼 저장은 저장기간 중에 온도를 제어하지 않는 상온저장이 일반적이다. 상온저장중인 벼는 환절기에 급변하는 온·습도로 인하여 결로가 발생하고 고함수율인 경우 변질 미가 발생되어 막대한 경제적 손실을 초래할 수 있다.

최근에 벼 저장 기간 중 곡온을  $15^{\circ}\text{C}$  이하로 제어하면서 품질을 유지하는 곡물 냉각기를 개발 도입하고 있으나(Kim 등, 1999) 기계 가격이 비싸 아직은 널리 보급되지 못하고 있는 실정이다.

Kawamura 등(1999)은 겨울철 냉기로 벼를 냉각 후 곡온을 저온으로 유지하여 고품질로 장기간 저장하는 기술이 개발하

였다.

국내에서도 겨울철 냉기를 이용하여 벼를 냉각시켜 저장하는 기술을 기존 건조저장빈에 적용하여, 기존의 상온저장에 비해 장기간 고품질 유지가 가능한 것으로 보고하였다(Han 등, 2001). 또한, 겨울철통풍냉각빈저장과 상온빈저장, 냉동저장, 냉장실저장, 실내저장의 저장특성을 저장기간에 따라 분석하여, 상온빈 및 냉장저장과 실내저장에 비하여 겨울철 통풍냉각빈저장이 장기간 동안 고품질 유지가 가능한 저장방법이라고 보고하였다(Han 등, 2002).

따라서 본 연구에서는 겨울철의 벼 냉각방법, 저장 중의 곡온 변화 및 품질 변화 등을 검토하여 국내에서도 실용화가 가능한 겨울철 통풍냉각 저장기술을 확립하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시재료

본 실험에 사용된 공시재료는 2000년 10월 충청북도 청원군에서 수확한 벼로서 품종은 추청이며, 청원군 청남 미곡종합처리장에서 수매한 산물 벼를 이용하였다.

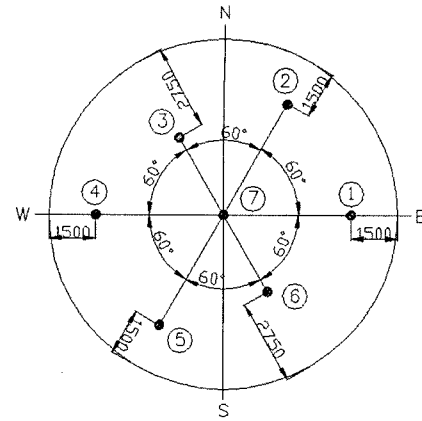
초기 원료는 건조저장빈(SSD-3000D, Shin heung, Korea)에 투입하여 건조한 후 저장하였다. 통풍냉각빈과 상온빈에서 채취한 시료의 초기함수율은 각각 16.8~17.0(w.b. %), 16.7~16.9(w.b. %)이었다.

### 나. 실험방법

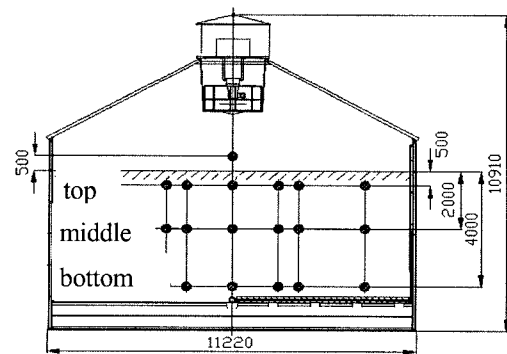
저장 실험기간은 2001년 1월부터 2001년 7월 까지였으며, 기존 300톤 용량의 건조저장빈을 이용하여 통풍냉각저장과 상온저장의 특성을 비교하였다. 통풍냉각저장은 겨울철 외기 냉공기를 저장빈에 불어넣는 구조로 이 연구에서는 빈에 설치된 송풍기를 이용하여 2001년 2월 1일부터 2월 2일까지 외부 기온이 -5℃ 이하가 되었을 때 강제통풍을 실시하였다. 송풍기의 소요동력은 30 kW이었다. 상온저장은 온도를 제어하지 않는 기존의 저장방법과 동일한 운영방법을 이용하였다.

빈 내의 방향과 깊이별 벼의 곡온 측정위치와 시료 채취 위치는 두 저장방법 모두 동일하며, 그림 1에 그 위치를 나타내었다.

벼 시료 채취 위치와 횟수는 동(①), 서(④), 남(⑤,⑥), 북(②,③), 중앙(⑦)에서 빈 곡물 표면으로부터 각각 500, 2000, 4000 mm(이후 상·중·하부로 표기함)에 설치한 채취봉을 통하여 매일 2회씩 실시하였다. 채취한 시료는 실험용 현미기(SYTH88, 쌍용기계공업사, Korea)로 탈부한 후 함수율, 동



< Top View >



< Front View >

Fig. 1 Locations for grain temperature measurement and sampling.

할미율, 강도, 발아율 등을 측정하여 비교하였다.

저장기간에 따른 통풍냉각빈과 상온빈의 저장특성 변화는 저장방법, 저장위치, 저장기간의 3인자를 유의수준 0.05내에서 MINITAB의 GLM ANOVA로 유의성을 검정하였다.

### 다. 측정항목 및 방법

#### 1) 곡온 및 외기온도

저장 중 빈 내부의 곡온측정은 다점온도기록계(DA-100, Yokogawa, Japan)와 열전대를 사용하였고, 상대습도 측정은 온습도계(RS-10, Espec, Japan)를 이용하였다.

#### 2) 함수율

함수율은 실험용 건조기(WFO600ND, Eylea, Japan)를 이용하여 벼 10±0.5 g을 135℃에서 24시간 건조한 후 중량비로 습량기준함수율(M<sub>135</sub>, w.b.%)을 계산하고, 이 값을 식 (1)과 같은 벼 표준 함수율(M<sub>105</sub>, w.b.%) 보정식으로 환산하여 나타내었다(山下律也, 1975).

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

3) 현미 동할미율

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

4) 현미 강도

강도는 현미시료 중 완전립을 50립씩 선택하여 경도계(KHT-20N, Fujiwara, Japan)로 측정한 후 평균값으로 나타내었다.

5) 발아율

발아율은 채취한 시료 중 벼의 정립 100개를 3회 무작위로 선택하여 물로 세척한 후 배양지를 살레에 잘 펴서 넣고, 증류수를 약 25cc 정도 넣은 후 온도 25°C, 상대습도 60%로 설정한 항온항습기(TH-150L, Jeio Tech, Korea)에서 14일 동안 발아 상태를 측정하였다.

발아율은 발아된 벼의 총립수와 초기 벼 입수의 비율로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

가. 저장기간중 외기온 및 곡온의 변화

그림 2는 저장 중 곡온과 외기온의 변화를 나타낸 것으로 상·중·하부 곡온은 각각 7지점의 평균값을 사용하였다. 냉각 직후 2월 1일 통풍냉각빈의 곡온은 -5.1~-8.5°C 이었고, 상온빈의 곡온은 -0.3~1.9°C 이었다.

그림에서 보는 바와 같이 곡온은 외기 온도가 높아짐에 따라 점차 증가하였고, 통풍냉각빈저장과 상온빈저장 모두 상부의 곡온이 먼저 상승하였다. 통풍냉각빈저장의 경우 7월 8일에 상·중·하부 최고 곡온이 각각 31.0, 15.4, 7.0°C까지 상승하였으며, 상온빈저장의 경우 각각 26.2, 23.0, 23.7°C까지 상승하였다. 통풍냉각빈에 있어서 상부의 곡온이 빠르게 상승된 것은 교반 및 송풍을 실시하지 않아 빈 내의 공간 온도가 상승했기 때문으로 판단되었다. 또, 통풍냉각빈에 비해 상온빈의 상부 곡온이 낮은 것은 외기온 상승에 따라 빈 내 공간온도 상승시 교반과 송풍을 하였기 때문으로 판단되었다.

한편 5월 8일~5월 16일에는 통풍냉각빈 중부의 곡온이 상승하기 시작하여 하부 곡온과 같아지는데 이때의 곡온은 5.1°C 이었다. 그 이후부터는 중부 곡온이 하부 곡온보다 높아지기 시작하였다. 이는 외기온이 상승하여 상부 공간의 온도가 상승함에 따라 상승된 곡온의 열전도에 의해 중부 곡온이 상승하였기 때문으로 판단된다.

나. 저장기간중 벼 함수율 변화

그림 3은 저장기간에 따른 통풍냉각빈과 상온빈의 위치별 벼 함수율 변화를 비교하여 나타낸 것이다.

그림에 나타낸 바와 같이 통풍냉각빈저장의 경우 1월의 초기함수율은 상·중·하부 각각 16.8, 17.0, 16.9%이었으며, 7월의 함수율은 각각 15.9, 16.7, 16.0%를 나타내어 초기함수율에 비하여 0.3~0.9% 감소하였다. 1월에서 2월 사이에 겨울철 통풍냉각빈 하부의 함수율이 감소한 이유는 냉각시 송풍으로 인하여 건조되었기 때문이다.

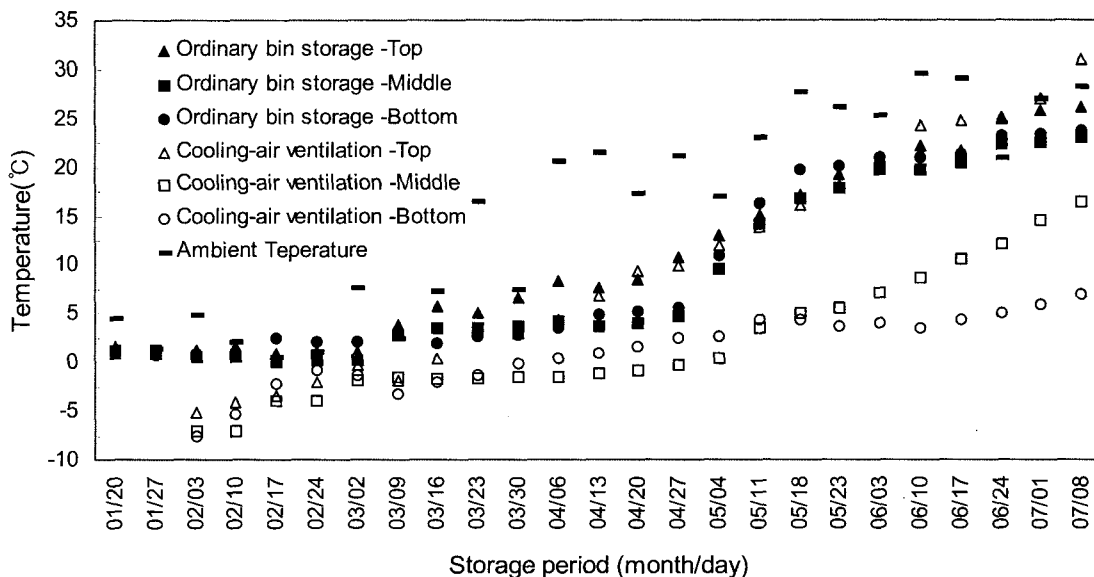


Fig. 2 Variation for grain temperature and ambient temperature during storage period.

5월 이후 통풍냉각빈 상부의 함수율이 감소한 이유는 4월 중순 이후부터 빈 상부의 상대습도가 감소하여 50~60%인 날이 많았고, 빈 상부의 기온은 4월말 이후에는 20℃ 이상으로 상승하였으며, 특히 6월 이후에는 30℃ 이상으로 상승하여 벼의 평형함수율이 12.5~14.0%(Keum 등, 2000) 정도로 낮아졌기 때문으로 판단된다. 또한 5월 하부의 함수율이 상승한 것은 4월 중순 이후부터 공기충만실의 상대습도가 60% 이상인 날이 많았고 기온은 20℃ 이하를 유지하여, 빈 하부의 평형함수율이 15.8~17.0%(Keum 등, 2001) 정도로 높아진 날이 많았기 때문으로 판단된다.

상온빈저장의 경우 초기함수율은 16.7~16.9%이었고 저장기간중 함수율이 계속 감소하였으며, 7월의 함수율은 14.8~15.4%를 나타내어 초기 함수율에 비하여 상·중·하부 각각 1.9, 1.6, 1.5% 감소하였다. 이와 같이 함수율이 감소하는 것은 공기와 접해있는 상·하부 층이 자연건조 되고, 기온이 상승함에 따라 곡온상승 및 결로방지를 위한 교반 및 송풍을 하였기 때문이라 판단된다.

한편, 저장기간에 따른 통풍냉각빈과 상온빈의 위치별 벼 함수율의 변화에 대한 유의성 검정은 저장방법과 저장기간의 교호작용에서 검정통계량 P값이 0.004로 유의수준 0.05보다 작게 나타나 유의성이 인정되었다.

#### 다. 저장기간중 현미 동할미율 변화

그림 4에 저장기간에 따른 통풍냉각빈저장과 상온빈저장의 현미 동할미율 변화를 나타내었다.

그림에서 보는바와 같이 저장 기간에 따라 현미 동할미율은 점차 증가하였고, 통풍냉각빈저장 보다 상온빈저장에서 동할미율이 크게 증가하는 경향을 나타내었다.

상온빈저장의 경우 1월의 빈내 상·중·하부의 초기동할미율은 각각 15.31, 15.08, 15.25%이었으며, 7월에는 동할미율이 각각 18.17, 17.32, 17.68%를 나타내어 초기동할미율보다

2.24~2.86% 증가하였다.

통풍냉각빈저장의 상·중·하부의 경우 초기동할미율은 각각 15.09, 14.88, 15.00%이고, 7월의 동할미율은 상·중·하부 각각 16.01, 15.40, 15.16%를 나타내었다. 이는 초기동할미율보다 0.16~0.92% 증가한 것으로 상온빈저장보다 동할미증가율이 낮은 것으로 나타났다. 한편 저장방법에 대한 검정통계량 P값이 0.012로 유의수준보다 작게 나타나 저장방법에 따라 동할미율의 변화는 유의한 차이가 있음을 나타내었다.

저장기간에 따른 통풍냉각빈저장과 상온빈저장이 동할미율의 변화에 미치는 효과는 저장방법과 저장기간의 교호작용에서 검정통계량 P값도 0.003으로 유의수준 0.05보다 낮아 유의성이 인정되었다.

이와 같이 상온빈저장의 동할미율이 증가하는 이유는 외기 온도와 내부 곡온의 차이를 줄여 결로와 변질을 방지하기 위한 교반 및 송풍을 실시하는 중에 건조되면서 동할미 발생이 많아졌기 때문이다.

#### 라. 저장기간중 현미 강도 변화

그림 5에 겨울철 통풍냉각빈저장과 상온빈저장의 저장기간에 따른 현미 완전립의 강도 변화를 나타내었다.

그림에서와 같이 저장기간이 경과함에 따라 강도는 증가하는 경향을 나타내었고, 상온빈저장의 경우 통풍냉각빈저장에 비해 강도가 더 증가하는 경향을 나타냈다.

상온빈저장의 경우 7월의 강도는 초기강도보다 상·중·하부 각각 0.75, 0.85, 0.81 kgf 증가하였고, 통풍냉각빈저장의 경우 7월의 강도는 초기강도보다 상·중·하부 각각 0.42, 0.12, 0.50 kgf 증가한 것으로 나타났다. 이것을 강도 증가율로 나타내면 상온빈저장과 통풍냉각빈저장은 초기강도보다 각각 8.42~10.71, 1.55~5.27% 증가한 것으로서, 통풍냉각빈저장의 강도 증가율이 낮은 것을 알 수 있다.

유의성 검정결과 저장방법과 저장기간의 교호작용에 대한

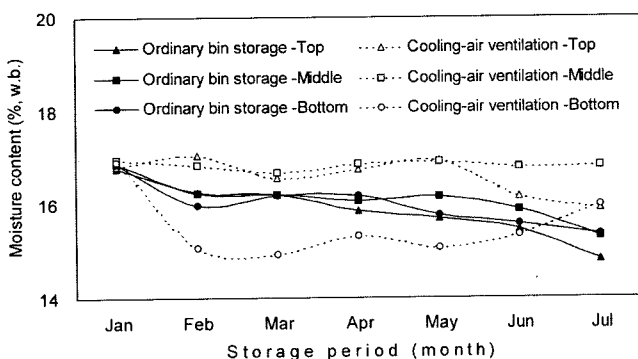


Fig. 3 Variation of rough rice moisture content during storage period.

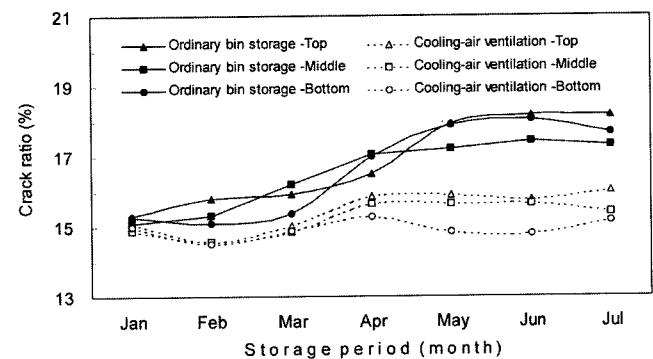


Fig. 4 Variation of brown rice crack ratio during storage period.

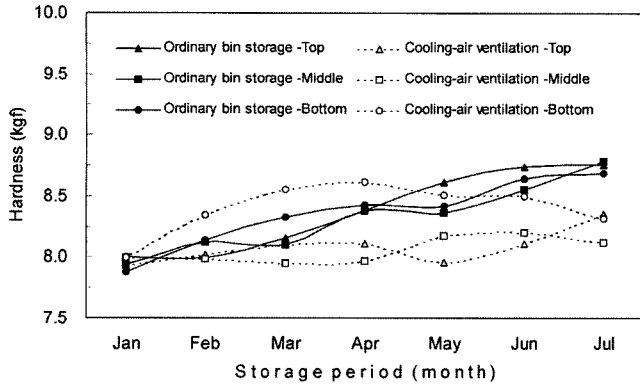


Fig. 5 Variation of brown rice hardness during storage period.

P값이 0.012, 저장방법과 저장위치의 교호작용에 대한 P값이 0.007로 유의성이 인정되었다.

한편 통풍냉각빈 하부 시료의 강도가 상·중부보다 2월 이후부터 증가하는 경향을 보였고, 이것은 앞에서 설명한 바와 같이 장시간 냉각을 위한 송풍에 의해 하부 시료가 건조되었기 때문이다. 또한 통풍냉각빈저장보다 상온빈저장의 강도가 증가하는 것은 앞에서 서술한바와 같이 함수율이 감소하여 조직이 단단해졌기 때문이다(Han 등, 1995).

#### 마. 저장기간중 발아율 변화

그림 6은 통풍냉각빈저장과 상온빈저장의 저장기간에 따른 발아율의 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 저장기간에 따라 발아율은 약간 감소하는 경향을 보였고, 통풍냉각빈저장의 경우 상온빈저장에 비하여 초기발아율이 약간 낮은 경향을 나타내었다. 이는 상온빈저장에 비하여 수매시 통풍냉각빈저장의 초기 원료 벼 품질이 낮았기 때문이다.

이와 같은 이유로 저장초기에 1월의 발아율이 상온빈저장의 경우 96.70~97.60%였고, 겨울철 통풍냉각빈저장의 경우 95.87~96.57%로 상온빈저장에 비하여 0.83~1.03% 낮게

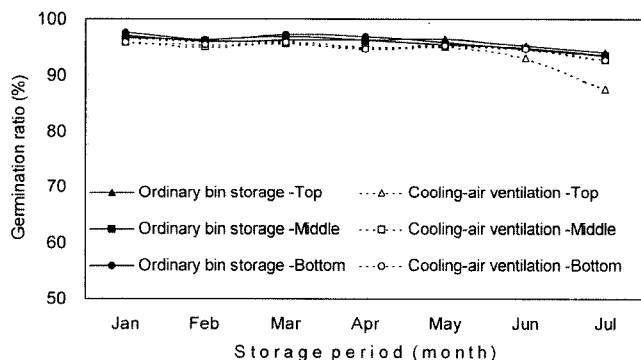


Fig. 6 Variation of rough rice germination rate during storage period.

나타났다.

상온빈저장의 경우 발아율은 초기발아율보다 상·중·하부가 각각 2.70, 3.47, 4.14% 감소하였으며, 통풍냉각빈저장은 각각 9.03, 3.14, 3.20% 감소하였다. 통풍냉각빈저장의 경우 중간과 하부의 발아율은 저온으로 저장되어 양호한 것으로 나타났다.

한편 6월과 7월에 통풍냉각빈 상부의 발아율이 크게 감소한 이유는 빈 상부 기온이 상승하는 것을 제어하지 않았기 때문에 외기온이 상승함에 따라 빈 상부 기온이 상승하여 상부층의 곡물이 장기간 고온에서 저장되었기 때문으로 판단된다.

따라서 빈 상부 공간의 공기온도가 상승하는 것을 방지하는 것이 품질열화를 막고 품질을 유지할 수 있는 방법이라 판단된다.

한편, 유의성 검정결과 저장방법, 저장기간, 저장위치의 교호작용에서 검정통계량 P값이 0.019로 유의수준 0.05보다 낮아 유의성이 인정되었다.

#### 4. 요약 및 결론

국내의 일반적인 벼 저장방법인 저장중 온도를 제어하지 않는 상온저장은 변질미 발생등 경제적 손실이 생길 수 있다. 이를 개선하기 위해 최근에는 곡물냉각기가 개발되어 품질유지를 위한 저온 저장방법이 도입되고 있으나 널리 보급되지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 겨울철 통풍냉각 저장기술을 이용할 경우 저가의 운전비용으로 저장 벼의 고품질유지가 가능할 것으로 기대되어 통풍냉각저장에 따른 벼의 저장특성을 알아보기 위하여 1월부터 7월까지 저장실험을 실시하면서 곡온변화 및 품질변화 등을 검토하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 외기 온도가 상승함에 따라 전 구간의 곡온이 점차 상승하는 것으로 나타났다. 겨울 통풍냉각 직후 곡온은 -5.1~ -8.5°C의 분포를 보였고, 저장 종료 후 상·중·하부 곡온은 각각 31.0, 15.4, 7.0°C이었다. 상온빈저장의 경우 초기곡온은 0.5~1.7°C이었으며, 저장 종료 후 상·중·하부의 곡온은 각각 26.2, 23.0, 23.7°C이었다.
- (2) 함수율은 통풍냉각빈저장의 경우에 초기함수율에 비하여 0.3~0.9% 감소하였고, 상온빈저장의 경우에는 1.5~1.9% 감소하였다.
- (3) 동할미율은 통풍냉각빈저장의 경우에 초기동할미율보다

0.16~0.92% 증가하였다. 상온빈저장의 경우에는 초기 동할미율보다 2.24~2.86% 증가하였다.

- (4) 현미강도는 통풍냉각빈저장의 경우에 초기강도보다 상·중·하부 각각 0.42, 0.12, 0.50 kgf 증가하였고, 상온빈저장은 각각 0.75, 0.85, 0.81 kgf 증가하여 겨울철 통풍냉각빈저장에 비해 강도가 더 증가하는 것으로 나타났다.
- (5) 발아율은 통풍냉각저장의 경우 초기발아율보다 상·중·하부 각각 9.03, 3.14, 3.20% 감소하였으며, 상온빈저장의 경우 각각 2.70, 3.47, 4.14% 감소하였다.

### 참 고 문 헌

1. 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)
2. 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)
3. Han, C. S., J. S. Lee, S. C. Cho., K. S. Yon., M. H. Kim., H. P. Lee., T. M. Ham. and J. Y. Park. 2002. Storage characteristics of rough rice by storage methods. Proceedings of the KSFE 2002 spring conference 111. (In Korean)
4. Kawamura, S., K. Takekura, N. Numata, T. Ogawa. and K. Itoh. 1999. Rice storage below Ice point using natural coldness to preserve Its quality. Presentation at the ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting. Paper No. 996044
5. Keum, D. H. and H. Kim. 2001. Adsorption equilibrium moisture content of rough rice, brown rice, white rice and rice hull. J. of Korean Society for Agricultural Machinery 26(1): 57-66. (In Korean)
6. 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)
7. 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)
8. 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).