

벌크 백 수확 벼의 건조대기 시간 중 온·습도 변화양상 구명

이춘기*[†] · 윤종탁** · 송진*** · 정응기*** · 이유영* · 김옥한*

*농촌진흥청 국립식량과학원, **농촌진흥청 농촌지원국, ***농촌진흥청 연구정책국

Variations in Temperature and Relative Humidity of Rough Rice in the Polypropylene Bulk Bag during Waiting Time for Drying

Choon-Ki Lee*[†], Jong-Tag Yun**, Jin Song***, Eung-Gi Jeong***, Yu-Young Lee*, and Wook-Han Kim*

*National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

**Extension Service Bureau, RDA, Suwon 441-707, Korea

***Research Policy Bureau, RDA, Suwon 441-707, Korea

ABSTRACT The uses of the polypropylene bulk bags having the loading capacities more than 500 kg are increasing in Korea recently as a storage container for rough rice. This study was performed to obtain the basic information on the changes of temperature and relative humidity in the bulk-bag-stored high moisture rough rice during waiting for drying. At the moisture content more than 22% on wet weight basis of paddy, the bulk-bag inside temperature rose up to more than 40°C and then slid down during storage. For example, in case of Hwaseongbyeo, 26.5% moisture content of rough rice (MCR) harvested at 46 days after heading (DAH) showed 54.5°C of peak temperature at 66.8 hours after bulk-bag loading, 22.5% MCR harvested at 52 DAH exhibited 42.0°C at 81.1 hours, and 19.7% MCR harvested at 55 DAH displayed 38.9°C at 119.0 hours. There were a good linear relationship between peak temperatures of bulk-bag inside and moisture contents of paddy ($r^2=0.89$ in 2005, and 0.87 in 2006), while the slope and intercept of the linear regression equation was affected by the environmental conditions such as ambient temperatures and microbial flora. The peak temperatures increased with the rate of about 2.74-3.33°C per every 1% increase of moisture content at higher moisture contents of paddy than 19%. The relative humidity varied depending on bulk-bag inside temperature and rough rice moisture content, and showed the range of 94.2% to 99.9% in the central point of the bulk-bag. The results suggested that a rapid drying treatment as soon as possible was needed to produce a good quality of rice when the paddy of high moisture more than 22% on wet basis was harvested in a bulk-bag especially at high

ambient temperature.

Keywords : rice harvest, drying, temperature, relative humidity, moisture content

벼 수확은 보통 수분함량 18-28%(습물기준) 범위에서 이루어진다(Zecchi & Gerla, 2007; Bunyawanicakul *et al.*, 2007). 높은 수분함량에서 수확될 경우 덜 익은 벼 알의 비율이 증가하여 완전미율이 떨어지고(Siebenmorgen & Qin, 2005; Siebenmorgen *et al.*, 2006; Bautista *et al.*, 2007), 수분함량이 지나치게 낮아질 경우에도 벼 알의 균열발생 증가로 완전미율 감소를 초래한다(Sutherland & Ghaly, 1990). Muters & Thompson(2006)은 중립종 벼에서 완전미율을 높이기 위해서는 수분함량이 21%보다는 높아야 한다고 하였고, Siebenmorgen *et al.*(2007)도 장립종의 권장 수확수분함량은 19-22%인 반면에 중립종은 22-24%라고 하였다.

벼 수확시기를 늦출수록 종실수분이 감소하므로 건조비용의 절감측면에서 유리할 수도 있지만, 너무 늦어질 경우 동할립 증가에 따른 완전미율 감소(McCauley & Way, 2002; Sutherland & Ghaly, 1990; Dilday, 1989; Berrio & Cuevas-Perez, 1989)와 강우 피해 위험성이 증가된다. 따라서 보통 저장수분보다는 높은 조건에서 벼 수확이 이루어진다.

고 수분상태로의 벼 저장 연구 결과는 많지 않지만 Dillahunty *et al.*(2000)은 고수분상태의 벼 호흡속도에 대한 온도와 수분함량의 영향을 조사한 연구에서 온도와 수분함량 모두 호흡을 증가에 결정적 역할하며, 특히 수분함량 증가는 호흡속도를 기하급수적으로 증가시켰다는 보고를 하였다. 따라서 수확된 벼는 저장성을 높이기 위해서는 안전저장 수분함

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6765
(E-mail) lee0ck@korea.kr <Received October 18, 2010>

량까지 건조가 필요한데, 특히 고품질 쌀 생산을 위해서는 수확 후 곧바로 적절한 건조처리가 바람직하다 할 것이다. 하지만 현실적으로는 벼 건조가 이루어지는 장소와 재배 농장이 서로 떨어져 있어서 보통은 벼가 수확된 후 polypropylene 재질의 40 kg들이 수매용 포대나 1톤들이 벌크 백(일명 톤백)에 담겨서 차량 한대분이 잘 때까지 대기하였다가 건조 시설로 이송되거나 아니면 해질녘 한꺼번에 운반되어 건조가 이루어지는 경우가 허다한 실정이다. 그 경우 적게는 몇 분에서 많게는 수 시간까지의 건조 지연이 발생된다. 특히 해질녘에 벼가 한꺼번에 유입되어 건조용량이 부족할 경우에는 불가피하게 건조지연시간이 더욱 장기화될 수 있다. 실제로 2007년도 농림부 조사에서 국내 RPC 건조능력은 61.9% 정도로 나타나는데, 건조기의 연간 활용시간이 25일 내외이고 그 기간 내에서 벼 수확시기를 일정표 짜듯이 균등하게 안배할 수 없다는 점을 감안할 때 특정시기에 한꺼번에 대량 유입되는 벼 물량에 맞춰 건조용량 및 능력이 100% 충족되도록 확장하기에는 경제적 측면에서 실익이 떨어진다.

벌크백은 대형 콤바인의 보급이 확대되면서 최근 보급되기 시작한 벼 포장재로서 그 크기에 따라 500, 750 및 1,000 kg 등이 유통되는데, 지게차 등 적절한 운반기구만 갖추어진다면 수매용 포대보다는 작업능률을 크게 향상시킬 수 있어서 금후에도 지속적으로 그 활용이 확대될 것으로 예상되고 있다. 하지만 수확 직후 고 수분상태의 벼가 벌크 백에 담긴 채 건조되기까지 장시간 지체되거나, 또는 건조되었다 하더라도 15%대의 수분에서 벌크 백에 담겨 야적되었을 경우 내부의 온도와 습도가 어떤 형태로 반응하는지에 대한 연구 성적은 전무한 상태로 고품질 유지와 벌크 백의 적절한 활용을 위해서는 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 벌크 백 수확 벼의 건조대기 시간동안 온습도의 변화양상을 구명할 목적으로 조생종, 중생종 및 중만생종 벼를 수확시기를 달리하여 고 수분 상태로 벌크 백에 보관하면서 시간대별로 벌크 백 내부의 온습도 변화를 측정하여 분석하였고 그 결과를 보고 하였다.

재료 및 방법

시험재료

본 시험의 시험재료는 2005~2006년도 2년간에 걸쳐 국립식량과학원 남양시험지에서 표준재배법에 준하여 파종, 이앙 및 재배된 태봉벼(조생종), 화성벼(중생종), 일품벼(중만생종) 및 새추청벼(중만생종)를 사용하였다.

2005년도에는 조, 중 및 중만생종 벼의 권장 수확시기를 기준으로 1-3시기에 수확한 벼를 사용하였는데, 조생종인 태봉벼의 경우 출수후 46일, 중생종인 화성벼의 경우 출수후 46, 52 및 55일, 중만생종인 새추청벼의 경우 출수후 54, 60 및 65일, 일품벼의 경우 출수후 58, 63 및 70일째에 수확한 벼를 곧바로 벌크백(톤백)에 담아 야적상태로 보관하면서 건조지연 시간대별 온도와 습도변화를 측정하였고, 도정특성 등 이화특성은 수확직후와 소정의 시험완료 후에 일정량의 벼를 수분함량이 15%에 도달될 때 까지 천일건조하여 측정하였다.

2006년도에는 벼 수분 변이 폭을 넓게 하기 위해서 권장 수확시기 이전과 이후를 포함한 3-4시기로 하여 태봉벼의 경우 출수후 40, 45 및 52일, 화성벼는 출수후 37, 44 및 51일, 새추청벼는 출수후 43, 50, 54 및 60일, 일품벼는 출수후 49, 53, 59 및 66일째 되는 날 수확한 벼를 바로 벌크 백에 담아 2005년도와 같은 방식으로 건조대기중에 온도와 습도를 측정하였다.

온습도 측정

벌크백내 온습도 측정은 온습도 측정이 가능한 Datalogger (Testo 175-H2, Testo AG, Germany)와 온도만 측정하는 Datalogger(Testo 175-T3, Testo AG, Germany)를 사용하여 이루어졌다. 벌크 백 내에서의 측정 부위는 Fig. 1에서처럼 종축으로는 벌크백내 중앙축을 기준으로 지면으로부터 벌크백 전체높이의 1/3, 1/2, 2/3 높이를 측정하였고, 지면으로부터 종축 1/2 높이에서 밖에서부터 1/4깊이를 측정하였다. 측정간격은 3일 이내 단기 저장시험에서는 5분 간격으로 측정하였고, 3일 이상 일주일 정도의 기간시험에서는 10분 간격, 장기시험에서는 3시간 단위로 측정하였다. 대기온도 및 습도는 기상청의 수원지역 기상자료를 활용하였다.

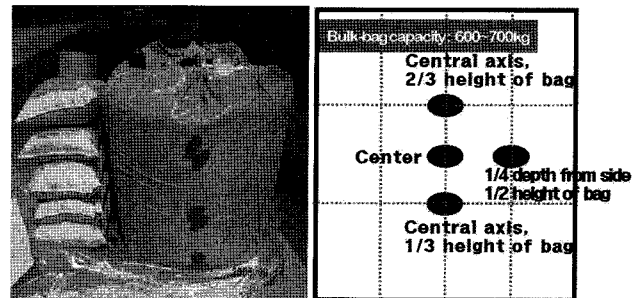


Fig. 1. Photo-view of rough rice-loaded bulk-bag and the points of bulk-bag inside for the measurement of temperature and relative humidity.

남알의 수분분포 및 평균 수분함량

콤바인으로 수확한 벼를 일정량을 무작위로 취하여 단립 수분계(Kett, PQ-510, Japan)로 200립의 수분함량을 각각 측정하여 남알의 수분함량 분포분석에 활용하였고, 이들 전체 남알 수분함량을 평균한 수치를 그 수확물의 대표 수분함량으로 사용하였다.

도정특성 검증

정선된 벼 1,000 g을 시험용 현미기(T.H.U. 35A, Satake, Japan)에 2회 통과시켜 왕겨를 제거한 다음 1.6 mm 간격으로 조정된 45° 각도의 줄체를 통과시켜 제현율과 설미율을 구하고, 도정율은 마찰식 시험용도정기(RAT2, 쌍용기계(주), 한국)를 사용하여 측정하였다.

이취 등 이화학적 검증

벌크백에 담긴 벼의 건조대기중 매일 오전 9시, 오후 1시, 오후 6시경에 1/3높이(하단), 1/2높이(중앙), 2/3높이(상단)에서 벌크백내 40 cm 정도 깊이의 시료를 채취하여 이취발생여부와 변색, 곰팡이 번식 등을 관찰하였다. 이취발생은 벌크백 보관 개시후 매일 오전 9시, 오후 1시 및 오후 6시에 시료를 소량 취하여 3인용으로 구성된 훈련된 패널에 의하여 판별하였고, 곰팡이 번식은 시료 20 g을 취하여 곡피 주변에 곰팡이가 핀 곡립을 선별한 후 전체 무게에 대한 비율로 나타내었다. 지방산도(AACC 02-03)와 환원당(AACC 80-60)은 AACC방법에 준하여 측정하였다.

품질변이 분포 및 상관분석

각 품질 성적은 2회 이상 반복하여 얻어진 평균값을 사용하였으며, 그래프 작성과 상관계수의 산출은 Microsoft Excel에서 지원하는 기능을 사용하였다. 5%이내에서 유의성을 보이는 특성들 간에 대하여 결정계수를 포함한 1차 회귀식과 함께 그래프로 제시하였다.

결과 및 고찰

수확시기에 따른 수분함량과 초기 곡은 및 상대습도

Table 1은 2005과 2006년도에 수확시기를 달리하여 얻어진 태봉벼(조생), 화성벼(중생) 및 일품벼와 새추청벼(중만생)의 수확수분함량과 벌크 백에 담은 후 15분경과 시점에서 내부온도와 상대습도 및 수원지역의 평균기온과 상대습도를 수록한 것이고, Fig. 2는 출수 후 수확시기에 따른 수분함량의 분포를 나타낸 것이다. 수확시기가 지연됨에 따라 수분함량이 감소하였는데, 그 정도에서 연도별로 큰 차

이가 있었다. 2005년도와 2006년도 월 평균 기상에서(Table 2), 기온의 경우 9월에는 두 해 비슷하였으나 10월에는 큰 차이를 보여 2006년도가 3.2°C 높았고, 강수량의 경우 2005년도 9월과 10월에 각각 315.2 mm(총 강수일수 12일)와 70.2 mm(총 강수일수 7일)로서 2006년도 9월과(강수량 21.9 mm, 강수일수 7일) 10월(강수량 18 mm, 강수일수 2일)에 비해 강수량과 강수일수와 모두 현저히 많았다.

일평균 기온에서 2005년도의 경우 9월초 27.1°C에서 10월 말 7.0°C에 이르기까지 온도가 꾸준히 하강한데 반해 2006년도의 경우는 10월 중순까지 훨씬 느린 속도로 하강하였다(Fig. 2). 이러한 차이가 벼 등속속도에 영향을 주어 수분함량 감소를 완화하는 작용을 하였을 것으로 추정되는 것이나 본 연구에서는 이를 뒷받침할 수 있는 심도 있는 조사는 이루어지지 못했다. McCauley & Way(2002)는 벼가 성숙됨에 따라 하루당 종실수분 감소가 수분함량 25%까지는 빠르게 일어나다가 25%에서 20%로 되는 데는 훨씬 느리게 진행되었다고 하였다. 본 연구에서는 당초 시험설계가 수확 시기에 따른 수분함량의 변화를 구명하고자 계획된 것이 아니었기 때문에 품종적 다양성, 수확시간대의 불일치, 수확기 무렵의 강우와 물 때는 시기의 차이 등으로 McCauley & Way(2002)의 결과처럼 뚜렷한 경향을 나타내지는 않았으나, 2005년도 성적을 기준으로 볼 때 수확시기 지연에 따라 수분함량 감소속도가 점차 줄어드는 현상은 일치하였다(Fig. 3).

Table 3은 수확물을 구성하는 남알의 수분분포를 보기 위하여 콤바인 수확물에서 남알 200립을 무작위로 추출하여 단립수분계로 측정된 수분함량 최대값과 최소값, 평균값 및 곡온을 나타낸 것이다. 각 수확물을 구성하는 개별 종실의 수분함량 최대차이(최고수분에서 최저수분을 뺀 값)와 표준편차는 수확시기에 따라 각각 15.0-20.5%와 2.4-3.7%범위를 보였다. 일품벼의 경우 수분함량 분포가 수확시기와 무관하게 다소 넓었고, 태봉벼는 수확시기 지연에 따라 편차가 줄어드는 반면 화성벼와 새추청벼는 약간의 증가경향을 보였다. Chau & Kunze(1982)는 평균 수분함량 22%(습물기준)를 보이는 수확물에서 종실간 수분차이가 동일 이삭 내에서는 최고 10%, 서로 다른 이삭간에서는 최고 46%까지 나타났다고 하였고, Kocher *et al.*(1990)은 평균 수분함량이 낮아질수록 수확물을 구성하는 남알 간의 수분차이가 줄어든다고 하였다. 본 조사에서 얻어진 수분함량은 이삭단위가 아닌 콤바인 수확물에서 취한 시료를 대상으로 얻어졌기 때문에 Chau & Kunze(1982)의 동일 이삭에서의 남알간 수분차이보다는 크나, 서로 다른 이삭간에 얻어진 수분차이보다는 낮았을 것으로 생각된다. Li *et al.*(2003)도 한 이삭내에

Table 1. Initial conditions for bulk-bag loading of rough rice in 2005 and 2006.

Maturity grouping	Variety name	Harvesting time		Moisture content (%)	Bulk-bag inside [†]		Ambient [‡]	
		Date and hour	Days after heading		Temp. (°C)	R.H. (%)	Temp. (°C)	R.H. (%)
- Year : 2005 -								
Early variety	Taebongbyeo	Sep. 5, 16:37	46	24.1	28.8	55.5	28.1	34
Intermediate variety	Hwaseongbyeo	Sep. 20, 14:53	46	26.5	26.8	84.9	23.1	62
		Sep. 26, 11:12	52	22.5	29.2	82.1	23.7	53
		Sep. 29, 11:14	55	19.7	29.1	75.7	22.7	50
Late variety	Saechucheongbyeo	Oct. 6, 14:11	54	23.8	30.0	72.3	23.6	31
		Oct. 12, 13:48	60	19.3	28.0	71.5	22.4	37
		Oct. 17, 13:59	65	18.8	25.8	80.6	21.6	42
	Ipumbyeo	Oct. 12, 13:48	58	19.7	28.8	69.1	22.4	31
		Oct. 17, 13:59	63	18.7	24.2	78.6	21.6	42
		Oct. 24, 14:03	70	18.0	23.8	78.6	18.2	44
- Year : 2006 -								
Early variety	Taebongbyeo	Sep. 6, 14:38	40	24.6	28.8	85.4	25.4	45
		Sep. 11, 14:30	45	21.4	26.3	80.8	22.0	37
		Sep. 18, 15:57	52	21.0	23.8	80.0	19.7	63
Intermediate variety	Hwaseongbyeo	Sep. 18, 17:01	37	31.4	21.8	95.2	19.2	66
		Sep. 25, 14:40	44	27.8	30.2	90.2	27.5	19
		Oct. 2, 14:45	51	26.4	29.0	82.9	26.1	40
Late variety	Saechucheongbyeo	Oct. 2, 14:45	43	29.2	29.9	88.6	23.1	40
		Oct. 9, 14:30	50	27.8	30.2	87.3	24.6	40
		Oct. 13, 15:01	54	24.0	28.9	76.1	24.9	61
	Ipumbyeo	Oct. 19, 14:28	60	25.2	28.0	84.9	22.7	21
		Oct. 9, 16:04	49	28.0	28.8	86.8	24.8	59
		Oct. 13, 14:00	53	26.4	27.0	82.3	23.0	23
	Ipumbyeo	Oct. 19, 13:59	59	27.3	28.6	92.0	22.7	61
		Oct. 26, 11:07	66	23.9	18.3	84.3	17.0	48
		Oct. 26, 14:28	66	20.9	23.8	78.2	18.3	42
	Samgwangbyeo	Oct. 13, 14:56	56	23.7	30.6	26.6	24.9	21

[†] Measured at 15 minutes after loading rough rice into bulk bag, RH : relative humidity

[‡] Weather data of Suwon, averaged

Table 2. Weather data measured at Suwon during rice harvesting periods in 2005 and 2006[†]

Year	Month	Monthly mean temperature (°C)			Monthly Cumulative Sunshine duration (hr)	Monthly Cumulative Rainfall (mm)	Monthly mean relative humidity (%)
		Daily mean	Daily max.	Daily min.			
2005 (A)	Sep.	22.2	26.5	18.7	135.4	315.2 (12)	70.8
	Oct.	14.4	19.9	9.9	201.6	70.2 (7)	66.1
2006 (B)	Sep.	21.3	26.6	16.6	190.2	21.9 (7)	59.1
	Oct.	17.6	23.6	12.8	169.9	18.0 (2)	67.1
Diff. (A-B)	Sep.	0.9	-0.1	2.1	-54.8	293.0 (5)	11.7
	Oct.	-3.2	-3.7	-2.9	31.7	52.2 (5)	-1.0

[†] Source : Weather data of Korea Meteorological Administration

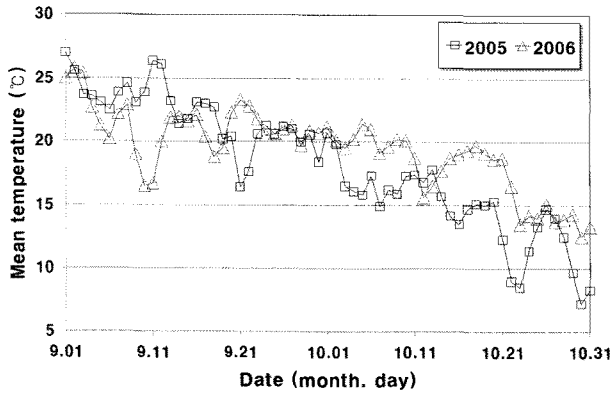


Fig. 2. Comparison of daily mean temperature during rice harvesting period between years of 2005 and 2006[†].
[†]Source : Weather data of Korea Meteorological Administration

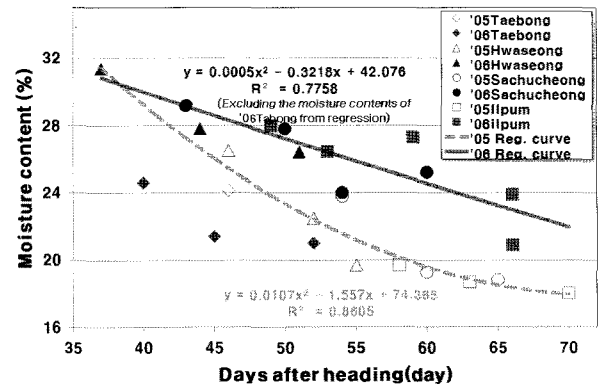


Fig. 3. Regression curves of the average moisture contents of rough rice with harvesting times (The moisture contents of Tabongbyeo harvested in 2006 were exempted in regression curve due to their excessive bound).

Table 3. Variation in moisture contents and temperature of individual grains of rough rice with harvesting time.

Variety	Harvesting time		Moisture content (%) [†]					Temperature (°C)
	day	hour	Average	S.D.	Max.	Min.	Diff.	
Taebongbyeo	9. 6	15:23	24.6	3.2	32.5	16.0	16.5	26.1
	9.11	14:51	21.4	2.9	29.5	13.5	16.0	23.7
	9.18	15:24	21.0	2.7	29.0	14.0	15.0	22.4
Hwaseongbyeo	9.18	17:07	31.4	2.4	37.0	22.0	15.0	21.9
	9.28	15:38	27.8	3.0	36.0	18.0	18.0	24.8
	10. 2	14:47	26.4	3.5	35.0	16.5	18.5	26.6
Ilpumbyeo	10. 9	16:10	28.0	3.7	36.5	16.0	20.5	27.0
	10.13	16:16	26.4	3.4	34.5	17.5	17.0	23.6
	10.19	15:53	27.3	3.0	34.5	18.0	16.5	25.2
	10.26	11:19	23.9	3.4	33.0	16.0	17.0	19.6
	10.26	14:33	20.9	3.6	31.0	13.0	18.0	20.6
Sachucheongbyeo	10. 2	15:15	29.2	2.5	35.5	19.5	16.0	26.7
	10. 9	16:40	27.8	2.6	34.5	18.5	16.0	25.8
	10.13	11:02	24.0	3.1	31.5	16.0	15.5	24.0
	10.19	15:27	25.2	3.0	32.5	17.0	15.5	25.3
Samkwangbyeo	10.13	17:14	23.7	3.2	31.5	15.5	16.0	23.7

[†]S.D. : standard deviation, Max : maximum, Min : minimum, Diff = max - min

서의 수분분포가 전체 벼 알간에는 18.9%, 한 이삭내 부위별로는 끝에서부터 1/4(끝부분), 2/4(중앙부분) 및 1/4(하단부분)의 길이로 나뉘었을 때 각각의 구성 벼 알간의 수분차이가 7.3, 17.9 및 14.4% 존재하였다고 하였다.

한편 평균 수분함량이 21%이하로 떨어질 경우에는 벼 알의 최저 수분치가 저장수분에 가까운 14%이하까지도 건조됨으로써 수확기가 지연될 경우 이들 종실이 야간에 이슬에 의해 젖었다가 주간에 다시 건조되는 과정을 반복하면서 자칫 동할립으로 될 소지가 있었는데, 이 결과는 중립종에서

높은 완전미율을 얻기 위해서는 수분함량이 21%보다는 높아야 한다는 Muters & Thompson(2006)의 결과를 뒷받침하고 있다.

Fig. 4는 벼를 콤바인 수확하여 곧바로 벌크백에 적재한 다음 15분지나 측정된 중심 온도와 상대습도를 각각 수원기상청에서 얻어진 대기의 평균 온도와 상대습도에 대비하여 회귀식을 나타낸 것이다. 초기 곡온은 수확당시의 기온에 의해 큰 영향을 받았고 상대습도는 결정계수가 1%에서 유의적이기는 하였으나 적중률은 낮았다.

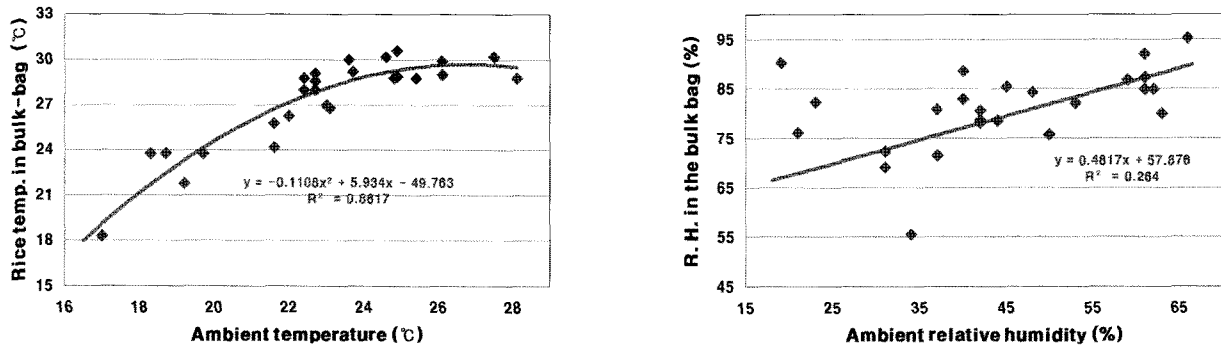


Fig. 4. Correlations between the bulk-bag inside temperature at 15 minute after loading of rough rice and the atmospheric mean temperature (left), and between the bulk-bag inside relative humidity and the atmospheric mean relative humidity (right).

Table 4. Changes in temperature of rough rice in the bulk-bag during waiting for drying in 2005 (Measuring point : 2/3 height of bulk-bag along the central axis)

Variety	Harvesting time (DAH)	Moisture content (%)	Peak temperature		Time required to reach the specified temperatures (hr)					Daily [†] mean temp. (°C)
			°C	Time [‡]	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	
Taebong-byeo	46	24.1	50.3	71.6	3.3	15.3	27.8	42.0	66.3	- (23.7)
Hwaseong-byeo	46	26.5	54.5	66.8	9.0	20.0	30.3	40.2	52.0	23.0(18.2)
	52	22.5	42.0	81.1	8.3	29.4	51.3	-	-	23.4(19.1)
	55	19.7	38.9	119	15.5	52.9	-	-	-	23.1(18.5)
Saechucheong-byeo	54	23.8	40.1	73.3	10.4	29.6	63.2	-	-	19.1(15.6)
	60	19.3	31.2	49.8	26.1	-	-	-	-	19.2(14.5)
	65	18.8	27.1	32.9	-	-	-	-	-	15.6(12.0)
Ilpum-byeo	58	19.7	30.4	36.0	25.8	-	-	-	-	16.3(14.5)
	63	18.7	26.6	28.3	-	-	-	-	-	13.5(12.0)
	70	18.0	25.4	19.5	-	-	-	-	-	13.2(10.7)

[†]The numbers within parentheses are the atmospheric daily temperature of Suwon weather data, and the other numbers are the ambient daily mean temperature near the bulk-bag.

[‡]The time required to reach the peak temperature.

벌크백 수확벼의 건조대기시간중의 온도변화

벌크백 수확벼는 수확장소에서 건조시설까지의 거리, 건조시설의 처리용량 등에 따라 고 수분 상태로 일정시간 지체하게 된다. 천일건조가 어려울 경우 건조지체시간은 건조여력에 따라 수분에서 수 시간까지도 연장될 수 있는데, 그 경우 벌크백내 수확 벼는 자체의 생리 및 이화학적 작용과 외부 오염미생물 작용에 의해 온도와 습도에서 변화를 보일 것이다.

Fig. 1과 같이 벌크백 정중앙의 수직단면을 기준으로 상/하단과의 각 중간거리, 좌/우 옆면과의 중간거리에 온습도계를 설치하여 각 지점에서의 온습도를 측정하였을 때 습도의 경우는 가장자리를 제외하고는 거의 일정하게 유지되었

다. 반면에 온도의 경우는 외부온도가 비교적 높은 10월 초순경 수확까지는 최고온도를 보이는 지점이 벌크백의 중심축 2/3높이에서 나타나다가, 이후 기온이 내려감에 따라 점차 하단 쪽으로 내려가는 경향을 보였다. 따라서 위치별로 볼 때 10월 초순까지는 벌크백내 온도가 Fig. 1의 2/3높이의 중앙> 정중앙> 1/2높이의 1/4안쪽> 1/3높이의 중앙 부위의 순위를 나타내었고, 10월 중순이후에는 정중앙> 2/3높이의 중앙> 1/3높이의 중앙 ≒ 1/2높이의 1/4안쪽의 온도순위를 보였다.

Table 4는 2005년도에 수확된 벌크백 보관벼의 건조 대기시간중 곡온의 변화를 나타낸 것이다. 출수후 46일째에 수확된 태봉벼의 경우 초기수분이 24.1%로서 최고온도

Table 5. Changes in temperature of rough rice in the bulk-bag during waiting for drying in 2006.

Variety	Moisture content (%)	Time required to reach the specified temperatures (hr)				Final time and temperature		Measuring point (basis on hot-point)
		35°C	40°C	45°C	50°C	Time(hr)	Temp.(°C)	
Taeboung-byeo	24.6	25.0	-	-	-	46.33	39.3	CA 2/3 H
	21.4	84.7	-	-	-	95.33	35.5	"
	21.0	-	-	-	-	71.42	28.5	Center
Hwaseong-byeo	31.4	21.3	29.3	37.4	-	45.17	49.2	Center
	27.8	8.6	17.2	27.1	38.3	47.50	52.2	"
	26.4	20.0	35.8	-	-	65.83	44.7	"
Saechucheong-byeo	29.2	7.5	16.5	25.8	37.8	48.00	52.2	Center
	27.8	7.6	18.8	31.8	-	50.50	49.6	"
	24.0	26.7	51.0	-	-	118.67	42.8	CA 2/3 H
Ilpum-byeo	28.0	13.6	23.3	33.8	47.5	48.83	50.2	Center
	26.4	18.2	32.7	55.1	-	91.67	45.6	"
	27.3	17.5	34.4	64.1	-	91.17	44.3	"

(50.3°C)가 건조지연 71.6시간째에 발현되었는데, 각 온도 대별로 도달소요시간을 보면 곡온 30°C는 3.3시간, 35°C는 15.3시간, 40°C는 27.8시간, 45°C는 42.0시간, 50°C는 66.3시간 소요되는 것으로 나타났다. 한편 출수후 46일째 수확된 화성벼의 경우는 최고온도가 54.5°C까지 올라갔으며, 이 온도에 도달되기까지 66.8시간이 소요되었다.

Table 5는 2006년도에 수행된 벌크백 보관벼에서의 35, 40, 45 및 50°C에 도달되기까지 경과된 시간과 시험 종료 시점에서의 온도를 나타낸 것이다. 2005년도에는 시료의 부패위험을 감수하면서 장시간 건조지연 상태를 유지하면서 시험한 반면에 2006년도에는 부패발생 전에 온습도의 측정을 종료하였기 때문에 일부시료에서는 2005년과 같은 최고온도 도달시간이 조사되지 않았다. 수확 벼의 수분함량이 온도변화에 결정적인 요인으로 작용하는 점은 2005년도 결과와 마찬가지로, 특정온도에 도달하는데 걸린 시간은 수확당시의 벼 온도, 기온, 미생물상, 강우피해, 미숙립 포함 등의 차이로 다소의 차이가 존재하였다. 수분함량 21%대 이하로 수확될 경우 건조가 상당시간 지체되더라도 품질에 큰 손실 없이 벌크백 보관이 가능하리라고 판단되었다.

수분함량과 벌크백 보관벼 온도와의 관계

고 수분상태에서 건조 대기시간중 도달되는 최고온도와 수분간의 관계를 보기 위하여 이슬이나 비를 맞지 않고 수확된 시료를 대상으로 수분함량과 최고온도간의 회귀식을 구한 결과 Fig. 5와 같이 품종이나 수확시기에 관계없이 고도의 유의 상관관계를 보임으로써 강우 등에 의한 급격한 수분변화가 없는 정상조건의 경우 회귀식의 기울기를 기준하여 벌크백 저장벼의 최고온도가 수분함량 1% 증가당

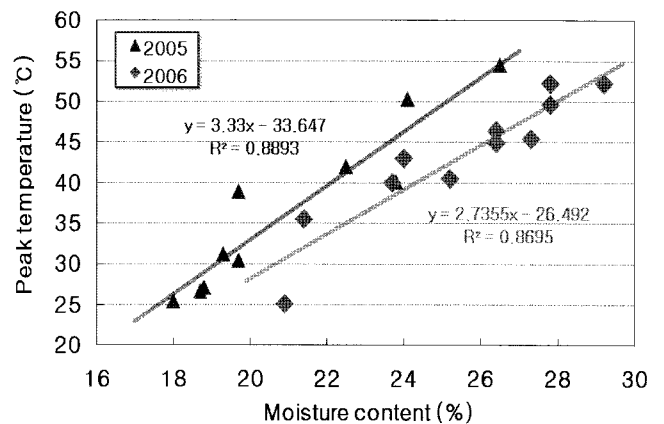


Fig. 5. Relationship between initial moisture content and peak temperature of rough rice in the bulk bag during waiting for drying.

2.73-3.33°C 범위에서 상승 작용을 한다고 예측할 수 있었다.

Fig. 6은 2006년도 벼를 수확한 후 벌크백에 담아 24시간과 42시간 유지한 벼에서의 중심온도와 수분함량간의 관계를 나타낸 것이다. 강우 후 수확된 화성벼(초기수분 31.4%)와 이슬이 덜 마른 상태로 수확된 일품벼(초기수분 23.9%)를 제외한 나머지 시료들에서는 품종이나 수확시기에 관계없이 수분함량과 온도간에 직선적인 상관관계가 있고, 회귀 직선의 기울기에서는 24시간대에 비해 42시간대가 더 커지는 것으로 나타났다. 이는 동일 시간대로 저장된 벼에서의 온도는 수분함량에 비례해서 높게 나타나며, 시간이 경과할수록 수분이 높은 쪽에서의 온도상승속도가 빨라진다는 것을 암시해주는 결과이다. Dillahunty *et al.*(2000)은 벼 호흡속도가 주변의 온도 증가에 따라 특정온도까지 거의 직선적

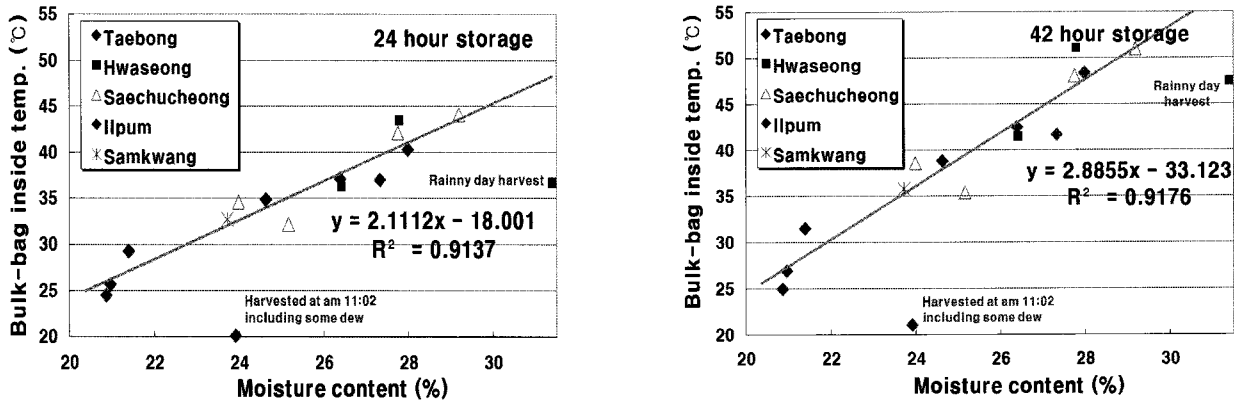


Fig 6. Relationship between moisture content and bulk-bag inside temperature at 24 hours and 42 hours after loading of rough rice in 2006 (Two bounded data were excluded in the regression equation.).

으로 증가하다 이후 감소되는데, 수분함량이 높을수록 그 증가율은 커지고 최고 호흡속도에 도달되는 온도도 낮아지는 결과를 보고하였다. 또한 이들의 호흡속도에 대한 영향 요소에서 수분함량과 온도에 비해 벼 품종의 기여도는 미미한 것으로 나타났다. 본 연구에서도 건조지연시간에 따른 온도변화가 주로 벼와 오염된 미생물의 호흡작용에 의해 발생되었을 것으로 추정되는데, 초기에는 수확된 벼가 지나는 본래의 수분함량을 기반으로 한 벼 자체의 호흡열 발산에 따른 온도상승이 주를 이루다가 점차 미생물의 번식이 왕성해지면서 이들의 작용과 벼 호흡작용이 함께 상승효과를 주어 더욱 온도상승을 가속화시키는 것으로 판단되었다. 그 과정에서 품종에 의한 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

한편 회귀직선에서 크게 벗어난 화성벼(초기수분 31.4%)와 일품벼(초기수분 23.9%)는 초기 곡온이 각각 21.8℃와 18.3℃로서 타 시료에 비해 낮았다. 입고시 낮은 벼 품온이 초기 호흡속도 증가를 상대적으로 억제하고, 강우나 이슬 등에 따른 수분은 주로 유리수 상태로 존재함으로써 벼의 저장초기 호흡속도에는 큰 기여를 못 하게 되어 이들 시료가 수분함량은 높으나 저장초기 온도증가는 낮은 결과로 나타났을 것으로 판단된다. 하지만 유리수는 초기 벼 자체의 호흡에는 영향이 미미할지라도 오염미생물에게는 충분한 수분을 공급하게 되어 지체시간이 길어질수록 온도증가와 품질저하를 더욱 촉진하는 요소로 작용하게 될 것이다.

벌크백 보관벼의 건조대기시간중의 상대습도변화

벌크백 안에서의 벼 종실사이 공극내 존재하는 공기의 상대습도는 곡온과 종실의 초기수분함량에 의해 일차적 영향을 받는다. Table 6은 벌크백 수확벼의 건조 대기시간중의 상대습도를 나타낸 것인데, 상대습도 최고치가 태봉벼와 화

성벼의 경우 전 수확시기에서 99%이상을 보였고, 기타의 시료에서도 94%이상을 나타냄으로써 주변 온도만 적당할 경우 세균과 곰팡이 등 미생물의 번식에 유리한 상대습도를 나타냈다.

수확시기별 건조지연에 따른 벌크백 수확벼의 이취 발생

Table 7은 태봉벼와 화성벼에서의 건조지연에 따른 이취 발생시간과 관능으로 조사된 이취내역을 수록한 것이다. 이취발생 조사는 2005년도 시료를 대상으로 냄새를 잘 감지할 수 있는 패널을 구성하여 벌크백 보관후 오전 9시, 오후 1시 및 오후 6시에 부위별 시료를 취하여 냄새로 판별하였는데, 조생종인 태봉벼와 중생종인 화성벼에서만 저장중 이취가 감지되었다. 즉, 이들 두 재료의 경우 고 수분 상태에서 수확된 데다 기온도 상대적으로 높은 쪽이어서 이취가 쉽게 감지되었다. 이취는 신 냄새와 곰팡이 냄새로 대별되었는데 수분함량 24%대 이상에서 건조가 장시간 지체되었을 때 미생물 발효 등에 의한 신 냄새가 강하였고, 22%대의 낮은 쪽에서는 곰팡이 냄새가 강하게 나타났다. 출수후 46일째 수확된 태봉벼의 경우 수확당시 수분이 24.1%로서 40시간정도 지났을 때 미숙립 위주로 곰팡이가 번식하는 것이 관찰되었고, 신 냄새가 미미하게 감지되었으며, 3일 후에는 신 냄새가 역할 정도로 심해졌다.

이상의 결과로부터 수확시기가 빨라 수분 함량이 높은 상태로 건조지연이 지속될 경우 자체 호흡열 등의 증가에 따른 곡온의 급상승을 초래하고, 특히 기온이 높은 9월이나 10월초 높은 외부기온 조건에서 건조지연시간이 길어질 경우 미생물 오염과 벼 이화학 및 생물학적 작용이 서로 상승효과를 발휘함으로써 품질을 떨어뜨리는 쪽으로 변화를 더욱 가속화시키는 것으로 추정되었다.

Table 6. Changes in relative humidities of bulk-bag inside during waiting for drying of rough rice in 2005 (Measuring point : 2/3 height of bulk-bag along the central axis).

Variety	Moisture content (%)	Peak relative humidity (%)		Time required to reach the specified relative humidity (hr)					Ambient [†] relative humidity (%)
		R.H. (%)	Time [‡] (hr)	90.0%	92.5%	95.0%	97.5%	99.9%	
Taebongbyeo	24.1	99.8	92.7	12.8	20.8	36.0	57.1	-	-
Hwaseongbyeo	26.5	99.9	19.5	0.8	1.8	2.5	10.4	19.5	71.4
	22.5	99.8	92.3	3.1	6.3	13.3	26.3	-	64.3
	19.7	99.0	56.3	3.2	5.8	13.0	27.8	-	74.9
Saechucheongbyeo	23.8	97.3	46.6	5.3	11.4	21.8	-	-	73.1
	19.3	94.8	84.3	2.6	17.3	-	-	-	60.8
	18.8	94.2	46.5	2.1	7.6	-	-	-	69.9
Ilpumbyeo	19.7	94.4	47.0	7.6	15.3	-	-	-	62.9
	18.7	95.1	62.3	4.2	10.3	49.7	-	-	76.2
	18.0	95.1	49.8	2.3	4.6	40.0	-	-	71.5

[†]Measured near the bulk bag by Datalogger (Testo 175-T3, Testo AG, Germany)

[‡]The time required to reach the peak relative humidity.

Table 7. Sensory result on the off-odor development from rough rice stored in bulk-bag with high moisture in 2005.

Variety	Harvest -ing date and time	Initial moisture content (%)	Range of daily mean temperature (°C)	Off-odor occurring date and time	Estimated duration for Off-odor occurrence (hr)	Remark
Taebongbyeo	Sep. 05, 16:40	24.1	21.9-27.5	Sep. 07, 09:00	25 - 40	Mold growth Sour odor
	Sep. 21, 14:20	22.0	20.6-25.0	Sep. 15, 09:00	51 - 66	"
Hwaseongbyeo	Sep. 20, 14:40	26.5	17.2-19.8	Sep. 22, 09:00	27 - 42	"
	Sep. 26, 11:00	22.5	18.5-20.4	-	-	Non-detecting for 4 days
	Sep. 29, 11:10	19.7	18.3-20.4	Oct. 04, 09:00	102 - 117	Detecting slight musty odor

또한 비록 수분함량별로 건조지연 한계시간을 명확히 구분할 수는 없었지만, 건조대기중에 곡온이 40°C에 이를 경우 호흡손실과 부패의 위험이 훨씬 커질 것으로 나타나 고품질 쌀 생산을 위해서는 가능한 곡온이 35°C에 이르기 전에 건조하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다. 35°C에 도달된 이후에도 건조지연을 피치 못할 경우는 벌크백에 담긴 비를 쏟아서 공기와의 접촉면을 넓혀주거나 또는 송풍시설이 갖춰진 장소로 이송하여 온도를 떨어뜨릴 필요가 있었다. 또한 수확도중 비를 맞은 후 장시간 건조지체시 온도의 급상승 없이도 혐기적 미생물의 오염에 따른 변질우려가 훨씬

높았다.

건조지연에 따른 이화학적 특성 변화

Table 8은 수확한 비를 벌크백보관중 부위별로 1일 간격으로 채취하여 수분함량 14%까지 천일건조한 후 측정된 도정특성, 발아율, 곰팡이 발생립율, 환원당, 지방산도를 나타낸 것이다. 위치별로는 벌크백내 중앙>상단>하단순위로 품질저하가 심하였으며, 발아율, 곰팡이발생립 비율 및 환원당의 변이가 건조지연시간이 길어지면서 뚜렷하게 나타났고, 도정특성이나 지방산도는 큰 변이가 관찰되지 않았다.

Table 8. Physicochemical properties of bulk-bag stored rough rice with delay time for drying[†].

Sampling time	Sampling point	Milling property (unit : %)				Germination rate (%)	Molded kernel rate (%)	Reducing sugar (%)	Fatty acidity (mg KOH /100g)
		Brown rice yield	Milled rice yield		Broken rice rate				
			Based on brown rice	Based on rough rice					
Sep. 5, 16:37	-	82.8	90.1	74.6	0.08	95.4	0.1	0.38	13.8
Sep. 6, 18:00	Top	82.4	89.9	74.1	0.11	91.4	0.7	0.56	15.4
	Center	82.5	89.7	73.9	0.10	91.5	1.4	0.54	15.1
	Bottom	82.6	90.0	74.3	0.10	93.1	0.4	0.58	13.9
	Mean	82.5	89.9	74.1	0.10	92.0	0.8	0.56	14.8
Sep. 7, 18:00	Top	82.3	89.9	73.9	0.11	91.5	0.8	0.25	13.8
	Center	82.3	89.9	74.0	0.10	90.0	1.1	0.22	14.4
	Bottom	82.4	90.0	74.2	0.11	93.2	0.5	0.18	13.6
	Mean	82.3	89.9	74.0	0.11	91.6	0.8	0.21	13.9
Sep. 8, 18:00	Top	82.1	89.9	73.8	0.11	91.3	0.4	0.27	14.3
	Center	82.1	90.0	73.9	0.09	89.4	1.6	0.25	14.5
	Bottom	82.2	90.1	74.1	0.12	93.2	1.3	0.22	13.9
	Mean	82.1	90.0	73.9	0.10	91.3	1.1	0.25	14.2
Sep. 9, 13:00	Top	82.0	90.1	73.9	0.11	90.9	0.3	0.52	13.9
	Center	82.1	89.9	73.8	0.11	85.0	0.3	0.35	13.3
	Bottom	82.2	90.0	74.0	0.11	91.3	1.6	0.35	14.4
	Mean	82.1	90.0	73.9	0.11	89.1	0.7	0.41	13.9

[†]Sample : Taebongbyeo harvested at 46 days after heading in 2005

적 요

최근 콤바인의 대형화에 맞춰 벌크백(톤백)의 이용이 증가되고 있는데 본 연구에서는 벼 수확직후 벌크 백에 담은 벼의 건조지연에 따른 온습도의 변화에 대한 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 벼 수확시기별 각 수확물을 구성하는 개별 종실의 수분함량 최대차이와 표준편차는 수확시기에 따라 각각 15.0-20.5%와 2.4-3.7%범위를 보였고, 평균 수분함량이 21%이하로 떨어질 경우에는 일부 벼 알이 14%이하까지도 건조됨으로써 동할립 발생소지가 높았으나 건조기 부족시 건조지체시간을 상당시간 연장시킬 수 있는 것으로 생각되었다.
2. 벌크백 보관벼의 온도는 S자 형태로 초기에 약간의 지체시간을 거친 후 상승곡선을 보이면서 최고치에 달한 후 감소되는 양상을 보였는데, 최고온도에 도달되는 시간은 외기온도, 수분함량 등에 따라 차이가 있기는 하였으나, 수분함량이 22%이상일 경우 최고온도가 40℃ 이상을 보였다.
3. 벌크 백내 상대습도는 온도와 벼 수분함량에 따라 변이를 보였으나, 중심부의 경우 94-99%를 유지하였다.
4. 건조지연시간에 따른 온도변화가 주로 벼와 오염된 미생물의 호흡작용에 의해 발현되는데, 초기에는 수확된 벼가 지나는 본래의 수분함량을 기반으로 한 벼 자체의 호흡열 발산에 따른 온도상승이 주를 이루다가 점차 미생물의 번식이 왕성해지면서 이들의 작용과 벼 호흡작용이 함께 상승효과를 주어 더욱 온도상승을 가속화시키는 것으로 추정할 수 있었다. 그 과정에서 품종에 의한 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.
5. 강우나 이슬 등의 영향 없이 수확된 벼의 벌크백 보관 중 발현되는 최고온도는 수분함량과 직선적인 상관을 나타냈는데(2005: $r^2=0.89$, 2006: $r^2=0.87$), 회귀직선의 기울기와 절편은 수확년도의 기상과 미생물상에 따라 약간의 차이를 보이기는 하였으나 대체로 수분함량 1% 증가당 약 2.74-3.33℃ 정도의 최고온도의 상승을 예측할 수 있었다.
6. 벌크 백내 최고온도 발현부위는 기온에 따라 약간씩 변화되었는데, 일 평균기온이 15℃ 이상일 경우 중심축을 따라 3/4 높이에서 최고온도가 나타났고, 15℃이

하로 내려가면서 점차 하단 쪽으로 내려가는 경향을 보였다.

7. 벌크백내 온습도변화와 이취발생에 기준하여 볼 때 곡온 35°C 이상, 상대습도 93% 이상이 될 경우 변질우려가 있었고, 곡온 40°C 이상, 상대습도 95% 이상이 될 경우 세균이나 곰팡이 번식으로 부패 우려가 높았다.
8. 건조지연이 예상될 경우 비에 의한 큰 피해가 우려되지 않는 한 수확기를 다소 늦춰서 초기 벼 수분 22% 이하에 도달되었을 때 수확하는 것이 유리할 것으로 판단되었다.

인용문헌

- A.A.C.C. 1983. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, 8th Ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota 55121, USA. Method 02-03 and 80-60.
- Bautista, R.C., Siebenmorgen, T.J., and Counce, P.A. 2007. Rice kernel dimensional variability trends. *Applied Engineering in Agriculture* 23(2): 207-217.
- Berio, L.E., and Cuevas-Perez, F.E. 1989. Cultivar differences in milling yields under delayed harvesting of rice. *Crop Sci.* 29: 1510-1512.
- Bunyawanchakul, P, Walker, G.J., Sargison, J.E., and Doe, P.E. 2007. Modelling and simulation of paddy grain (rice) drying in a simple pneumatic dryer. *Biosystems Engineering* 96(3): 335-334.
- Chau, N.N. and Kunze, O.R. 1982. Moisture content variation among harvested rice grains. *Transactions of the ASAE* 25(4): 1037-1040.
- Dilday, R.H. 1989. Milling quality of rice: Cylinder speed vs grain moisture content at harvest. *Crop Sci.* 29: 1532-1535.
- Dillahunt, A.L., Siebenmorgen, T.J., Buescher, R.W., Smith, D.E., and Mauromoustakos, A. 2000. Effect of moisture content and temperature on respiration rate of rice. *Cereal Chem.* 77(5): 541-543.
- Kocher, M.F., Siebenmorgen, T.J., Norman, R.J., and Wells, B.R. 1990. Rice kernel moisture content variation at harvest. *Transactions of the ASAE* 11(5): 685-690.
- Li, C., Liu, J., and Chen, L. 2003. The moisture distribution of high moisture content rough rice during harvesting, storage, and drying. *Drying Technology* 21(6): 1115-1125.
- McCauley, G.N. and Way, M.O. 2002. Drain and harvest timing affects on rice grain drying and whole-milled grain. *Field Crops Research* 74: 163-172.
- Mutters, R. and Thompson, J. 2006. Effect of weather and rice moisture at harvest on milling quality of California medium-grain rice. *Transactions of the ASABE* 49(2): 435-440.
- Siebenmorgen, T.J. and Qin, G. 2005. Relating rice kernel breaking force distributions to milling quality. *Transactions of the ASAE* 48(1): 223-228.
- Siebenmorgen, T.J., Bautista, R.C., and Counce, P.A. 2007. Optimal harvest moisture contents for maximizing milling quality of long- and medium-grain rice cultivars. *Applied Engineering in Agriculture* 23(4): 517-527.
- Siebenmorgen, T.J., Bautista, R.C., and Meullenet, T-F. 2006. Predicting rice physicochemical properties using thickness fraction properties. *Cereal Chem.* 83(3): 275-283.
- Sutherland, J.W. and Ghaly T.F. 1990. Rapid fluidized bed drying in the humid tropics, pp 1-12. *Proceedings of the 13th ASEAN Seminar on Grain Post Harvest Technology, Brunai.*
- Zecchi, B. and Gerla P. 2007. Breakage and mass transfer models during drying of rough rice. *Drying Technology* 25: 1404-1410.