

圓形鐵製빈用 벼 自動吸濕裝置 開發

Automatic Re-Moisturizing Device for Cereal Grains Stored in Steel Bin with Stirring Device

금동혁* 박상현*
정희원 학생회원
D. H. Keum S. H. Park

1. 서언

함수율이 낮은 벼는 정미시에 많은 에너지가 소모될 뿐만 아니라 동할미가 증가하고 식미의 저하를 초래한다. 따라서, 과건조된 벼 또는 저장중에 함수율이 낮아진 벼는 정미에 적합한 함수율로 조절하여 도정 에너지의 증가와 싸라기의 발생을 억제하는 동시에 소비자의 요구에 부합되는 식미가 좋은 쌀을 생산하여야 한다.

정미에 적합한 현미의 함수율은 15.5~16.5%(w.b.)이며, 식미 유지에 가장 적절한 쌀의 함수율 범위는 15~16%(w.b.)로 보고되고 있다. 따라서, 도정과정에서 함수율이 0.5~1.0%(w.b.) 정도 감소하므로 도정전에 벼의 함수율을 16.0~16.5%(w.b.) 수준으로 조절하는 것이 가장 적절하다.

본 연구는 벼의 흡습특성을 구명하고 원형철제빈의 교반장치에 미립자의 수분을 분사하는 장치를 설치하여 벼를 교반하면서 적절한 함수율로 벼를 흡습시키는 장치를 개발하는데 있다. 이 장치의 장점은 벼를 흡습시키므로 현미 또는 백미를 흡습시키는 방법보다 동할의 위험이 적으며, 기존의 교반장치와 빈을 이용하여 균일한 흡습과 템퍼링을 수행하므로 시설비가 저렴하며, 저장빈에서 곡물이 대기하므로 다른 공정에 영향을 주지 않아 미곡종합처리장의 운영을 원활히 할 수 있는데 있다.

2. 벼 흡습실험

2.1 재료 및 방법

가. 실험재료

실험에 사용된 벼는 1997년 가을에 수확된 것으로 5℃ 저온저장고에 보관하였으며, 벼의 초기 평균함수율은 15.8%(w.b.), 현미의 초기 평균함수율은 16.2%(w.b.)이고 동할율은 약 0.4%로 나타났다. 시료를 실험조건에 알맞은 함수율로 조정하기 위하여 저온저장고에 보관중이던 벼를 얇게 편 상태로 음지에서 11.4~14.3%(w.b.)까지 건조하였다.

나. 실험방법

함수율 11.4, 12.3, 13.5, 14.3%(w.b.)의 벼의 함수율을 각각 3%씩 증가시키는 것을 목표로 하고 흡습율을 0.3, 0.15, 0.075, 0.038(%/w.b./hr) 4수준으로 설정하였다. 이에 필요한 수

* 성균관대학교 생명자원과학부 생물기전공학과

분의 양은 35.05~36.06g을 흡습율에 따라 10~80시간동안 각각 일정한 시간 간격을 두고 일정한 양으로 분무하였다.

다. 측정항목 및 방법

흡습완료후 12시간이 경과한 후에 12시간 간격으로 5회 시료를 채취하여 함수율과 동할율을 측정하였다. 흡습후 72시간이 지난 벼를 시험용 고무롤 현미기를 이용하여 체현한 후 함수율별 정백 소요시간을 측정하였으며, 정백 완료후 백도 및 식미를 측정하였다.

2.2 결과 및 고찰

가. 함수율 및 동할율 변화

흡습전 벼의 초기함수율은 11.4~14.3%(w.b.), 현미의 초기함수율은 11.7~14.5%(w.b.)이었으며, 초기동할율은 0.4~4.4%범위였다. 10~80시간 흡습후 벼의 함수율은 13.8~17.2%(w.b.), 현미의 함수율은 14.0~16.9%(w.b.), 동할율은 0.4~21%로 나타났다.

그림 2-1은 흡습율을 0.3%,w.b./hr으로 했을 때 초기함수율 별 동할율의 변화를 나타낸 것이다. 함수율이 낮은 11.4%(w.b.)인 벼에서 흡습후 12시간이 경과하자 동할율이 급속도로 증가한 것으로 나타났으며, 가장 많은 동할이 발생했다. 함수율이 13.5%(w.b.)의 벼는 흡습전 동할율이 약 4.4%로 가장 높았으나 흡습후에도 거의 동할율의 변화가 없었으며, 12.3%(w.b.)의 벼에서는 흡습후 12시간 경과후 동할율이 약간 증가하는 듯 하였으나 14.3%(w.b.)와 마찬가지로 시료채취 기간동안 동할이 거의 발생하지 않은 것으로 나타났다.

따라서, 흡습율 0.3%,w.b./hr일 때 함수율이 11.4%(w.b.)에서 동할이 가장 크게 증가하였으며, 그 이상의 함수율 즉, 12.3, 13.5, 14.3%(w.b.)일 때는 동할이 거의 나타나지 않았다.

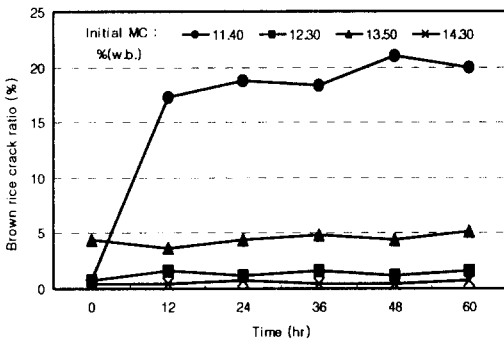


Fig. 2-1 Comparison of brown rice crack by initial moisture contents (absorption rate : 0.3%,w.b./hr)

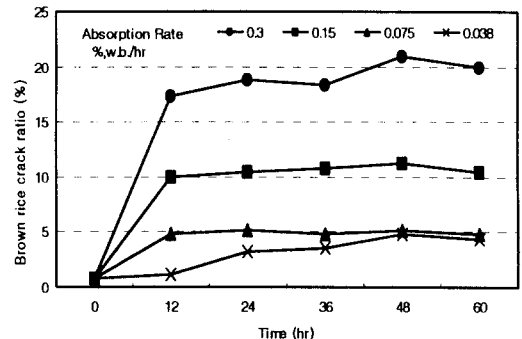


Fig. 2-2 Comparison of brown rice crack ratio for initial moisture content of 11.4%,(w.b) by moisture absorption rate

그림 2-2는 초기함수율 11.4%(w.b.)의 벼의 흡습율을 0.3, 0.15, 0.075, 0.038%,w.b./hr로 변화시켰을 때 동할율의 변화 경향을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 흡습율이 0.075%,w.b./hr이하 일 때는 동할율이 5%이하로 나타났다. 매우 과건조된 함수율 11.4%(w.b.)의 벼도 느린속도로 흡습시키면 동할의 증가를 크게 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

그림 2-3은 초기함수율 및 흡습율 별 현미의 동할율의 관계를 나타낸 것이다. 초기함수율이 낮은 11.4%(w.b.)의 벼는 흡습율이 0.075%,w.b./hr이하일 때 동할율이 5% 이하인 반면에 흡습율이 0.3%,w.b./hr일 때는 동할율이 21%까지 증가하는 경향을 보였다. 따라서, 초기함수율이 12.3, 13.5, 14.3%(w.b.)인 경우는 흡습율이 0.3%,w.b./hr 이하로 유지할 때 동할율은 거의 증가하지 않는 것으로 나타났다.

나. 흡습후 정백 소요시간

그림 2-4는 함수율별 흡습전·후 정백 소요시간을 나타낸 것이다. 흡습후 정백 소요시간은 초기함수율 11.4%(w.b.)에서 14.6%(w.b.)까지 흡습시킨 경우 15.9% 감소하였으며, 초기함수율 12.6%(w.b.)에서 15.3%(w.b.)까지 흡습시킨 경우 16.5% 감소하였으며, 함수율 13.7%(w.b.)에서 16.7%(w.b.)까지 흡습시킨 경우 18.8% 감소하였으며, 함수율 14.5%(w.b.)에서 16.9%(w.b.)로 흡습시킨 경우는 22.3% 감소한 것으로 나타났다. 이러한 정백 소요시간 감소는 소요전력의 감소를 의미한다.

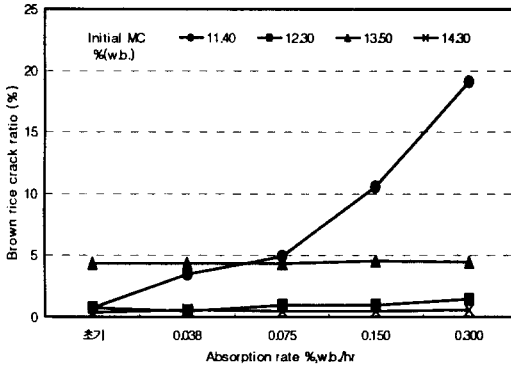


Fig. 2-3 Comparison of Brown rice crack ratio by initial moisture content and absorption rate

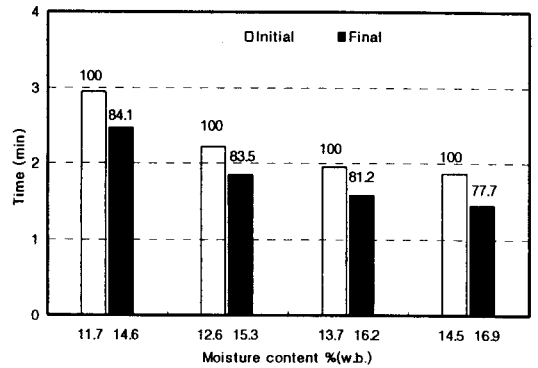


Fig. 2-4 Comparison of required milling times by initial and final moisture contents after adding water

다. 백도

그림 2-5는 초기함수율 및 흡습율 별 정백미의 백도를 비교한 것이다. 그림에서와 같이 흡습전 초기백도는 11.4%(w.b.)에서 가장 높게 나타났고, 12.3%(w.b.)에서 가장 낮은 백도로 나타났으나 흡습율에 따른 백도의 변화는 뚜렷한 경향이 없는 것으로 나타났다.

라. 식미

그림 2-6은 초기함수율 및 흡습율 별 식미치를 비교한 것이다. 초기식미치는 64.5~80.5 범위로 나타났으며, 흡습후 77.5~86.5범위로 나타났다. 식미치가 7.4~20.1% 증가한 것으로 나타났다. 초기함수율 11.4%(w.b.) 시료의 식미치는 64.5이었으며, 함수율 14.6%(w.b.)까지 흡습시킨후 식미치는 77.5로 가장 크게 증가하였다. 흡습율에 따른 식미치 변화는 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다.

2.3 요약 및 결론

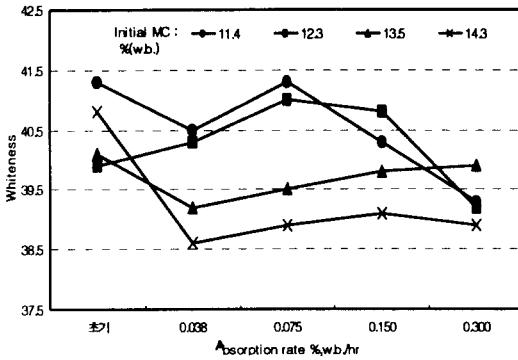


Fig. 2-5 Comparison of rice Whiteness by initial moisture contents absorption rates

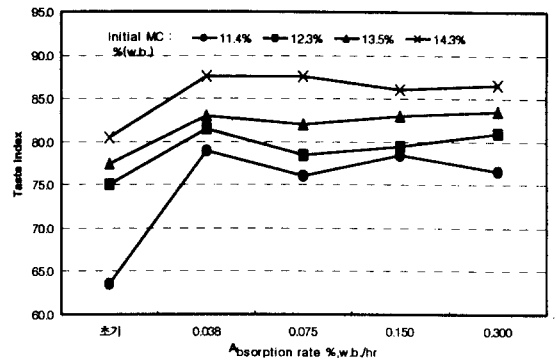


Fig. 2-6 Comparison of rice taste index by initial moisture contents absorption rates

1. 동할율은 초기함수율이 11.4%(w.b.)의 경우 흡습율이 0.075%,w.b./hr이하일 때 5%이하인 반면에 흡습율이 0.3%,w.b./hr일 때는 동할율이 21%까지 증가하는 경향을 보였으며, 초기함수율이 12.3~14.7%(w.b.)일 경우 흡습율을 0.3%,w.b./hr 이하로 유지할 때는 동할 발생이 거의 증가하지 않은 것으로 나타났다.
2. 흡습후 정백 소요시간은 초기함수율 11.4%(w.b.)에서 14.6%(w.b.)까지 흡습시킨 경우 15.9% 감소하였으며, 초기함수율 12.6%(w.b.)에서 15.3%(w.b.)까지 흡습시킨 경우 16.5% 감소하였으며, 함수율 13.7%(w.b.)에서 16.7%(w.b.)까지 흡습시킨 경우 18.8% 감소하였으며, 함수율 14.5%(w.b.)에서 16.9%(w.b.)로 흡습시킨 경우는 22.3% 감소한 것으로 나타났다. 이러한 정백 소요시간 감소는 소요전력의 감소를 의미한다.
3. 흡습전 초기백도는 11.4%(w.b.)에서 가장 높게 나타났고, 12.3%(w.b.)에서 가장 낮은 백도로 나타났으나, 흡습율에 따른 백도의 변화는 뚜렷한 경향이 없는 것으로 나타났다.
4. 초기식미치는 64.5~80.5범위로 나타났으며, 흡습후 77.5~86.5범위로 나타났다. 식미치가 7.4~20.1% 증가한 것으로 나타났다. 초기함수율 11.4%(w.b.) 시료의 식미치는 64.5이었으며, 함수율 14.6%(w.b.)까지 흡습시킨후 식미치는 77.5로 가장 크게 증가하였다. 흡습율에 따른 식미치 변화는 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다.

3. 원형철제빈용 벼 자동흡습장치 개발

3.1 구조 및 기능

자동흡습장치는 그림 3-1과 같이 분사노즐, 유량제어 유니트(water flow rate control unit), 펌프(1.5HP) 및 물탱크(용량 200 l), 동력 및 펌프제어 유니트(power & pump control unit), 흡습제어장치(main control board) 및 호스로 구성되어 있다.

저장빈의 교반장치의 수직오거 상부에 분무노즐이 설치되어 있으며 교반장치와 함께 저장빈내를 회전하면서 이동한다. 분무노즐에서 벼 퇴적층의 상면에 물을 분사하면 상부의 젖은 벼와 하부의 건조된 벼가 혼합되면서 저장벼의 함수율이 조절된다.(그림3-2)

흡습제어장치는 입력된 초기함수율과 최종함수율 및 곡물의 무게와 유량제어 유니트의

유량계에서 전송된 유량정보를 기초로 내장된 마이크로 프로세서에 의해 물의 총 분사량과 분사시간을 계산하며, 분사시간이 종료되면 동력 및 펌프제어 유니트에 종료신호를 보내어 펌프를 정지시킨다.

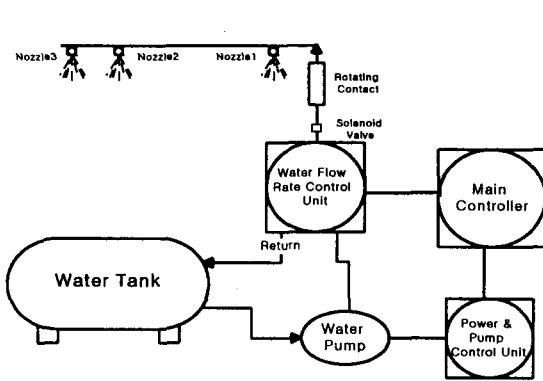


Fig. 3-1 Schematic of the automatic rewetting system

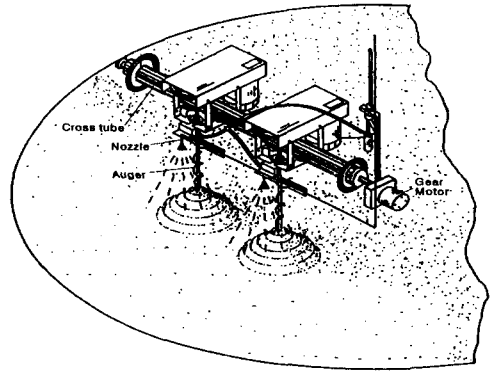


Fig. 3-2 An view of spraying water by nozzles mounted in the upper position of grain bin

유량제어 유니트는 압력게이지, 압력조절밸브, 유량계 및 역류밸브로 구성되어 있다. 펌프에서 공급된 물의 압력은 압력조절밸브에 의하여 조절되며 과량의 물은 역류밸브를 통하여 물탱크로 회수된다. 유량계에 의하여 측정된 유동률(ℓ / min)은 흡습제어 시스템으로 전송된다.

동력 및 Pump제어반은 전원을 입력받아서 펌프로 보내지며 흡습제어 시스템에서 종료 신호가 전송되면 전원을 차단하여 펌프를 정지시키는 역할을 한다.

3.2 성능평가

가. 실험장치 및 재료

앞에서 설명한 자동흡습장치를 이용한 흡습실험을 강원도 횡성군 횡성농협의 미곡종합처리장에서 수행하였다. 용량 300ton의 원형철제빈(지름 10.06m)에 그림 3-3과 같이 자동흡습장치를 설치하였다. 3본의 교반기에 분무용량(260g/min)이 동일한 3개의 분무노즐을 장착하였다. 벼는 '97년 가을에 수확하여 약 5개월간 저장된 것으로, 여러 품종이 혼합된 것이었다. 실험전의 벼의 함수율은 14.7%(w.b.), 중량은 197톤, 퇴적고는 4.0m이었다. 함수율은 위치 및 퇴적 깊이 별로 균일한 분포를 나타내었다.

시료채취 위치는 그림 3-4와 같이 빈의 중앙과 빈 벽근처, 빈 중앙에서 동, 서, 남 및 북쪽 방향으로 2m의 간격으로 나누고, 벼 퇴적깊이별로 바닥, 바닥에서 1m, 2m, 3m, 4m(표면)부분에서 총 65지점에서 시료를 채취하였다.

나. 실험방법

함수율 14.7%(w.b.)의 벼의 함수율을 16%(w.b.)까지 1.3%(w.b.)의 함수율을 증가시키는 데 목표를 두었으며, 이에 필요한 물의 양 2.9ton을 91시간 동안 교반기의 작동과 동시에 분무하였다. 교반기의 작동과 동시에 분무율(ℓ / hr)로 분무작업을 91시간 동안(3월 23일~3월

27일)연속적으로 실시하였다.

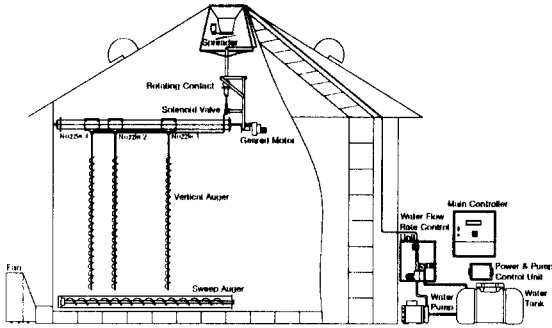


Fig. 3-3 Schematic layout of the automatic rewetting system mounted in round steel bin

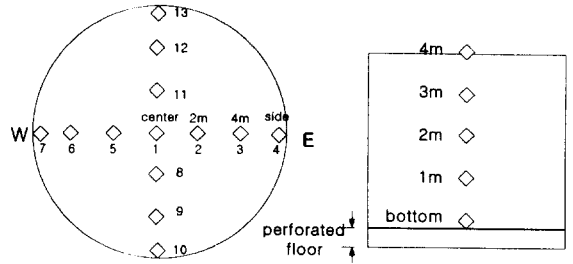


Fig. 3-4 Sampling locations in the bin

3.3 결과 및 고찰

가. 함수율 변화

빈 내 벼의 평균 함수율은 흡습전에 14.7%(w.b.)에서 91시간 흡습후에 16.9%(w.b.)를 나타내어 2.2%(w.b.) 포인트 증가하였다. 흡습율은 0.0244%,w.b./hr로 일반적인 상온통풍 건조의 건감율과 비슷한 아주 낮은 값을 나타내었다.

교반장치의 구조상 빈의 벽체 가까운 부분의 곡물은 교반장치에 의하여 혼합되지 않는다. 이러한 부분을 비혼합층으로 명명하고 그 외의 부분은 혼합층으로 명명하였다. 그림 3-5는 빈의 중앙부, 중앙부에서 사방으로 2m 및 4m부분에서 깊이별로 측정된 함수율의 평균치의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 중앙부의 함수율증가가 가장 빠르게 나타나고 있으며, 중앙부를 제외한 혼합층의 함수율은 중앙부와 거의 1%(w.b.) 낮은 값으로 증가하였다. 반면에 빈 벽체 부근의 비교반층의 함수율은 거의 변하지 않았다. 중앙부의 함수율 증가가 높게 나타나는 현상은 수직오거의 궤적이 중앙에 집중되고 곡물의 양에 비하여 상대적으로 중앙부에 많은 양의 물이 분사되어 나타나는 현상으로 판단된다. 따라서, 중앙부에는 분무용량이 작은 노즐을 설치하여 수분첨가를 줄이고 빈벽쪽으로 갈수록 분무용량이 큰 노즐을 장치하여 수분첨가를 늘리면 이러한 수분차이를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

그림 3-6은 빈의 바닥, 바닥으로부터 각각 1m, 2m, 3m 및 4m(표면)의 곡물 퇴적깊이별 함수율 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 바닥으로부터 2m, 3m, 4m의 깊이 순으로 함수율의 증가가 빠르게 나타났으며, 1m 깊이와 바닥층은 거의 비슷한 함수율 증가를 나타내었다. 2m 깊이와 여타 깊이에서의 함수율의 차이가 흡습중에는 최대 2.1%(w.b.)까지 발생하였으나 흡습이 종료된 91시간 후에는 깊이별 함수율 차이의 최대치는 0.4%(w.b.)로 감소하여 빈 벽체 부근을 제외한 전층이 균일하게 혼합되면서 균일한 흡습이 이루어진 것으로 판단할 수 있다.

나. 품질변화

표 1은 흡습전과 후의 벼의 함수율 변화와 품질평가의 지표가 되는 현미 동할율, 백미 쇠미율, 식미 및 백도를 비교한 것이다. 현미의 동할율은 초기 7.5%에서 7.7%로 0.2% 증가

한 것으로 나타났으며, 백미의 쉐미율은 10.2%에서 10.9%로 0.7%로 증가하였다.

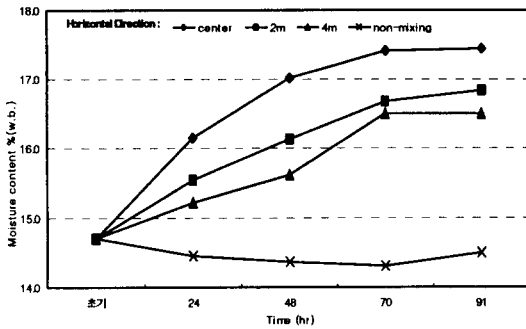


Fig. 3-5 Average moisture content changes of rice layers at the bin center, 2m and 4m from center in horizontal direction, and of non-mixing layers

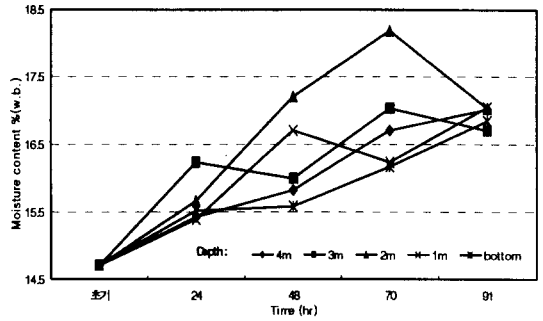


Fig. 3-6 Average moisture content changes of rice in depth of 1m, 2m, 3m, and 4m(surface) from bottom, and bottom respectively

이와 같이 흡습과정에서 동할율의 증가가 거의 나타나지 않는 것은 흡습율이 아주 낮게 느린 속도로 흡습이 진행되었기 때문으로 판단된다. 식미치는 흡습전 79.3에서 흡습후 80.5를 나타내어 1.2 증가하였다. 시료를 시험용 현미기와 정미기를 이용하여 도정 후 백도를 측정 한 결과 흡습전에 37.0에서 흡습후에 35.0를 나타내어 2.0 감소하였다. 이와 같은 백도의 감소는 육안으로 큰 차이를 나타내지 않으므로 상품가치에는 거의 영향을 주지 않는 수준으로 판단되었다.

Table 1. Changes of moisture contents and quality factors of rice after adding moisture

Items	Initial conditions (1)	After adding moisture				Differences (2)-(1)
		Center	2m from center	4m from center	Average (2)	
Moisture content % (w.b.)	14.7 ±0.17	17.4	16.8	16.5	16.9 ±0.67	+2.2
Brown rice crack ratio (%)	7.5 ±0.26	8.0	8.0	7.0	7.7 ±0.47	+0.2
Broken white rice ratio (%)	10.2 ±0.26	10.3	12.5	9.9	10.9 ±1.17	+0.7
Taste Index	79.3	82.0	79.3	80.3	80.5 ±1.11	+1.2
Whiteness	37	35	35	34	35 ±0.47	-2.0

3.4 요약 및 결론

1. 빈 내 벼의 평균함수율은 14.7%(w.b.)에서 91시간 동안 흡습후 2.2%(w.b.) 증가한 16.9%로 나타났으며, 흡습율은 0.0244%(w.b./hr)로 낮은 수준을 나타내었다.
2. 빈 내 벼의 함수율의 증가는 빈 중앙부에서 가장 높게 나타났으며, 중앙에서 벽체 쪽으로 갈수록 감소하여 벽체 부근의 비교반층의 함수율의 증가는 없었다. 이는 교반오거의

케적이 중앙에 집중되고 곡물의 양에 비하여 상대적으로 중앙부에 많은 양의 물이 분사되어 나타나는 현상으로 판단된다. 따라서, 중앙부에는 분무용량이 작은 노즐을 설치하여 수분침가를 줄이고 빈 벽쪽으로 갈수록 분무용량이 큰 노즐을 장치하여 수분침가를 늘리면 이러한 수분차이를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

3. 벼의 퇴적깊이별 함수율 변화는 흡습도중에는 상당한 차이를 나타내었으나, 흡습이 완료된 91시간 후에는 함수율 편차가 거의 없이 고르게 흡습되었다.
4. 현미의 동할율은 흡습전 7.5%에서 흡습후 0.2% 증가한 7.7%를 나타냈으며, 백미의 쇄미율은 10.2%에서 10.9%로 0.7%로 증가하였다. 이와 같이 흡습과정에서 동할율의 증가가 거의 나타나지 않는 것은 흡습율이 아주 낮게 느린 속도로 흡습이 진행되었기 때문으로 판단 된다.
5. 식미치는 흡습전 79.3에서 흡습후 80.5를 나타내어 1.2 증가하였다. 일반적으로 식미치 ± 0.5 의 증감이 식미의 영향을 반영하는 것으로 간주하므로, 식미치 1.2의 증가는 뚜렷한 식미의 증가로 판단할 수 있다. 이와 같은 식미의 증가는 함수율의 증가에 기인한 것으로 판단된다.
6. 백미의 백도를 측정된 결과 흡습전에 37.0에서 흡습후에 35.0를 나타내어 2.0 감소하였다. 이와 같은 백도의 감소는 육안으로 큰 차이를 나타내지 않으므로 상품가치에는 거의 영향을 주지 않는 수준으로 판단하였다.

참고 문헌

1. 고헌균, 금동혁 외 11인. 1995. 미곡종합처리시설-이론과 실무. 문운당
2. 고헌균, 금동혁 외 5인 1993. 농산가공기계학. 향문사
3. 금동혁, 1991, 시물레이션에 의한 산물저장 벼의 온도, 함수율 및 품질변화의 예측. 한국 농업기계학회지 16(1)
4. 금동혁. 1982. 벼의 상온통풍건조 잠재력에 관한 연구. 성대논문집 32집
5. 고헌균, 금동혁 외 7인. 1997. 농협 미곡종합처리장 설계기준. 농협중앙회 미곡종합처리장 자문단
6. 김영진. 1997. 현미의 가압흡습특성. 성균관대학교 석사학위논문
7. 김종순. 1998. 단립종 벼의 수분흡습특성. 서울대학교 석사학위논문
8. 山下律也. 1993. 農業機械・施設の自動化と新技術. 日本農業機械學會 pp 65~67.
9. Lan, Y. and O. R. Kunze. 1996a. Fissure characteristics related to moisture adsorption stresses in rice. Transactions of the ASAE 39(6):2169-2173.
10. Barker, J. J. 1965. Heat transfer in packed beds. Ind. Eng. Chem. 57: 43-51.
11. Henderson, S.M. 1952. A basic concept of equilibrium moisture. Agr. Eng. 33 : 29~31