

원형철제빈용 벼 자동흡습장치 개발에 관한 연구 (I)

- 벼의 흡습특성 -

Development of Automatic Rewetting System for Rough Rice Stored in Round Steel Bin with Stirring Device

- Adsorption characteristics of rough rice -

김재열	금동혁	김 훈	박상현
정회원	정회원	정회원	정회원
J. Y. Kim	D. H. Keum	H. Kim	S. H. Park

SUMMARY

Milling the rice with low moisture requires more energy, produces more cracked rice, and results in reducing taste of cooked rice. Accordingly, it is necessary to add moisture to the rice with low moisture to obtain optimum moisture level for milling and taste of rice.

This study was performed to evaluate the influence of initial moisture content and absorption rate on rice crack, milling energy and whiteness of milled rice and to obtain the information for design of rewetting system mounted on stirring device in grain bin. The tests were conducted for the four levels of initial moisture content in the range of 11.4 to 14.5%(w.b.) and six levels of absorption rate in the range of 0.04 to 1.0%, w.b./hr.

In the case of lower moisture content below 12%(w.b.), crack ratios of brown rice were remarkably high regardless of initial moisture contents. Therefore, it was found that rough rice below 12%(w.b.) in initial moisture content could not rewetted by spraying water without crack generation of low level.

Absorption rate must be below 0.3%, w.b./hr to maintain crack ratio increase of less than 1% regardless of initial moisture contents. In the case of allowable crack ratio increase of 2% and 5%, it was found that the maximum absorption rate was respectively 0.6%, w.b./hr and 1.0%, w.b./hr in the initial moisture content of above 13.5%(w.b.).

Rewetting the rough rice in moisture content of 11.4 to 14.5%(w.b.) to 14.3 to 16.9%(w.b.) decreased milling energy consumption by 15.9 to 22.3%. The effect of energy saving was higher in the samples of higher initial moisture content. Whiteness of milled rice was decreased by 0.5 to 1.5.

Keywords : Adsorption rate, Crack ratio, Milling energy, Whiteness.

1. 서 론

함수율이 낮은 벼는 정미과정에서 많은 전력이 소비되고 곡온이 과도하게 상승하여 동할이 증가

하고 도정수율이 저하된다. 백미의 함수율은 식미에 매우 중요한 요인이다. 함수율이 15.5~16.5%(w.b.)인 백미는 취반시 물속에 침지되어 있어도 균열이 발생되지 않고 완전한 입자로 취반되기 때

The article was submitted for publication in July 2001; reviewed and approved by the editorial board of KSAM in August 2001. The authors are Jae Youl Kim, Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Sangju University, Korea, Dong Hyuk Keum, Professor, Hoon Kim and Sang Hyeon Park, Research Associate, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, SungKyunKwan University, Korea; The corresponding author is D. H Keum, Professor, Dept of Bio-Mechatronic Engineering, SungKyunKwan University, Suwon, 440-746, Korea. E-mail <dhkeum@yurim.skku.ac.kr>.

문에 맛의 요소를 이루는 점도와 경도가 적절하게 유지되어 식미가 양호하게 된다. 그러나, 함수율이 낮은 백미는 칩지시 흡수속도가 급속히 상승하여 균열이 발생하고, 다량의 전분질이 유출되어 식미 저하의 중요한 요인이 된다. 따라서, 건조 및 저장 중에 함수율이 낮아진 벼를 정미에 적합한 함수율로 조절하면 도정과정에서 동할 감소, 에너지 절감 및 식미를 향상시킬 수 있다.

함수율을 조절하는 방법에는 고습의 공기 또는 미세한 물입자를 직접 분사하여 가습하는 방법과 낮은 함수율의 곡립을 높은 함수율의 곡립과 혼합하는 간접적인 방법이 있는데 전자를 주로 이용하고 있다. 함수율이 낮은 곡립을 가습하는데 있어서 가장 중요한 요인은 동할의 발생 없이 수분을 흡습시키는 데 있다. 현미와 백미의 경우 0.2~0.3%, w.b./hr를 동할 발생을 억제할 수 있는 최대 흡습속도로 보고되고 있다(Yamashita, 1991).

현미를 흡습시킬 경우 템퍼링 과정을 길게 설정하여야 하고, 가습과 템퍼링을 반복적으로 수행해야 한다. 또한 수분이 현미의 미강층을 침투하여 백미층으로 이동이 용이하지 않아 정미과정에서 미강층에 있는 수분은 대부분 제거되므로 흡습의 효과를 보기 위해서는 별도의 조작이 필요하다. 백미의 경우 가습에 대한 흡습성이 현미보다 높다. 특히, 정미기로부터 배출되는 백미의 온도는 통상 30℃내외를 유지하므로 이 온도를 이용할 경우 흡습의 효과를 현저히 높일 수 있으나 흡습성이 크고 곡온이 상승한 백미에 가습하는 조작은 동할의 발생이 크게 우려된다.

이와 같이 현미나 백미의 수분을 조절할 경우 동할 발생 위험이 크기 때문에 흡습속도와 초기 및 최종 함수율이 크게 제한을 받게 된다. 따라서 실제 도정시설에서 현미나 백미의 함수율을 조절하기 위해서는 정교한 흡습장치와 상당한 템퍼링 시설을 갖추어야 한다. 그러나 벼는 현미나 백미와 달리 흡습속도, 초기 및 최종 함수율에 대한 제한이 상당히 완화될 것으로 예상된다. 또한 벼는 미곡종합처리장에서 원형철제빈에 산물상태로 장기간 저장하고 있기 때문에 기존의 저장 시설에서 함수율을 조절할 수 있는 장치가 개발된다면 저렴한 비용으로 동할 위험없이 안전하게 수분 조절이 가능할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구는 원형철제빈에 저장중인 벼의 수분을 도정에 적합한 수준으로 조절할 수 있는 장치를 개발하기 위한 기초 연구로 수행되었다. 이를 위해서는 벼에 물을 분사하여 혼합할 경우 초기함수율, 흡습속도(물 분사량), 최종함수율 등이 동할발생, 정미 소요동력, 백도 등에 미치는 영

향의 분석이 우선되어야 한다.

국내에서 현미와 백미의 흡습특성에 관한 연구 결과는 다소 보고되고 있으나 벼의 흡습특성에 대해서는 아주 미미한 실정이다. Kim(1996)은 현미를 박층상태에서 가압하여 압력 및 온도 조건에 따른 흡습속도와 동할율과의 상관관계를 제시하였다. Han 등(2001)은 초기함수율 13~15%(w.b.)의 현미에 각각 0.4, 0.8% 함수율을 상승시켜 경과 시간에 따라 함수율, 동할율, 완전립 및 동할립 강도 변화 등을 측정하여 예측모델을 제시하였다. Kim 등(1998)은 항온흡습기를 이용하여 온도와 상대습도를 독립변수로 하는 단립종 벼의 흡습방정식과 흡습시 동할을 측정하여 동할 발생 방정식을 제시하였다.

본 연구의 목적은 초기함수율 4수준, 흡습속도(물 분사율) 6수준 범위에서 벼에 물을 분사하여 혼합할 경우 흡습전·후의 함수율, 동할율의 경시적인 변화, 정미 소요시간 및 백도를 측정하여 흡습특성을 구명하는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

공시재료는 1997년 10월 경기도 수원지역에서 수확한 일품벼로 음건에서 11.4~14.5%(w.b.)의 4수준으로 조절하여 정선 후 저온에서 보관하였다. 실험시작 24시간 전에 상온에 방치하여 주위 공기 온도와 평형을 이루도록 하였다.

나. 실험방법

함수율은 11.4~14.5%(w.b.)의 4수준, 흡습속도는 0.04, 0.08, 0.15, 0.3, 0.6 및 1.0% (w.b./hr)의 6수준으로 하였으며, 시료의 초기중량은 1kg으로 하였다. 그림 1과 같이 스테인레스 재질의 원통형 시료통에 노즐과 곡물 혼합용 오거를 설치하고, 노즐을 이용하여 미세립의 물을 시료에 분무하면서 오거를 작동하여 시료를 충분히 혼합하여 흡습시켰다. 각각의 시료에 대해서 약 3%(w.b.)의 함수율이 증가하도록 하였다. 함수율을 3%(w.b.) 증가시키는데 필요한 물의 양은 함수율 11.4%(w.b.)의 벼의 경우 35.1g이며, 흡습속도에 따라 시간당 분무량을 계산하여 매시 고르게 분무하여 혼합하였다. 물의 분사 시간은 초기함수율 및 흡습속도에 따라 흡습시간은 3~80시간 소요되었으며, 상온에서 수행하였다.

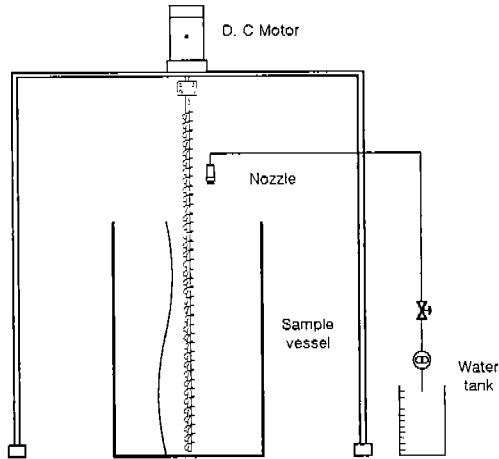


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

흡습 과정에서 12시간 간격으로 40g의 시료를 채취하여 함수율과 동할율을 측정하였다. 또한, 초기 및 흡습 후의 시료를 채취하여 정미 소요시간과 백도를 측정하였다.

함수율은 단립수분계(CTR-800, S. SEIKI, Japan)를 이용하였으며, 동할율은 현미 250립을 동할립 관별기(DC-50, S. SEIKI, Japan)를 이용하여 육안으로 측정하였다. 정미 소요에너지는 벼를 시험용 고무롤 현미기(SYTH-88, SSANGYONG, Korea)를 이용하여 제현한 후 200g의 현미를 시험용 정미기(MC 90A, TOYO, Japan)를 이용하여 현백율이 92%에 도달하는 시간과 전류 및 전압을 측정하여 환산하였다. 백도는 착색립과 이물질을 정선한 후 백도계(C-300, KETT, Japan)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 동할율 변화

초기함수율 11.4~14.5%(w.b.)의 시료에 물을 분사하면서 혼합하여 함수율을 약 2.4~2.9%로 증가시켰으며, 흡습 후 최종함수율은 14.3~16.9%(w.b.)에 도달하였다. 그림 2~그림 7은 흡습속도 0.04~1.0%, w.b./hr일 때 초기함수율에 따른 동할율의 증가 경향을 경시적으로 나타낸 것이다.

그림 2에서와 같이 흡습속도 0.04%, w.b./hr에서 초기함수율이 11.4%(w.b.)인 경우 동할율은 24시간 경과 후에 2.4% 증가하였으며 그 이후에는 2.8~4.0%를 유지하였다. 초기함수율 12.3%(w.b.)의 시

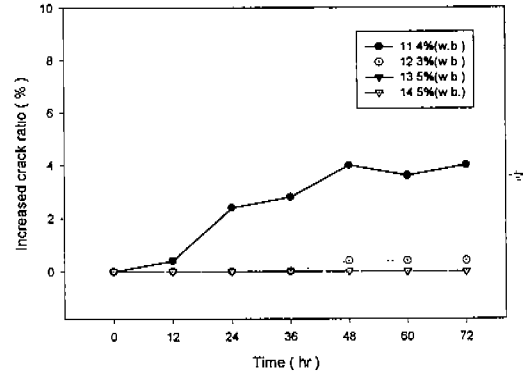


Fig. 2 Influence of initial moisture contents on cracked rice ratio during rewetting of rough rice at absorption rate of 0.04%, w.b./hr.

료는 처음 36시간 동안에는 동할의 증가가 없었으며 48시간 후 동할율은 최고 0.4% 증가하여 이 수준이 유지되었다. 초기함수율 13.5%(w.b.)와 14.5%(w.b.)의 시료에서는 동할이 전혀 증가하지 않았다.

그림 3에서와 같이 흡습속도 0.08%, w.b./hr의 경우 초기함수율이 11.4%(w.b.)인 시료에는 약 30시간 동안 물을 분사하였으며, 함수율은 12시간 경과 후 12.4%(w.b.), 36시간 경과 후 14.3%(w.b.)에 도달하였다. 동할율은 12시간 경과 후에 4.0% 증가하였으며 그 이후에는 4~4.4%를 유지하였다. 초기함수율 12.3%(w.b.)의 시료는 처음 12시간 동안에는 동할의 증가가 없었으며 24시간 후 동할율은 최고 0.4% 증가하여 이 수준이 유지되었다. 초기함수율 13.5%(w.b.)인 시료는 60시간 경과 후에 동할율은 최고 0.4% 증가하여 이 수준이 유지되었다. 초기함수율 14.5%(w.b.)인 시료에서는 동할이 전혀 증가하지 않았다.

그림 4는 흡습속도가 0.15%, w.b./hr인 경우이다. 그림에서와 같이 초기함수율이 11.4%(w.b.)인 시료의 경우 동할율의 증가는 12시간 경과 후 9.2%, 24시간 경과 9.6%, 48시간 경과 후 10.4%로 나타났으며 그 이후에는 9.6%로 나타났다. 초기함수율 12.3%와 13.5%인 벼는 36시간 경과 후 동할율의 증가는 최고 0.4%에 이르러 이 수준을 유지하였다. 초기함수율 14.5%(w.b.)인 시료에서는 48시간 경과 후 동할율 증가는 최고 0.4%에 이르러 이 수준을 유지하였다.

그림 5는 흡습속도 0.3%, w.b./hr인 경우이다. 그림에서와 같이 초기함수율이 11.4%(w.b.)일 때

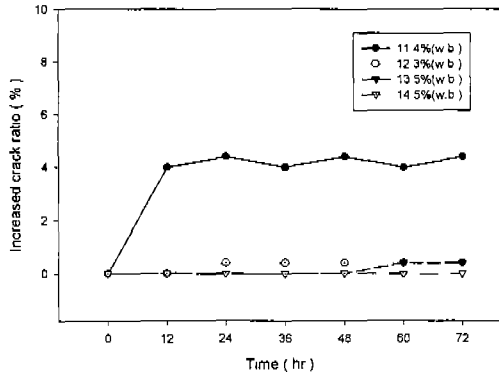


Fig. 3 Influence of initial moisture contents on cracked rice ratio during rewetting of rough rice at absorption rate of 0.08%, w.b./hr.

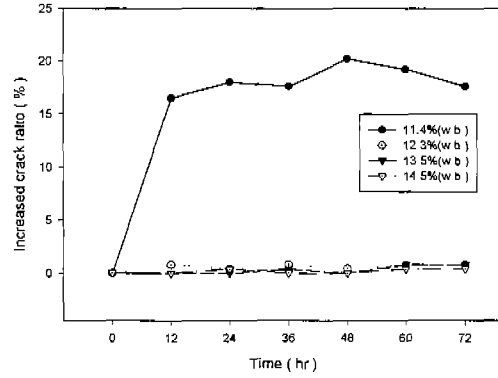


Fig. 5 Influence of initial moisture contents on cracked rice ratio during rewetting of rough rice at absorption rate of 0.3%, w.b./hr.

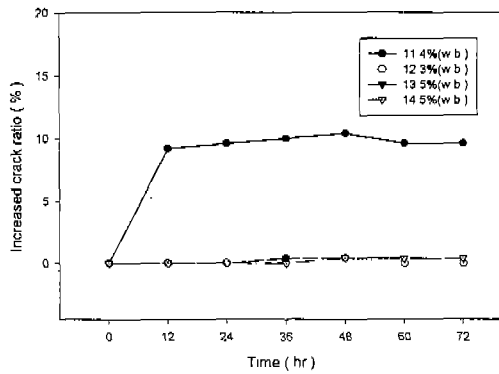


Fig. 4 Influence of initial moisture contents on cracked rice ratio during rewetting of rough rice at absorption rate of 0.15%, w.b./hr.

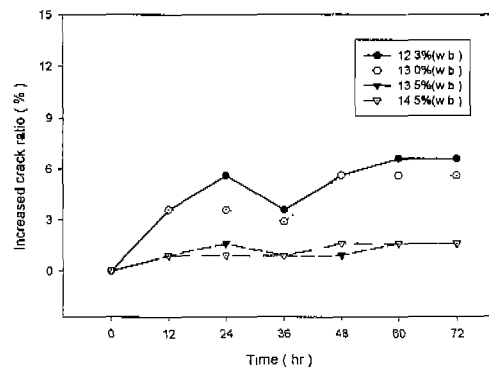


Fig. 6 Influence of initial moisture contents on cracked rice ratio during rewetting of rough rice at absorption rate of 0.6%, w.b./hr.

12시간 경과 후 동할율이 16.5% 증가하였으며 48시간 경과 후에는 20.2%로 크게 확대되었다. 초기함수율 12.3%(w.b.)인 시료는 12시간 경과 후 동할율을 증가한 0.8%이었으며 이후에는 이 수준이 유지되었다. 초기함수율이 13.5%(w.b.)일 때 36시간 경과 후 최초로 동할율 증가는 0.4%로 나타났으며 60시간 후 0.8%로 증가하였다. 초기함수율 14.5% (w.b.)의 시료는 24시간 후 최초로 0.4%의 동할율 증가가 나타났으며 이 후에는 이 수준이 유지되었다.

그림 6는 흡습속도 0.6%, w.b./hr인 경우이다. 그림에서와 같이 초기함수율이 12.3%(w.b.)인 시료의

경우 동할율 증가는 12시간 경과 후 3.6%, 24시간 경과 후 5.6%, 60시간 경과 후 최고 6.6%이 이르렀다. 초기함수율 13.0%(w.b.)인 시료의 경우 동할율 증가는 12시간 경과 후 3.6%, 48시간 경과 후 최고 5.6%로 나타났다. 초기함수율 13.5%(w.b.) 및 14.5%(w.b.)인 시료의 경우 동할율 증가는 12시간 경과 후 0.9%, 24시간 경과 후 최고 1.6%로 나타났다.

그림 7은 흡습속도 1.0%, w.b./hr인 경우이며, 이 경우에는 처음 3시간 내로 물의 분사가 종료되었다. 그림에서와 같이 초기함수율이 12.3%(w.b.)일 때 동할율 증가는 12시간 경과후 2.9%, 24시간 경

과 후 10.2%, 48시간 경과 후에 8.2%, 60시간 경과 후 10.2%로 나타났다. 초기함수율 13.0%(w.b.)일 때 동할을 증가는 12시간 경과 후 3.6%, 24시간 경과 후 4.2%, 60시간 경과 후 최고 5.6%에 이르렀다. 초기함수율 13.5%(w.b.)일 때 동할을 증가는 24시간 후 1.6%, 36시간 후 최고 3.6%로 나타났다. 초기함수율 14.5%(w.b.)일 때 동할을 증가는 24시간 후 0.9%, 72시간 후 3.6%로 나타났다.

그림 8은 초기함수율 및 흡수속도가 동할을 발생에 대한 영향을 나타낸 것이다. 여기서 동할을 증가는 72시간 경과후의 동할을 증가이며 최고 동할을 증가를 나타내었다. 그림에서와 같이 초기함수율이 낮을수록 흡수속도가 빠를수록 동할 발생이 증가하는 것으로 나타났다. 초기함수율이 12%(w.b.)이하일 경우에는 0.04%, w.b./hr 이상의 흡수 속도에서는 흡수속도에 관계없이 동할율이 크게 증가하였으며, 물의 분사와 혼합에 의한 흡수는 거의 불가능한 것으로 추정되었다.

흡수에 의한 동할을 증가의 허용한계를 1.0%로 할 때, 그림 8에서와 같이 초기함수율이 12.0%(w.b.)이상일 때 초기함수율에 관계없이 흡수속도를 0.3%, w.b./hr이하로 유지해야 하는 것으로 나타났다. 또한 동할을 증가의 허용한계를 2.0% 및 5%로 할 경우, 초기함수율 13.5%(w.b.) 이상의 벼인 경우에만 흡수속도를 각각 0.6%, w.b./hr 및 1.0%, w.b./hr까지 증가시킬 수 있는 것으로 나타났으며, 초기함수율이 12.0~13.5%(w.b.) 범위일 경우에는 흡수속도를 0.3%, w.b./hr 이하로 유지해야 하는 것으로 나타났다. 또한 초기함수율이 12%(w.b.) 이하일 경우에는 흡수속도를 0.08%, w.b./hr

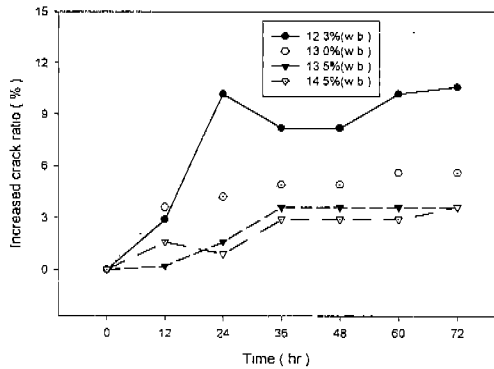


Fig. 7 Influence of initial moisture contents on cracked rice ratio during rewetting of rough rice at absorption rate of 1.0%, w.b./hr.

이하로 유지해야 하는 것으로 나타났다.

나. 정미 소요에너지

그림 9는 초기 및 흡수 후의 함수율 별 정미 소요에너지를 비교한 것이다. 그림에서와 같이 초기 함수율 11.4%(w.b.)의 벼 및 흡수 후 함수율 14.3%(w.b.) 벼의 정미소요에너지는 각각 268.9 kWh/kg 및 226.2kWh/kg로 나타나 흡수한 경우 약 15.9%의 에너지가 절감되는 것으로 나타났다. 초기함수율 12.3%(w.b.)의 벼를 15.0%(w.b.)까지 흡수하여 정미한 경우는 16.5%의 에너지가 절감되었으며, 초기함수율 13.5%(w.b.)의 벼를 16%(w.b.)까지 흡수하여 정미한 경우는 18.8%의 에너지가 절감되는 것

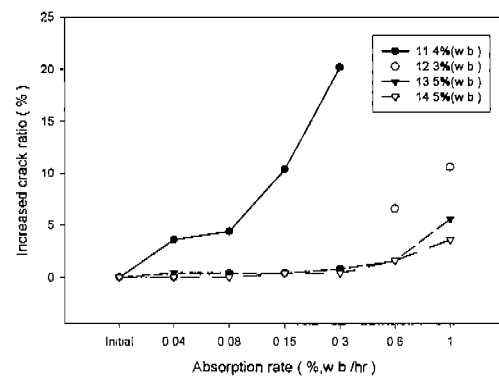


Fig. 8 Influence of initial moisture contents and absorption rates on maximum cracked rice ratio during rewetting of rough rice.

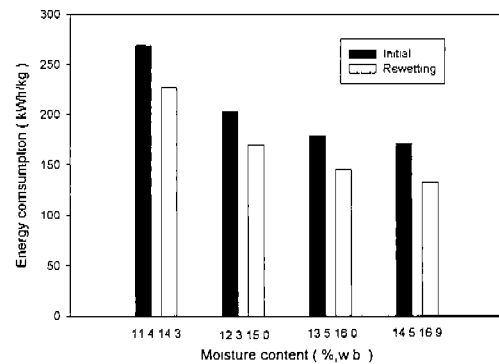


Fig. 9 Comparison of milling energy consumptions of initial and rewetted rough rice.

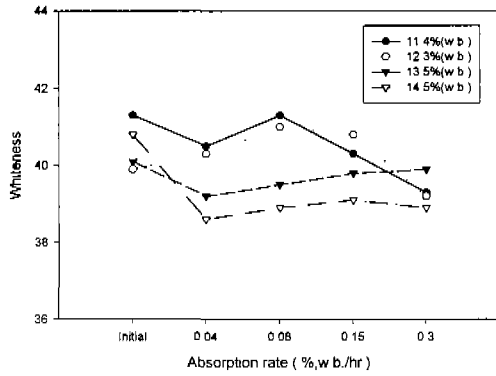


Fig. 10 Influence of initial moisture content and absorption rates on whiteness of white rice.

으로 나타났다. 초기함수율 14.5%(w.b.)의 벼를 16.9%(w.b.)까지 흡습하여 정미한 경우는 22.3%의 에너지가 절감된 것으로 나타났다. 이와 같이 초기함수율이 높을수록 흡습 후의 정미 소요에너지 절감 효과는 크게 나타났다.

다. 백 도

그림 10은 초기 및 흡습 후의 백미의 백도 변화를 흡습속도 별로 비교한 것이다. 그림에서와 같이 백도는 초기에 39.9~41.3로 나타났으며, 흡습속도가 0.04%, w.b./hr인 경우 백도는 38.4~40.5로 상당히 저하하였고, 0.3%, w.b./hr인 경우 38.9~39.9로 나타났다. 일반적으로 백도는 함수율이 낮을수록 높게 나타났으며 흡습 후에 백도의 감소폭이 크게 나타났다. 또한 흡습속도가 빠를수록 백도의 감소는 크게 나타났으며, 흡습후 백도의 감소는 0.5~1.5 범위로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 원형철제빈에 저장중인 벼의 함수율을 도정 및 식미유지에 적절한 수준으로 조절하기 위한 벼 자동흡습장치 설계의 기초 연구로 수행되었으며, 본 연구의 목적은 미세한 물을 벼에 분사하면서 혼합하여 함수율을 증가시킬 경우 초기함수율 및 흡습속도(물 분사율)가 동할발생, 정미 소요에너지 및 백도 변화에 미치는 영향의 분석하는데 있다.

초기함수율 11.4~14.5%(w.b.)의 범위에서 4수준,

흡습속도는 0.04~1.0%, w.b./hr의 범위에서 6수준으로 하였으며, 흡습 경과시간에 따른 동할율, 흡습 전후의 함수율, 정미소요에너지 및 백도를 측정하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 초기함수율이 12%(w.b.)이하일 경우에는 0.04%, w.b./hr 이상의 흡습속도에서는 흡습속도에 관계없이 동할율이 크게 증가하였으며, 물의 분사와 혼합에 의한 흡습은 거의 불가능한 것으로 추정되었다.

2) 흡습에 의한 동할율 증가의 허용한계를 1.0%로 할 때 초기함수율이 12.0%(w.b.) 이상일 때 초기함수율에 관계없이 흡습속도를 0.3%, w.b./hr이하로 유지해야 하는 것으로 나타났다. 또한 동할율 증가의 허용한계를 2.0% 및 5%로 할 경우, 초기함수율 13.5%(w.b.) 이상의 벼인 경우에만 흡습속도를 각각 0.6%, w.b./hr 및 1.0%, w.b./hr까지 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다.

3) 초기함수율 11.4~14.5%(w.b.)의 벼를 14.3~16.9%(w.b.)로 흡습할 경우 정미 소요에너지는 15.9~22.3% 절감되었으며, 초기함수율이 높을수록 절감 효과가 크게 나타났다.

4) 흡습 후의 백도는 0.5~1.5 감소하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- Han, C. S., K. S. Yon., T. H. Kang., H. Y. Jeon., H. K. Koh., J. D. So and D. B. Song. 2001. Study on the conditioning of brown rice (I). J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 26(1):39-46(In Korean).
- Kim, J. S., H. Y. Koh and D. B. Song. 1998. Adsorption characteristics of short grain rough rice. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 23(5):465-472(In Korean).
- Kim, Y. J. 1996. Adsorption characteristics of brown rice under pressed air conditions. M. S. thesis. Sung Kyun Kwan University(In Korean).
- Murata, S., F. Tanaka, J. Tokunaga., S. Koide and K. S. P. Amaratunga. 1996. Study on sorption of grain kernels while soaking in water. J. of the Japanese Society of Agricultural Machinery. 58(2):19-24(In Japanese).
- Yamashita, R. 1993. New technology in grain postharvesting. Farm Machinery Industrial Research Corp.