

GA0574-0000

산물 벼의 실중량 거래를 위한
정선지수측정시스템 개발

Development of the Purity Index Measuring System
for Transactions in Net Weight of Paddy at Rice
Processing Complex

연구기관

한국식품연구원

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “산물 벼의 실증량 거래를 위한 정선지수 측정시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005년 11 월 14일

주관연구기관명 : 한국식품연구원

총괄연구책임자 : 김 의 응

세부연구책임자 : 김 상 숙

연 구 원 : 김 동 철

연 구 원 : 김 훈

연 구 원 : 이 세 은

위 축 연 구 원 : 김 창 진

위 축 연 구 원 : 이 현 정

위 축 연 구 원 : 배 수 진

위 축 연 구 원 : 한 경 화

참 여 업 체 명 : 영일기계(주)

대 표 : 최 종 진

요 약 문

I. 제 목

산물 벼의 실중량 거래를 위한 정선지수 측정시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

RPC에 반입된 산물 벼에 혼입된 쪽정이, 지푸라기, 이물 등 이물질 가운데 조선기에서 선별되지 않는 이물질은 호퍼스케일에서 벼와 함께 반입중량으로 측정되므로 정선되지 않은 이물질의 중량만큼 벼 정립의 실중량은 감소하게 되며, 이는 RPC에서 수율감소로 이어져 경영수지의 악화는 물론 정산시 큰 문제를 야기시키고 있었다.

조선기의 구조상 선별율의 향상에는 한계가 있으므로, 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 조선기를 통과한 벼에서 시료를 채취, 이물질을 정밀하게 분석하여 전체적인 이물질 혼입율을 반영하는 정선지수의 도입이 필요하며, 이를 위해 정선지수측정시스템의 개발이 필요하다. 그러나 정선지수측정시스템은 세계적으로 아직까지 개발된 예가 없다.

따라서, 본 연구의 목적은 산물 상태로 RPC 등에 반입되어 조선기를 통과한 벼에 혼입된 이물질을 90%이상 측정해 낼 수 있고, 이물질과 함께 정립이 배출되어 발생하는 정립 손실율을 0% 수준으로 유지할 수 있는 정선지수 측정시스템을 개발하여 RPC 및 DSC에서 산물 벼의 실중량 거래체계를 확립하는데 있다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 3차년도에 걸쳐 다음과 같은 연구범위에서 실시되었다. 주요 내용은 정선지수측정시스템의 방향설정, 주요 설계인자의 측정, 시작품의 제작 및 보완 등

이며, 세부적인 연구내용은 다음과 같았다.

가. 정선지수측정시스템의 개발방향설정

- 산물 벼의 반입 실태 조사
- 조선기 형태별 조선특성 분석

나. 정선지수측정시스템의 주요 설계인자의 구명

- 산물 벼에 혼입된 이물질의 선별인자 구명

다. 시작품의 제작 및 보완

- 정선지수 측정시스템 시작품 제작
- 시작품의 운영실험
- 운영실험을 통한 시작품의 보완
- 시작품의 현장적응실험 및 보완
- 벼의 정선지수 측정 및 실증량 예측 종합체계 구축
- 운영 및 보급체계 구축

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 정선지수측정시스템의 개발방향 설정을 위하여 산물 벼의 반입실태와 조선특성을 조사한 결과, RPC의 반입시설당 실 반입능력은 10톤/hr정도이었으며, 1농가당 1회에 평균 1,858kg의 벼를 반입하였다. 또한, 조선기의 조선율은 23.39%에 불과하였으며, 특히 이물질중에서 쪽정리와 이물질의 중량비가 높은 반면 상대적으로 조선율이 낮았다. 따라서 정선지수측정시스템의 주요 선별인자는 쪽정리와 이물질이었고, 10톤/hr의 반입능력에 적합한 처리능력이 필요하였으며, 설치위치는 호퍼스케일 전이나 후가 적합하였다.

2. 이물질의 선별인자를 구명하기 위하여 추청, 화봉, 일미, 일품, 동안 등 5개 품종 벼를 대상으로 함수율별(14.9~26.5%)로 화상처리시스템을 이용하여 기하학적특성을 측정된 결과, 벼와 쪽정이 간에는 단축, 장단축비 및 원형율에서 유의적인 차이가 나타났으나 스크린 선별장치에 활용하기는 어려웠다. 또한, 원형, 타원형 등 3가지 형태의 다공(多孔)으로 구성된 소형 스크린 선별장치를 제작하여 스크린 선별인자를 측정된 결과, 지푸라기 선별율은 94.2%로 대단히 높은 반면, 정립 손실율이 2.32%로서 정선지수측정시스템에 스크린 선별장치를 사용하기가 어려운 것으로 나타났다.

3. 조선기 전후에서 채취한 88점의 시료를 이용하여 벼의 정립과 쪽정의 천립중을 측정된 결과 대단히 큰 차이를 나타내어 기류선별이 가능할 것으로 판단되었다. 또한, 풍동을 제작하여 5개 품종 벼의 함수율에 따른 종말속도를 측정하여 1차식의 상수를 각각 구하였으며, 벼와 쪽정의 부유높이차를 이용한 한계풍속을 측정된 결과, 정선지수측정시스템에서 이물질선별을 위한 한계풍속은 정립의 부유높이를 약 25cm 이하로 유지할 때 약 5~6m/sec 수준을 나타내었으며, 이 값은 정선지수측정시스템에 유용하게 적용이 가능한 것으로 판단되었다.

4. 농협의 호퍼스케일에서 사용하는 통신표준규격에 적합한 운영프로그램을 개발하고, 정선지수측정시스템의 개발방향에 적합한 1차 시작품을 설계·제작하였으며, 함수율 15.9~28.9%인 동안 벼를 이용하여 시작품의 운영실험을 실시하였다. 쪽정이 및 이물 선별율은 100%이었으나, 풍동으로 시료의 균일퇴적 및 풍동내 공기분포의 개선이 필요하였으며, 정립손실율을 감소시킬 수 있도록 정밀한 제작이 필요하였다.

5. 1차 시작품의 운영결과를 이용하여 시료량을 1/3로 감소시켜 규모를 줄이고,

정밀하게 가공한 2차 시작품을 설계·제작하였다. 경남 함안 소재한 평화RPC에서 2004년 수확기에 현장 적응실험을 실시한 결과, 쪽정이 및 이물의 선별율은 100%로 만족한 수준이었으나, 정밀 제작한 단위 부품사이로 낙곡이 일부 발생하여 보완이 필요하였다. 정선지수측정시스템에 부착된 수분계의 정도문제를 해소하기 위하여 정선지수측정시스템 통과 전후의 벼 함수율 변화를 정밀하게 측정하여 1차식($r^2 = 0.9959$)으로 나타낼 수 있었으며, 이 식을 사용할 경우 정선지수측정시스템에 부착된 수분계를 제거할 수 있어 시작품 규모를 크게 축소시킬 수 있을 것으로 판단하였다.

6. 2차 시작품의 운영실험에서 얻은 경험과 발생된 문제점을 보완하여 산업화 규모의 3차 시작품을 설계·제작하였으며, 이 시작품을 이용하여 경기 이천 부발농협RPC에서 2005년 수확기에 현장적응실험을 실시한 결과, 쪽정이 및 이물 선별율은 100%로 만족한 수준을 나타내었다. 또한, 중앙 입고운영관리시스템과 호퍼스케일 및 정선지수측정시스템을 이용한 종합적인 정선지수 관리체계의 구축이 가능하였다.
7. 본 연구에서 개발된 정선지수측정시스템에 관해서는 특허를 획득하였으며, 기술이전을 통해 전국 RPC와 DSC의 약 739개소의 반입시설과, 향후 추가로 설치될 2,000여개의 DSC 등 총 3,000여개소의 반입시설에 보급될 경우 벼의 실중량 거래체계의 정착을 통해 RPC의 경영악화 방지에 기여할 것으로 기대되었으며, 약 900억 규모의 시장 형성을 통해 업계의 발전에 기여할 것으로 기대되었다.

SUMMARY

I. Title

Development of the Purity Index Measuring System for Transactions in Net Weight of Paddy at Rice Processing Complex

II. Objectives and significance of the research

Threshed high moisture or dry mixture of paddy and foreign matter such as straw, empty kernels, stones and fine contaminants is took in Rice Processing Complexes or Drying & Storage Centers, separated by a paddy cleaner, and weighed by a hopper scale. But, owing to lower separation performance of a paddy cleaner, the remaining foreign matter mixed with paddy is weighed like paddy at a hopper scale. Decrease of net weight of paddy owing to remaining foreign matter bring about decrease of milling yield, and finally worsen the management state of RPC.

To construct a transactions system in net weight of paddy, the purity index should be adapted at RPC, and the purity index measuring system(PIM system) should be developed to measure the purity index automatically. But, there is no any related research with PIM system.

The objectives this research is to make a transactions system in net weight of paddy at Rice processing system by development of a PIM system.

III. Contents and scope

The major contents of this research were establishment of development directions of PIM system, investigation of design factors, and manufacture and modification of the prototype PIM system.

The detailed contents of this research were as follows ;

A. Establishment of development directions for PIM system

- Survey of actual state of taking paddy in RPC
- Analysis of cleaning characteristics of paddy cleaners

B. Investigation of design factors for PIM system

- Geometrical and aerodynamical separating factors of foreign matter

C. Design, Manufacture and modification of the prototype PIM system

- Design and Manufacture of the prototype PIM system
- Operation test
- Modification
- Field test at RPC
- Construction of synthetic data processing system in RPC
- Construction of operation and distribution system for PIM system

IV. Results and suggestions

1. To establish the development directions of PIM system, actual state of taking paddy in RPC and cleaning characteristics of paddy cleaners were surveyed. The average real taking capacity per a taking facility was

10ton/hr, the average paddy weight took per a farmer in RPC was 1,858kg. The average separation ratio of foreign matter from mixture of paddy and foreign matter was 23.39%, and especially the average separation ratios of empty kernels and fine contaminants were lower than that of straw at paddy cleaners. So, empty kernels and fine contaminants were considered as the main objects to remove in PIM system.

2. To investigate geometrical separation factors of empty kernels from paddy, geometrical characteristics of paddy kernels and empty kernels such as size, area, aspect, roundness and perimeter of 5 varieties paddy such as Chuchung, Whabong, Ilmi, Ilpyum and Dongan of moisture contents from 14.9% to 26.5% were investigated using image analysis system. Among the geometrical characteristics, size, aspect and roundness of empty kernels were significantly smaller than those of paddy kernels. And, a prototype screen separation system composed of two layers screen of three type openings was designed and manufactured. Separation test of foreign matter from a mixture of paddy and foreign matter of Chuchung was carried out using a prototype screen separation system according to screen opening types and angles of screen. The separation ratio of straw was 94.2%, but the ratio of paddy loss was 2.32%, which proves the screen separation system is not adaptable to PIM system.
3. There was a significant difference of 1,000 kernels weight between paddy kernels and empty kernels of 88 samples collected before and after paddy cleaners in RPC, which proves air stream is quite applicable to separate empty kernels from a mixture of paddy and foreign matter. The terminal

velocities and critical velocity of paddy kernels and empty kernels according to moisture contents of 5 varieties such as Chuchung, Whabong, Ilmi, Ilpyum and Dongan were measured using a manufactured pneumatic classifier. To maintain the difference of highest position between paddy kernels and empty kernels in the vertical air stream under 25cm, the optimum critical velocity was from 5m/sec to 6m/sec.

4. A software related with the operation, and reception or/and transmission of data from PIM system to a hopper scale and management program of RPC was developed using the communication standards of National Agricultural Cooperative Federation. And the first prototype PIM system was designed and manufactured considering the directions and the values of design factors. Operation test of the first prototype PIM system using a mixture of paddy and foreign matter of Dongan was carried out. The empty kernels and fine contaminants mixed with paddy kernels were removed perfectly, but the improvement of the sample leveling and distribution of air stream of the first PIM system were needed, and the loss of paddy kernels should be decreased.
5. The second prototype PIM system considering the several problems of the 1st system was designed and manufactured. First field test was carried out during the harvesting seasons 2004. The empty kernels and fine contaminants mixed with paddy kernels were removed perfectly. And there was a constant pattern of the differences between moisture contents of paddy before and after separation by PIM system, therefore the moisture meters could be eliminated from PIM system. And the loss of paddy

kernels should be decreased.

6. The third prototype PIM system considering the several problems of the 1st and 2nd systems was designed and manufactured. Second field test was carried out during the harvesting seasons 2005. The empty kernels and fine contaminants mixed with paddy kernels were removed perfectly. And a synthetic PI management system was established using developed new control system of PIM system, a hopper scale, and the central management software.
7. A patent related with PIM system was granted. The results of this research are planned to be transferred to the related company, and the PIM system is needed to be distributed to 3,000sites of RPC and DSC to establish the transactions in net weight of paddy, and to prevent the decrease of a milling yield, and worse of the management state of RPC.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	
A. Significance	
B. Objectives	
C. Scope	
Chapter 2. Research development status	
A. Domestic situation	
B. Foreign situation	
Chapter 3. Results and discussions	
A. Establishment of development directions for PIM system	
1. Survey of actual state of taking paddy in RPC	
a. Methods	
b. Actual state of taking paddy in RPC	
2. Analysis of cleaning characteristics of paddy cleaners	
a. Methods	
b. Cleaning characteristics of paddy cleaners	
c. Establishment of development directions for PIM system	
B. Investigation of design factors for PIM system	
1. Geometrical separation factors of foreign matter	
a. Methods	
b. Results and discussions	
2. Aerodynamical separation factors of foreign matter	
a. Methods	
b. Results and discussions	
3. Investigation of design factors for PIM system	

a. Methods	
b. Results and discussions	
C. Manufacture and modification of prototype PIM systems	
1. Manufacture of the first prototype PIM system	
a. Design	
b. Development of related software	
c. Manufacture	
2. Test and modification of the first prototype PIM system	
a. Methods	
b. Results and discussions	
3. Manufacture and modification of the second prototype PIM system	
a. Design and manufacture	
b. Test and modification	
c. Field test at RPC	
4. Manufacture and modification of the second prototype PIM system	
a. Design and manufacture	
b. Field test at RPC	
5. Construction of operation and distribution system for PIM system	
a. Construction of overall data processing system in RPC	
b. Construction of operation and distribution system for PIM system	
Chapter 4. Research goal attainment and contribution to related area	
Chapter 5. Plan for application of research results	
Chapter 6. References	

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	
제 1 절 연구개발의 필요성	
제 2 절 연구개발의 목적	
제 3 절 연구개발의 범위	
제 2 장 국내외 기술개발 현황	
제 1 절 국내 관련기술의 현황과 문제점	
제 2 절 국외 관련기술의 현황과 문제점	
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	
제 1 절 정선지수측정시스템의 개발방향설정	
1. 산물벼의 반입실태 조사	
가. 조사방법	
나. 산물 벼의 반입실태	
2. 조선기 형태별 조선특성 분석	
가. 분석방법	
나. 조선기 형태별 조선특성	
다. 정선지수측정시스템의 기본방향 설정	
제 2 절 정선지수 측정시스템의 설계인자 구명	
1. 산물 벼에 혼입된 이물질의 기하학적 선별인자 구명	
가. 실험방법	
나. 결과 및 고찰	
2. 산물 벼에 혼입된 이물질의 공기역학적 선별인자 구명	
가. 실험방법	
나. 결과 및 고찰	
3. 정선지수측정시스템 제작을 위한 설계인자 구명	

가. 실험방법	
나. 결과 및 고찰	
제 3 절 정선지수측정시스템 시작품의 제작 및 보완	
1. 정선지수측정시스템 1차 시작품의 제작	
가. 시작품 설계	
나. 운영 프로그램의 개발	
다. 1차 시작품 제작	
2. 1차 시작품의 운영실험 및 보완	
가. 실험방법	
나. 결과 및 고찰	
3. 제 2차 시작품의 제작 및 보완	
가. 2차 시작품의 설계 및 제작	
나. 2차 시작품의 운영실험	
다. 2차 시작품의 RPC현장 적용실험	
4. 제 3차 시작품의 제작 및 보완	
가. 3차 시작품의 설계 및 제작	
나. 3차 시작품의 RPC현장 적용실험	
5. 시스템의 운영 및 보급체계 구축	
가. 정선지수산출 및 실증량 예측 종합체계 구축	
나. 운영 및 보급체계 구축	
제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도	
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	
제 6 장 참 고 문 헌	

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

정부에서 1995년부터 미곡종합처리장(RPC, Rice Processing Complex)을 중심으로 벼의 산물(散物, bulk)수매를 실시한 이후, 현재는 RPC와 건조저장시설(DSC, Drying & Storage Center)에서 콤바인으로 수확된 고수분의 물벼와 농가에서 건조된 건벼의 산물수매가 일반화되고 있다. 벼의 산물수매는 농민이 물벼 또는 건벼를 산물상태로 RPC나 DSC에 반입하여 투입구에 투입하면, 조선키(粗選機, paddy cleaner)에서 이물질을 1차 선별한 다음, 호퍼스케일(hopper scale)에서 함수율과 중량을 측정하고, 15%까지 건조하는 것을 전제로 한 건조지수(乾燥指數)를 고려하여 등급에 따라 벼의 가격을 농민에게 지불하는 방법이다.

그러나, 콤바인에 의해 수확된 고수분 산물 벼에는 정립 이외에 지푸라기(straw), 쪽정이(empty kernel), 이물(fine contaminants), 돌 등 이물질(異物質, foreign matter)이 다량 혼입되어 있으며, 순환식건조기 및 연속식건조기로 건조할 때 극히 일부 정선이 일어나지만 건조한 벼에도 정선되지 못한 이물질이 존재하고 있다. 따라서 이물질이 혼입된 벼를 RPC에서 산물수매할 때 조선키에서 제거되지 않은 이물질은 호퍼스케일에서 벼와 함께 반입중량으로 측정되므로 정선되지 않은 이물질의 중량만큼 벼 정립의 실중량(實重量, net weight)은 감소하게 되며, 실중량 감소는 곧 수율감소로 이어져 경영수지의 악화는 물론 정산시 큰 문제가 야기되고 있다.

산물 벼에 혼입된 이물질량은 벼의 품종, 함수율, 재배여건, 기상조건, 콤바인 종류, 운전시간 및 조건에 따라 달라진다. 김 등(2000)은 '99년 수확기에 11개소의 RPC에서 반입되는 벼와 조선키를 통과한 벼에 혼입된 이물질을 측정한 결과, 반입되는 벼와 조선키를 통과한 벼에 각각 3.86%(2.32~5.85%) 및 2.39%(0.83~3.62%)의 이물질이 혼입되어 있었으며, 조선키를 통과한 벼에 혼입된 이물질의

종류별로는 쪽정이가 84.7%, 이물이 11.6%, 기타가 3.7%정도로서 쪽정이와 이물이 대부분을 차지하였다고 보고하였다. 따라서 RPC에서 연간 총 구입하는 벼 중량의 약 2.39%정도에 해당하는 이물질을 벼의 정립과 동일한 가격으로 구입하고 있다는 것을 알 수 있다. 한편, 김 등(2005)은 30개소 RPC의 가공에 사용된 견비에 혼입된 이물질 중량을 측정한 결과, 평균 1.99%(0.85~8.31%)이었으며, 이물질의 종류별로는 쪽정이가 94.0%, 이물이 4.52%, 기타가 1.48%정도 혼입되었다고 보고하였다.

RPC에서는 보다 안전한 고품질 쌀 생산을 위해 노력하고 있으며, 고품질 쌀 생산을 위해서는 외관품위를 결정하는 정부의 쌀 등급규격기준의 준용이 필수적이다. 그러나 싸라기, 분상질립, 피해립 및 착색립 등 불량품의 선별에 따라 도정수율(搗

표 1. RPC에서 발생할 수 있는 수율저하 원인 및 발생량

공정	항 목	수율저하	기준
반입	원료 벼에 섞여 있는 이물질에 의한 손실	0.83~8.31%	측정치('00, '04)
매입	현미중 섞여 있는 비정상립에 의한 손실	11.2~34.3%	30개소측정치 (모두 제거시)
저장	저장중 자연감모에 의한 손실	0.04~0.5%	7.5, 25℃에서 6개월 저장시
건조 저장	과건에 의한 손실	0~2.8%	30개소, 16%기준
건조 가공	가공중 싸라기발생에 의한 손실 (건조중 발생한 동할이 주원인)	3.0~17.6%	30개소 측정치 (동할율 1.3~16.0%)
가공	가공중 수분증발에 의한 손실	0.3~1.0%	김 등(2000)
가공	가공과정중 각 선별기에서 정상립의 손실, 수분증발 등	0.3~1.4%	한국RPC연구회 (2003)
유통	유통중 수분증발로 인한 손실	0~0.5% 추정	

精收率, milling yield)은 필연적으로 감소하는 반면, 고품질 쌀이 높은 가격을 받을 수 있는 시장의 형성이 지연되고 있어 각 RPC에서는 도정수율의 증가를 위해 혼신의 노력을 기울이고 있다. 다음 표 1은 RPC에서 발생할 수 있는 수율저하 원인 및 발생량을 예측한 것으로서(김 등, 2005), 표에서 알 수 있듯이 원료 벼에 혼입되어 있는 이물질에 의한 수율저하가 대단히 크다는 것을 알 수 있다.

현재 쌀 산업에서 가장 큰 문제가 되고 있는 RPC의 경영악화 규모를 살펴보면 다음 표 2와 같이 2001년 80%의 RPC에서 개소당 220백만원의 적자가 발생한 것이 최대이었으며, 2004년말 현재 총 199개소의 농협 RPC중에서 35%인 69개소의 RPC에서 적자가 발생하였으며, 개소당 적자액은 12백만원 수준이었다. 한편, 표 3에서 알 수 있듯이 RPC비용중 원료비가 차지하는 비율은 93.5%(농촌경제연구원, 2004)로서, 이물질로 인한 실증량 감소비율 2.39%은 RPC비용의 2.23%(93.5%×2.39%) 수준으로서 총 인건비의 94.9%, 총 제조비의 66.4%를 차지할 정도로 엄청난 규모이다.

1개소 농협 RPC가 연간 평균적으로 확보하는 벼의 양이 약 8,500톤 규모(농협중앙회, 2001)임을 감안할 때 평균 이물질 혼입량의 2.39%의 95%정도에 해당하는 약 2.27%정도의 이물질 혼입으로 인한 실증량 감소만 해소되어도 약 219백만원 정도의 손실보전효과가 있어 평균 적자를 상쇄할 수 있음을 알 수 있다.

표 2. 농협 RPC 손익 및 적자 RPC 점유비 추이(농협중앙회, 2005. 4)

구 분		'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04
총 개소수		147	165	190	195	199	200	200	199
적자 RPC	개소수	47	63	78	105	158	129	90	69
	점유비(%)	32	38	41	54	80	65	45	35
개소당 손익(백만원)		△30	△27	11	△61	△220	△127	△27	△12

표 3. RPC 비용 구성(전체평균)

(단위 : 천원, %)

	전체		4천톤미만		4~8천톤		8천톤이상	
	비용	비율	비용	비율	비용	비율	비용	비율
가공원료	10,455,266	94.26	6,615,753	91.79	10,983,033	94.16	21,369,589	97.09
원료비	10,366,946	93.50	6,563,121	91.06	10,892,152	93.38	21,173,775	96.20
포장비	88,302	0.80	52,633	0.73	90,851	0.78	195,814	0.89
인건비	260,290	2.35	262,908	3.65	252,265	2.16	272,781	1.24
직접노무비	100,493	0.91	82,053	1.14	105,343	0.90	146,888	0.67
간접노무비	115,771	1.04	136,272	1.89	102,817	0.88	83,847	0.38
복리후생비	35,684	0.32	35,680	0.50	34,166	0.29	39,646	0.18
급식비	8,342	0.08	8,902	0.12	9,938	0.09	2,400	0.01
제조비	372,632	3.36	328,449	4.56	428,518	3.67	368,709	1.68
여비	5,194	0.05	3,280	0.05	5,055	0.04	11,678	0.05
유류비	9,356	0.08	6,543	0.09	10,058	0.09	16,534	0.08
수선비	21,254	0.19	16,039	0.22	25,669	0.22	26,386	0.12
감가상각	172,919	1.56	170,765	2.37	187,731	1.61	141,298	0.64
통신운반	6,684	0.06	3,529	0.05	11,416	0.10	4,477	0.02
수송비	49,683	0.45	24,462	0.34	66,761	0.57	85,984	0.39
공공요금	52,041	0.47	48,283	0.67	57,970	0.50	48,650	0.22
안전비	21,125	0.19	22,935	0.32	21,009	0.18	15,632	0.07
외주가공비	176	0.00	99	0.00	338	0.00	-	-
기타잡비	34,201	0.31	32,514	0.45	42,481	0.36	18,069	0.08
총제조비	11,088,188	100	7,207,110	100	11,663,786	100	22,011,080	100

주) 가. 공공요금은 공과금, 수도광열비, 전기료, 오페수처리비 포함

나. 안전비는 보험료, 완전관리비, 당직비 포함

- 실중량 감소 해소량 : $8,500\text{톤} \times 2.27\% / 100 \times 0.91(\text{건조지수}) = 175.5\text{톤}$
- 가격 : $175.5\text{톤} \times 1,000\text{kg/톤} \times 50,000\text{원} / 40\text{kg} = 219,375,000\text{원}$

따라서, RPC와 DSC에서는 조선기에서 보다 많은 이물질을 제거하기 위해 노력하고 있다. 그러나 농협 RPC를 대상으로 단위기계에 대한 만족도를 조사한 결과(농협중앙회, 1997)에 의하면 RPC에서 가장 문제점이 많아 개선이 필요한 단위기계는 조선기로 나타났으며, 조선기에서 조선율의 평균치가 38.2%정도에 불과하다는 결과에서도 알 수 있듯이 조선기의 성능향상만으로 산물 벼에서 이물질을 100%제거한다는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한, RPC에서 조선율의 향상만을 지나치게 고려할 경우 오히려 이물질과 함께 벼 정립이 배출됨에 따라 정립 손실을 초래하게 되어 농민이 큰 불만을 가지고 항의하는 사례가 많이 발생하고 있다. 이와 같은 시비는 특히, 산물수매 경험이 적은 신설 RPC나 DSC의 경우에 더욱 큰 문제가 되고 있으며, 향후 RPC의 경영적자가 더욱 커지거나 산물처리량이 증가할수록 발생하는 실중량 감소에 대한 시비는 더욱 증가할 것으로 예상되고 있다.

따라서, 조선기를 통과한 벼에서 시료를 채취, 이물질을 정밀하게 분석하여 전체적인 이물질 혼입율을 반영하는 정선지수(精選指數, Purity index)를 도입하는 것이 실중량거래를 위한 유일한 방법이다. 정선지수는 호퍼스케일을 통과한 벼에 혼입된 이물질 중량비를 제외한 벼의 실중량비를 의미하는 것으로서, 호퍼스케일에서 계량한 벼중에서 이물질의 중량비율이 2.56%라면 정선지수는 0.0.9744이 된다.

일본의 경우에는 이미 오래 전부터 건조지수와 함께 헵잡물 혼입율을 고려하여 실중량 거래를 실시하고 있는데(日本全農施設資材部, 1973), 벼를 수매하는 컨트리 엘리베이터(Country elevator)와 농민과의 신뢰관계가 돈독하게 유지되어 있어 별도의 정선지수측정시스템을 사용하지 않고도 등급관정을 위해 채취한 소량의 시료를 건조한 후 선별체나 육안으로 이물질량을 선별하여 구한 헵잡물 혼입율로 실중량 감소에 대해 추후에 정산하는 방법을 사용하고 있다.

그러나, 우리나라는 RPC나 DSC에 물벼가 반입되는 수확기에 벼 정립의 손실과

함수율 및 등급측정에 대한 시비가 끊임없이 발생하고 있는 점 등을 감안할 경우, 사후에 이물질량을 측정하여 정산하는 방식은 현실적으로 적용이 불가능한 실정이다. 따라서 조선키를 통과한 벼에 혼입된 이물질의 혼입율을 측정하여 정선지수를 결정한 다음 이에 따라 가격을 지불하는 시스템의 도입은 필연적이며, 이를 위한 정선지수 측정시스템의 개발은 필수적이다.

제 2 절 연구개발의 목적

본 연구의 목적은 산물 상태로 RPC 등에 반입되어 조선기를 통과한 벼에 혼입된 이물질을 90%이상 측정해 낼 수 있고, 이물질과 함께 정립이 배출되어 발생하는 정립 손실율을 0% 수준으로 유지할 수 있는 정선지수 측정시스템을 개발하여 RPC 및 DSC에서 산물 벼의 실중량 거래체계를 확립하는데 있다.

제 3 절 연구개발의 범위

본 연구는 3차년도에 걸쳐 다음과 같은 연구범위에서 실시되었다. 주요 내용은 정선지수측정시스템의 방향설정, 주요 설계인자의 측정, 시작품의 제작 및 보완 등이며, 세부적인 연구내용은 다음과 같았다.

가. 정선지수측정시스템의 설계방향설정

- 산물 벼의 반입 실태 조사
- 조선기 형태별 조선특성 분석

나. 정선지수측정시스템의 주요 설계인자의 구명

- 산물 벼에 혼입된 이물질의 선별인자 구명

다. 시작품의 제작 및 보완

- 정선지수 측정시스템 시작품 제작
- 시작품의 운영실험
- 운영실험을 통한 시작품의 보완
- 시작품의 현장적응실험 및 보완
- 벼의 정선지수 측정 및 실중량 예측 종합체계 구축
- 운영 및 보급체계 구축

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 관련기술의 현황과 문제점

1991년 RPC가 시범사업으로 2개소가 설치된 이래, 초기에는 일본, 멕시코, 덴마크 등지에서 수입을 해오던 조선기의 국산화를 위해서 많은 업체에서는 자체적으로 조선기를 생산하기 위한 노력을 기울여 왔다. 그러나 국내에서 개발된 조선기의 대부분은 수입된 조선기를 모방하여 제작한 것으로서, 관련된 연구도 조 등(1997), 정 등(1998) 및 김 등(1998, 1999)의 조선기의 성능향상을 위한 운영실험 정도에 불과하였으며, 연구 내용도 벼의 이물질 중에서 가장 많은 비율을 차지하는 쪽정이에 대한 선별보다는 외관적으로 뚜렷하게 구분되는 지푸라기, 노끈, 돌 등의 선별에 중점을 두었다.

벼에 혼입된 이물질의 선별에는 기하학적 특성과, 공기역학적 특성이 주로 이용되며, 정립인 벼와 이물질의 크기, 형상, 비중, 성상, 종말속도(終末速度, terminal velocity) 등이 선별의 주요인자가 되고 있다. 이와 관련하여, 국내산 벼에 대해서 이 등(1989a, 1989b)은 주요 벼 품종별 함수율에 따른 종말속도를 측정, 발표하였다. 그러나 벼에 혼입된 쪽정이 등 이물질에 대한 기하학적, 공기역학적 특성에 관한 연구는 전혀 이루어지지 않은 상태이다.

그동안 조선기에서 외형적으로 차이가 발생하는 이물질 제거율을 높이기 위한 연구수준이 큰 계기를 맞게 된 것은 국내에서 이물질의 혼입에 따른 실중량 감소 문제가 처음으로 제기된 2000년이었다. 장기적으로 농협 RPC의 적자해소를 위한 계획의 하나로써 농협중앙회와 한국식품연구원(김 등, 2000)에서는 “벼 및 보리의 산물저장에 따른 실중량 예측기술개발” 과제를 통해 처음으로 조선기의 평균 조선율이 38.2%에 불과하여 성능이 대단히 낮았으며, 이로 인해 조선기 후단에서의 이물질량이 약 2.39%정도에 달하며, 그 중에서 쪽정이의 비율이 84.71%에 달한다는

것을 발표하였다(표 4, 5).

이 결과는 당시 RPC, 조선기 생산회사 및 농협중앙회 등에 대단히 큰 충격을 주었으며, 조선기의 개발방향에 대해 많은 논란을 가져왔다. 특히, 이물질중 가장 많은 비율을 차지하는 쪽정(84.71%)와 이물(11.61%)의 선별율이 지나치게 낮아 조선기에서 주로 쪽정과 이물선별이 필요하다는 결과는 선별체를 이용한 지푸라기 선별에 주력하였던 조선기에 대해서는 구매가 급감한 반면, 당시 기류선별이 강화되어 일부 쪽정이 선별되는 것으로 알려진 조선기에 대한 구매가 급속하게 진행되었다.

그러나 근본적으로 조선율의 한계를 가진 조선기를 보완할 수 있는 정선지수 측정시스템에 대한 필요성이 제기되어 본 과제가 수행되게 되었다. 현재까지도 국내에서 본 과제 이외에 정선지수측정시스템의 개발과 관련하여 진행된 연구결과는 없는 것으로 알려져 있다.

표 4. RPC별 조선기 통과전·후의 벼 중에 혼입되어 있는 이물질의 중량비 및 조선율(김 등, 2000)

구 분		시료수 (점)	이물질 중량비(%)		조선율 (%)	비 고
			조선기 통과전	조선기 통과후		
A	농협	5	4.47	2.82	36.91	
B	농협	5	4.15	2.70	34.93	
C	농협	5	2.82	2.28	19.14	
D	농협	4	2.56	1.66	35.15	
E	농협	3	2.63	0.83	68.44	단독집진
F	농협	4	3.57	2.20	38.37	
G	농협	3	5.67	3.62	36.15	
H	농협	4	2.32	1.38	40.51	
I	농협	1	4.05	2.58	36.29	단독집진
J	민간	4	5.85	2.87	50.94	단독집진
K	민간	3	4.36	3.34	23.39	
평 균			3.86 (3.82)	2.39 (2.38)	38.20 (37.74)	

주) 가. 단독집진은 조선기 1대에 사이크론 1기가 부착된 형태임

나. ()의 평균값은 RPC별 채취한 시료수의 가중치를 적용한 값임

표 5. 벼의 함수율, 이물질의 형태별 조선기 전·후의 벼에 혼입된 이물질의
중량비 및 조선율(김 등, 2000)

구 분 (시료수)		이물질의 중량비(%)				조선율(%)
		쪽정미	이 물	지푸라기	계	
24% 수준 (8)	조선기전	4.31	0.39	0.17	4.87	27.10
	조선기후	3.14	0.32	0.09	3.55	
	차이	1.17	0.07	0.08	1.32	
22% 수준 (7)	조선기전	2.39	0.53	0.10	3.02	26.49
	조선기후	1.89	0.26	0.07	2.22	
	차이	0.50	0.27	0.03	0.80	
20% 수준 (9)	조선기전	1.73	0.32	0.25	2.30	32.17
	조선기후	1.27	0.18	0.11	1.56	
	차이	0.46	0.14	0.14	0.74	
18% 수준 (8)	조선기전	3.59	1.16	0.68	5.43	55.06
	조선기후	1.88	0.45	0.11	2.44	
	차이	1.71	0.71	0.57	2.99	
16% 수준 (9)	조선기전	3.00	0.36	0.20	3.56	38.20
	조선기후	1.96	0.18	0.06	2.20	
	차이	1.04	0.18	0.14	1.36	
평균 (%)	조선기 통과전	78.31	14.39	7.30	100.00	37.74
	조선기 통과후	84.71	11.61	3.68	100.00	
	조선율	31.39	44.76	57.38	—	

제 2 절 국외 관련기술의 현황과 문제점

국제미작연구소(IRRI)의 Ricelib 등의 종합 검색시스템을 통한 검색과, 문헌조사를 실시한 결과, 밀, 콩, 옥수수, 귀리 등의 곡물의 선별에 관한 연구보고는 대단히 많으나, 우리의 주 관심사인 고수분의 단립종 벼의 선별 특히, 이물질의 특성을 측정하여 정선지수 측정시스템을 개발한 사례는 찾아볼 수 없었다.

일본의 경우에도 이미 오래 전부터 건조지수와 함께 헵잡물 혼입율을 고려하여 실중량 거래를 실시하고 있으나, 벼를 수매하는 컨트리 엘리베이터와 농민과의 신뢰관계가 돈독하게 유지되어 있어 별도의 정선지수측정시스템을 사용하지 않고, 등급판정을 위해 채취한 소량의 시료를 건조한 후 체나 육안으로 이물질량을 선별하여 구한 헵잡물 혼입율로 실중량 감소에 대해 추후에 정산하는 방법을 사용하고 있다.

따라서, 현재 조사된 바에 의하면 세계적으로 정선지수측정시스템에 관한 연구는 전무한 실정이었으며, 이에 따라 외국에서 정선지수측정시스템과 관련된 시스템의 도입이나 기술이전은 불가능하므로 국내에서 개발이 필수적인 것으로 판단되었다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 정선지수측정시스템의 개발방향설정

1. 산물 벼의 반입실태 조사

가. 조사방법

정선지수 측정시스템의 처리능력, 처리시간 등 기본적인 개발방향 설정을 위하여 2002년 수확기에 10개소 RPC를 직접 방문하여 반입되는 산물 벼의 반입실태, 반입라인 구성, 반입라인의 운영현황, 시료의 채취방법 등을 유의하여 조사하였다. 반입능력은 호퍼스케일에서 실제 1회당 투입, 계량, 배출되는 시간을 stop watch로 실측하였고, 이 때 측정된 중량을 이용하는 1시간당 처리능력으로 환산하였다.

또한, 1농가당 1회 반입량을 파악하기 위하여 농협중앙회의 협조를 얻어 2002년도 수확기에 200개소의 농협 RPC에 반입되는 산물 벼중 농가별로 반입량이 확인된 약 31만 여건의 데이터를 입수하여 농가당 반입량, 반입되는 벼의 함수율, 반입기간 등을 중점적으로 분석하였으며, 데이터의 분석은 통계프로그램(Microsoft Access, SAS, Excel 등)을 이용하였다.

나. 산물 벼의 반입실태

1) RPC의 산물 벼 반입라인 구성과 반입실태

조사대상 10개소 RPC의 반입라인은 모두 투입구 → 조선키 → 호퍼스케일 → 건조/저장시설로 구성되어 있었고, 각 단위기계는 이송기기(체인 컨베이어, 버킷엘리베이터 등)로 연결되어 있었다. 반입라인 개소수는 RPC에 따라 1~3개를 보유하고 있었으며, 특히 2~3개의 반입라인을 보유한 RPC의 경우 초기에는 1개 반입라인만을 설치했으나 필요에 의해 반입라인을 추가로 설치한 경우가 많아 반입라인 사이에 거리가 많이 떨어져 있는 경우가 대부분이었으며, 각각의 시스템이 별도

로 공용으로 사용하는 단위기계가 없어 각 반입라인에 각각의 정선지수 측정시스템 설치가 필요한 것으로 나타났다.

또한, 일반적으로 등급판정을 위해 제현율(製玄率, brown rice recovery)이 사용되므로 조선키를 통과한 이후 즉, 호퍼스케일 전·후에서 시료를 채취해야 하지만 각 RPC에서 등급판정을 위해 시료를 채취하는 장소가 투입구나 호퍼스케일 후단 등으로 일정하지 않아 기준이 필요하였다.

농민은 통상 트럭, 트랙터 등을 이용하여 산물 또는 포대 형태로 반입하였으며, 반입능력 부족으로 대기하는 시간이 길어짐에 따라 불만을 토로하는 농민도 많았으며, 조선키 근처에서 이물질로 벼의 정립이 섞여 나오는 것을 보면서 항의하거나, 배출되는 이물질을 수거해 가는 농민도 있으며, 수분, 중량이 생각과 일치하지 않는데 대해 격렬하게 항의하는 경우도 있었다.

산물 벼가 반입되면 중앙관리실 또는 호퍼스케일 주위에 위치한 운전자가 호퍼스케일을 작동시키면서 농가에서 반입한 산물 벼의 투입을 시작하여, 1농가가 반입한 산물 벼의 투입이 끝나 청소까지 완료되면 호퍼스케일을 정지하게 된다. 따라서 호퍼스케일의 정지시간이 많아 실제 반입량은 설계기준인 20ton/hr보다 적어지게 되며, 조선키의 운전조건과, 건조, 저장시설의 종류, 처리용량에도 영향을 받게 되므로 RPC에 따라서, 운전자에 따라서도 변하게 된다.

10개소의 평균 반입능력을 호퍼스케일에서 계량되는 중량과 실제 측정시간을 이용하여 측정한 결과 12.7ton/hr이었으나, 농가당 평균적인 반입중량이 적어 반입구의 청소, 자료의 입력 등 농가당 구분을 위한 시간을 감안할 경우 실 반입능력은 10ton/hr 수준이 될 것으로 판단되었다(표 6).

표 6. RPC의 실반입능력 및 반입작업효율

RPC	실반입량 (ton/hr)(A)	작업효율(%) (A/20×100)	RPC	실반입량 (ton/hr)(A)	작업효율(%) (A/20×100)
A	12.0	60.0	F	15.5	77.5
B	14.5	72.5	G	14.0	70.0
C	13.6	68.0	H	13.9	69.5
D	10.9	54.5	I	12.7	63.5
E	7.3	36.5	J	12.6	63.0
평균				12.7	63.5

2) RPC의 반입시기와 물량, 함수율

200개소 농협 RPC에 반입된 반입물량중 각 RPC에서 가격결정, 입력시간 지연 등으로 일괄 입력한 자료를 제외하고 농가별 반입량이 확인된 자료 31만 여건을 대상으로 반입시기와 물량 및 함수율에 대해 분석하였다.

다음 표 7은 2002년 수확기(2002. 8. 26~2002. 11. 30)에 RPC에 반입되는 벼의 물량을 지역별, RPC별, 1농가별로 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이 200개 RPC에 총 반입물량이 621,390,721kg, 1개 RPC당 약 3,107톤으로 RPC당 취급물량 8,500톤의 약 36.6%수준이었는데, 이는 입력되지 않은 자료와 수확기 이후의 건벼 수매가 있었기 때문으로 판단되었다. 즉, 각 RPC당 건조실적(3,343톤)과, 12/1~8/25까지 농가에서 구매하는 건벼량을 감안할 경우 본 자료는 수확기에 반입된 벼의 경향을 파악하는데 유용하게 사용이 가능할 것으로 판단되었다.

표 7. 2002년 수확기에 농협 RPC의 산물벼 반입물량

지역	RPC 개소수	총반입물량 (kg)	1일 평균 반입 물량(kg)	RPC당 총 반입물량(kg)	RPC당 1일 반입물량(kg)	농가당 1회 최대 반입물량(kg)	농가당 1회 평균반입물 량(kg)
경기	32	136,504,732	1,483,747	4,265,773	46,367	520,000	2,740
강원	10	22,305,933	242,456	2,230,593	24,246	49,050	1,550
충북	17	57,088,366	620,526	3,358,139	36,502	788,216	1,724
충남	36	123,246,432	1,339,635	3,423,512	37,212	582,640	2,295
전북	30	92,491,293	1,005,340	3,083,043	33,511	1,222,772	2,097
전남	40	94,264,574	1,024,615	2,356,614	25,615	452,760	1,724
경북	18	54,957,821	597,368	3,053,212	33,187	95,141	1,652
경남	17	40,531,570	440,561	2,384,210	25,915	173,560	1,081
평균 (계)	200	77,673,840	844,281	3,106,953	32,819	485,517	1,858

그림 1은 반입일수별 반입물량을 나타낸 것으로서 매년 기상여건이나 재배품종의 변화에 따라 차이가 발생할 수 있지만 RPC에 벼가 주로 반입되는 것은 10월 중순에서 10월말까지였다. 또한, 농가당 1회에 RPC에 반입하는 물량은 전국 RPC 평균 1,858kg(표 8)이었으며, 표 에서 알 수 있듯이 1농가당 1,000kg 이상을 반입하는 농가의 비율이 59.8%, 1,000kg 미만을 반입하는 농가의 비율이 40.2%이었다. 반입되는 벼의 함수율 평균은 19.9%이었으며, 24%미만이 84.6%로서 대부분을 차지하였으며, 25%이상은 15.4%이었다.

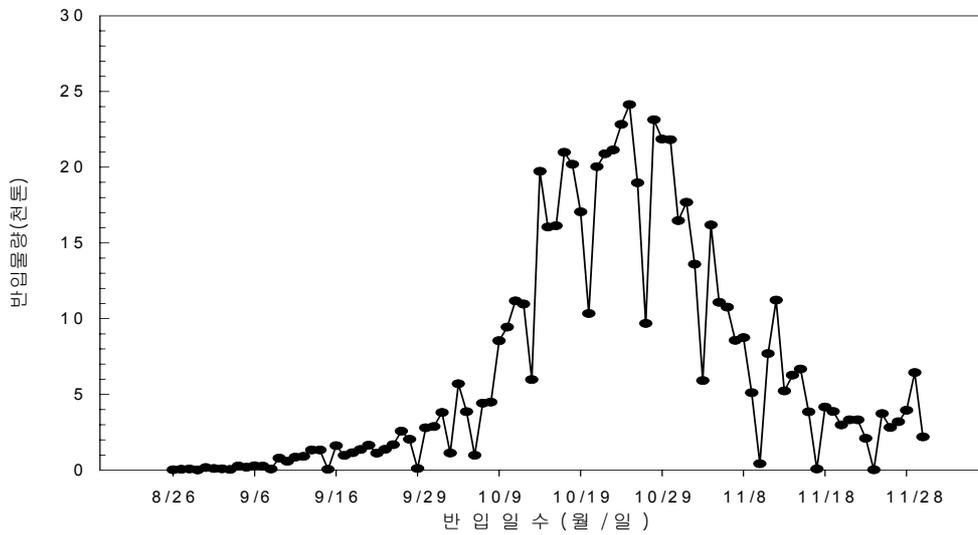


그림 1. 농협 RPC 반입일수별 반입물량

표 8. 농협 RPC에 반입되는 벼의 농가당 1회 반입물량과 반입함수율

1회 반입물량	농가수	비율 (%)	함수율(%w.b.)	농가수	비율 (%)
500,000kg 이상	9	0.0	35% 이상	156	0.0
300,000kg 이상	5	0.0	30% 이상	2,897	0.9
100,000kg 이상	37	0.0	27% 이상	16,930	5.4
70,000kg 이상	83	0.0	25% 이상	28,620	9.2
50,000kg 이상	95	0.0	22% 이상	58,682	18.8
30,000kg 이상	194	0.1	20% 이상	36,113	11.6
10,000kg 이상	2,627	0.8	18% 이상	31,568	10.1
7,000kg 이상	5,019	1.6	16% 이상	37,422	12.0
5,000kg 이상	11,590	3.7	16% 이하	100,210	32.1
3,000kg 이상	39,623	12.7	계	312,598	100
1,000kg 이상	127,889	40.9			
700kg 이상	23,630	7.6			
400kg 이상	22,116	7.1			
100kg 이상	26,193	8.4			
100kg 이하	53,488	17.1			
계	312,598	100			

2. 조선기 형태별 조선특성 분석

가. 분석방법

실험대상 RPC는 조선기 제조회사, 집진방법, 지역분포 등을 고려하여 전라도, 경상도 및 충청도 소재 9개소의 RPC(농협 7개소, 민간 2개소)를 선정하였으며, 2002년 수확기(중만생종 기준)에 각 RPC에 산물상태로 반입되는 벼의 함수율에 따라 26%이상, 24%수준(23~26%), 21%수준(20~23%), 18%수준(17~20%), 15%수준(17%이하) 등 5가지 수준에서 조선기 통과 전·후 즉, 원료 투입구와 호퍼스케일 계량 후에 각각 10kg정도씩을 채취하였다. 채취된 시료는 총 44점(조선기 통과 전·후로 총88점)이었다.

채취된 시료는 두께 0.05mm의 폴리에틸렌 필름의 지퍼 백에 담아 2℃ 저온저장고에 보관하면서 공시하였다. 벼에 혼입된 이물질의 종류별(이물, 지푸라기, 쪽정어 등)로 중량비와 함수율을 각각 측정하였고, 벼 정립과 쪽정어는 천립중(千粒重)을 측정하였으며, 각각 3회 반복치의 평균값을 사용하였다. 이를 위해 균분기를 이용하여 시료 100g을 균분하여 체선별기(縱目段節機, 大屋丹藏製作所, 일본)를 이용하여 1.6mm줄체로 20초간 이물을 선별한 다음, 육안으로 지푸라기와 쪽정어를 선별하였다. 쪽정어는 함수율이 낮은 경우 접어서 부러지지 않는 낱알을, 함수율이 높은 경우 눌러서 딱딱한 고형물이 없는 낱알로 하였다.

함수율은 10g-135℃-24시간의 상압정온측정법으로 측정하여 다음 식 (1)을 이용하여 105℃법으로 환산하여 사용하였다. 또한, 조선기 통과 전후에 벼에 혼입되어 있는 이물질의 중량비를 이용하여 조선율(또는 선별율)은 다음 식 (2)와 같이 계산하였다.

$$M_{105} = 100 - 1.0121 [100 - M_{135}] \dots\dots\dots (1)$$

여기서, M_{105} : 105℃으로 환산한 벼 함수율(%, w.b.)

M_{135} : 135℃법으로 측정한 벼 함수율(%, w.b.)

$$\text{조선율(\%)} = \left(1 - \frac{W_{e2}}{W_{e1}}\right) \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

여기서, W_{e1} : 조선기 통과전 벼에 혼입되어 있는 이물질의 중량비(%)

W_{e2} : 조선기 통과후 벼에 혼입되어 있는 이물질의 중량비(%)

나. 조선기 형태별 조선특성

1) 조선기의 형태구분과 문제점

조선기는 곡물의 기하학적 특성중 곡물의 폭, 두께, 직경 및 형태의 차이를 이용하는 스크린선별방법과 중량차를 이용하는 기류선별방법을 조합시킨 선별기이다. 조선기 형태는 집진방식에 따라 사이클론 1기로 조선기 1대의 집진만 전담하는 단독집진과 사이클론 1기에 조선기 이외에 투입구, 이송기기 등의 집진을 담당하는 복합집진으로 구분하고, 선별체의 구동형식에 따라 편심축에 의한 전후 또는 좌우 구동, 타원과 전후구동의 혼합방식으로 구분할 수 있다. 선별판은 원형 스크린과 경사 정선판으로 구분되는데 최근에 보급되고 있는 조선기는 벼의 정립보다 큰 이물질과 적은 이물을 선별하는 2단체를 갖춘 경사 정선판 형식이 대부분을 차지하고 있었다.

9개소 RPC에 보급되어 있는 대부분 조선기의 설계 처리능력은 20톤/hr으로 비슷하였으나, 선별율에는 큰 차이가 발생하여 대부분 운영자는 조선기에 큰 불만이 있는 것을 확인할 수 있었다. 선별율 차이는 구조적으로 문제가 있거나, 설치 및 운영방법에 문제가 있는 경우로 구분할 수 있었다. 구조적인 문제로는 벼가 처리능력이상으로 공급되는 경우와, 벼가 기류선별이 거의 이루어지지 않고 선별체만을 단순하게 통과하는 형태이거나, 기류선별에서 공기가 수직 또는 경사 유동되는 방식에서 이물질의 종말속도를 유지할 수 없도록 송풍량이 부족하거나, 공기가 벼 층을 통과하지 않는 방식 등을 들 수 있었다. 설치 및 운영방법에 문제가 있는 경우는 체인 컨베이어에서 조선기로 벼가 경사지게 투입되어 선별체 한쪽에 벼가 두껍

게 쌓이는 경우와, 복합집진 또는 댐퍼조작 미숙 등으로 적정한 송풍량을 확보하지 못하는 경우 등을 들 수 있었다.

조선기의 성능은 제조회사, 제조년도에 따라서 차이가 있었는데, 송풍량 90~190cmm에서 정압은 100~180mmAq수준으로 큰 차이가 있었으며, 송풍기도 7.5~15kW수준으로 차이가 컸다. 농협중앙회 RPC설계기준(2000)에서도 조선기의 집진은 단독으로 규정하고 있음에도 불구하고 아직도 복합집진형태로 유지되는 RPC가 조사대상 9개소중 2개소나 되었다. 농협 RPC 200개소에 보급되어 있는 조선기의 집진 형태에 대해 조사한 한국RPC연구회(2003)의 보고에 의하면 단독집진 형태가 66.7% 수준이었으며, 선별능력이 떨어지는 복합집진이 31.2%로 아직도 많은 높은 비율을 차지하고 있어 시급한 보완이 필요하였다.



(단독집진)



(복합집진)

그림 2. RPC에 설치된 조선기의 단독집진 및 복합집진형태

2) RPC별 조선기 형태별 조선특성

표 9는 9개소 RPC에 반입되는 산물 벼를 대상으로 투입구에서 채취한 정선되지 않은 벼와, 조선기를 통과한 정선된 벼에 혼입된 이물질의 중량비와 조선율을

측정한 결과를 나타낸 것으로서, 표에서 알 수 있듯이 2002년 수확기에 RPC에 반입된 정선되지 않은 산물 벼에 혼입된 이물질의 중량비는 1.31~2.98%수준이었고, 정선된 벼에 혼입된 이물질의 중량비는 0.92~2.29%수준이었으며, 조선평은 14.0~37.4%수준에 불과하였다.

조선평의 집진 형태별로는 복합집진 형태(2개소)의 조선평이 18.0%수준으로 단독집진 형태(7개소) 조선평 24.9%보다 낮게 나타나 정상적인 조건하에서는 복합집진보다 단독집진 형태가 유리함을 알 수 있다. 그러나 단독집진 형태인 A농협의 경우 조선평이 14.0%에 불과하여 조선평에서 선별 형태, 운전조건 등도 선별율에 영향을 미치는 것도 알 수 있었다.

표 9. RPC별 조선평 통과전후의 벼에 혼입된 이물질의 중량비 및 조선평

구 분		시료수 (점)	이물질의 중량비(%)		조선평(%)	비 고
			조선평전	조선평후		
A	농협	6	1.73	1.48	13.98	
B	농협	5	1.31	0.92	29.75	
C	농협	5	1.91	1.2	37.38	
D	농협	4	2.98	2.29	23.23	
E	농협	4	2.25	1.87	17.22	
F	농협	5	1.76	1.45	17.7	복합집진
G	농협	5	1.67	1.19	28.91	
H	민간	5	1.98	1.62	18.2	복합집진
I	민간	5	2.14	1.62	24.13	
평 균		44	1.97	1.52	23.39	

표 10. 벼 함수율, 이물질 형태별 조선키 전후 벼에 혼입된 이물질 중량비 및 조선키율

구 분		이물질의 중량비(%)				조선키율(%)
		이 물	쪽정어	지푸라기	계	
15%대	조선키 전	0.05	1.66	0.06	1.77	18.21
	조선키 후	0.02	1.40	0.03	1.45	
	차이	0.03	0.27	0.03	0.32	
18%대	조선키 전	0.13	2.54	0.14	2.81	19.12
	조선키 후	0.05	2.20	0.03	2.27	
	차이	0.08	0.34	0.11	0.54	
21%대	조선키 전	0.14	1.23	0.12	1.49	26.46
	조선키 후	0.10	0.91	0.09	1.10	
	차이	0.04	0.32	0.04	0.39	
24%대	조선키 전	0.33	1.66	0.10	2.09	21.28
	조선키 후	0.30	1.33	0.03	1.65	
	차이	0.04	0.34	0.07	0.45	
26%이상	조선키 전	0.07	1.43	0.11	1.61	23.74
	조선키 후	0.04	1.15	0.04	1.23	
	차이	0.03	0.28	0.07	0.38	
평균(%)	조선키 전	7.40	87.18	5.42	100	21.76
	조선키 후	6.60	90.69	2.70	100	
	조선키율	40.05	19.08	59.70		

표 10은 벼의 함수율과 이물질의 형태별로 조선키 전·후에서 채취한 벼에 혼입된 이물질의 중량비와 조선키율을 나타낸 것이다. 이물질은 크게 쪽정어, 지푸라기, 이물, 돌, 감부기, 기타 이물질로 나눌 수 있었으나, 채취한 시료에 혼입되어 있는 돌의 경우 그 크기가 대단히 적어 1.6mm줄체를 통과하여 이물에 포함시켰으며,

깜부기는 9개소 RPC중에서 6개소 RPC에서 채취한 시료에서 혼입되어 있었으나 그 양이 대단히 적어 역시 이물에 포함시켰다. 기타 이물질에는 끈, 나무조각, 야생 풀 열매 등을 들 수 있었다.

조선기를 통과하기 전 정선되지 않은 원료에 혼입된 이물질의 종류별로 중량비를 살펴보면, 쪽정이가 이물질의 87.2%로서 거의 대부분을 차지하고 있었으며, 이물은 7.4%, 지푸라기는 5.4%수준이었다. 이물질별 조선율은 쪽정이가 19.1%로 가장 낮았으며, 이물 및 지푸라기가 각각 40.1%, 59.7%으로 비교적 높았다. 이에 따라 조선기를 통과한 정선된 벼에 혼입된 이물질의 중량비는 쪽정이가 90.7%, 이물이 6.6%, 지푸라기가 5.4%로서 쪽정이가 비율이 오히려 증가하였다.

다. 정선지수측정시스템의 개발 기본방향 설정

1) 재정선과 개선공정방향

조선기에서 정선되지 않는 이물질은 건조과정중에 일부 간접 정선된다. 그러나 간접 정선량이 그다지 많지 않으며, 특히, 상온통풍건조방식인 경우 간접 정선이 거의 발생하지 않아 장기저장 중에 이물질에 의한 변질사례가 보고된바 있다.

RPC에서 정선지수측정시스템은 조선기에서 정선되지 않는 이물질량을 정확하게 측정하여 건조지수와 마찬가지로 RPC와 농민간에 실중량 거래가 가능하도록 하는 것이 목적이며, 이물질을 제거하는 것은 아니다. 따라서 RPC의 기본공정은 다음 그림 3과 같이 건조가 종료된 후 장기저장 전에 재정선을 실시하는 방향으로 공정의 개선이 필요하다.

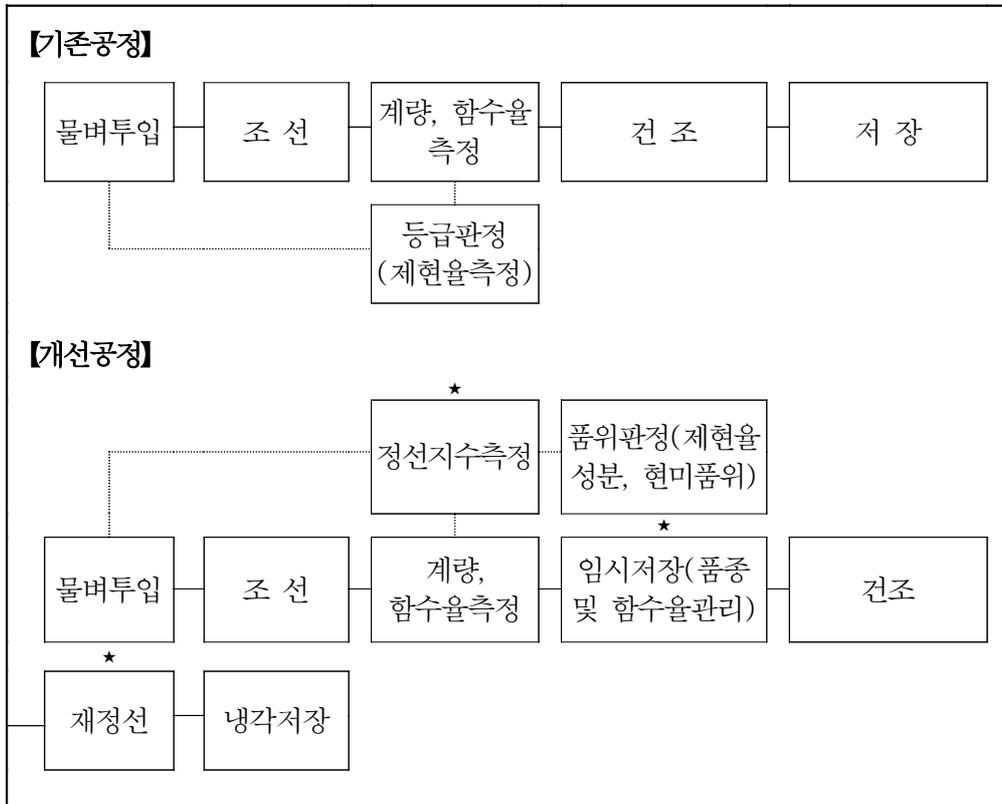


그림 3. 고품질 쌀 생산을 위한 반입, 건조, 저장의 개선공정

2) 기본방향

정선지수측정시스템은 조선키를 통과한 벼에 혼입된 이물질의 중량비를 정확하게 측정해야 하므로 호퍼스케일 전·후에 설치하는 것을 기본으로 하였다. 개발방향은 정선지수측정시스템에서 가장 유의할 사항은 측정과정중 낙곡의 발생, 벼 정립이 이물질과 섞여 배출되거나, 기류로 벼 함수율이 저하되는 것을 반영하지 못하는 등으로 인해 벼의 실증량이 감소하여 농민에게 피해가 가는 것으로서, 실증량이 감소하지 않도록 하는 것을 최우선으로 하였다.

또한, RPC에서 정선지수측정시스템을 기존의 반입시설에 추가로 설치할 때 호퍼스케일에서 원활하게 시료를 채취하기 어려운 경우에는 제현율 측정을 위해 채

취한 시료를 사용할 수 있으므로 중앙 입고운영관리시스템, 호퍼스케일과의 연동이 필요가 없으며 이를 위해 off-line 시스템이 필요하다. 반대로 반입시설을 신설하거나 호퍼스케일에서 원활하게 시료를 채취할 경우 중앙 입고운영관리시스템, 호퍼스케일과의 연동을 위해 on-line의 시스템이 필요하므로, 본 연구에서는 시스템의 개발방향을 on-line과 off-line으로 하였다. 본 연구에서는 off-line을 우선 개발하고, on-line으로 사용하기 위한 통신시스템을 구축하는 것으로 하였다.

이를 위하여 우선적으로 현재 조선기에서 기류선별방식으로 채용하고 있는 수평/경사 기류선별방식이 벼 정립에 이물질과 섞여 배출되는 점을 감안하여 수직 기류선별 방식에 대해 검토가 필요하였고, 단립수분계를 두어 측정전과 측정후의 함유율 차이를 이용하여 실중량 감소를 방지하는 방법을 강구하는 것이 필요할 것으로 판단되었다. 또한, 호퍼스케일 후단에서 시료의 채취 방법의 정립과 호퍼스케일에서 농가당 구분에 관한 신호와 정선지수를 주고받는 체계에 대한 정립이 필요하였다.

3) 처리시간 및 처리량

측정시간과 관련해서 실제 반입능력이 약 10ton/hr수준이었으므로, 1,000kg을 반입하는데 소요되는 시간을 예측하면 약 6.0분 정도이었으며, 1분간 반입할 수 있는 물량은 약 167kg 수준이었다. 실험용으로 사용하는 시료의 채취량은 통상적으로 벼 중량의 1/1,000정도를 기본으로 하고 있으므로 167kg의 1/1,000으로 약 167g 정도가 적합할 것으로 판단되었다. 정선지수측정시스템에서 처리시간은 시료량을 167g 수준으로 할 경우는 1분, 85g 수준으로 할 때는 30초 정도가 소요될 것으로 판단되었다.

4) 주요 선별대상의 결정

벼에 혼입된 이물질중 지푸라기는 크기와 형상의 차이로 조선기의 스크린에서

대부분 선별되므로 스크린 구멍의 모양 및 크기, 개구비, 스크린 수, 운동형태, 경사각, 스크린의 청소상태 등의 점검으로 용이하게 선별율을 향상시킬 수 있을 것으로 기대되었다. 그러나 지푸라기의 선별율을 향상시키기 위하여 정선지수측정시스템에 스크린 선별장치의 부착을 검토할 필요가 있었으며, 이를 위해 스크린 선별인자를 구명하는 필요하다고 판단하였다.

현재 조선기에서 쪽정이는 하부 선별체에서 일부 선별되고 있으나, 형상이 벼정립과 유사하여 스크린선별방법으로는 선별에 한계가 있고, 기류선별에서 공기의 수평 또는 경사유동으로 선별되고 있으나 역시 한계가 있다. 그러나 표 9 및 10의 결과에서도 알 수 있듯이 RPC에 반입되는 벼에 혼입된 이물질 가운데는 쪽정이 중량비가 이물질의 87.2%인 반면 조선율은 19.1%로서 거의 선별이 되지 않았다. 따라서 조선기를 통과한 벼에 혼입된 이물질을 제외한 실증량을 측정하기 위해서는 정선지수측정시스템에서 쪽정이의 선별이 필요하며, 쪽정이의 정밀한 선별이 정선지수 측정시스템에서의 이물질 선별율을 지배할 것으로 판단되었다.

또한, 이물도 지푸라기와 마찬가지로 조선기의 스크린에서 대부분 선별되나 함유율이 높을 경우 스크린 선별이 어려우므로 쪽정이와 유사하게 기류선별이 필요한 것으로 판단하였다.

제 2 절 정선지수 측정시스템의 설계인자 구명

1. 산물 벼에 혼입된 이물질의 기하학적 선별인자 구명

가. 실험방법

산물 벼에 혼입된 이물질의 기하학적 선별인자를 구명하기 위하여 벼와 이물질의 기하학적 특성을 측정하였으며, 소형 스크린 선별장치를 제작하여 스크린 선별인자를 측정하였다.

1) 기하학적 선별인자 측정

벼의 품종별, 함수율별로 총 25실험구의 벼에서 벼와 쪽정이를 수작업으로 선별하여 1실험구당 100립씩 총 2,500립의 장축, 단축, 면적, 장단축비, 원형율 등의 기하학적 특성을 화상처리시스템(Image analysis system, CCD camera, Image pro)을 이용하여 측정하였으며, SAS를 이용하여 품종별, 함수율별, 벼와 쪽정이 사이의 유의성을 분석하였다. 두께는 캘리퍼스로 측정하였다.

실험에 사용한 시료는 2002년에 수확된 충청, 화봉, 일미, 동안, 일품 등 5개 품종의 벼로서, 2002년 수확기에 해당지역 RPC(충청(경기 화성), 화봉(전남 구례), 일미(전북 익산), 동안(경남 김해), 일품(경북 김천))에서 농민이 반입하는 벼 중에서 품질이 양호하고 함수율 26%수준인 벼를 구매하여 약 4kg내외의 낱개로 진공 포장하여 -5°C 냉장고에 보관하면서 공시하였으며, 상온에서 건조하면서 목표 함수율로 조정하여 사용하였다.

2) 스크린 선별인자의 측정

벼에 혼입된 이물질중 이물과 지푸라기는 주로 크기와 형상의 차이에 의해 조선키의 스크린에서 대부분 선별되므로 정선지수측정시스템에 스크린을 사용할 수 있는지 여부를 확인하기 위하여 스크린 구멍의 모양 및 크기, 경사각 등을 조정할 수 있는 소형 스크린 선별장치를 제작하였다.

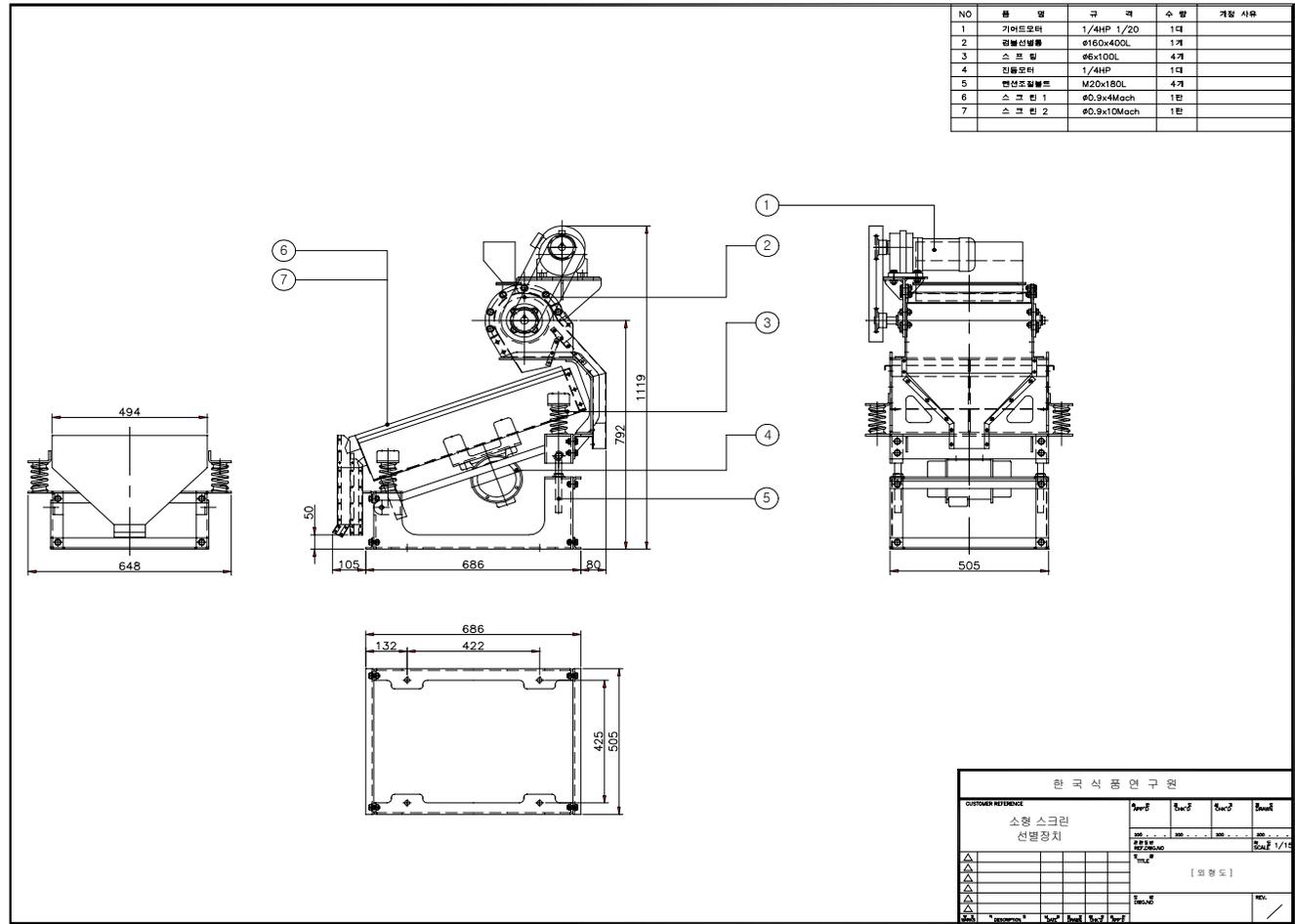
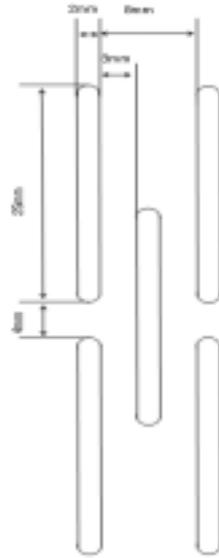


그림 4. 소형 스크린 선별시스템의 주요 설계도(계속)

소형 스크린 선별장치는 시료공급탱크 및 공급량조절장치, 회전선별체, 2단 체선별체로 크기는 50.5×72.0×62.7cm(W×L×H)수준이었다(그림 4). 선별체의 경사각은 0~45°로 임의 조절이 가능하도록 구성하였으며, 이물을 선별하는 1단 선별체는 폭 2mm, 길이 25mm인 타원형의 다공을 타공율 31.13%수준으로 타공하였으며, 지푸라기 등 큰 이물질을 선별하는 2단 선별체의 타공의 형태를 다음과 같이 타원형, 원형 두 종류로 하고, 타원형은 횡과 종으로 구성하였다. 선별체에서 각각 타공율은 타원형(횡형, 종형)이 37.9%, 원형이 28.9%수준이었다(그림 5, 6, 7).



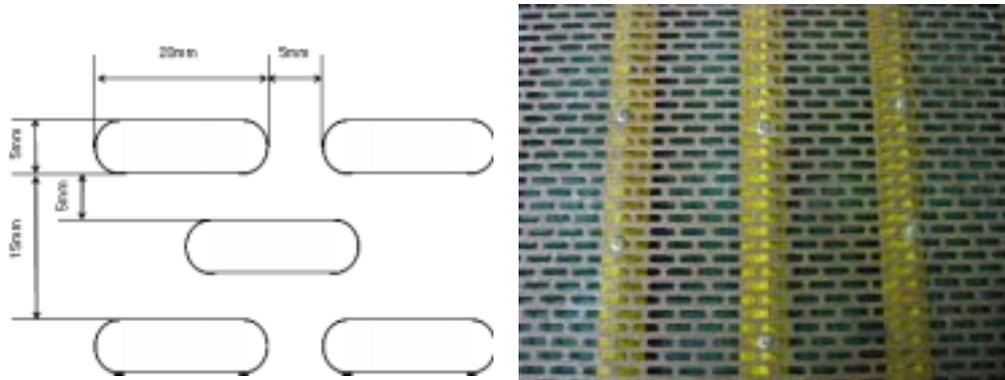
그림 5. 시작품으로 제작된 소형 스크린 선별장치 및 유량조절부



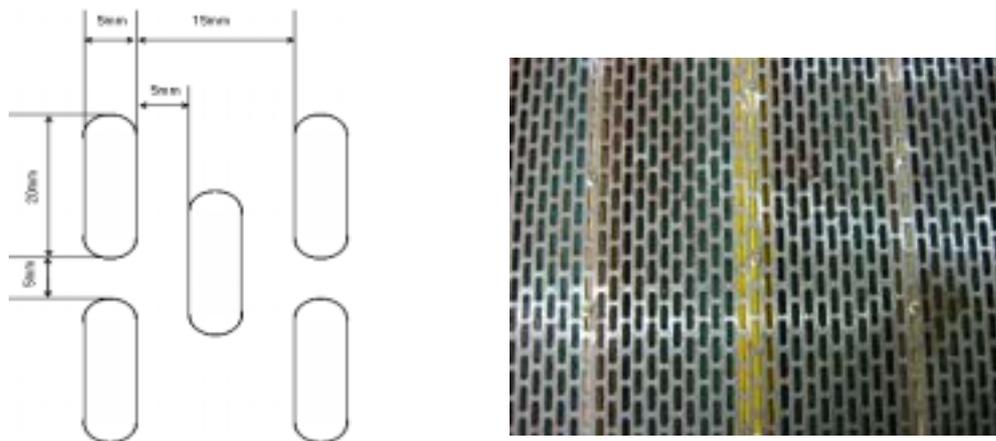
(타공율 31.13%)

그림 6. 소형 스크린 선별장치에 사용된 1차 다공 스크린의 형태

소형 스크린 선별장치에서 선별인자의 측정은 정립 97.11%, 이물질 2.89%인 추청 벼(함수율 23.5%)를 이용하여 스크린의 종류별로 스크린의 각도별(17°, 21°, 25°), 유량별(투입높이 0, 1, 2, 3cm)로 총 36회에 걸쳐 선별실험을 실시하였으며, 투입된 벼와 선별된 정립 및 배출된 이물질에 혼입된 정립과 이물질을 각각 수작업으로 분리하여 선별율과 정립손실율을 측정하였다. 이 때 사용된 벼는 지푸라기 등 이물질의 특성상 동일조건의 시료를 조제할 수 없어 시료간 이물질 함량에 차이가 있었으며, 이물질중에서 지푸라기의 중량비는 평균 2.63%이었으며, 나머지가 쪽정리와 이물이었다.



(타원형, 횡형, 타공율 37.9%)



(타원형, 종형, 타공율 37.9%)



(원형, 타공율 28.9%)

그림 7. 소형 스크린 선별장치에 사용된 2차 다공 스크린의 형태

나. 결과 및 고찰

1) 기하학적 선별인자 측정

1실험구당 100립씩 총 25실험구(벼 5품종×함수율 5수준)의 벼와 쪽정이의 기하학적 특성을 측정한 결과는 다음 표 11, 12와 같았으며, 벼와 쪽정이의 품종 및 함수율 사이의 기하학적 특성의 유의성과, 벼와 쪽정이 사이의 기하학적 특성의 유의성을 분석한 결과는 다음 표 13~17과 같았다.

표에서 알 수 있듯이 벼의 정립과 쪽정이의 장축, 단축, 면적, 장단축비, 둘레길이, 원형율 등 기하학적 특성은 품종에 따라 유의적인 차이를 나타낸 반면, 단축, 면적, 둘레길이만이 함수율에 따라 유의적인 차이를 나타내었다.

표 16은 벼의 정립과 쪽정이의 기하학적 특성을 비교한 것으로서, 장축, 면적, 둘레길이는 유의적인 차이를 나타내지 않는데 비해, 단축, 장단축비, 원형율은 유의적인 차이를 나타내었다. 그러나 쪽정이는 실제 조선키에서 1차 스크린에서 선별되는데 스크린의 다공의 폭이 2.0mm 수준으로 추정 쪽정이의 두께 0.50mm(0.46~0.56mm)와 정립의 두께 2.38mm(2.33~2.44mm)를 감안할 때 두께 차이에 의해 선별되나, 용량이 최소 10ton/hr규모로서 1차 스크린을 통과하는 시간이 짧고 벼 층의 두께가 두꺼워 표 5, 10의 결과에서도 알 수 있듯이 스크린을 이용한 쪽정이 선별은 한계가 있었다. 따라서 쪽정이의 설계는 기류를 이용하는 것이 타당할 것으로 판단되었다.

표 11. 벼의 품종과 함수율에 따른 벼 정립의 기하학적 특성(mm)

품종별	함수율(%)	장축	단축	면적	장단축비	둘레길이	원형율
추청	14.9	7.02	3.40	17.94	1.97	16.75	1.33
	17.7	7.10	3.41	18.03	1.97	16.93	1.35
	20.1	7.15	3.42	18.14	1.97	16.95	1.35
	24.1	7.10	3.46	18.57	1.96	17.04	1.33
	26.3	7.20	3.44	18.67	1.99	17.17	1.34
화봉	14.5	7.35	3.43	19.26	2.05	17.42	1.34
	16.5	7.43	3.45	19.65	2.07	17.56	1.33
	19.1	7.44	3.47	19.71	2.06	17.60	1.33
	24.0	7.36	3.49	19.81	2.04	17.61	1.33
	26.6	7.45	3.48	19.88	2.06	17.67	1.33
일미	15.0	7.08	3.29	17.95	2.07	16.76	1.33
	17.4	7.14	3.28	18.11	2.10	16.82	1.33
	20.2	7.15	3.27	18.14	2.11	16.84	1.33
	23.8	7.13	3.32	18.43	2.07	16.93	1.32
	26.5	7.13	3.34	18.57	2.06	16.99	1.32
동안	15.3	7.35	3.29	18.23	2.12	17.19	1.38
	17.5	7.39	3.33	18.53	2.10	17.35	1.39
	20.5	7.38	3.35	18.65	2.09	17.35	1.37
	23.4	7.41	3.37	18.98	2.09	17.41	1.36
	25.1	7.44	3.42	19.22	2.08	17.52	1.36
일품	15.2	7.03	3.32	18.05	2.04	16.80	1.33
	17.5	7.04	3.31	18.12	2.06	16.83	1.35
	20.8	7.01	3.37	18.26	2.01	16.86	1.32
	22.6	7.01	3.35	18.31	2.01	16.93	1.33
	26.2	7.06	3.39	18.67	2.02	17.04	1.32

표 12. 벼의 품종과 함수율에 따른 쪽정이의 기하학적 특성(mm)

품종별	함수율(%)	장축	단축	면적	장단축비	둘레길이	원형율
추청	14.9	6.83	3.19	16.4	2.05	16.13	1.35
	17.7	6.97	3.25	16.95	2.05	16.43	1.36
	20.1	7.13	3.29	17.77	2.06	16.91	1.37
	24.1	7.03	3.35	17.84	2.02	16.76	1.34
	26.3	7.17	3.36	18.33	2.05	17.09	1.35
화봉	14.5	7.39	3.37	19.04	2.12	17.62	1.39
	16.5	7.48	3.38	19.37	2.14	17.69	1.38
	19.1	7.55	3.35	19.68	2.17	17.8	1.37
	24.0	7.48	3.45	19.89	2.1	17.87	1.36
	26.6	7.49	3.47	19.93	2.09	17.9	1.37
일미	15.0	7.09	3.26	17.65	2.1	16.76	1.36
	17.4	7.13	3.24	17.71	2.13	16.91	1.38
	20.2	7.12	3.27	17.86	2.12	16.94	1.37
	23.8	7.15	3.32	18.23	2.08	16.98	1.35
	26.5	7.22	3.33	18.49	2.11	17.13	1.35
동안	15.3	7.51	3.3	18.55	2.17	17.57	1.42
	17.5	7.55	3.32	18.94	2.17	17.7	1.41
	20.5	7.6	3.35	19.3	2.17	17.78	1.39
	23.4	7.63	3.38	19.5	2.16	17.93	1.4
	25.1	7.74	3.35	19.77	2.21	18.13	1.41
일품	15.2	7.08	3.19	17.35	2.14	16.67	1.37
	17.5	7.05	3.24	17.46	2.1	16.72	1.37
	20.8	7.11	3.28	17.84	2.09	16.88	1.36
	22.6	7.13	3.31	18.04	2.09	17.09	1.38
	26.2	7.22	3.28	18.13	2.11	17.17	1.38

표 13. 벼 품종별 벼 정립의 기하학적 특성(mm)

품종	장축***	단축***	면적***	장단축비***	둘레길이***	원형율***
추청	7.12 ^b	3.43 ^b	18.27 ^c	1.97 ^d	16.97 ^c	1.34 ^b
화봉	7.41 ^a	3.47 ^a	19.66 ^a	2.06 ^b	17.57 ^a	1.33 ^b
일미	7.12 ^b	3.30 ^d	18.24 ^c	2.08 ^a	16.87 ^c	1.33 ^b
동안	7.39 ^a	3.35 ^c	18.72 ^b	2.09 ^a	17.36 ^b	1.37 ^a
일품	7.03 ^c	3.35 ^c	18.28 ^c	2.03 ^c	16.89 ^c	1.33 ^b

abc

column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

*, **, ***

시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 14. 벼의 함수율별 벼 정립의 기하학적 특성(mm)

함수율	장축	단축*	면적**	장단축비	둘레길이	원형율
14%수준	7.16	3.35 ^b	18.29 ^c	2.05	16.98 ^b	1.34
17%수준	7.22	3.36 ^{ab}	18.49 ^{bc}	2.06	17.10 ^{ab}	1.35
20%수준	7.22	3.38 ^{ab}	18.58 ^{abc}	2.05	17.12 ^{ab}	1.34
23%수준	7.20	3.40 ^{ab}	18.82 ^{ab}	2.04	17.18 ^{ab}	1.33
26%수준	7.26	3.41 ^a	19.00 ^a	2.04	17.28 ^a	1.33

abc

column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

*, **, ***

시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 15. 벼의 품종별 쪽정이의 기하학적 특성(mm)

품 종	장축***	단축***	면적***	장단축비***	둘레길이***	원형율***
추청	7.03 ^d	3.29 ^c	17.46 ^d	2.05 ^c	16.67 ^c	1.36 ^c
화봉	7.48 ^b	3.40 ^a	19.58 ^a	2.13 ^b	17.78 ^a	1.37 ^b
일미	7.14 ^c	3.28 ^c	17.99 ^c	2.11 ^b	16.95 ^b	1.36 ^c
동안	7.61 ^c	3.34 ^b	19.21 ^b	2.18 ^a	17.82 ^a	1.41 ^a
일품	7.12 ^a	3.26 ^c	17.76 ^{cd}	2.11 ^b	16.90 ^b	1.37 ^{bc}

abc column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

*, **, *** 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 16. 벼의 함수율별 쪽정이의 기하학적 특성(mm)

함수율(%)	장축	단축***	면적***	장단축비	둘레길이*	원형율
14%대	7.18	3.26 ^b	17.80 ^c	2.12	16.95 ^b	1.38
17%대	7.24	3.29 ^b	18.09 ^{bc}	2.12	17.09 ^{ab}	1.38
20%대	7.30	3.31 ^b	18.49 ^{ab}	2.12	17.26 ^{ab}	1.37
23%대	7.28	3.36 ^a	18.70 ^{ab}	2.09	17.33 ^{ab}	1.37
26%대	7.37	3.36 ^a	18.93 ^a	2.11	17.48 ^a	1.37

abc column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

*, **, *** 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 17. 벼의 정립과 쪽정이의 기하학적 특성비교(mm)

	장측	단측**	면적	장단측비***	둘레길이	원형율***
벼 정립	7.21	3.38	18.64	2.05	17.13	1.34
쪽정이	7.27	3.32	18.40	2.11	17.22	1.37

abc column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

*, **, *** 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

2) 스크린 선별인자 측정

다음 표 18은 스크린의 형상, 스크린의 각도 및 유량에 따른 정립의 손실율과 지푸라기, 쪽정이 및 이물의 선별율을 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이 스크린 선별장치에서 지푸라기의 선별율은 약 94.24%(47.31~100%)로서 상당히 높은 선별율을 나타내었고, 쪽정이와 이물도 57.67%(9.73~81.00%)로서 높은 선별율을 나타내었으나 정립 손실율이 2.32%(0.16~6.92%)에 달하였다.

이 결과에서 정립의 상당부분이 지푸라기와 같이 배출된 점을 감안할 경우, 지푸라기를 선별하지 않을 경우의 지푸라기에 의한 실중량 감소보다는, 지푸라기를 선별할 때의 정립의 손실율에 의한 실중량 감소가 훨씬 크게 나타난다는 것을 알 수 있었다.

또한, 스크린 선별체에서 선별능력의 향상이 어려운 점을 감안할 경우, 정선지수 측정시스템에서는 스크린 선별체를 도입하지 않는 것이 오히려 타당할 것으로 판단되었다.

표 18. 소형 스크린 선별장치에서 스크린 형상, 각도 및 유량에 따른 정립손실율 및 이물질 선별율

스크린 형상	스크 린 각도	유량 (투입 높이, cm)	선별전 정립 및 이물질 중량(500g)			선별후 정립중 정립 및 이물질 중량(g)				정립 손실율 (%)	이물질선별율 (%)		
			정립	지푸라 기	쭉정이 및 이물	계	정립	지푸라 기	쭉정이 및 이물		지푸라 기	쭉정이 및 이물	
타원형 (중형)	17°	0	493.42	0.86	5.72	487.66	485.54	0.00	2.12	1.60	100	62.94	
		1	493.05	2.07	4.88	485.62	471.06	2.33	12.23	4.46			
		2	493.42	0.51	6.07	493.23	488.45	0.00	4.78	1.01	100	21.25	
			3	489.27	2.25	8.48	488.85	476.56	0.55	11.74	2.60	75.56	
	21°	0	492.28	0.63	7.09	482.94	467.59	0.23	15.12	5.02	63.49		
		1	495.27	0.97	3.76	484.20	475.56	2.30	6.34	3.98			
		2	490.29	1.86	7.85	484.41	470.98	0.98	12.45	3.94	47.31		
			3	493.12	0.00	6.88	487.18	476.79	0.00	10.39	3.31	100	
	25°	0	491.85	0.13	8.02	482.18	473.85	1.09	7.24	3.66		9.73	
1		491.73	2.63	5.64	485.61	473.26	0.38	11.97	3.76	85.55			
2		494.78	0.36	4.86	490.17	482.11	0.40	7.66	2.56				
		3	491.19	2.21	6.60	489.42	484.24	0.00	5.18	1.41	100	21.52	
타원형 (형형)	17°	0	484.16	0.00	15.84	482.10	478.55	0.08	3.47	1.16	100	78.11	
		1	483.03	0.00	16.97	483.44	477.93	0.00	5.51	1.06	100	67.55	
		2	483.84	0.00	16.16	488.14	483.91	0.00	4.23		100	73.84	
			3	484.19	0.00	15.81	491.10	487.83	0.00	3.27		100	79.32
	21°	0	493.97	0.57	5.46	490.67	486.21	0.00	4.47	1.57	100	18.22	
		1	492.27	1.47	6.26	493.28	490.62	0.00	2.66	0.34	100	57.44	
		2	491.70	0.00	8.30	491.82	486.45	0.65	4.72	1.07	100	43.18	
			3	489.39	1.42	9.19	493.66	490.39	0.11	3.16		92.18	65.67
	25°	0	483.89	0.27	15.84	486.45	480.90	0.03	5.52	0.62	88.52	65.16	
1		485.11	1.04	13.85	488.86	483.43	0.00	5.43	0.35	100	60.82		
2		486.16	0.35	13.49	488.40	479.85	1.41	7.14	1.30		47.06		
		3	485.53	1.23	13.24	487.60	479.72	0.00	7.88	1.20	100.00	40.46	

표 18. 소형 스크린 선별장치에서 스크린 형상, 각도 및 유량에 따른 정립손실율 및 이물질 선별율(계속)

스크린 형상	스크 린 각도	유량 (투입 높이, cm)	선별전 정립 및 이물질 중량(500g)			선별후 정립중 정립 및 이물질 중량(g)				정립 손실율 (%)	이물질선별율 (%)	
			정립	지푸라 기	쪽정이 및 이물	계	정립	지푸라 기	쪽정이 및 이물		지푸라 기	쪽정이 및 이물
원형	17°	0	481.81	0.00	18.19	454.78	449.16	0.00	5.62	6.78	100.00	69.11
		1	485.11	0.71	14.18	458.87	451.54	0.01	7.32	6.92	98.17	48.41
		2	483.81	1.09	15.10	474.35	468.61	0.00	5.74	3.14	100	61.97
		3	483.58	0.16	16.26	489.77	484.85	0.02	4.90		90.63	69.85
	21°	0	485.36	0.60	14.04	487.25	484.58	0.00	2.67	0.16	100	81.00
		1	492.21	0.53	7.26	488.08	483.89	0.04	4.15	1.69	93.02	42.84
		2	486.43	0.04	13.53	489.51	485.82	0.00	3.69	0.13	100	72.70
		3	486.46	0.19	13.35	488.74	485.13	0.00	3.61	0.27	100	72.93
	25°	0	484.16	0.00	15.84	491.56	486.65	0.09	4.82		100	69.57
		1	486.15	0.00	13.85	493.18	489.20	0.00	3.98		100	71.28
		2	485.93	0.58	13.49	492.26	488.71	0.08	3.47		87.07	74.25
		3	486.08	0.68	13.24	490.85	486.71	0.00	4.14		100	68.70
평균			488.33	0.71	10.96	486.28	479.91	0.30	6.08	2.32	94.24	57.67

2. 산물 벼에 혼입된 이물질의 공기역학적 선별인자 구명

가. 실험방법

1) 쪽정이 기류선별 가능성 검토

9개소 RPC의 조전기 전후에서 채취한 다양한 품종의 벼 88점 시료(제 2절)를 이용하여 벼와 쪽정의 함수율 및 천립중의 측정치로 이물질중 중량비가 가장 높 으면서 선별율이 가장 낮은 쪽정의 선별가능성을 확인하였다. 함수율은 식(1)을

이용하여 구하였으며, 천립중(千粒重)은 1,000립을 수작업으로 선별하여 중량을 측정하였다.

2) 풍동 제작

벼의 정립과 스크린에서 기하학적 특성으로 선별이 되지 않는 쪽정이를 위주로 한 이물질의 선별을 위한 공기역학적 특성 측정용 실험장치인 풍동을 제작하였다.

조선기의 쪽정이 선별용 풍구는 외기공기를 경사지게 도입(oblique air stream)하여 선별하는 방식으로서 송풍량이 지나치게 증가하면 벼 정립이 이물질과 같이 배출되고 송풍량이 적으면 쪽정이 선별율이 저하되므로 측정에 정밀도를 요하는 정선지수 측정시스템에는 사용이 어려울 것으로 판단되었다. 따라서 Bezruchkin (1949), Grochowicz(1980) 등의 제안과 같이 정선지수측정시스템은 수직직관을 이용하여 선별하는 것을 기본으로 하였으며, 국내산 벼 종말속도를 측정 보고한 이등(1990)선행연구와 한국공업규격(KS A 0612-1992 : 조임기구에 의한 유량 측정방법, KS B 6311 : 송풍기 실험방법)에 근거하여 풍동을 설계하여 제작하였다 (그림 8, 9).

VS motor와 댐퍼로 송풍량을 조절할 수 있고 높이가 다른 다수의 아크릴 수지 파이프를 수직풍동의 높이를 가변적으로 조절할 수 있도록 하였으며, 송풍량은 선별에 필요한 풍속은 다음과 같이 쪽정리와 벼의 정립사이의 풍속이 유지될 수 있도록 하였다.

- 1) 공기의 수평 또는 경사유동(horizontal and oblique air streams)

$$|u_s|_{av} = \sqrt{u_{k1} u_{k2}}$$

- 2) 공기의 수직유동(vertical air stream)

$$u_{k1} < u_s < u_{k2}$$

여기서, u_s : 선별에 필요한 풍속(m/sec)

u_{k1} : 쪽정이 등 이물질의 한계풍속(m/sec)

u_{k2} : k 점의 한계풍속(m/sec)

또한, 수직 풍동 내 각 지점에서의 풍속이 일정하도록 정류격자를 제작, 설치하였으며, 직경 10.0cm의 아크릴 수직관 풍동내에 스테인레스 망을 상, 하 2개에 설치하였고, 수직 풍동의 높이를 최대 120.5cm까지 조절할 수 있도록 직관부를 여러 개로 나누어 제작하였다. 또한, 송풍기(centrifugal type, 2.2kW, 90m³/min)의 송풍량을 정밀하게 제어하기 위하여 흡입 댐퍼와 VS motor를 설치하였다. 동압을 측정하여 풍속으로 환산하였으며, 동압측정을 위하여 pitot tube와 고성능 디지털 마노미터(2655, Yokogawa, 분해능 0.01mmAq)를 이용하였다.

제작된 풍동의 성능평가는 한국공업규격(KS B 6311)에 준하여 실시하였는데 VS motor에 공급되는 전류를 조절하면서 12가지 풍속범위에서 각 20개 지점의 동압을 pitot tube와 고성능 디지털 마노미터로 측정하여 수직관내의 각 지점에서의 유속분포와 조절 가능한 풍속범위를 측정하였다.



그림 8. 시제품으로 제작된 풍동과 풍동내에서 선별장면

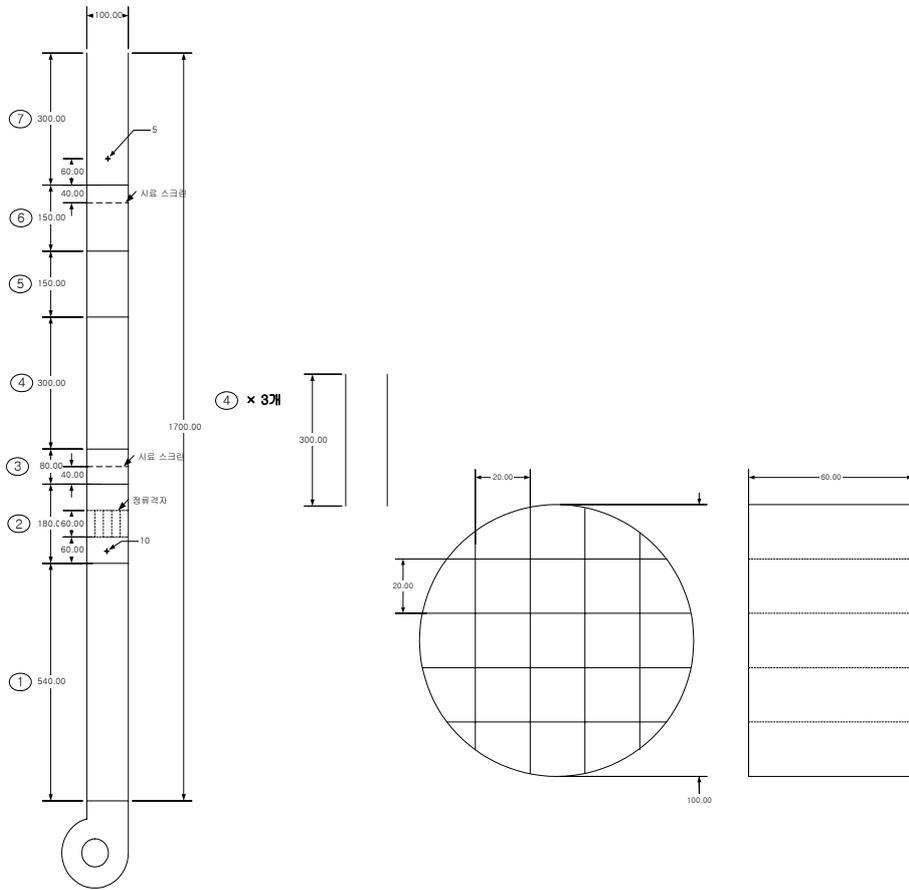


그림 9. 수직 풍동과 정류격자 설계도

3) 종말속도 측정

성능평가가 끝난 풍동을 이용하여 실제 정선지수측정시스템의 설계에 필요한 벼와 쪽정이의 종말속도를 측정하였다.

종말속도는 25실험구(벼 5품종×함수율 5수준)에 대하여 벼 정립과 쪽정이가 약 30립을 수직풍동의 하부 스테인레스 망에 올려놓고 송풍하여 약 1cm정도 상승할 때의 상승 종말속도와, 송풍량을 증가시켜 상부 스테인레스망에 부착시킨 후 송풍량을 감소시켜 상부 스테인레스 망에서 떨어질 때의 낙하 종말속도를 각각 측정하

였다. 측정된 종말속도를 이용하여 품종별로 함수율을 변수로 하는 1차 선형 회귀 방정식을 구하였다.

4) 지푸라기 등 기타 이물질 선별

풍동을 이용하여 지푸라기, 감부기 등 기타 이물질의 선별가능성을 검토하였다. 지푸라기는 곧은 형태와(표 19) 잔가지가 많은 형태(표 20)를 이용하여 풍동에서 선별이 가능한지를 검토하였으며, 감부기의 크기는 직경이 약 4.36mm(3.23~5.49mm)인 것을 사용하여 선별 가능성을 검토하였다. 이 때 선별에 이용된 풍속은 5.1m/sec를 사용하였다.

표 19. 풍동실험에 사용한 곧은 지푸라기의 외형적 특성

	무게(g)	지름(mm)	길이(mm)	체적(mm ³)
1	0.09	0.30	5.60	0.40
2	0.17	0.30	11.00	0.78
3	0.21	0.30	11.10	0.78

표 20. 풍동실험에 사용한 잔가지가 많은 지푸라기의 외형적 특성

	무게(g)	지름(mm)	길이(mm)	체적(mm ³)
1	0.08	0.30	12.50	0.88
2	0.19	0.32	17.00	1.37
3	0.30	0.38	16.00	1.81

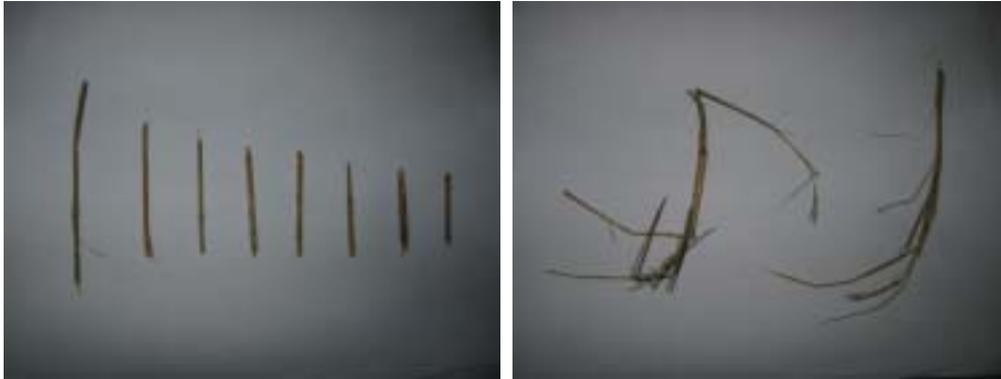


그림 10. 풍동실험에 사용한 지푸라기 형태(곧은 형태, 잔가지가 많은 형태)

나. 결과 및 고찰

1) 쪽정이 기류선별 가능성 검토

다음 표 21은 조선기 통과전후의 벼와 벼에 혼입된 이물질의 함수율을 벼 정립의 함수율별로 구분하여 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이 조선기 통과전 벼에 혼입된 이물질중에서 이물 함수율은 벼 정립과 유사한 반면, 쪽정과 지푸라기 함수율은 벼 정립의 함수율이 21%대까지는 벼 정립 함수율보다 낮은 반면, 24% 함수율대에서는 벼 정립 함수율보다 높은 경향을 나타내었다. 한편, 조선기 통과시 이물과 지푸라기는 각각 1.49% 및 2.40%정도가 건조된 반면 벼 정립은 약 0.44%정도가 건조되었으며, 쪽정은 0.86%정도밖에 건조되지 않았다.

그림 11은 RPC에 채취한 동일 시료에 포함된 벼의 정립과 쪽정의 함수율을 비교한 것으로서, 벼 정립 함수율이 12.0~27.1%수준일 때 쪽정 함수율은 식(3)과 같이 11.6~43.5%수준으로서 동일 벼 시료에서 벼 정립의 함수율이 약 23.0%수준까지는 벼 정립 함수율보다 쪽정 함수율이 다소 낮은 반면, 23%이상에서는 벼 정립 함수율보다 쪽정 함수율이 다소 높게 나타났다.

표 21. 벼의 정립과 벼에 혼입된 이물질의 함수율 비교

구 분		함수율(%)			
		정립	이물	쭉정이	지푸라기
15%대	조선기 전	15.56	15.47	13.88	15.2
	조선기 후	15.33	14.29	13.65	12.55
	차이	0.23	1.18	0.23	2.65
18%대	조선기 전	18.65	15.83	16.02	15.2
	조선기 후	18.15	14.58	15.24	13.48
	차이	0.5	1.25	0.78	1.72
21%대	조선기 전	20.55	20.91	18.59	15.95
	조선기 후	20.2	18.57	17.36	14.22
	차이	0.35	2.34	1.23	1.73
24%대	조선기 전	23.37	22.14	25.01	24.57
	조선기 후	22.83	21.42	23.66	22.84
	차이	0.54	0.72	1.35	1.73
26%이상	조선기 전	25.65	25.99	34.14	28.12
	조선기 후	25.07	24.03	33.41	23.93
	차이	0.58	1.96	0.73	4.19
평균	조선기 전	20.76	20.07	21.53	19.81
	조선기 후	20.32	18.58	20.66	17.40
	차이	0.44	1.49	0.86	2.40

$$M_{ek} = -63.5022 + 14.0628M_p - 0.8689M_p^2 + 0.0183M_p^3 (r^2=0.9211) \dots (3)$$

여기서, M_{ek} : 쭉정이 함수율(%)

M_p : 벼 정립 함수율(%)

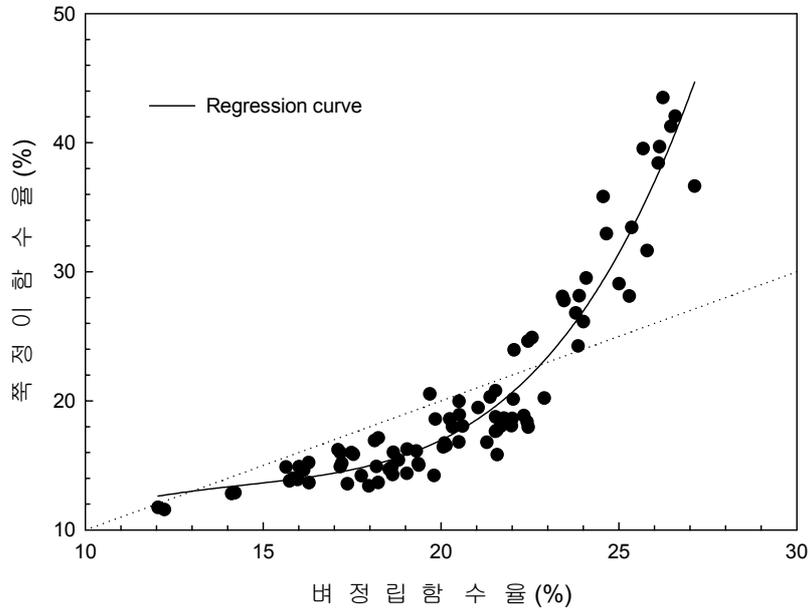


그림 11. 동일 벼 시료에서 벼의 정립과 쪽정이의 함수율 비교

그림 12는 벼의 정립과 쪽정이의 함수율에 따른 천립중을 나타낸 것으로서, 벼와 쪽정이의 함수율이 증가할수록 천립중은 증가하는 경향이었으나, 벼의 천립중이 23.69~29.18g인데 반해 쪽정이의 천립중은 3.88~8.46g으로 벼의 정립과 쪽정이의 천립중 사이에는 대단히 큰 차이가 있었다. 벼의 정립과 쪽정이의 형상이 거의 유사한 반면 천립중에 큰 차이가 있으므로 기류를 이용할 경우 선별 가능성은 대단히 높은 것으로 판단하였다.

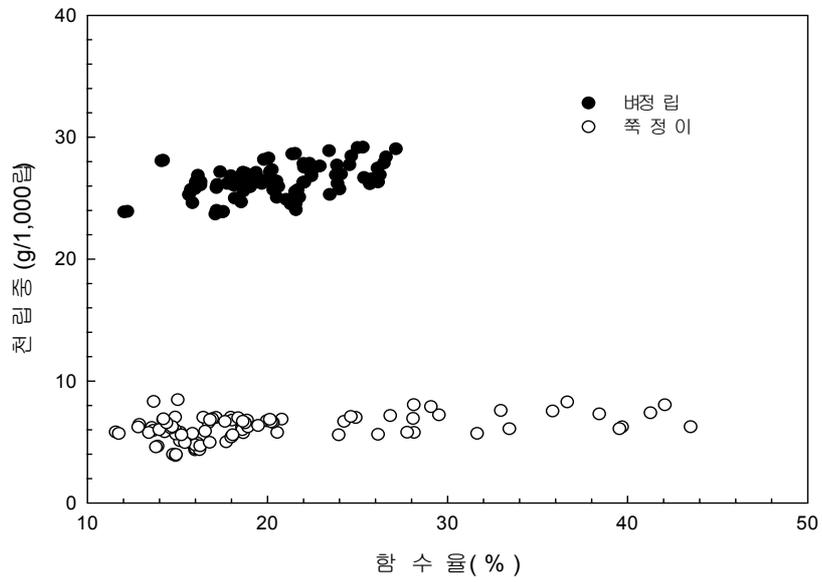


그림 12. 벼 정립과 쪽정이의 함수율별 친립중

2) 풍동의 성능평가

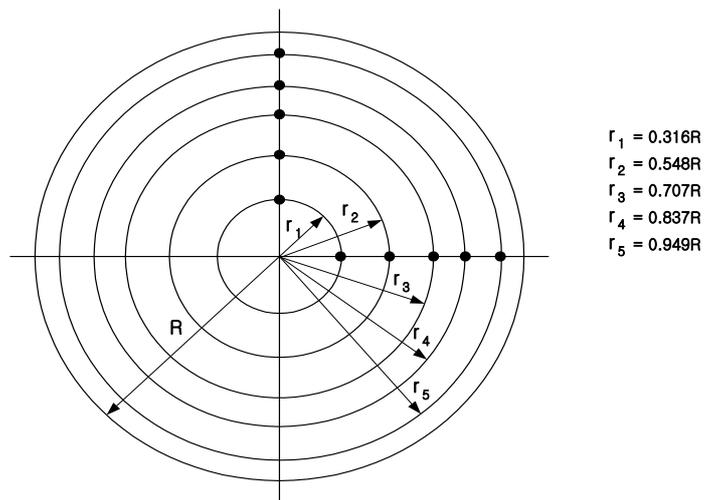


그림 13. 수직관 내 동압 측정 위치

풍동의 성능은 수직관내 유속의 균일분포 여부로 평가하였다. 이를 위하여 풍동 수직관 내 송풍기로부터 6D(직관의 직경 D)위치에 설치된 정류격자 상부에 2개의 스테인레스 망을 포함한 수직관을 세우고 VS 모터에 공급되는 전류 값을 12가지로 변환하면서 5번 홀(그림 9)에 pitot tube를 삽입하여 동압을 측정하였다. 측정 지점은 다음 그림 13과 같이 20지점(원주방향으로 5지점×4축)이었으며, 풍속으로 환산한 결과는 다음 표 22와 같았다.

표에서 알 수 있듯이 송풍기에서 조절할 수 있는 풍속범위는 0.91~12.23m/sec(송풍량은 0.43~5.76m³/sec)으로서 일반적으로 알려져 있는 벼 정립의 종말속도를 포함한 전 범위의 실험이 가능할 것으로 판단되었다. 또한, 표준편차가 0.092~0.972m/sec로서 각 지점의 풍속이 비교적 균일함을 알 수 있었다.

표 22. 수직관 내의 위치에 따른 유속분포

측정 지점	VS motor의 전류값에 따른 각 지점의 풍속(m/sec)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
A-r1	0.800	1.497	2.499	3.035	3.942	4.982	5.909	6.588	7.667	8.745	9.542	11.177
A-r2	0.800	1.524	2.670	3.324	4.254	5.264	6.239	7.131	8.607	8.922	10.172	11.784
A-r3	0.849	1.767	2.914	3.500	4.710	5.793	6.490	7.646	9.373	10.037	11.259	12.791
A-r4	0.849	1.961	3.214	4.052	5.030	6.478	7.471	8.438	10.009	10.828	12.448	13.533
A-r5	0.980	1.834	3.189	4.329	5.574	6.738	7.662	9.086	10.001	11.127	12.263	13.284
B-r1	0.939	1.940	3.087	4.120	5.324	6.309	7.524	8.759	9.559	11.123	12.129	12.943
B-r2	0.939	1.812	2.844	3.952	5.172	6.076	7.460	8.565	9.638	10.351	11.379	12.700
B-r3	0.800	1.744	2.787	3.657	4.769	5.786	6.679	7.883	8.676	9.754	10.754	11.613
B-r4	0.749	1.601	2.714	3.419	4.572	5.309	6.219	7.837	8.447	9.069	10.211	11.152
B-r5	0.800	1.524	2.594	3.466	4.366	5.256	5.751	7.018	8.039	8.899	10.195	10.945
C-r1	0.849	1.550	2.594	3.744	4.545	5.078	6.397	6.943	8.074	9.638	10.569	11.159
C-r2	0.939	1.626	2.624	3.942	4.869	5.653	6.978	7.677	8.667	9.864	10.898	11.571
C-r3	0.980	1.856	2.954	4.091	4.982	6.422	7.460	8.380	9.394	10.765	11.979	12.406
C-r4	1.020	1.919	3.251	4.384	5.414	6.619	7.796	8.953	10.313	11.018	12.467	13.495
C-r5	1.059	1.919	3.202	4.273	5.524	6.546	7.745	8.985	10.061	11.312	12.496	13.402
D-r1	0.980	1.919	3.288	4.292	5.309	6.533	7.599	8.713	9.921	10.813	11.882	13.228
D-r2	1.059	1.767	3.048	4.032	5.279	6.478	7.259	8.518	9.513	10.861	12.149	13.288
D-r3	0.939	1.524	2.872	3.982	4.844	5.916	7.193	7.847	8.433	9.945	11.295	11.943
D-r4	0.939	1.576	2.578	3.546	4.554	5.560	6.478	7.058	8.128	9.688	10.520	11.439
D-r5	0.939	1.357	2.483	3.489	4.375	5.436	6.089	7.024	7.878	9.135	9.733	10.757
평균	0.910	1.711	2.870	3.831	4.870	5.912	6.920	7.952	9.020	10.095	11.217	12.231
표준 편차	0.092	0.183	0.271	0.383	0.458	0.575	0.675	0.794	0.845	0.852	0.972	0.971
송풍량	0.429	0.806	1.352	1.805	2.294	2.784	3.259	3.746	4.248	4.755	5.283	5.761
정압	0.08	0.28	0.55	0.9	1.34	1.92	2.5	3.27	3.87	4.79	5.76	6.55

3) 벼의 품종과 함수율에 따른 종말속도 변화

5개 품종의 벼(추청, 화봉, 일미, 동안, 일품)와 5가지 함수율(13.22~26.57%)의 벼에서 벼 정립과 쪽정이를 선별하여 2가지 종말속도(상승하여 약 1cm정도 상승하였을 때의 풍속, 상승된 후 상부 스테인레스 망에 붙어있다 하강할 때의 풍속)를 각각 측정함 다음, 측정치를 이용하여 다음 식(4)의 1차 선형회귀방정식의 상수를 구한 결과는 벼와 쪽정이에 대해 각각 표 24, 표 25와 같았다.

종말속도 선형 회귀방정식

$$f = y_0 + ax \dots\dots\dots (4)$$

여기서, f : 종말속도(m/sec)

y₀, a : 실험상수

x : 함수율(% , w.b)

표 23. 종말속도 측정에 사용된 벼와 쪽정이의 함수율

품종	추청	화봉	일미	동안	일품
벼 함수율 (%)	13.22	13.24	13.61	13.66	13.62
	16.73	14.65	15.93	15.74	15.57
	19.09	18.51	18.88	19.27	19.17
	24.25	23.73	23.79	22.43	21.01
	25.32	26.57	25.54	24.55	24.23
쪽정이 함수율 (%)	12.22	11.62	13.4	13.81	13.33
	16.41	13.87	15.65	15.37	16.16
	19.46	16.37	18.80	18.99	21.60
	31.34	29.16	25.74	24.52	25.83
	35.41	38.08	29.59	28.75	33.12

표 24. 벼의 품종별 상승 및 낙하 종말속도

구 분	품종	실험상수		R ²
		y ₀	a	
상승 종말속도 (m/sec)	추청	2.7652	0.0430	0.960
	화봉	2.7080	0.0431	0.929
	일미	3.1523	0.0222	0.934
	동안	2.9514	0.0397	0.949
	일품	2.6557	0.0467	0.946
낙하 종말속도 (m/sec)	추청	2.2007	0.0272	0.974
	화봉	2.3544	0.0169	0.996
	일미	2.4093	0.0148	0.840
	동안	2.5713	0.0116	0.899
	일품	2.3409	0.0164	0.925

표 25. 쪽정이의 품종별 상승 및 낙하 종말속도

구 분	품종	실험상수		R ²
		y ₀	a	
상승 종말속도 (m/sec)	추청	1.4701	0.0089	0.888
	화봉	1.3310	0.0082	0.854
	일미	1.5366	0.0116	0.914
	동안	1.2103	0.0112	0.844
	일품	1.4139	0.0180	0.983
낙하 종말속도 (m/sec)	추청	0.7235	0.0128	0.910
	화봉	0.9309	0.0044	0.966
	일미	0.8493	0.0140	0.940
	동안	0.6340	0.0129	0.907
	일품	0.7470	0.0207	0.941

표 24, 25의 회귀식의 상수를 이용하여 5개 품종의 벼와 쪽정이의 함수율에 따른 상승 종말속도를 비교한 결과는 다음 그림 14와 같았다. 본 연구에서 추정 벼의 종말속도는 함수율 16~22%범위에서 3.4~3.7m/sec범위로 나타났는데, 이 값은 이 등(1990)의 4.6~4.8m/sec보다 작았으며, 정(1987)의 6.7~7.4m/sec큰 차이를 나타내었다. 이와 같은 차이는 이 등(1990)의 고찰과 마찬가지로 측정방법의 차이에서 기인한 것으로 판단되었다.

그림 14에서 알 수 있듯이 함수율이 증가할수록 벼와 쪽정이 종말속도는 상승하였으며, 함수율 15~30%의 범위에서 품종에 무관하게 벼와 쪽정이의 종말속도 간에는 약 2m/sec정도의 큰 차이가 발생하고 있었다. 따라서 벼는 상승하지 않고 쪽정이만을 상승시켜 선별하는 조전기 등에서 쪽정이의 선별을 위해서는 풍속은 약 2~3m/sec수준이 필요할 것으로 판단되었다. 그러나 벼와 쪽정이를 상승시킨 후 부유높이차로 선별하는 경우에는 종말속도보다 높은 풍속이 필요하였다.

그림 14. 5개 품종의 벼와 쪽정이에서 함수율에 따른 상승 종말속도 비교

4) 지푸라기 등 기타 이물질 선별

5.1m/sec에서 풍동을 이용하여 비슷한 치수와 중량을 가진 지푸라기의 선별결과 잔가지가 없는 곧은 형태는 선별되지 않는 반면, 잔가지가 많은 지푸라기와 가볍고 작은 지푸라기는 선별되었다(그림 15). 또한, 감부기와 같은 이물질도 크기에 무관하게 선별이 되지 않았다.



그림 15. 풍동을 이용한 지푸라기 형태별 선별장면



그림 16. 풍동에서 선별되지 않는 감부기 등 기타 이물질

3. 정선지수측정시스템 제작을 위한 설계인자 구명

가. 실험방법

1) 기류의 방향설정

잔가지가 없는 곧은 지푸라기나 깎부기 등은 기류선별이 어려웠지만 다행히 그 양이 대단히 적다. 반면, 정선지수측정시스템의 주요 선별대상이 되는 쪽정리와 이물의 중량비가 약 95%내외로 거의 대부분을 차지하고 있으며 기류로 충분하게 선별이 가능함을 알 수 있었다. 따라서, 정선지수측정시스템을 설계하기 위해서는 쪽정리와 이물 및 잔가지가 있거나 가벼운 지푸라기의 기류선별을 위한 기류의 방향, 한계풍속 등 기본적인 설계인자를 구명이 필요하였다.

정선지수측정시스템의 주요 선별부를 수직방향으로 결정함에 따라 우선 기류방향에 대한 결정이 필요하였다. 기류방향은 하부에서 상부로 송풍기로 송풍하는 경우와, 상부에서 송풍기로 흡입하는 경우의 2가지를 고려할 수 있었으며, 이를 위한 기초실험을 실시하였다. 실험은 앞에서 제작한 풍동을 이용하여 송풍기를 하부의 공기충만실에 연결하여 송풍하였고, 수직관 상부에 연결하여 기본적인 선별특성과 풍속분포를 측정하였다.

2) 부유높이차 및 한계풍속 측정

벼에서 쪽정리 등 이물질을 선별하기 위해서는 종말속도 이상의 송풍량이 필요하다. 즉, 일정 퇴적두께를 가진 벼와 쪽정리 혼합체에서 쪽정리를 선별하기 위해서는 벼와 쪽정리의 부유높이차(the difference of highest position between paddy kernels and empty kernels in vertical air stream)를 이용하여야 하므로 전체적인 정선지수측정시스템의 높이를 결정하기 위하여 적절한 부유높이차를 나타낼 수 있는 송풍량인 한계풍속(限界風速, critical velocity)을 측정하였다.

벼와 쪽정리의 한계풍속과 부유높이차의 측정은 먼저 1가지 품종의 벼(일미)의 5개 함수율(15.3~27.4%수준)에서 풍속별(1.8~8.2m/sec), 퇴적높이별(남알~

2.0cm)로 부유높이차와 쪽정이 선별시간, 함수율 변화를 측정하여 기준이 되는 시료의 퇴적두께와 풍속을 결정하였다. 이 기준치를 이용하여 25실험구(벼 5품종×함수율 5수준)를 대상으로 벼 20~22g에 분리된 쪽정이 중량이 3~4%수준(0.32~0.42g)이 되도록 섞어 0.5cm 높이로 퇴적한 다음 풍속(5.1~6.0m/sec)별 벼정립의 부유높이, 쪽정이 제거시간, 함수율 변화 등을 측정하였다.

나. 결과 및 고찰

1) 기류의 방향

다음 그림 17은 송풍기를 수직관 상부에 연결하여 공기를 흡입하면서 벼와 쪽정의 선별특성을 측정하는 모습으로 하부에서 송풍하거나, 상부에서 흡입하여도 벼에서 이물질의 선별특성은 큰 차이를 나타내지 않았다.

그러나, 정선지수측정시스템은 시료량에 따라 수직관의 크기가 달라질 수 있어 수직관 각 지점에서의 송풍량이 일정해져야 하므로 이에 대한 고찰이 필요하였다. 즉, 송풍의 경우 공기충만실과 정류격자를 이용하여 비교적 균일한 분포를 유지할 수 있지만, 흡입의 경우에는 수직관과 송풍기 사이에 선별된 이물질을 제거하기 위해 사이클론이 설치되어야 하므로 공기충만실 설치가 어렵고, 이물질에 의한 정압변화가 발생할 가능성이 높아 정선지수측정시스템은 송풍을 원칙으로 하였다.



그림 17. 공기방향을 흡입으로 하여 벼의 선별특성을 측정하는 장면

2) 품종과 함수율에 따른 벼와 쪽정이의 부유높이차와 한계풍속 변화

벼와 쪽정이가 스테인레스 망에 1알씩 단층으로 균일하게 놓여져 있는 경우는 종말속도차이로 선별이 가능하나, 벼 층 두께가 벼 1알 이상이 되면 최하층 또는 최상층 하부에 위치한 쪽정이는 벼의 중량으로 인해 상승하지 못해 선별이 불가능하다. 따라서 수직관 내에서 벼와 쪽정이를 분리하기 위해서는 벼와 쪽정이를 송풍하여 선별이 가능할 높이로 동시에 상승시킨 후 부유높이 차이로 선별하여야 하며, 선별이 가능할 정도의 부유높이를 가질 때의 풍속을 한계풍속이라 하였다.

수직관에서 벼가 일정한 높이까지 상승하면 그 상태를 계속적으로 유지하는 것이 아니라 기류에 노출되는 표면적이 변함에 따라 하강과 상승을 반복하게 된다. 따라서 실제 수직관에서 쪽정이 선별을 위해 사용되는 한계풍속은 종말속도보다 훨씬 크게 된다.

표 26은 약 120.5cm의 수직 직관내에 함수율 15.3%~27.4%의 일미 벼를 0.5cm 두께(쪽정이 0.32~0.42g, 벼 정립 20~22g)로 하부 스테인레스 망위에 퇴적한 다음, 1.8~8.2m/sec 범위의 6가지 풍속 조건하에서 벼 정립의 평균 부유높이, 쪽정이가 하부 스테인레스 망으로부터 120.5cm위의 상부 스테인레스 망에 모두 부착되어 선별되는 시간과 벼의 함수율 변화를 나타낸 것이다.

표에서 알 수 있듯이 풍속이 종말속도보다 낮은 1.8m/sec에서는 벼의 정립은 움직이지 않았고 쪽정도 전혀 선별되지 않았다. 풍속 3.1~8.2m/sec에서는 시간의 경과에 따라 벼와 쪽정이가 부유하였고, 벼는 최대 41cm정도까지 상승하였으며, 쪽정이는 120.5cm 직관 상부의 스테인레스 망에 부착되어 선별되었다. 이 때 풍속이 클수록 벼 정립의 부유높이는 높아졌으나, 쪽정이 선별시간은 감소하였고 실험후 벼 정립의 함수율도 낮아졌다. 여기서 벼 정립의 부유높이는 벼의 정립이 투영면적이 달라짐에 따라 하강과 상승을 반복하기 때문에 0~평균적인 부유높이로 나타내었다.

표 27은 5가지 함수율(15~27.1%)의 일미 벼를 6가지 두께별로 풍속 5.3m/sec의 수준에서 평균 부유높이, 쪽정이 선별시간, 실험후 벼의 함수율 변화를 나타낸 것으로서, 표에서 알 수 있듯이 퇴적두께가 두꺼울수록 벼의 평균 부유높이는 낮아졌으며, 쪽정이 선별에 소요되는 시간도 길게 나타났고, 실험후 벼 정립의 함수율도 낮게 나타났다.

실제 벼에는 벼와 쪽정의 중간형태의 벼 알(중간립으로 표시)도 다수 존재하는데, 이들은 육안으로 구분하기가 대단히 어려울 뿐 아니라, 농민의 반발 등으로 쪽정으로 처리하기도 대단히 어려운 실정이다. 이들의 영향을 살펴보기 위하여 쪽정을 선별하지 않은 벼 5가지 품종(추청, 화봉, 일미, 동안, 일품)을 대상으로 6가지 함수율 수준에서 벼의 부유높이, 쪽정이 선별시간, 함수율 변화를 각각 측정하였다. 이 때 벼의 퇴적높이는 약 0.5cm 정도이었으며, 풍속은 5.0~6.0m/sec를 유지하였다.

표 28~32는 각각 추청, 화봉, 일미, 동안, 일품에 대한 풍속과 함수율에 따른 벼 정립의 부유높이(벼와 쪽정이 중간립의 부유높이), 쪽정이 선별시간, 최종수분 함량을 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이 벼 정립의 부유높이는 풍속이 증가할수록 함수율이 낮을수록 높은 것을 알 수 있었으며, 풍속범위 5.1~6.0m/sec에서 7.7(동안 26.5%)~21.3cm(화봉, 14.8%)범위로서 통상적으로 함수율 14.8~29.3%범위에서는 약 25cm 이내 수준을 나타낼 것으로 예상되었다.

한편, 함수율 15.0%인 추청 중간립의 경우에는 풍속범위 5.1~6.0m/sec에서 부유높이가 43.7~59.7cm정도를 나타내었다. 다른 품종의 벼 중간립의 경우도 마찬가지로 이 범위를 넘지 않아 풍속 5.1m/sec수준에서는 벼와 중간립의 부유높이가 50cm를 넘지 않을 것으로 판단되었다. 이 때 쪽정이 선별에 소요되는 시간은 10.1~23.2sec수준으로 최대 25초 이내에 대부분 선별이 가능할 것으로 판단되었으며, 이 시간 내에 함수율은 최대 1.6%수준이 저하하였고, 이러한 결과는 정선지수 측정시스템의 설계에 유효하게 이용 가능할 것으로 판단되었다.

표 26. 벼(일미)의 풍속에 따른 벼의 평균 부유높이 및 쪽정이 선별시간

구 분	풍속(m/s)	벼 정립 부유높이(cm)	쪽정이 선별 시간(sec)	실험후 함수율(%)
함수율 15.3%	1.8	약간 움직이며 부유	쪽정이 선별안됨	15.1
	3.1	0~4.5	26	15.0
	4.4	0~10	13.5	15.0
	5.6	0~16.5	10	15.1
	6.9	0~34.5	7	15.1
	8.2	0~41	6	15.0
함수율 17.3%	1.8	약간 움직이며 부유	쪽정이 선별안됨	17.2
	3.1	0~4	31	17.1
	4.4	0~10	14	17.1
	5.6	0~15.5	11	17.1
	6.9	0~34	9	17.1
	8.2	0~40	7	17.1
함수율 20.1%	1.8	약간 움직이며 부유	쪽정이 선별안됨	19.8
	3.1	0~4	34	19.7
	4.4	0~9	16	19.8
	5.6	0~14.3	11.5	19.7
	6.9	0~28	10	19.7
	8.2	0~38	8	19.7
함수율 25%	1.8	거의 움직임 없음	쪽정이 선별안됨	24.1
	3.1	0~3.7	36	24.2
	4.4	0~8.3	19	24.2
	5.6	0~13.5	13	24.1
	6.9	0~26	10.5	24.1
	8.2	0~37	8.5	24.1
함수율 27.4%	1.8	거의 움직임 없음	쪽정이 선별안됨	26.2
	3.1	0~3.7	42	26.2
	4.4	0~7.5	22.3	26.1
	5.6	0~12.7	16	26.1
	6.9	0~24.5	10.7	26.2
	8.2	0~36	9	26.0

표 27. 벼(일미)의 퇴적두께에 따른 벼의 평균 부유높이 및 쪽정어 선별시간

구 분	퇴적두께	벼 정립 부유높이(cm)	쪽정어 선별 시간(sec)	실험후 함수율(%)
함수율 15.0%	50알 정도	0~22.5	6	14.9
	단층 퇴적(10g)	0~21	9	14.9
	약 0.5cm(20g)	0~20	11	14.9
	약 1.0cm(43g)	0~18.5	12	14.9
	약 1.5cm(58g)	0~17	14	14.9
	약 2.0cm(76g)	0~15.5	16	14.9
함수율 17.3%	50알 정도	0~20	6	17.1
	단층 퇴적	0~18	10	17.1
	약 0.5cm	0~17	12	17.1
	약 1.0cm	0~16.5	13	17
	약 1.5cm	0~15.5	15	17.1
	약 2.0cm	0~15	17	17.1
함수율 20.1%	50알 정도	0~19	6	19.7
	단층 퇴적	0~17.5	10	19.6
	약 0.5cm	0~16.5	12	19.8
	약 1.0cm	0~15.5	14	19.7
	약 1.5cm	0~14	18	19.7
	약 2.0cm	0~13	21	19.9
함수율 25%	50알 정도	0~18	7	24.1
	단층 퇴적	0~17	12	24.1
	약 0.5cm	0~16	13	24.1
	약 1.0cm	0~15	15	24.3
	약 1.5cm	0~14	20	24
	약 2.0cm	0~12.5	23	24.1
함수율 27.1%	50알 정도	0~15	8	25.0
	단층 퇴적(11g)	0~14	12	25.1
	약 0.5cm(22g)	0~12	15	25.1
	약 1.0cm(44g)	0~11.5	18	24.7
	약 1.5cm(60g)	0~11	25	24.7
	약 2.0cm(81g)	0~10	29	24.7

표 28. 풍속과 함수율에 따른 추청 벼 기류 선별특성

함수율 (%)	측정항목	풍속(m/sec)				
		5.1	5.3	5.5	5.7	6.0
15.0	정립부유높이(cm)	0~12.3	0~14.7	0~15.7	0~17.3	0~19
		(12.3~43.7)	(14.7~46.3)	(15.7~49.7)	(17.3~53)	(19~59.7)
	쭉정이제거시간(sec)	11.7	11.0	10.0	9.0	8.7
	최종수분함량(%)	15.0	15.0	15.0	14.9	15.0
17.8	정립부유높이(cm)	0~11.7	0~13	0~14.7	0~16.3	0~18.3
		(11.7~42.7)	(13~45.7)	(14.7~48.7)	(16.3~52.0)	(18.3~55.7)
	쭉정이제거시간(sec)	13.0	12.3	11.3	10.3	9.7
	최종수분함량(%)	17.7	17.6	17.6	17.7	17.7
20.0	정립부유높이(cm)	0~10.7	0~12.3	0~13.7	0~16.0	0~17.7
		(10.7~40.7)	(12.3~44.3)	(13.7~47.0)	(16~49.7)	(17.7~55.3)
	쭉정이제거시간(sec)	15.0	14.7	13.3	12.3	11.0
	최종수분함량(%)	19.5	19.5	19.5	19.4	19.4
25.2	정립부유높이(cm)	0~9.0	0~10.7	0~12.3	0~13.7	0~15.7
		(9.0~36.3)	(10.7~40.3)	(12.3~43.3)	(13.7~47.3)	(15.7~52.7)
	쭉정이제거시간(sec)	16.0	15.3	14.0	13.0	11.7
	최종수분함량(%)	25.0	24.9	25.0	24.8	24.7
27.4	정립부유높이(cm)	0~8	0~9.7	0~11.3	0~12.7	0~14.7
		(8~34.7)	(9.7~39)	(11.3~41.7)	(12.7~46)	(14.7~48.7)
	쭉정이제거시간(sec)	16.7	15.7	15.3	13.7	12.7
	최종수분함량(%)	26.8	26.7	26.8	26.7	26.6

표 29. 풍속과 함수율에 따른 화봉 벼 기류 선별특성

함수율 (%)	측정항목	풍속(m/sec)				
		5.1	5.3	5.5	5.7	6.0
14.8	정립부유높이(cm)	0~12.0	0~14.0	0~16.3	0~18.0	0~21.3
		(12~40)	(14~43.3)	(16.3~49)	(18~51)	(21.3~59)
	쪽정이제거시간(sec)	10.3	9.0	8.7	8.0	7.7
	최종수분함량(%)	14.7	14.6	14.6	14.6	14.6
16.2	정립부유높이(cm)	0~11.7	0~13.3	0~15.3	0~17.3	0~19.3
		(11.7~38)	(13.3~41.7)	(15.3~46.7)	(17.3~50.7)	(19.3~55.3)
	쪽정이제거시간(sec)	11.3	11.0	10.0	9.3	8.3
	최종수분함량(%)	16.1	16.0	16.0	16.0	16.0
19.2	정립부유높이(cm)	0~10.3	0~11.7	0~13.3	0~15.0	0~17.3
		(10.3~37)	(11.7~40)	(13.3~45.7)	(15~48.7)	(17.3~51.3)
	쪽정이제거시간(sec)	12.7	11.3	10.7	10.0	9.3
	최종수분함량(%)	19.0	18.9	19.0	18.8	18.8
23.5	정립부유높이(cm)	0~9.0	0~10.3	0~11.7	0~12.7	0~14.7
		(9.0~36.3)	(10.3~38.0)	(11.7~43.7)	(12.7~47.3)	(14.7~50.0)
	쪽정이제거시간(sec)	15.7	14.3	13.0	11.7	10.7
	최종수분함량(%)	23.3	23.3	23.1	23.0	23.0
29.3	정립부유높이(cm)	0~8.3	0~9.7	0~10.7	0~11.7	0~13.3
		(8.3~33.7)	(9.7~36)	(10.7~40.3)	(11.7~41.7)	(13.3~46.7)
	쪽정이제거시간(sec)	17.7	17.0	16.0	15.3	13.3
	최종수분함량(%)	28.1	28.0	27.9	27.9	27.7

표 30. 풍속과 함수율에 따른 일미 벼 기류 선별특성

함수율 (%)	측정항목	풍속(m/sec)				
		5.1	5.3	5.5	5.7	6.0
15.3	정립부유높이(cm)	0~12.7	0~14	0~15.3	0~17	0~19.7
		(12.7~41.3)	(14~46.7)	(15.3~49.7)	(17~52.3)	(19.7~58.7)
	쭈정이제거시간(sec)	12.3	11.3	10.3	9.7	8.3
	최종수분함량(%)	15.2	15.2	15.2	15.2	15.1
17.3	정립부유높이(cm)	0~12	0~13	0~14.3	0~16.3	0~18
		(12~40)	(13~43.7)	(14.3~47.7)	(16.3~51.3)	(18~56.7)
	쭈정이제거시간(sec)	13.3	12.3	11.3	10.0	9.3
	최종수분함량(%)	17.2	17.2	17.1	17.1	17.1
19.6	정립부유높이(cm)	0~10.7	0~12	0~13.3	0~15.7	0~17.3
		(10.7~39.3)	(12~42.3)	(13.3~46.3)	(15.7~51)	(17.3~55.3)
	쭈정이제거시간(sec)	14.0	12.7	12.3	11.3	10.0
	최종수분함량(%)	19.4	19.3	19.3	19.2	19.1
24.9	정립부유높이(cm)	0~9.7	0~11	0~12.7	0~14	0~15.3
		(9.7~38.3)	(11~41.3)	(12.7~44.7)	(14~50.3)	(15.3~53)
	쭈정이제거시간(sec)	14.7	14.0	13.3	12.7	11.3
	최종수분함량(%)	24.1	24.0	23.7	23.9	23.8
27.4	정립부유높이(cm)	0~8.3	0~10.3	0~11.7	0~13	0~14.3
		(8.3~36.7)	(10.3~40.3)	(11.7~43.7)	(13~47.3)	(14.3~50.3)
	쭈정이제거시간(sec)	20.3	18.3	17.0	15.0	13.7
	최종수분함량(%)	26.6	26.1	26.2	26.0	26.0

표 31. 풍속과 함수율에 따른 동안 벼 기류 선별특성

함수율 (%)	측정항목	풍속(m/sec)				
		5.1	5.3	5.5	5.7	6.0
15.5	정립부유높이(cm)	0~11.7	0~13.0	0~15.0	0~17.3	0~19.3
		(11.7~39.0)	(13.0~44.7)	(15.0~47.3)	(17.3~52.0)	(19.3~58.7)
	쪽정이제거시간(sec)	10.1	10.4	10.8	11.1	11.5
	최종수분함량(%)	15.4	15.3	15.3	15.4	15.4
17.5	정립부유높이(cm)	0~11.0	0~12.7	0~14.3	0~16.3	0~17.7
		(11.0~35.7)	(12.7~41.7)	(14.3~45.0)	(16.3~50.3)	(17.7~56.0)
	쪽정이제거시간(sec)	15.4	15.3	15.3	15.4	15.4
	최종수분함량(%)	17.3	17.3	17.3	17.3	17.2
20.3	정립부유높이(cm)	0~9.3	0~10.0	0~12.7	0~14.0	0~16.3
		(9.3~33.3)	(10.0~37.0)	(12.7~42.7)	(14.0~48.3)	(16.3~53.3)
	쪽정이제거시간(sec)	17.3	17.3	17.3	17.3	17.2
	최종수분함량(%)	19.9	20.0	19.9	19.9	19.9
23.7	정립부유높이(cm)	0~8.0	0~9.7	0~11.0	0~12.0	0~13.3
		(8.8~31.3)	(9.7~35.7)	(11.0~38.7)	(12.0~44.7)	(13.3~49.3)
	쪽정이제거시간(sec)	19.9	20.0	19.9	19.9	19.9
	최종수분함량(%)	23.2	23.0	23.0	23.0	23.0
26.5	정립부유높이(cm)	0~7.7	0~8.7	0~9.7	0~11.0	0~12.7
		(7.7~29.7)	(8.7~34.0)	(9.7~36.7)	(11.0~40.7)	(12.7~46.7)
	쪽정이제거시간(sec)	23.2	12.0	23.0	23.0	23.0
	최종수분함량(%)	26.0	26.1	26.1	26.1	25.8

표 32. 풍속과 함수율에 따른 일품 벼 기류 선별특성

함수율 (%)	측정항목	풍속(m/sec)				
		5.1	5.3	5.5	5.7	6.0
15.5	정립부유높이(cm)	0~13.7	0~14.7	0~16.7	0~18.3	0~20.7
		(13.7~42.7)	(14.7~44.7)	(16.7~49.3)	(18.3~53.3)	(20.7~59.0)
	쭉정이제거시간(sec)	12.3	11.7	10.7	10.3	9.0
	최종수분함량(%)	15.4	15.4	15.4	15.3	15.3
17.5	정립부유높이(cm)	0~12.7	0~14	0~16	0~17.3	0~19.3
		(12.7~41.7)	(14~43.7)	(16~49.0)	(17.3~52.0)	(19.3~57.3)
	쭉정이제거시간(sec)	14.3	13.3	12.0	11.3	9.7
	최종수분함량(%)	17.4	17.4	17.2	17.3	17.3
20.6	정립부유높이(cm)	0~12.0	0~13.3	0~14.7	0~16.0	0~18.7
		(12.0~40.3)	(13.3~42.7)	(14.7~48.0)	(16~51.3)	(18.7~56.3)
	쭉정이제거시간(sec)	16.3	15.3	14.3	12.7	11.3
	최종수분함량(%)	20.2	20.1	20.2	20.2	20.0
22.6	정립부유높이(cm)	0~11.7	0~13.0	0~14.0	0~15.0	0~17.3
		(11.7~39.3)	(13.0~42.0)	(14.0~47.3)	(15.0~50.7)	(17.3~54.0)
	쭉정이제거시간(sec)	17.3	16.3	15.3	13.7	12.0
	최종수분함량(%)	22.0	21.8	21.9	21.8	21.5
27.0	정립부유높이(cm)	0~8.7	0~10.3	0~11.7	0~12.7	0~14.0
		(8.7~38.7)	(10.3~41.7)	(11.7~47.0)	(12.7~49.0)	(14.0~52.7)
	쭉정이제거시간(sec)	22.3	19.3	17.3	15.7	14.3
	최종수분함량(%)	26.5	26.2	26.1	26.1	25.8

제 3 절 정선지수측정시스템 시작품의 제작 및 보완

1. 정선지수측정시스템 1차 시작품의 제작

가. 시작품 설계

정선지수측정시스템은 아직 개발된 예가 없는 시스템으로 참고할만한 선행연구도 없는 상태이다. 따라서 1차 시작품은 정선지수측정시스템의 기본방향, 측정원리 및 구조의 적합성을 검토하는데 목적을 두고 설계하였다.

주요 설계인자인 선별대상, 선별형태, 시작품의 기본구조, 1회 처리량, 1회 처리 시간, 기류선별을 위한 풍동규격, 송풍기의 용량 등은 앞 절의 실험결과를 이용하여 설계하였다. 풍동에서 필요한 풍속과 풍동의 규격은 5개 품종의 벼(추청, 화봉, 일미, 동안, 일품)의 함수율별(15.5~27.0%)로 일정한 퇴적두께 0.5cm(2~3알 수준)를 가진 벼와 쪽정이의 부유높이차와 그 때 한계풍속(critical velocity)을 이용하였으며, 수직풍동의 설계는 한국공업규격(KS A 0612-1992 : 조임기구에 의한 유량 측정방법, KS B 6311 : 송풍기 실험방법)과 이 등(1990)의 연구결과를 참고하였으며, 이들 결과를 바탕으로 설계하여 도면을 작성하였다.

주요 설계인자는 다음과 같았다.

- ① 주 선별인자 : RPC의 조선기 전·후에 벼에 혼입된 이물질의 중량비는 쪽정이, 이물, 지푸라기인 반면, 조선율은 지푸라기, 이물, 쪽정이로 중량비와 반대 순서이었다(표 33). 조선기 통과후 벼에 혼입된 쪽정이와 이물의 중량비 합은 총 이물질 중량의 거의 대부분(96.3~97.3%)을 차지하고 있으므로 정선지수측정시스템에서는 쪽정이와 이물을 주 선별대상으로 선정하였으며, 작은 크기의 지푸라기도 선별이 가능하도록 구성하였다.
- ② 선별형태 : 5개 품종의 벼의 함수율별 정립과 쪽정이의 기하학적 특성치, 공기역학적 특성치에 대한 측정 결과(2절) 기류선별이 가장 유력하였으며, 기류선별 방식에서 경사기류를 이용하여 정립과 쪽정이의 비행거리(flight distance)차

표 33. 조선기 통과전후의 이물질의 종류별 중량비 및 조선율

구 분		이물질 종류별 중량비 및 조선율(%)			
조사년도	구 분	쪽정어	이 물	지푸라기	계
2000년 (11개소)	조선기전 중량비(%)	78.3	14.4	7.3	100
	조선기후 중량비(%)	84.7	11.6	3.7	100
	조선율(%)	31.4	44.7	57.4	37.7
2002 (9개소)	조선기전 중량비(%)	87.2	7.4	5.4	100
	조선기후 중량비(%)	90.7	6.6	2.7	100
	조선율(%)	19.1	40.1	59.7	21.8

로 선별하는 조선기의 선별능력이 낮은 문제점 분석결과를 토대로 수직직관에 의한 기류선별방식을 채용하였다.

- ③ 기본구조 : 정선지수는 채취된 시료중의 이물질을 제거하기 전후의 중량차로 결정되므로 중량측정이 필수적이며, 기류선별중 발생하는 함수율 변화는 중량변화로 이어지므로 함수율 측정이 필요하다. 따라서 정선지수측정시스템의 기본구조는 투입 및 1차 계량(함수율, 중량) → 풍동에 투입 → 기류선별 → 풍동배출 → 2차 계량(함수율, 중량) 및 배출 구조를 갖도록 하였으며, 풍동에서의 기류선별을 위한 송풍기와, 배출되는 이물질의 집진을 위한 사이클론(Cyclone)이 설치되도록 구성하였다.
- ④ 1회 처리시간 및 처리량 : 1차년도 기류선별실험에서 5개 품종 벼의 함수율(15.5~27.0%)과 기류속도별(5~6m/sec)로 쪽정어 선별에 소요되는 시간이 10.1~23.2sec 수준이었다. 일반적인 단립수분계와 중량계의 처리시간 등을 고려할 때 정선지수측정시스템에서 시료를 1회 처리하는데 소요되는 시간은 최대 약 60초(투입 및 1차 계량 : 10초, 풍동내 기류선별 : 25초, 풍동내 배출, 계량

기 투입 : 10초, 2차 계량 및 배출 : 10초, 청소 : 5초)로 추정되었다. 한편, RPC에서 1분간 물벼를 반입할 수 있는 물량은 약 167kg수준이었으며, 시료채취량은 벼 중량의 1/1,000인 167g수준으로 할 경우 처리시간은 1분이었다. 따라서 1차 시작품은 중앙 입고운영관리시스템 및/또는 호퍼스케일과의 자료 전송 등을 감안하여 처리시간은 2분, 시료량은 300g 정도를 기본으로 하였으며, 운영결과를 토대로 최종 시료량과 처리시간을 결정하기로 하였다.

- ⑤ 기류선별용 풍동의 규격 및 형태 : 수직풍동의 형태는 풍동내 풍속의 균일성, 제작성 등을 고려하여 결정하였다. 원통형의 경우 풍동내 풍속의 균일성에는 장점이 있으나 시료의 투입, 선별, 배출에 필요한 투입구, 배출구 및 다공 스크린 설치 등 가공성이 나쁜 단점이 있으며, 반대로 사각형은 모서리부근에서 풍속의 균일성에는 문제가 있으나 제작이 간편한 장점으로 인해 사각형을 기본으로 하였다. 풍동의 규격은 최적 선별조건으로 결정된 벼의 스크린에서의 퇴적높이 0.5cm(약 2~3알 두께), 풍속 5.1m/sec(스크린 제거시 10.1m/sec 수준), 부유높이 25cm이하를 이용하여 설계하였다. 최대 약 300g을 퇴적높이 0.5cm로 퇴적할 때 원통형 직경은 약 38cm수준이었으며, 사각형 상당규격은 약 33.7×33.7cm이나 제작편리성을 위해 35×35cm로 하였다. 풍동내의 풍속의 균일성을 도모하기 위하여 한국공업규격 KS B 6311(송풍기의 시험 및 검사방법), KS A 0612(조임기구에 의한 유량측정방법)에 준하여 정류격자는 5.0×15.0cm(δ×L), 공기충만실은 120×120×120cm(W×L ×H)로 설계하였다.
- ⑥ 송풍기 : 송풍량은 풍동내의 풍속(5.1m/sec)과 풍동의 단면적(0.1225m²)의 관계로부터 약 37.5m³min이었으며, 정압은 풍동 내부와 사이클론에서의 정압강하를 감안하여 최대 약 50mmAq 수준으로 설계하였다.

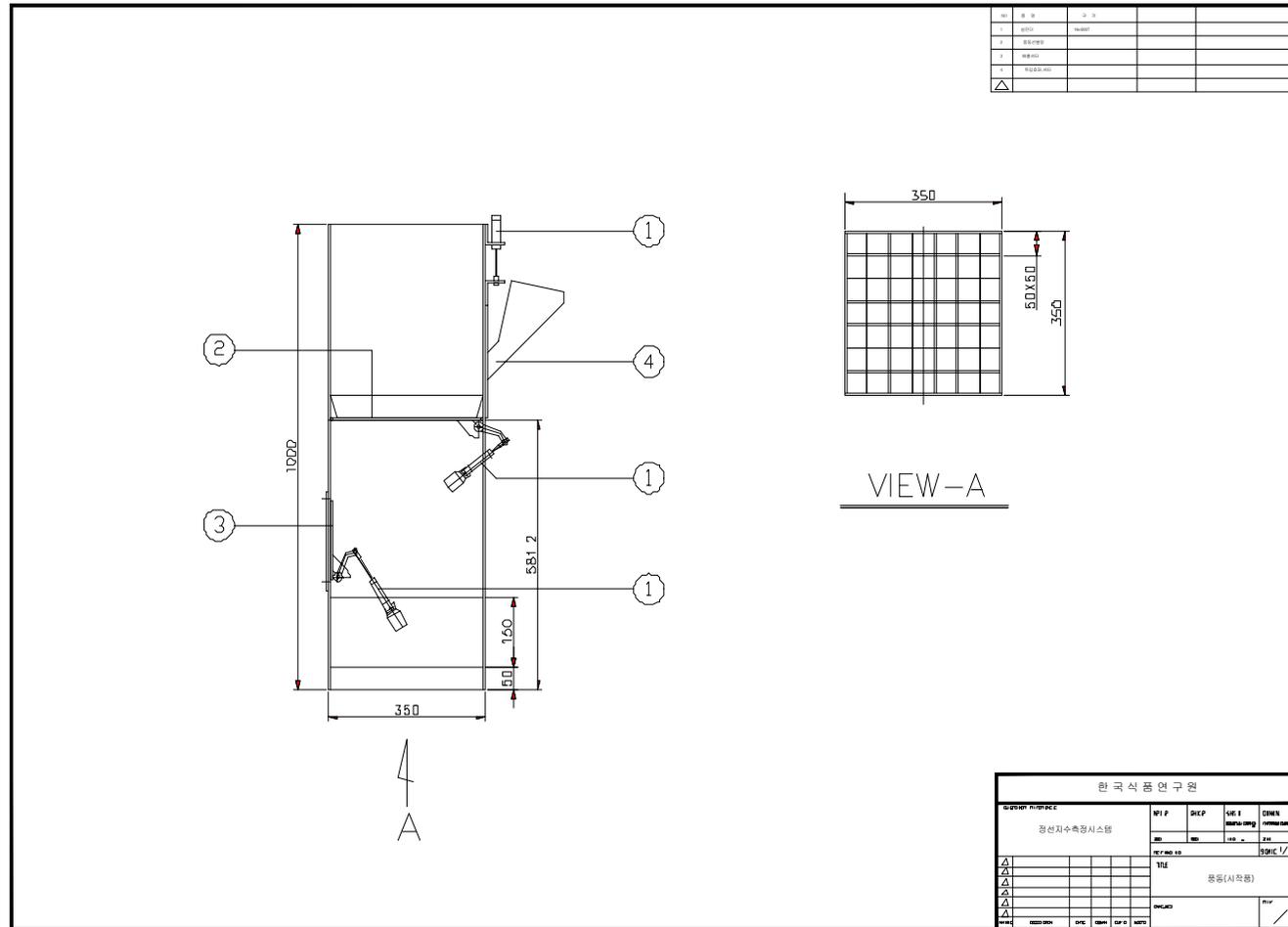


그림 18. 정선지수측정시스템 1차 시작품의 주요 설계도(계속)

나. 운영 프로그램의 개발

정선지수측정시스템 기본방향(1절)에서 검토한 바와 같이 정선지수측정시스템은 중앙 입고관리시스템(및/또는 호퍼스케일)과의 연동 여부에 적합하도록 off-line형과, on-line형태의 시스템 개발이 필요하였다.

off-line 형태의 시스템은 조선기 후단에서 시료를 채취하여 수동으로 시료를 정선지수측정시스템에 투입하여 측정하고, 그 결과도 필요시 중앙 입고운영관리시스템 및/또는 호퍼스케일에 별도로 입력하는 시스템으로 고려하였다. 반대로, on-line 형태의 시스템은 RPC에서 벼의 중량과 함수율을 측정하는 호퍼스케일 후단에 직접 설치하여 호퍼스케일과 중앙 입고운영관리시스템과 연동하여 최종적인 실중량을 중앙 입고운영관리시스템(및/또는 호퍼스케일)에서 처리하는 것으로 고려하였다.

그림 19에서 알 수 있듯이 농협 및 민간 RPC(DSC 포함)에 사용중인 중앙 입고운영관리시스템에는 “협잡중량”이라는 항목이 적용되도록 구축되어 있다. 그러나 RPC에서 정확한 이물질의 중량비를 측정할 수 없어 임의로 값을 넣거나 사용하지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 정선지수측정시스템에서 측정된 정선지수 값이 중앙 입고운영관리시스템에 바로 입력될 수 있도록 정선지수측정시스템의 통신 사양은 농협 및 민간RPC에서 모두 사용하고 있는 “농협중앙회 통신표준 규격”(표 34)을 준수하여 개발하였다. 운영프로그램은 정선지수측정시스템에서 구한 수치를 이용하여 정선지수로 환산하는 부분과, 각 수치의 확인을 위한 database로 구성되었다.

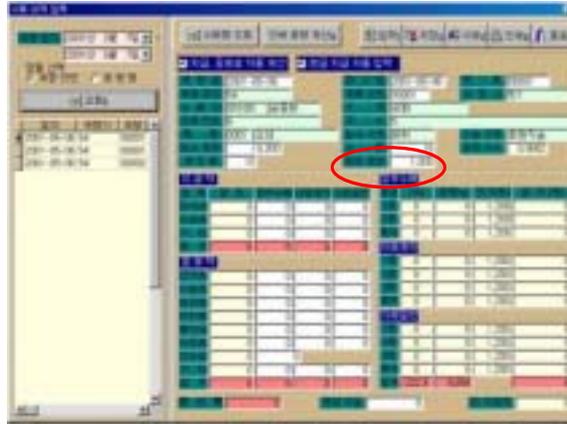


그림 19. RPC에서 사용중인 중앙 입고운영관리시스템

표 34. 정선지수측정시스템에 채용한 농협중앙회 통신표준규격

1	Type	RS-232C
2	Baud rate	9600 BPS
3	Data bit	7 bit
4	Stop bit	1 bit
5	Parity bit	NO Parity
6	Data format	STX(시작) + DATA(길이 : 60) + ETX(끝 - 총 62Byte)
7	Cable link method	25pin 기준

정선지수는 다음 식(7)로서 구하였다. 식(4)는 실중량을 구하는 공식으로 건조 지수는 호퍼스케일에서 정한 함수율을 15%기준으로 환산한 지수로 현재 사용중이며, 정선지수는 본 연구에서 개발되는 정선측정시스템에서 구한 값이다. 정선지수 측정시스템에서 측정하는 수치는 정선전 벼의 중량(W_1)과 함수율(M_1), 정선후 중량(W_2)과 함수율(M_2)로서, 이들 수치를 이용하여 벼에 혼입된 이물질의 혼입율

(FMR)을 구하면 다음 식(6)과 같으며, 이물질 혼입율로 부터 정선지수는 다음 식 (7)과 같아진다.

$$\text{실중량} = (\text{Hopper scale 측정중량}) \times (\text{건조지수}) \times (\text{정선지수}) \dots\dots\dots (4)$$

$$W_2 = W_1 \times \left(1 + \frac{M_1 - M_2}{100 - M_2}\right) \dots\dots\dots (5)$$

여기서 W_2 : 함수율 감소가 고려된 정선후 벼 중량(g)

$$FMR = \left(1 - \frac{W_2}{W_1}\right) \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

여기서, FMR : 이물질 혼입율(%)

$$PI = \frac{(100 - FMR)}{100} \dots\dots\dots (7)$$

여기서, PI : 벼의 정선지수

이와 같은 농협중앙회의 표준통신규격과 정선지수 계산식을 적용하여 개발한 운영프로그램(Boland Delphi 6.0)에서 메인화면과 database의 한 화면은 다음 그림 20과 같았다.

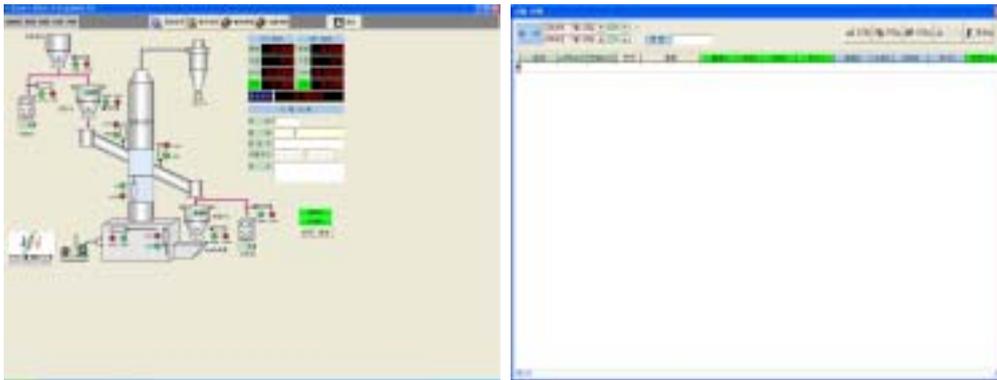


그림 20. 정선지수측정시스템 운영프로그램

다. 1차 시작품 제작

제작된 정선지수측정시스템 1차 시작품은 다음 그림 21과 같았다. 제작에 사용된 주요 단위기기는 1회 약 20알 정도를 파쇄하여 함수율을 측정하는 수분계(Kett, PT-200 Ω), 중량측정범위 0~3kg의 중량계(카스, BC-3A), 시로코팬(46m³/min \times 100mmAq, 2HP)이었으며, 각종 공압용 개폐기(air cylinder, solenoid valve 등)의 사용을 위한 공기압축기는 참여기업인 (주)영일기계에 설치된 것을 사용하였다.



(전체모습)



(풍동과 집진 사이클론)



(풍동부분)



(다공 스크린과 배출부분)

그림 21. 정선지수측정시스템 1차 시작품 주요 부분사진

2. 1차 시작품의 운영실험 및 보완

가. 실험방법

시작품의 운영실험은 참여기업인 영일기계(주)에서 실시하였으며, 수직풍동에서 벼가 균일하게 퇴적하였는지 여부, 풍동내의 공기분포 및 공기압력실의 크기의 적정성 여부, 정선능력, 정립손실을 및 함수율 변화를 측정하여 정선지수측정시스템의 기본 방향, 측정원리 및 구조의 적합성을 검토하였다.

벼가 균일하게 퇴적되었는지 여부는 300g의 벼를 실제로 투입하여 퇴적형태를 측정하였고, 적정 풍속범위인 5.1~6.0m/sec사이에서 부유높이를 측정하여 적정 부유높이(약 15cm)수준을 유지하는지를 판단하였다. 풍동내의 공기분포 및 공기압력실 크기 적정성 여부는 공기압력실을 철판으로 용접하여 압력실 공간크기를 감소시키면서 정류격자 상부와 다공 스크린 하부에 타공된 7개의 구멍을 이용하여 각 정류격자(총 49지점) 상부 풍속을 열선풍속계(VelociCal, USA)로 측정하였다.

실험에 사용한 시료는 2003년에 수확된 동안 벼로서 경북김천지역 소재 RPC에서 물벼상태(약 29%)로 구매하여, 약 4kg내외의 낱개로 진공 포장하여 -5℃ 냉장고에 보관한 것으로서, 실험 1일전 상온에서 온도를 조절하여 공시하였다.

벼의 부유높이는 벼 300g을 투입구에 투입한 후 송풍기의 댐퍼를 조정하여 풍속 4.61과 5.57m/sec에서 벼의 함수율별(15.9~28.9%)로 실제 부유높이를 측정하였다. 수분계는 검교정을 실시하지 않는 상태이며, 현장실험으로서 단립수분계(CTR-800E, Shizuoka Seiki, Japan)로 측정하였으며, 측정된 중량치를 이용하여 정선지수를 구하였다.

나. 결과 및 고찰

1) 풍동에의 벼의 균일 퇴적여부 측정 및 보완

수직원통형 풍동에 의한 소형실험(2절)에서 가장 효과적이었던 벼의 퇴적두께

는 약 0.5cm 수준(벼 2~3알 두께)이었다. 1차 정선지수측정시스템 시작품은 풍동 크기가 35×35cm로 커서 벽면의 투입구를 통해 벼 300g를 투입할 때 투입구 근처에만 두껍게 퇴적되었으며 전체적으로 퇴적높이가 균일하지 않아 송풍시 두껍게 퇴적된 부분에서는 벼가 부유하지 않아 선별이 불가능하였다.

이의 보완방법으로 풍동크기를 축소하거나 균일하게 퇴적할 수 있는 장치의 부착을 고려할 수 있으나, 1차 시작품에서는 그림 22(a)와 같이 균일하게 퇴적될 수 있는 부수적인 장치를 설치한 결과, 비교적 균일한 퇴적이 가능하였다.

2) 풍동내의 공기분포 및 공기압력실의 크기조정

풍동내의 풍속의 균일성을 도모하기 위하여 한국공업규격(KS B 6311, KS A 0612)에 준하여 정류격자는 5.0×15.0cm(δ×L), 공기충만실은 120×120×120cm(W×L×H)로 설계, 제작하였으나, 공기충만실이 과도하게 커 실제 RPC에 설치에 공간제약이 대단히 클 것으로 예상되었다. 따라서 공기압력실의 크기를 최소한으로 하기 위해 그림 22(b)와 같이 공기압력실의 크기를 줄이면서 풍속의 균일성을 측정하였다.

풍속 4~6m/sec사이에서 송풍기 댐퍼를 조정하면서 정류격자 상부에서 송풍량별 풍속을 측정(그림 22(c))한 결과는 다음 표 35와 같았다. 평균풍속은 각각 4.61±0.787m/sec, 5.57±1.036m/sec, 6.42±1.150m/sec를 나타내어 각 지점별로 차이가 발생하고 있었다. 사각의 모서리부분과 벽체 근처에서의 풍속이 중간부분에 비해 낮게 나타났으며, 특히, 다공 스크린에서 환봉으로 만들어진 골격부분에서 낮게 나타났다. 정류격자 상부에 위치한 다공 스크린 상부에서는 그 차이가 감소하지만 풍속의 불균일 해소가 필요한 것으로 나타났다. 따라서 공기압력실의 크기를 줄이는 반면 다공 스크린부분의 정밀제작이 필요하였다.



(a) 벼 균일퇴적을 위한 부수장치



(b) 공기충만실의 환풍구와 크기 조정



(c) 정류격자 상부에서 풍속측정장면



(d) 시료 부유장면



(e) 시료 배출장면



(f) 시료배출후 잔곡발생장면

그림 22. 정선지수측정시스템 1차 시작품을 이용한 측정 및 보완장면

표 35. 풍동내 정류격자 상부에서 측정된 풍속분포

(a) 평균 4.61m/sec

4.62	4.10	4.55	4.81	5.05	4.66	2.29
5.44	4.71	5.18	5.29	4.10	5.78	3.86
4.75	4.82	4.70	4.95	5.55	6.15	4.15
4.20	4.31	4.64	4.78	5.10	6.03	4.39
3.95	4.15	4.53	4.74	5.28	5.78	4.74
3.51	3.65	4.41	4.64	5.50	5.68	3.89
3.50	3.85	4.28	4.69	5.22	4.61	2.50

(b) 평균 5.57m/sec

5.00	5.42	5.46	6.15	6.28	5.76	2.98
5.95	5.98	6.10	6.83	7.05	7.05	3.92
5.93	5.53	5.60	6.03	6.78	7.18	5.39
4.64	4.86	5.35	6.00	6.28	6.98	5.51
4.29	4.49	5.41	5.95	6.28	7.13	5.30
4.48	4.60	5.12	6.03	6.60	7.10	4.80
4.03	4.43	5.00	5.65	6.25	5.47	2.61

(c) 평균 6.42m/sec

6.20	6.00	6.10	7.10	6.95	6.68	4.05
6.65	6.98	6.93	7.60	8.08	8.63	5.44
6.28	5.70	6.63	6.75	7.78	8.40	5.88
4.75	5.39	6.05	6.45	7.25	8.15	6.38
5.19	5.50	5.74	7.00	7.03	8.30	6.83
4.93	5.30	6.15	6.70	7.35	8.20	5.73
5.23	4.92	5.78	6.55	7.18	6.94	3.05

3) 정선능력, 정립손실율(잔곡발생여부), 함수율변화

풍동에 투입된 벼에 혼입된 쪽정이, 이물 등의 이물질은 기류선별 후 벼에서 찾아볼 수 없을 정도로 완전히 제거되어 선별율은 100%로 만족할만한 수준이었다. 벼가 수직관에서 일정 높이까지 상승하면 그 상태를 계속 유지하는 것이 아니라 기류에 노출되는 표면적이 변화함에 따라 하강과 상승을 반복하게 된다. 따라서 풍

속이 비교적 적은 모서리부분도 선별이 진행됨에 따라 일정하게 상승하여 선별됨을 알 수 있었다(그림 22(d) 참조).

벼의 평균 부유높이는 다음 표 36에서 알 수 있듯이 풍속 4.61m/sec수준에서 8~18cm, 풍속 5.57m/sec수준에서 약 22~30cm를 나타내었으며, 쪽정보다는 충실하지만 정립보다는 불충실한 미숙립의 최대부유높이는 풍속 4.61m/sec수준에서 20~26cm, 풍속 5.57m/sec수준에서 약 35~42cm를 나타내었다. 제 2절의 소형 선별장치로 측정한 풍속 5.1~6.0m/sec범위에서 부유높이 25cm이상보다는 다소 높은 값을 나타내었는데, 이는 다공 스크린상의 각 지점의 풍속차이가 1차 시작품이 소형선별장치보다 컸기 때문으로 판단되었다.

표 36. 벼의 함수율별, 풍속별 부유높이

투입 벼 함수율(%)	풍속 4.61m/sec		풍속 5.57m/sec	
	평균부유높이 (cm)	최대부유높이 (cm)	평균부유높이 (cm)	최대부유높이 (cm)
15.9%	12~18	26	27~30	42
18.0%	10~15	25	25~28	40
20.6%	9~14	23	23~26	37
25.6%	8~13	21	22~25	36
28.9%	8~11	20	22~24	35

다음 표 37, 38은 풍속별 함수율 변화와 정류격자 상부에서 평균풍속이 각각 4.61m/sec, 5.57m/sec일 때 벼(동안)의 함수율별(15.9~28.9%) 함수율 변화 및 정선지수를 측정한 결과이다. 표에서 알 수 있듯이 정선 전후 벼의 함수율은 0.3~2.3%정도 차이가 발생하였으며, 함수율이 높을수록 선별과정중 건조가 많이 발생

하는 것을 알 수 있었다. 그러나 실험시 외기 온습도조건(34.4℃, 50%RH)은 대단히 열악한 상태로서, RPC에 벼가 반입되는 가을철 외기온도를 감안할 경우 함수율 변화는 그다지 크지 않을 것으로 판단되었다.

정선후 시료를 배출하였을 때 다공 스크린에 부착된 벼와 다공 스크린과 벽체 사이를 통해 하부로 배출되는 벼가 존재하여(그림 22(e), (f) 참조) 다공 스크린과 다공 스크린의 골격을 이루는 환풍의 정밀제작이 필요한 것으로 나타났다.

이외에도 원료 벼가 풍동 스크린에 투입될 때와 풍동에서 선별후 배출될 때에는 풍동내에는 기류가 없어야 하므로 풍동하부와 공기압력실에 by-pass용 환풍구를 설치하여 댐퍼로 조정이 가능토록 하였으나, 급격한 댐퍼의 작동으로 인해 풍동내 불균일 기류가 발생하여 정립의 손실을 초래하였다. Air cylinder의 작동속도를 Solenoid valve로 조정하여 사용한 결과, 불균일 기류의 발생을 막을 수 있었다.

또한, 단립수분계가 벼를 파쇄하여 함수율을 측정하는 방식으로 파쇄시 진동이 많이 발생하여 방진고무를 부착하여 설치하였다.

표 37. 풍속 4.61m/sec(정류격자 하부)일 때 벼(동안)의 함수율변화 및 정선지수

함수율변화			정선지수			
초기함수율 (%)	최종함수율 (%)	함수율 변화(%)	증량변화 (g)	W ₂ (g)	FMR(%)	PI
15.9	15.4	0.6	9.5	288.6	3.82	0.9618
15.9	15.4	0.5	9.0	289.3	3.57	0.9643
15.9	15.6	0.3	8.3	290.7	3.11	0.9689
18.0	17.6	0.4	9.5	289.1	3.64	0.9636
18.0	17.6	0.4	9.3	289.2	3.61	0.9639
18.0	17.5	0.5	8.8	289.6	3.48	0.9652
20.6	19.7	0.9	9.6	287.1	4.28	0.9572
20.6	19.8	0.8	10.2	286.9	4.36	0.9564
20.6	19.9	0.7	8.1	289.5	3.51	0.9649
25.6	24.5	1.1	12.3	283.4	5.54	0.9446
25.6	24.1	1.5	10.7	283.6	5.47	0.9453
25.6	24.3	1.3	9.9	285.0	5.00	0.9500
28.9	26.6	2.3	10.9	279.9	6.70	0.9330
28.9	27.2	1.7	9.6	283.5	5.50	0.9450
28.9	26.6	2.3	11.1	280.0	6.68	0.9332

표 38. 풍속 5.57m/sec(정류격자 하부)일 때 벼(동안)의 함수율변화 및 정선지수

함수율변화			정선지수			
초기함수율 (%)	최종함수율 (%)	함수율 변화(%)	중량변화 (g)	W ₂ (g)	FMR(%)	PI
15.9	15.3	0.7	24.4	273.4	8.86	0.9114
15.9	15.5	0.4	27.2	271.5	9.50	0.9050
15.9	15.6	0.4	21.7	277.1	7.63	0.9237
18.0	17.5	0.5	26.2	272.1	9.32	0.9068
18.0	17.5	0.5	27.6	270.9	9.71	0.9029
18.0	17.5	0.5	19.5	278.8	7.07	0.9293
20.6	19.7	0.9	22.1	274.8	8.40	0.9160
20.6	19.8	0.8	22.6	274.5	8.49	0.9151
20.6	19.5	1.1	19.8	276.4	7.88	0.9212
25.6	24.3	1.3	21.8	273.4	8.86	0.9114
25.6	24.0	1.6	19.5	274.6	8.47	0.9153
25.6	24.2	1.4	16.6	278.3	7.24	0.9276
28.9	26.9	2.0	19.5	272.7	9.10	0.9090
28.9	26.9	2.0	19.4	273.0	8.98	0.9102
28.9	27.1	1.8	17.1	275.9	8.03	0.9197

3. 제 2차 시작품의 제작 및 보완

가. 제 2차 시작품의 설계 및 제작

1차 시작품은 참고할만한 선행연구가 없는 상태에서 기본적인 방향, 원리 및 구조를 파악하는데 사용할 수 있도록 제작된 것으로서 균일 퇴적을 위한 부수장치의 설치, 공기압력실의 크기 조정 등을 실시하여 추가적인 규모의 보완이 어려운 실정이었다. 따라서 참여기업인 영일기계(주)와의 협의를 거쳐 2차 시작품을 추가로 설계, 제작하였다.

2차 시작품의 설계는 1차 시작품의 제작과정과 운영실험중에 나타난 문제점을 충분히 감안하여 1차 시작품과 동일한 방법으로 실시하였다.

1차 시작품은 시료 최대용량(300g)을 기준으로 아크릴수지를 이용하여 제작하였으며, 운영실험을 통해 정선지수측정시스템의 기본적인 측정원리와 구조가 적합한 것을 알 수 있었다. 그러나 최대 시료량을 사용함에 따라 풍동의 크기가 커져 풍속의 불균일이 커져 시료의 균일퇴적을 위한 부대적인 장치가 필요하였으며, 전체적인 크기도 지나치게 커서 RPC에 적용하기에 공간적인 제한이 많았다. 따라서 1차 시작품을 보완하기보다는 상용화를 염두에 두고 2차 시작품을 별도로 제작하였으며, 아크릴 수지보다는 철판을 사용하여 제작하였다.

정선형태와 시스템의 전체적인 기본구조는 1차 시작품과 동일하게 설계하였으며, 시료량은 정선지수측정시스템에서 처리해야 할 시료량과 처리시간범위에서 1차 시작품의 1/3수준인 100g을 기준으로 하였다. 퇴적높이 0.5cm범위로 풍동의 크기는 20×20cm를 기준으로 하였으며, 송풍량은 풍속기준 6m/sec일 때 14.4 cmm, 정압은 사이클론을 감안하여 30mmAq이상을 기준으로 하였으며, 송풍기는 시로코팬(1HP, 30cmm×50mmAq)으로 하였다. 풍동내의 정류격자는 2.5×4.0cm (δ×L), 공기압력실(plenum chamber)은 풍동과 동일형태로 설계, 제작하였다. 기타 수분계 및 중량계는 1차 시작품과 동일한 것을 사용하였으며, 제작에 사용된 도면은 그림 23과 같으며, 2차 시작품은 그림 24와 같다.

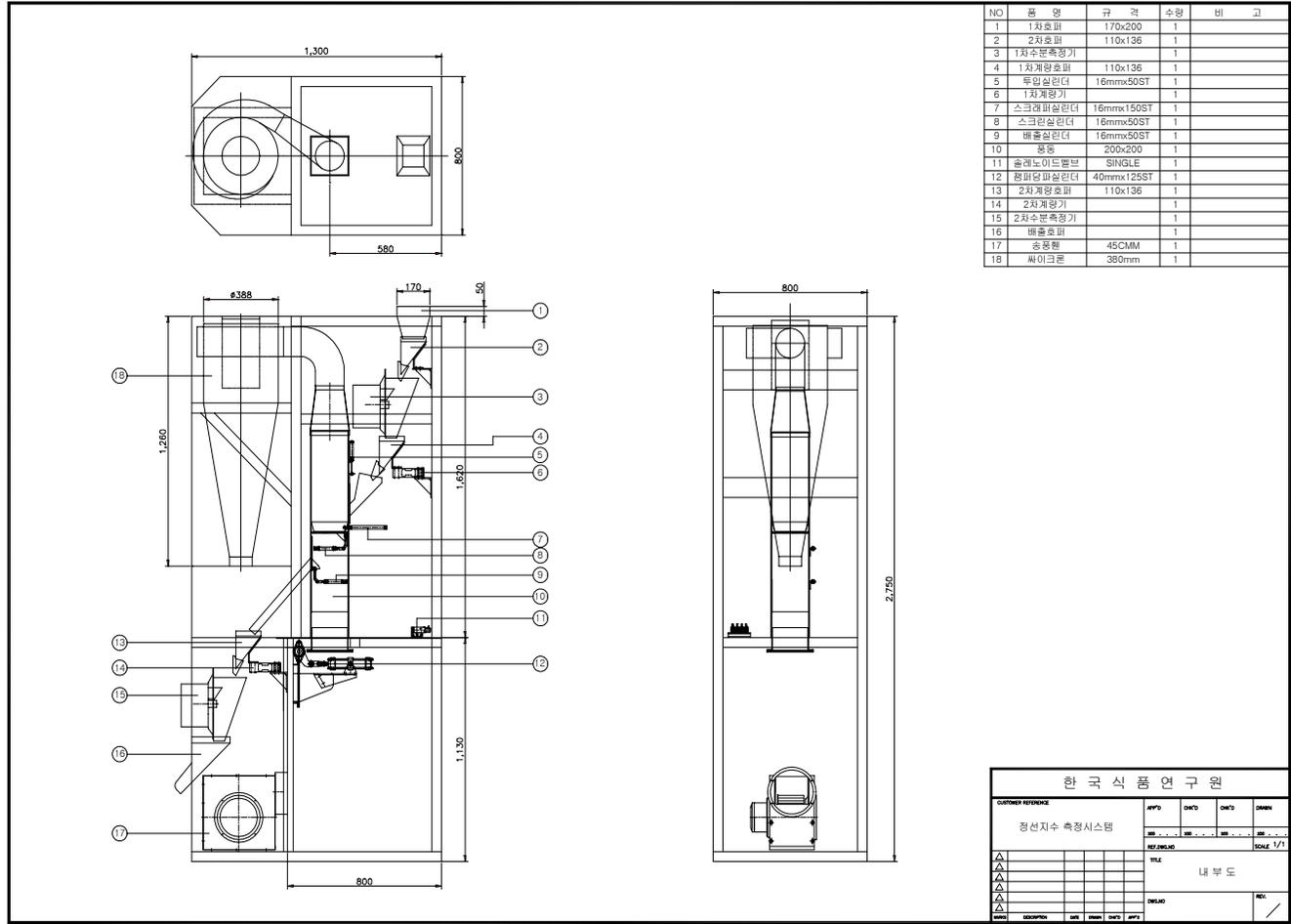


그림 23. 정선지수측정시스템 2차 시작품의 주요 설계도



그림 24. 정선지수측정시스템 2차 시작품 사진

나. 2차 시작품의 운영실험

운영실험 방법은 1차 시작품과 동일하게 영일기계(주)의 공장에서 실시하였으며, 사이클론의 설치에 따른 정압변화는 송풍기 댐퍼를 조절하면서 3가지 풍속범위에서 정류격자 상부와 다공스크린 하부 사이에 타공된 8개의 구멍을 통해 측정하였으며, 정압측정에는 pitot tube와 고성능 디지털 마노미터(2655, Yokogawa, 분해능 0.01mmAq)를 이용하였다.

다음과 같은 사항에 대해 검토하여 부족한 부분은 보완하였다.

- ① 풍동에의 벼의 균일 퇴적여부 측정 : 2차 시작품은 풍동의 크기가 20×20cm로 서 1차 시작품의 35×35cm보다 적어 벼를 균일하게 퇴적할 수 있는 부수장치를 제거하였으며, 그 결과 벼가 퇴적시에는 투입구 쪽으로 퇴적되었으나 송풍이 시작되면 퇴적부분도 정선되기 시작하였다(그림 25(a, b, c)참조).
- ② 풍동내의 공기분포 : 정류격자 상부에서 송풍량별 풍속을 측정(그림 25(e))한 결과는 풍속 3~7m/sec사이에서 송풍기의 댐퍼를 조정하면서 정류격자 상부에서 측정한 풍속분포를 나타낸 다음 표 39와 같았다. 평균풍속은 각각 $3.88 \pm 0.852 \text{m/sec}$, $4.99 \pm 0.893 \text{m/sec}$, $5.81 \pm 1.180 \text{m/sec}$, $6.81 \pm 1.134 \text{m/sec}$ 를 나타내어 1차 시작품과 마찬가지로 각 지점별로 차이가 발생하고 있음을 알 수 있었으며, 정류격자 상부의 다공 스크린에서는 그 차이가 감소하지만 사각의 모서리부분 특히, 환봉으로 제작된 다공 스크린 고정틀 부분을 보다 가늘고 정밀하게 제작할 필요가 있었다.
- ③ 정선능력 : 1차 시작품과 동일하게 투입전 벼에 혼입된 쪽정이, 이물 등의 이물질은 기류선별 후 벼에서 찾아볼 수 없을 정도로 제거되어 선별율은 만족할만한 수준이었다. 벼의 평균 부유높이는 다음 표 40에서 알 수 있듯이 풍속 3.88m/sec 수준에서 3~6cm, 풍속 4.99m/sec 수준에서 6~9cm, 풍속 5.81m/sec 수준에서 13~20cm를 나타내어 희망 부유높이 약 15cm 수준을 감안한다면 풍속 $5.0 \sim 5.81 \text{m/sec}$ 수준에서 적정 풍속이 존재해 있음을 알 수 있었다. 그러나 표 41, 42에서 알 수 있듯이 집진을 위해 사이클론을 부착할 경우 동일 송풍기 댐퍼에서 정압이 상승하고 송풍량이 저하하게 된다. 시료 100g을 퇴적하고 사이클론을 부착하지 않은 상태에서 풍속이 5.23m/sec 일 때 다공 스크린상부에서의 정압은 1.95mmAq 이었으나, 사이클론을 부착하면 풍속은 2.67m/sec 로 감소하면서 정압은 17.12mmAq 로 약 15.17mmAq 가 증가하였다. 따라서 사이클론에서 집진에 소요되는 정압의 영향이 상당히 큰 것을 감안하여 사이클론 하부에 이물질이 지나치게 많이 쌓여 정압변화가 발생하지 않도록 하

는 방안의 강구가 필요하였다.



(a) 투입구쪽으로 치우쳐 퇴적된 모습



(b) 정선되는 모습



(c) 균일하게 정선된 모습



(d) 풍동과 사이클론의 연결부위



(e) 풍속계 및 pitot tube를 이용한 풍속 및 정압측정



그림 25. 정선지수측정시스템 2차 시작품을 이용한 측정 및 보완장면

표 39. 풍동내 정류격자 상부에서 측정한 풍속분포

(a) 평균풍속 3.88m/sec

3.38	3.22	3.43	3.47	3.41	2.75	1.30	0.89
4.06	4.45	4.13	4.08	4.13	4.33	2.24	1.16
3.61	4.44	4.54	4.48	4.49	4.66	4.15	2.30
4.21	4.49	4.48	4.50	4.54	4.66	4.46	3.42
4.23	4.51	4.39	4.22	4.42	4.48	4.48	3.84
4.02	4.36	4.39	4.26	4.21	4.34	4.32	3.45
4.06	4.23	3.99	4.23	4.18	4.05	3.91	2.67
4.23	3.88	4.49	4.30	4.42	4.45	3.51	2.40

(b) 평균풍속 4.99m/sec

4.19	4.83	4.42	4.85	4.11	4.10	3.02	1.95
5.11	5.73	5.58	5.50	5.35	5.25	4.34	2.74
5.55	5.83	5.60	5.58	5.75	5.58	5.30	3.88
5.40	5.68	5.75	5.80	5.75	5.50	5.33	4.33
5.33	5.60	5.58	5.73	5.63	5.55	5.45	4.57
5.17	5.53	5.53	5.45	5.53	5.53	5.33	3.91
4.96	5.38	5.40	5.43	5.43	5.43	4.83	2.54
4.59	4.99	5.13	5.30	5.06	5.13	4.23	2.40

(c) 평균풍속 5.81m/sec

4.90	5.05	4.92	4.36	4.96	5.06	3.39	1.56
5.95	6.38	6.35	6.30	6.33	6.33	5.45	2.83
6.30	6.73	6.70	6.53	6.55	6.63	6.30	3.66
6.35	6.58	6.63	6.68	6.83	6.80	6.50	4.80
6.33	6.70	6.58	6.63	6.83	6.58	6.58	5.07
6.18	6.50	6.58	6.58	6.53	6.65	6.45	4.31
6.00	6.45	6.35	6.68	6.38	6.43	5.43	2.60
5.98	5.78	6.18	6.20	5.78	6.28	4.46	3.04

(b) 평균풍속 6.81m/sec

4.32	5.70	6.73	6.03	5.98	6.25	4.94	3.91
6.03	7.35	7.63	7.50	7.33	7.33	6.93	5.63
6.70	7.78	7.68	7.75	7.73	7.80	7.10	6.53
7.03	7.63	7.70	7.65	7.80	7.78	7.55	6.48
6.88	7.48	7.53	7.78	7.75	7.78	7.60	6.43
6.60	7.53	7.58	7.58	7.50	7.55	7.40	6.05
6.38	7.28	7.55	7.53	7.55	7.35	6.63	4.34
4.53	5.95	7.05	7.28	7.03	6.88	5.00	2.35

표 40. 벼의 함수율별, 풍속별 부유높이

	3.88m/sec	4.99m/sec	5.81m/sec
15.7%	5~6	9	19~20
18.1%	4~5	8~9	17~18
22.0%	3~4	8	15~16
25.1%	3~4	7~8	14~15
27.8%	3	6~7	13~14

표 41. 시료 미충전시 사이클론 부착여부에 따른 다공 스크린 상, 하부에서의 정압변화

사이클론 미부착시			사이클론 부착시		
풍속 (m/sec)	스크린 상부 정압(mmAq)	스크린 하부 정압(mmAq)	풍속 (m/sec)	스크린 상부 정압(mmAq)	스크린 하부 정압(mmAq)
3.93	1.13	2.40	2.57	11.27	11.86
4.88	1.50	3.84	2.83	14.12	14.85
5.86	2.32	5.38	2.99	15.80	16.37

표 42. 시료(100g) 충전시 사이클론 부착여부에 따른 다공스크린 상, 하부에서의 정압변화

사이클론 미부착시			사이클론 미부착시		
풍속 (m/sec)	스크린 상부 정압(mmAq)	스크린 하부 정압(mmAq)	풍속 (m/sec)	스크린 상부 정압(mmAq)	스크린 하부 정압(mmAq)
3.52	0.82	4.73	2.32	8.97	13.13
4.47	1.32	5.95	2.45	12.17	15.48
5.23	1.95	7.26	2.67	13.65	17.12

④ 함수율변화 : 다음 표 43, 44, 45는 풍속별 함수율 변화와 정선지수를 측정한 결과이다. 표에서 알 수 있듯이 정선 전후 벼의 함수율은 0.3~1.9%정도 차이가 발생하였으며, 함수율이 높을수록 선별과정중 건조발생이 커지는 것을 알 수 있었다. 그러나 1차 시작품의 경우와 유사하게 실험시 외기 온습도조건 (35.0℃, 47%RH)은 대단히 열악한 상태로서, RPC에 벼가 반입되는 가을철 외기온도를 감안할 경우 함수율 변화는 그다지 크지 않을 것으로 판단되었다.

표 43. 풍속 3.88m/sec(정류격자 하부)일 때 벼(동안)의 함수율변화 및 정선지수

함수율변화			정선지수			
초기함수율 (%)	최종함수율 (%)	함수율변화 (%)	증량변화 (g)	W ₂ (g)	FMR(%)	PI
15.7	15.4	0.3	3.5	96.2	3.79	0.9621
15.7	15.4	0.3	3.5	96.1	3.86	0.9614
15.7	15.3	0.4	1.9	97.6	2.36	0.9764
18.1	17.7	0.4	1.9	97.6	2.42	0.9758
18.1	17.7	0.4	3.2	96.3	3.67	0.9633
18.1	17.7	0.4	3.8	95.8	4.23	0.9577
22.0	20.9	1.1	3.1	95.5	4.48	0.9552
22.0	20.7	1.3	3.4	95.0	5.03	0.9497
22.0	21.0	1.0	3.1	95.7	4.29	0.9571
25.1	24.1	1.0	3.5	95.2	4.78	0.9522
25.1	24.5	0.6	3.7	95.5	4.50	0.9550
25.1	24.4	0.7	3.1	96.0	3.96	0.9604
27.8	26.8	1.0	3.4	95.3	4.73	0.9527
27.8	26.5	1.3	3.5	94.8	5.21	0.9479
27.8	26.8	1.0	3.5	95.2	4.77	0.9523

표 44. 풍속 4.99m/sec(정류격자 하부)일 때 벼(동안)의 함수율변화 및 정선지수

함수율변화			정선지수			
초기함수율 (%)	최종함수율 (%)	함수율변화 (%)	증량변화 (g)	W ₂ (g)	FMR(%)	PI
15.7	15.2	0.5	3.7	95.8	4.18	0.9582
15.7	15.3	0.4	3.2	96.3	3.69	0.9631
15.7	15.1	0.6	3.6	95.8	4.21	0.9579
18.1	17.5	0.6	3.3	96.0	4.01	0.9599
18.1	17.6	0.5	4.0	95.4	4.60	0.9540
18.1	17.6	0.5	3.1	96.3	3.71	0.9629
22.0	20.8	1.2	3.5	95.0	4.95	0.9505
22.0	20.7	1.3	3.2	95.2	4.76	0.9524
22.0	20.8	1.2	3.5	95.0	4.96	0.9504
25.1	24.1	1.0	3.5	95.2	4.77	0.9523
25.1	23.9	1.2	3.3	95.1	4.87	0.9513
25.1	24.6	0.5	3.4	95.9	4.10	0.9590
27.8	25.9	1.9	3.6	94.0	5.99	0.9401
27.8	27.0	0.8	3.6	95.3	4.70	0.9530
27.8	26.2	1.6	3.2	94.7	5.30	0.9470

표 45. 풍속 5.81m/sec(정류격자 하부)일 때 벼(동안)의 함수율변화 및 정선지수

함수율변화			정선지수			
초기함수율 (%)	최종함수율 (%)	함수율변화 (%)	증량변화 (g)	W ₂ (g)	FMR(%)	PI
15.7	15.0	0.7	4.2	95.0	5.03	0.9497
15.7	15.0	0.7	3.7	95.5	4.47	0.9553
15.7	15.2	0.5	4.1	95.3	4.71	0.9529
18.1	17.5	0.6	4.0	95.3	4.66	0.9534
18.1	17.4	0.7	4.2	95.0	4.95	0.9505
18.1	17.6	0.5	3.6	95.8	4.23	0.9577
22.0	20.7	1.3	4.4	94.1	5.95	0.9405
22.0	20.8	1.2	4.0	94.5	5.46	0.9454
22.0	20.9	1.1	3.7	94.9	5.12	0.9488
25.1	24.5	0.6	4.2	95.1	4.92	0.9508
25.1	24.3	0.8	3.9	95.0	5.00	0.9500
25.1	24.1	1.0	3.8	95.0	5.01	0.9499
27.8	26.7	1.1	4.0	94.5	5.48	0.9452
27.8	26.5	1.3	3.9	94.4	5.64	0.9436
27.8	26.7	1.1	3.7	94.8	5.18	0.9482

다. 2차 시작품의 RPC현장 적응실험

보완된 2차 시작품을 이용하여 산물 벼 수매기간인 2004. 10. 12부터 2004. 10. 22까지 11일간 경남 함안군 소재 평화영농법인RPC에 소속된 DSC에서 현장 적응실험을 실시하였다. 적응실험은 off-line 상태로 다양한 함수율의 벼와 품종에 대해 수행하였으며, 선별에 필요한 시간, 부유높이, 정선지수 등을 측정하였다.

정선지수측정시스템에서 단립수분계를 사용할 경우 약 50립 정도의 지나치게 적은 시료의 함수율을 측정함에 따라 대표성의 문제가 있었으며, 심한 경우 정선 전·후 함수율이 반대로 나타나는 경우도 발생하였다. 또한, 정선 전·후에 수분계를 설치함에 따라 함수율 측정중 롤러의 작동으로 인한 진동의 발생은 물론 시스템 전체 높이가 지나치게 상승하였고, 시스템 가격이 상승하는 문제가 있었다. 따라서 선별 전후의 벼의 함수율을 별도의 실험용 단립수분계(CTR-800E, Shizuoka Seiki, Japan)로 측정하여 정선지수측정시스템에서 수분계 설치 필요성 여부를 검토하였다.

실험에 사용된 시료는 RPC 현장에서 채취한 남평, 일미 및 화영으로 총 81점으로서 함수율은 12.5~28.6%수준이었으며, 사이클론이 연결된 상태에서 풍속은 약 5.5m/sec수준을 유지하도록 하였다.



그림 26. 제 2차 시작품을 이용한 RPC현장실험 전경

시스템의 선별시간을 stop watch로 측정한 결과, 투입 6.2초, 중량측정 7.6초, 선별판 투입 5.5초, 풍동선별 8.7초, 중량측정 6.7초, 배출 3.2초, 함수율측정 29.3초로서 선별시간은 67.3초이었으며, 수분측정 시간을 제외할 경우 38.0초이었다.

다음 그림 27은 정선지수측정시스템 전후에서 측정한 벼의 함수율을 나타낸 것으로서 다음 식(8)과 같이 높은 상관관계를 나타내었다.

$$M_2 = 0.399 + 0.9652 \times M_1 \quad (r^2 = 0.9959) \quad (8)$$

여기서, M_1 : 정선전 함수율(%)

M_2 : 정선후 함수율(%)

따라서, 향후 정선지수측정시스템은 정선전 함수율(M_1)은 호퍼스케일에서 측정된 값을 이용할 경우 단립수분계를 설치할 필요가 없다는 것을 알 수 있었다.

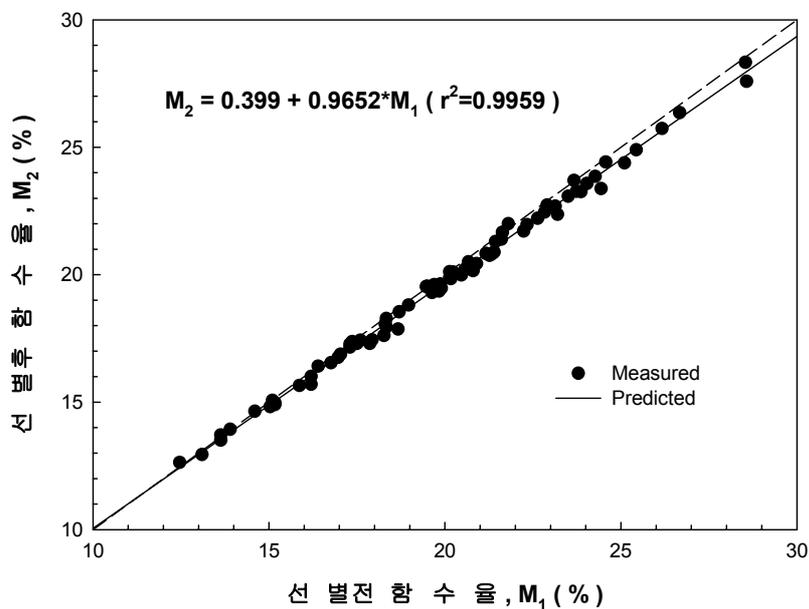


그림 27. 정선지수 측정전후 함수율 변화

남평, 일미, 화영 등 3개 품종의 81점 시료의 함수율별 부유높이는 다음 그림 28, 29, 30, 31과 같았다. 그림에서 알 수 있듯이 함수율이 높을수록 부유높이가 낮아졌으나, 일부 까라기가 많은 벼 낱알과, 이삭이 있는 벼의 경우 함수율이 낮아도 부유높이가 낮은 경향을 나타내었다. 품종별로는 일미 벼의 경우가 가장 탈곡이 불량하였으며, 이로 인해 함수율에 따라 부유높이가 일정하지 않았다.

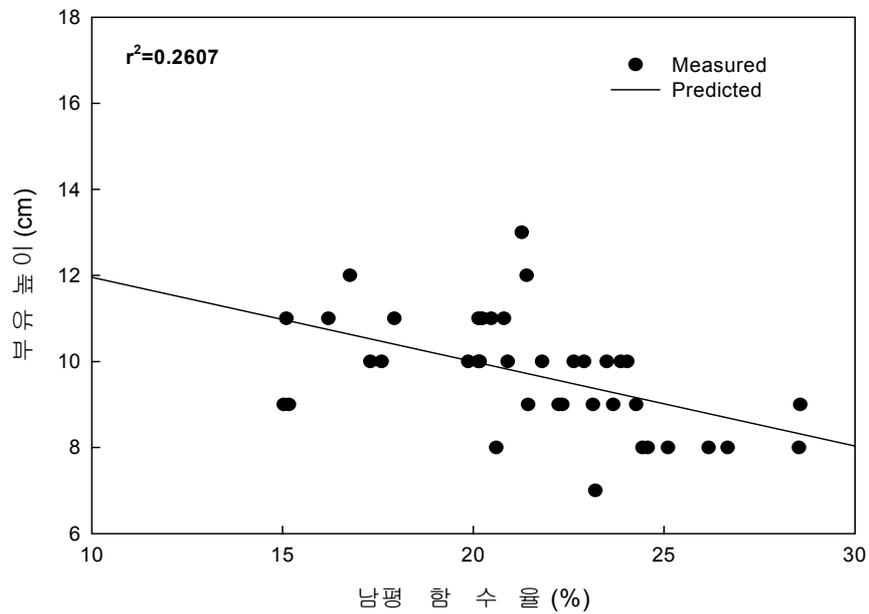


그림 28. 남평 벼의 함수율에 따른 부유높이

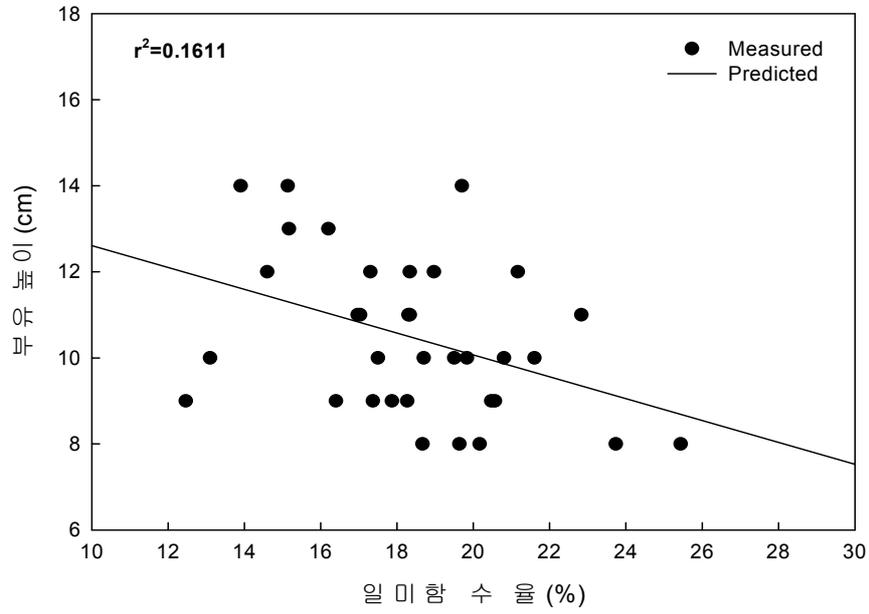


그림 29. 일미 벼의 함수율에 따른 부유높이

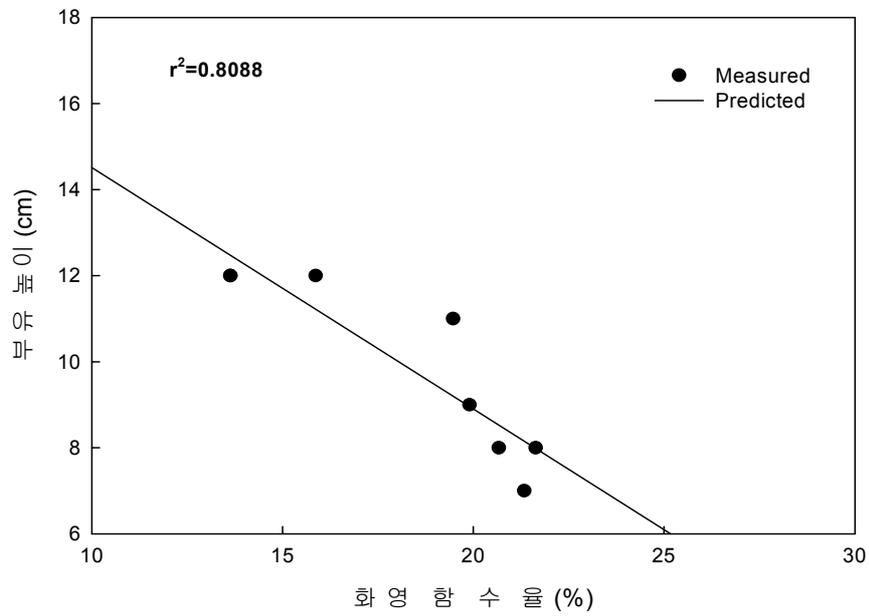


그림 30. 화영 벼의 함수율에 따른 부유높이

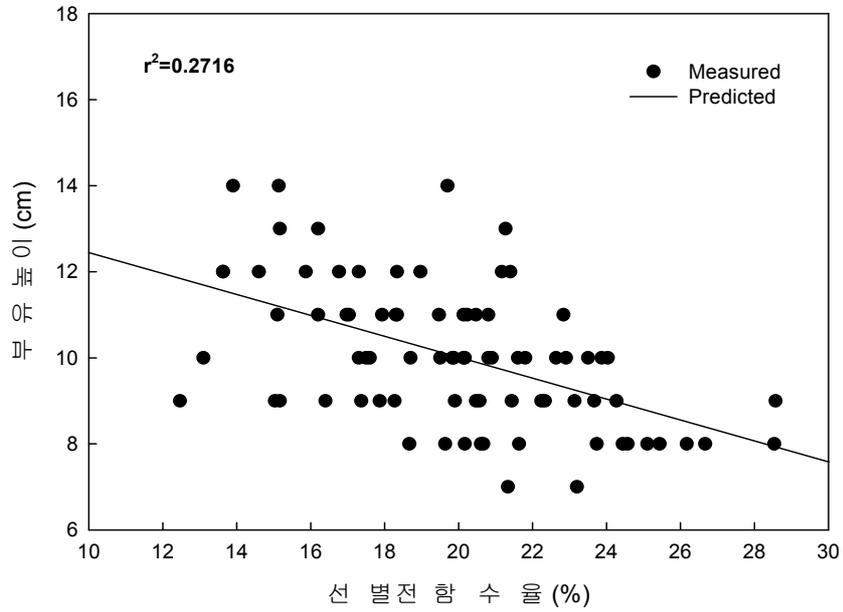


그림 30. 3개 품종 벼의 함수율 분포 및 함수율에 따른 부유높이

한편, 정선지수 값은 다음 표 42와 같았다. 표에서 알 수 있듯이 정선지수 값이 0.9371로 다소 낮게 나타났는데, 일부에서 발생한 낙곡도 일부 영향을 미친 것으로 판단되었다. 따라서 낙곡이 발생하지 않도록 보다 정밀한 가공이 필요하였다(그림 31).

표 42. 제2차 시작품으로 RPC현장에서 측정한 정선지수 값

순번	함수율(%)			정선지수			
	M ₁	M ₂	M ₁ -M ₂	W ₁ -W ₂ (g)	W'2(g)	FMR(%)	PI
1	20.6	20.2	0.4	10.7	129.61	7.20	0.9280
2	15.0	14.8	0.2	10.0	142.69	6.33	0.9367
3	19.6	19.3	0.3	11.7	161.33	6.38	0.9362
4	23.2	22.4	0.8	10.0	158.35	4.99	0.9501
5	25.4	24.9	0.5	11.0	149.72	6.23	0.9377
6	20.2	19.8	0.3	11.0	172.69	5.63	0.9437
7	20.7	20.5	0.2	11.0	163.34	6.13	0.9387
8	19.9	19.5	0.4	9.0	149.13	5.21	0.9479
9	28.6	27.6	1.0	12.7	138.17	7.27	0.9273
10	21.4	20.9	0.5	14.3	117.08	10.39	0.8961
11	12.5	12.7	-0.2	11.7	147.97	7.52	0.9248
12	26.7	26.4	0.3	10.7	139.25	6.75	0.9325
13	16.4	16.4	0.0	8.0	135.32	5.59	0.9441
14	18.3	17.6	0.7	11.3	144.14	6.61	0.9339
15	15.2	15.0	0.2	5.7	151.34	3.40	0.9660
16	21.6	21.7	0.0	8.7	133.28	6.14	0.9386
17	18.7	17.9	0.8	8.7	145.40	4.76	0.9524
18	17.4	17.4	0.0	8.7	133.32	6.12	0.9388
19	25.1	24.4	0.7	9.0	145.35	5.00	0.9500
20	21.3	20.8	0.5	7.3	144.61	4.23	0.9577
21	17.9	17.3	0.6	13.7	132.23	8.80	0.9120
22	20.8	20.4	0.4	9.0	145.35	5.41	0.9459
23	17.0	16.8	0.2	11.0	156.40	6.35	0.9365
24	16.2	16.0	0.2	10.0	158.69	5.73	0.9427
25	28.5	28.3	0.2	10.0	144.07	6.25	0.9375
26	22.9	22.7	0.2	10.7	130.95	7.35	0.9265
27	13.1	12.9	0.2	13.7	138.25	8.85	0.9115
28	22.2	21.7	0.5	9.0	127.18	6.03	0.9397
29	18.3	17.9	0.4	10.0	149.04	5.87	0.9413
30	19.8	19.4	0.5	7.0	144.85	4.07	0.9593

표 42. 제2차 시작품으로 RPC현장에서 측정한 정선지수 값(계속)

순번	함수율(%)			정선지수			
	M ₁	M ₂	M ₁ -M ₂	W ₁ -W ₂ (g)	W ² (g)	FMR(%)	PI
31	20.1	19.9	0.2	13.3	143.77	8.23	0.9177
32	16.8	16.5	0.2	11.3	161.76	6.31	0.9369
33	22.6	22.2	0.4	10.7	139.08	6.65	0.9335
34	15.2	14.9	0.3	14.7	156.49	8.31	0.9169
35	24.0	23.6	0.5	11.0	152.24	6.22	0.9378
36	23.1	22.7	0.4	11.3	148.85	6.58	0.9342
37	17.3	17.2	0.1	12.0	152.27	7.16	0.9284
38	26.2	25.5	0.7	9.5	165.47	4.63	0.9537
39	17.5	17.2	0.3	10.3	150.27	6.08	0.9392
40	15.1	14.9	0.2	14.0	139.05	8.92	0.9108
41	24.3	23.7	0.6	13.0	157.90	6.94	0.9306
42	19.0	18.8	0.2	8.4	105.03	7.22	0.9278
43	23.9	23.0	0.9	11.0	158.86	5.44	0.9456
44	23.7	23.1	0.6	9.7	136.76	5.90	0.9410
45	22.8	22.3	0.5	9.3	157.07	5.00	0.9500
46	23.5	22.7	0.8	8.7	156.20	4.37	0.9563
평균	20.4	20.0	0.4	10.5	145.86	6.29	0.9371



그림 31. 선별체 등에 끼어 있는 벼 낱알 및 공기층만실에 낙곡이 발생한 모습

4. 제 3차 시작품의 제작 및 보완

가. 3차 시작품의 설계 및 제작

1, 2차 시작품의 설계, 제작 및 운영실험을 통해 획득한 경험과, 적정 설계치를 바탕으로 3차 시작품을 설계, 제작하였다. 3차 시작품은 2차 시작품을 이용한 RPC에서의 현장 적응실험 결과를 토대로 단립수분계를 제거하였으며, 다공 스크린, 투입 및 배출구 등에 퇴적이 가능한 이물의 청소를 위하여 air cleaning system을 설치하였다. 다공 스크린은 벼나 이물질의 잔곡발생 가능성이 가장 높은 곳으로 정밀 가공하였으며, 아크릴수지는 정전기가 발생하여 벼의 정립이 부착될 수 있어 강화유리로 대체하였다. 또한, 풍동에서 풍속을 더욱 균일하게 조정하기 위하여 정류격자 상부에 다공 스크린을 추가로 설치하였으며, 수분계와 중량계의 이상으로 인한 비정상적인 정선지수 측정을 방지하기 위해 프로그램에서 경보 기능을 강화하였다.

3차 시작품은 실용화를 염두에 두고 제작하였으며, 주요한 설계도면은 다음 그림 32와 같았다.

나. 3차 시작품의 RPC현장 적응실험

제 3차 시작품을 이용한 현장 적응실험은 경기도 이천 부발농협RPC에서 수확기인 2005. 10. 4일부터 2005. 10월 28일까지 25일간에 걸쳐 실시되었다. 실험장면은 다음 그림 33과 같았으며, 측정된 정선지수 값은 다음 표 43과 같았다.

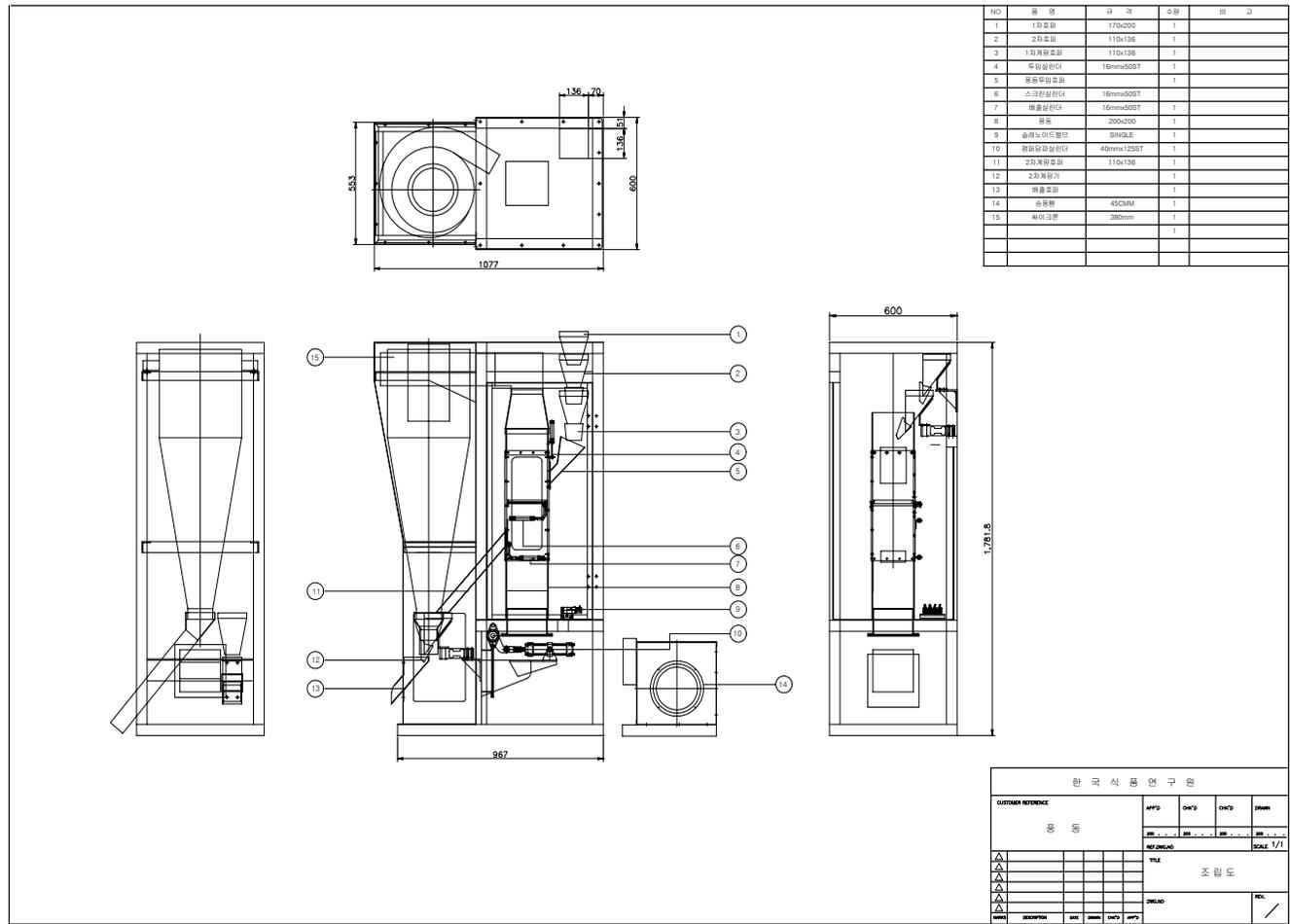


그림 32. 정선지수측정시스템 3차 시작품 주요 설계도



그림 33. 제 3차 시작품의 RPC현장 운영실험 모습

표 43. 제3차 시작품으로 RPC현장에서 측정한 정선지수

값

순번	함수율(%) 변화			정선지수			
	M ₁	M ₂	M ₁ - M ₂	W ₁ -W ₂ (g)	W ₂ (g)	FMR(%)	PI
1	20.6	20.6	0.0	2.0	58.00	3.33	0.9667
2	21.6	21.3	0.3	1.0	62.21	1.25	0.9875
3	20.7	20.4	0.4	1.0	69.32	0.97	0.9903
4	24.2	23.6	0.6	1.0	53.39	1.12	0.9888
5	19.8	19.7	0.1	1.0	76.13	1.13	0.9887
6	23.7	23.4	0.3	2.0	68.27	2.48	0.9752
7	23.2	22.8	0.4	2.0	76.36	2.10	0.9790
8	21.9	21.8	0.1	4.0	94.12	3.96	0.9604
9	22.8	22.1	0.7	2.0	95.85	1.18	0.9882
10	23.1	22.9	0.3	1.0	84.29	0.83	0.9917
11	27.3	26.3	1.0	1.0	59.80	0.33	0.9967
12	22.8	22.5	0.3	2.0	75.26	2.26	0.9774
13	24.2	23.4	0.8	2.0	61.64	2.16	0.9784
14	22.1	21.9	0.2	3.0	83.21	3.24	0.9676
15	22.9	22.2	0.7	1.0	91.82	0.20	0.9980
16	21.7	21.2	0.5	1.0	56.33	1.17	0.9883
17	22.1	21.5	0.6	2.0	60.46	2.49	0.9751
18	18.5	18.4	0.1	1.0	86.07	1.07	0.9893
19	19.9	19.4	0.5	1.0	104.65	0.34	0.9966
20	21.8	21.3	0.6	1.0	82.59	0.49	0.9951

표 43. 제3차 시작품으로 RPC현장에서 측정한 정선지수(계속)

순번	함수율(%) 변화			정선지수			
	M ₁	M ₂	M ₁ - M ₂	W ₁ -W ₂ (g)	W ₂ (g)	FMR(%)	PI
21	24.2	23.3	0.9	4.0	63.74	4.87	0.9513
22	21.6	20.9	0.6	2.0	103.83	1.12	0.9888
23	22.9	22.2	0.7	1.0	54.51	0.89	0.9911
24	19.8	19.2	0.6	3.0	93.69	2.41	0.9759
25	23.6	22.8	0.9	2.0	74.83	1.54	0.9846
26	21.4	20.6	0.8	2.0	96.00	1.03	0.9897
27	23.9	23.3	0.6	1.0	75.62	0.50	0.9950
28	20.5	20.0	0.5	2.0	80.53	1.79	0.9821
29	20.0	19.5	0.4	1.0	106.57	0.40	0.9960
30	20.1	19.4	0.7	1.0	66.60	0.60	0.9940
31	21.6	21.1	0.5	1.0	93.63	0.40	0.9960
32	28.0	27.1	0.9	4.0	88.07	3.21	0.9679
33	22.6	22.4	0.2	2.0	57.17	3.10	0.9690
34	22.1	21.5	0.6	1.0	67.54	0.68	0.9932
35	19.0	18.8	0.2	2.0	98.28	1.72	0.9828
36	16.7	16.4	0.4	1.0	105.46	0.51	0.9949
37	19.1	18.9	0.2	1.0	61.15	1.37	0.9863
38	23.3	23.0	0.4	4.0	53.25	6.57	0.9343
39	21.1	20.8	0.2	2.0	91.27	1.86	0.9814
평균	22.0	21.5	0.5	1.8	77.73	1.71	0.9829

5. 시스템의 운영 및 보급체계 구축

가. 정선지수신출 및 실중량 예측 종합체계 구축

정선지수측정시스템, 중앙 입고운영관리시스템 및 호퍼스케일에서 필요한 데이터는 RS-232방식으로 다음 그림 34와 같은 통신흐름도로 입출력되도록 구성하였다. 정선지수측정시스템이 호퍼스케일로부터 받는 데이터는 조합원번호, 현재수분, 중량측정의 시작과 끝 신호이며, 정선지수측정시스템은 중앙 입고관리시스템과 조합원번호, 정선지수 등을 공유하도록 구성하였다.

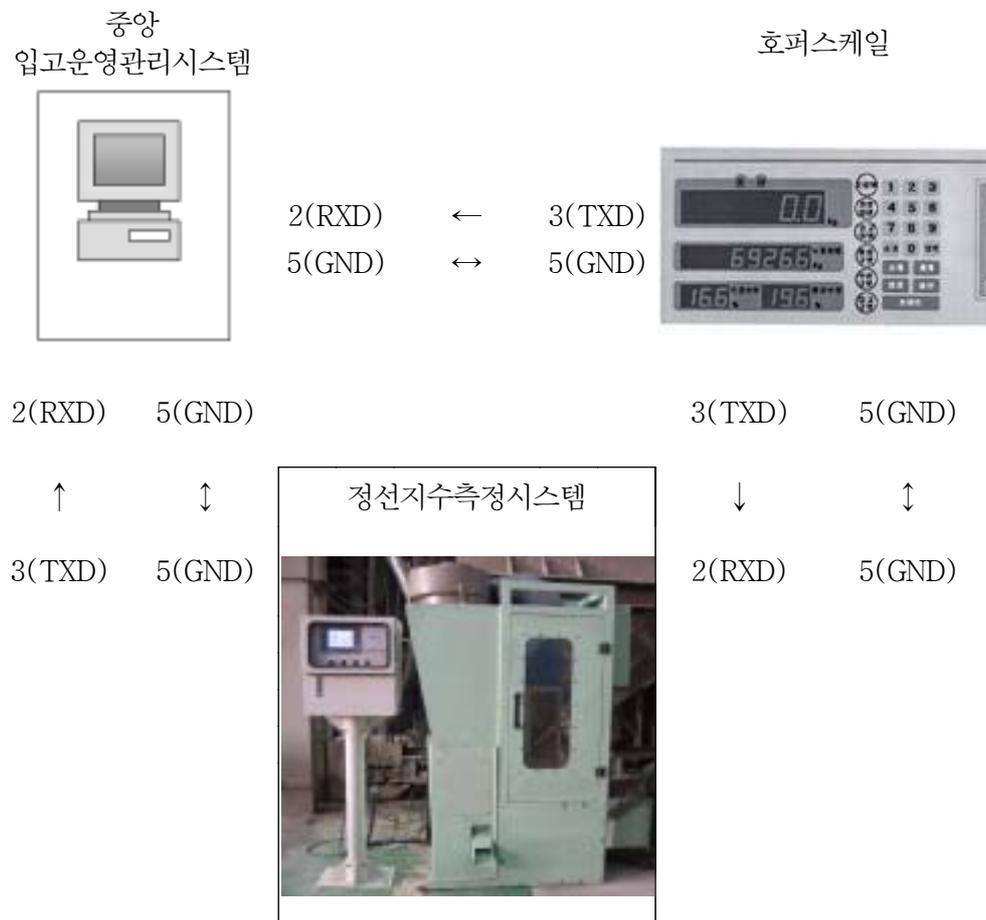


그림 34. RPC에서 정선지수측정 측정 종합체계의 통신흐름도

한편, 정선지수측정시스템은 호퍼스케일로부터 베타를 반입하는 조합원자료, 현재 함수율(측정전 함수율), 중량 측정의 시작 및 끝 신호를 받아 정해진 방법으로 정선지수를 측정한 다음, 측정된 정선지수 평균치를 조합원자료와 함께 중앙 입고운영관리시스템으로 보내야 하므로 보다 효과적으로 이 작업을 수행하기 위하여 컨트롤러를 개발하였으며(그림 35), 컨트롤러에서 제어 흐름도는 다음 그림 36과 같았다.



그림 35. 정선지수측정시스템의 컨트롤러 사진

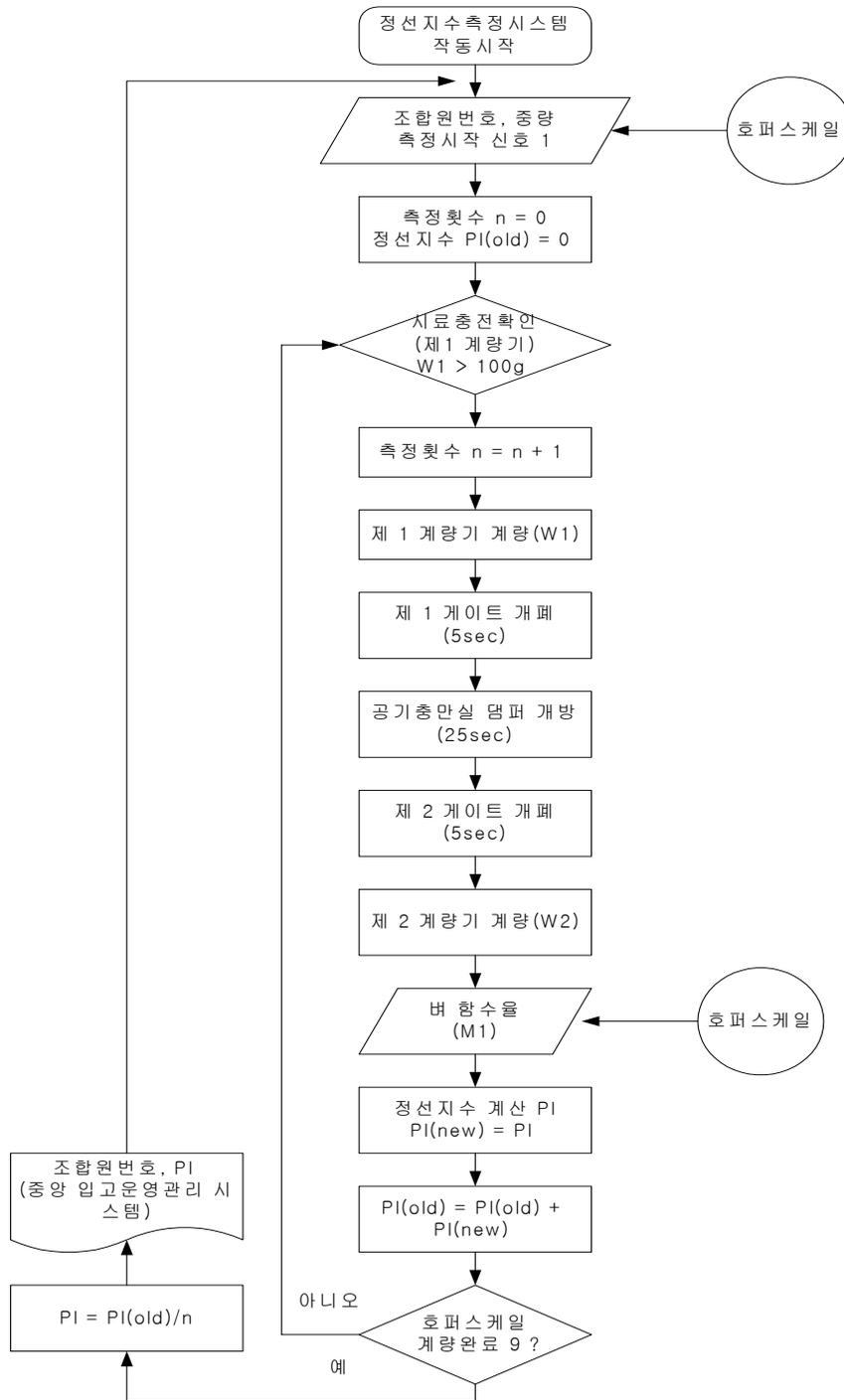


그림 36. 정선지수측정시스템의 제어 흐름도

나. 운영 및 보급체계 구축

정선지수측정시스템의 원활한 보급을 위하여 교육 및 심포지엄을 통해 정선지수의 도입 필요성에 대하여 전파하였고, 보급을 주도할 농협중앙회와 필요성, 시스템의 기본방향, 보급방향 등에 관하여 충분한 토의를 거쳤다. 또한, 농림부 및 농협중앙회 의뢰로 수행한 제반 연구에 본 연구결과를 충분하게 활용하여 정선지수 측정을 개선공정으로 제안하였다. 관련된 주요 연구과제는 다음과 같았다.

○ 농림부 관련과제

- 1) 김동철, 김의용 등(2005) : RPC의 건조저장 시설 및 운영기술현황 조사분석 연구사업. 한국식품연구원 보고서 G01503-05043
- 2) 김의용, 김동철 등(2004) : 고품질 쌀 생산을 위한 RPC remodeling 기술개발. 제 1차년도 연구보고서

○ 농협중앙회 관련과제

- 1) 한국RPC연구회(2003) : 쌀 산업 경쟁력 제고를 위한 RPC종합 발전방안
- 2) 김동철, 김의용 등(2004) : 농협 쌀 품질개선을 위한 RPC 프로세스 개발. 한국식품연구원 보고서 I01633-0450
- 3) 김의용, 김동철 등(2005) : RPC수확후 품질개선에 관한 연구. 한국식품연구원 보고서 I01671-05027
- 4) 김동철, 김의용 등(2005) : 통합RPC 시설·가공기술 컨설팅. 한국식품연구원 보고서 I01679-05047

○ 관련 교육 및 세미나(주요한 세미나)

- 1) 고품질 쌀 생산을 위한 RPC 공정개선방안, 2003. 4. 15. 한국농정신문 주관 세미나
- 2) RPC 공정과 관리자의 체크 포인트, 2003. 5. 28. 농협중앙회 RPC경영교육

- 3) 쌀의 고품질 유지를 위한 수확후 관리기술 개선방안. 2003. 7. 25. 농협 이천
쌀 산업경쟁력 제고를 위한 세미나
- 4) RPC 기술교육, 2004. 6. 9. 농협안성교육원 주관
- 5) 농협RPC 시설개선 컨설팅 설명회. 2004. 7. 16 한국식품연구원 주관
- 6) RPC 경영교육. 2004. 7. 농협중앙회주관
- 7) 2004년 RPC 산물벼 수매 실무교육. 2004. 9. 농협중앙회 주관(수원, 광주,
창원 등 3개지역)
- 8) RPC 수확후 품질개선에 관한 교육. 2005. 8. 1. 농협중앙회 주관(농협안성교
육원)
- 9) RPC 도정기사 기술교육. 2005. 9. 농협안성교육원 주관

또한, 물벼의 수확기가 통상 10월 1일~10월 31일로 약 1개월간으로 3차 시작
품의 현장실험이 연구기간보다 다소 늦게 끝났으며, 이 결과를 토대로 기술이전을
위한 도면 및 운영메뉴얼 등 최종작업을 참여기업과 협의하여 진행중에 있다.

제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도

현재 RPC의 발전방향은 안전한 고품질 쌀 생산과 함께 수율향상으로 적자 RPC를 감소시키는 것이다. 산물 벼에 혼입된 이물질에 의한 실중량감소는 RPC에서 수율저하를 발생시키는 핵심적인 요인으로 반드시 해소되어야 하며, 정선지수 도입은 현재 RPC 상황 및 향후 발전방향을 고려해도 유일한 대안이 되고 있다. 따라서 본 연구에서의 정선지수측정시스템을 개발한다는 목표는 RPC 및 DSC에서 산물 벼의 실중량 거래체계를 확립하기 위한 중요하면서도 적절하였다고 판단된다.

연구내용도 1차년도(2002년)에는 농협중앙회를 통해 전체 농협 RPC의 산물수매 현황자료를 취득하여 분석하였고, RPC 9개소의 현장조사를 통해 벼 반입실태와 조선기 전·후의 벼의 이물질 중량비 및 조선통 등을 조사하여 정선지수측정시스템의 개발방향, 처리능력, 처리시간 등 기본방향의 결정에 활용할 결과를 도출하였다. 또한, 수직풍동과 소형 선별체 시작품을 제작하여 5개 품종의 벼(추청, 화봉, 일미, 일품, 동안)를 대상으로 함수율별(14.9~26.5%)로 벼 정립의 기하학적 특성, 공기역학적 특성을 측정하여 벼와 쪽정이의 선별인자를 도출하였으며, 종말속도, 부유높이 등 정선지수 측정시스템의 설계에 꼭 필요한 주요 인자의 실측치를 확보하였다. 또한, 1차년도에서 측정된 정선지수 측정시스템의 기본방향 및 설계 기본조건을 토대로 1건의 특허를 획득하였다.

- 특허명 : 산물 벼의 정선지수 측정장치
- 특허번호 : 특허 제 0497227호
- 등록일 : 2005. 6. 15

2차년도(2003년)는 정선지수측정시스템의 설계, 제작 및 성능평가를 연구목표로 1, 2차 시작품을 제작하여 운영실험을 통해 시작품을 보완하였다. 우리나라 RPC의 독특한 산물 벼 반입 및 대금정산방법으로 인해 일본은 물론이며 지금까지 국내외적으로 정선지수측정시스템에 관한 선행연구가 없는 상태로서, 정선지수측정시스템의 방향, 기본적인 측정원리 및 구조의 적합성을 우선 검토하기 위하여 1차 시작

품을 제작하였고, 운영프로그램을 개발하였으며, 1차 시작품의 운영실험을 실시하였다. 또한, 1차 시작품의 제작 및 운영실험중에 나타난 보완사항을 토대로 실제 RPC에서 현장적응이 가능한 규모의 2차 시작품을 제작하였으며, 운영실험을 통해 보완하였다.

3차년도(2004년)는 1, 2차 시작품에서 발생하는 문제점을 보완하여 3차 시작품을 설계, 제작하였으며, RPC 현장에서 실험을 통해 적응성을 검토하였으며, 신뢰감을 향상시키기 위하여 노력하였다. 이를 통해 정선지수측정시스템이 RPC현장에 적용될 수 있는 실제적인 기술을 습득하였다. 또한, 본 연구에서 개발된 정선지수 측정시스템의 원활한 보급을 위하여 교육을 통해 정선지수의 도입 필요성에 대하여 전파하였고, 보급을 주도할 농협중앙회와 필요성, 시스템의 기본방향, 보급방향 등에 관하여 충분하게 토의를 거쳤으며, 농협중앙회 RPC의 개선 공정에 포함되었다.

이상과 같이 정선지수를 정밀하게 측정할 수는 정선지수측정시스템을 개발하였고, RPC에서의 효율적인 운영기술을 개발하였으며, RPC 등에 대한 보급체계를 구축함에 따라 본 과제는 당초의 목표를 충분하게 달성한 것으로 판단된다.

특히, 본 연구에서 개발된 정선지수측정시스템이 RPC에 보급되어 약 2%내외의 이물질 혼입으로 인한 실증량 감소만 해소되어도 현재 RPC의 평균적자를 충분하게 상쇄하여 RPC의 경영에 크게 기여할 것으로 기대된다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

정선지수측정시스템이 사용될 수 있는 곳은 RPC와 DSC의 반입시설로 호퍼스 케일 전이나 후이다. 따라서 기본적으로 1개 반입시설 당 1개의 정선지수측정시스템이 필요하다고 할 수 있다.

현재, 328개소의 RPC와 639개소의 DSC에 설치되어 있는 반입시설은 총 739개소(김 등, 2005)이며, 정부에서는 RPC당 평균 1.79개소인 반입시설을 약 3개 정도로 확충할 계획이며, 특히 부족한 건조저장능력의 향상으로 우리나라 쌀 산업의 경쟁력 강화를 위해 2010년까지 DSC 2,000개소 이상을 추가로 보급할 계획이다. 따라서 정선지수측정시스템의 향후 총 보급 수요는 개략적으로 약 3,000개 정도에 달할 것으로 예측되며, 단가를 3,000만원 수준으로 감안하여도 총 900억 이상의 시장이 형성될 것으로 예측된다.

가장 우선적으로 참여기업에 기술이전을 실시하여 RPC현장에 활용할 수 있도록 할 것이며, RPC 현장에 잘 적용될 수 있도록 필요시 세부적인 부분에 대한 기술지원도 실시할 예정이다. 또한, RPC에서의 시료채취 관행을 감안하여 정선지수 측정시스템에서 정선된 벼를 포장하여 시료로 사용할 수 있는 부분에 대해 추가로 검토할 예정이다.

제 6 장 참 고 문 헌

1. 김의웅, 김동철, 김훈, 이세은, 김상숙 등. 2005. RPC 수확후 품질개선에 관한 연구. 한국식품연구원보고서. I01671-05027
2. 김의웅, 김동철, 김훈 등. 2004. 농협RPC 산물벼 품질분석. 한국식품연구원 연구보고서. S01861
3. 김의웅, 김동철, 이세은, 김상숙, 김훈. 2005. 쌀 산업 경쟁력 강화를 위한 RPC remodeling 기술 개발(1/3). 한국식품연구원 연구(연차)보고서
4. 김동철, 김의웅, 김훈, 이세은, 김상숙 등. 2004. 농협 쌀 품질개선을 위한 RPC 프로세스 개발. 한국식품연구원 연구보고서. I01633-0450
5. 김동철, 김의웅, 김훈, 이세은 등. 2005. RPC의 건조저장 시설 및 운영기술 현황 조사분석 연구사업. 한국식품연구원 연구보고서. GA01503-05043
6. 김동철, 김의웅, 이세은, 김상숙 등. 2000. 벼 및 보리의 산물저장에 따른 감모량 예측기술 개발. 한국식품연구원 연구보고서. I1404-0022
7. 고학균, 금동혁, 김동철, 김만수, 김명환, 김용현, 박경규, 박호석, 이종호, 장동일, 정종훈, 조영길, 한충수. 1995. 미곡종합처리시설 -이론과 실제-. 문운당
8. 고학균, 금동혁, 김동철, 박호석, 한충수. 2001. 농협미곡종합처리장 설계기준. 농협중앙회 미곡종합처리장 자문단.
9. 금동혁, 김동철, 박호석, 한충수 등. 1994. 미곡종합처리장 이론과 실무. 농협전문대학
10. 김동철, 이세은, 김의웅. 1998. 벼의 조선기 및 연속식건조기 운영시험. 한국식품개발연구원 연구보고서. I1279-0925.
11. 김동철, 김의웅, 이세은, 김상숙(2000) : 벼 및 보리의 산물저장에 따른 감모량 예측기술개발. 한국식품개발연구원 보고서 I1404-0022
12. 김동철, 김의웅, 이세은(1999) : 조선기의 운영실험, 한국식품개발연구원 과제

13. 김행하. 1990. 곡물저장의 이론과 실제. 평화사
14. 이종호(1989) : 곡물의 공기선별에 관한 공기동역학적 연구(I). 한국농업기계학회지, 14(4) : 272-281
15. 이종호(1989) : 곡물의 공기선별에 관한 공기동역학적 연구(II). 한국농업기계학회지, 15(1) : 1-13
16. 농협중앙회. 1997. 미곡종합처리장 사업평가와 발전방향
17. 조남홍, 이선호 등(1997) : 대형 벼 정선기의 개발, 한국농업기계학회 97년 하계 학술발표대회 논문집. 135-140
18. 정종훈, 최영수(1998) : 좌우요동 선별관식 대형 곡물조선기 개발, 한국농업기계학회 98년 하계 학술발표대회 논문집. 191-196
19. 日本全農施設資材部. 1973. カントリーエレベーターのでびき. 東京.
20. The Food Agency of Japan(1995) : Rice post-harvest technology.
21. Yamashita, R. 1993. New Technology in Grain Postharvesting. Farm machinery Ind. Res. Co. P73.
22. ASAE. 1996. ASAE standards 1996
23. Bavagnoli, F.(1980) : Experimental Study of Rice Cleaning. Macch. Mot. Agric. 38(11):97-104
24. Bor S. Luh(1991) : Rice production Vol 1. AVI Pub. New York.
25. Casem, E. O.(1987) : Development work on threshing and grain-cleaning equipment at the International Rice Research Institute. IRRI.
26. Christina C. David and Keijiro Otsuka(1994) : Modern rice technology and income distribution in Asia. Lynne Rinner Pub., IRRI

27. Gagelonia, W. S.(1978) : Harvesting, Threshing and Cleaning of Palay. Grains J. 3(2):33-40
28. Hu, H. X.(1989) : Effect of Design Parameters on Cleaning Performance in an Oscillating Screen-Blower Cleaning Unit. Thesis (M.S.)-University of the Philippines
29. Izakov, F. and Gapparov, L.(1971) : Cleaning and Grading Rice Grains in an Electric Field By Cornea Discharge. Mukomol'No-Elevat. Prom. 37(1): 23-25
30. Jin, C. L. and Liu, G. H(1984) : Test and Research of Double-Channels Cleaning Apparatus for Rice and Wheat. Trans. Chin. Soc. Agric. Mach. 15(3): 90-96
31. Jozef Grochowicz(1980) : Machines for cleaning and sorting of seeds. National Technical Information Service, Springfield, Virginia.
32. Shen, D. C.(1991) : Test Research of the Cleaning Apparatus with a Centrifugal Fan and Double Channel. Trans. Chin. Soc. Agric. Mach. 22(4): 38-45

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.