원통형 홈 쇄미 선별기의 개발

Development of an Indented cylinder broken rice separator

김상현* 김명호* 박승제* 이종호*

정회원 정회원 정회원

S. H. Kim M. H. Kim S. J .Park J. H. Lee

1. 서론

현재 우리나라의 미곡종합처리장 (RPC; Rice Processing Complex)은 농어촌구조개선사업의 일환으로 1991년부터 적극 보급중인 벼 수확 후 일괄 처리시설로서, 농촌 노동력의 절감과 WTO체제하의 쌀의 국제 경쟁력을 높이는 데 그 목적을 두고 있다. 이 중, 백미의 상품성을 향상을 위한 설비인 쇄미 선별기는 정백이 완료된 백미로부터 쇄미 (싸라기), 미강, 이물질을 분리, 제거하여 최종 백미제품의 상품성을 높이기 위한 단위기계이다.

한국식품개발연구원의 '98년 조사에 의하면, 국내 유통 백미제품의 싸라기 혼입과 관련한 판정품위는 매우 불량하였다 (김상숙 외, 1998). 따라서 외국산 쌀에 대한 경쟁력 강화를 위해 국내산 백미제품에 대한 보다 엄격한 등급 관리가 시급하다.

그러나 현행 국내 RPC에서 사용되고 있는 로터리 시프터는 쇄미선별에 평면체를 사용하는 것으로서 곡립 선별의 기본 원리에 비춰볼 때 적당치 않다. 즉, 체 눈의 형상이 정사각형인 그물 체 (wire mesh)는 일반적으로 폭을 선별인자로 하여 선별하는 것이 합리적이다. 그러나 완전립, 대쇄립, 소쇄립 간의 선별인자는 두께나 폭이 아니며 길이이기 때문에 쇄미선별에는 길이를 선별인자로 하는 원통형 홈 선별 시스템이 도입되는 것이 합리적이다. 이에, 본 연구에서는 미곡종합처리장 (RPC)의 쇄미선별공정의 정밀성과 효율성을 높일 수 있는 파이롯트 규모의 원통형 홈 쇄미 선별시스템을 개발하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험 재료

본 연구에서는 완전립을 3.75mm 이상, 준완전립을 2.5~3.75mm, 쇄미를 2.5mm 이하로 정의 하였고, 공시 재료는 시중 유통 백미인 청결미 500kg과 쇄미 50kg을 구입하여 도정기에서 배출되는 백미의 쇄미 혼입율과 가능한 유사하도록 배합하였다. 공시 재료의 쇄미 혼입율은 완전립 91%, 준완전립 5.2%, 쇄미 3.8%로 하였다.

나. 실험 장치

1) 원통형 홈 쇄미선별기 시작품의 설계 및 선별 처리 과정

직접 제작한 원통형 홈 선별기는 2단구조로 되어있으며, 상단에는 직경 380mm, 길이

* 전북대학교 농과대학 생물자원시스템공학부

1350mm, 반구형의 3mmΦ indent 원통을 장착했고, 하단부에는 상단과 원통의 직경과 길이가 같은 반구형 3.75mmΦ indent 원통을 사용하였다. 그림 1 은 원통형 홈 선별기 시작기의 전체적인 구조도이다.

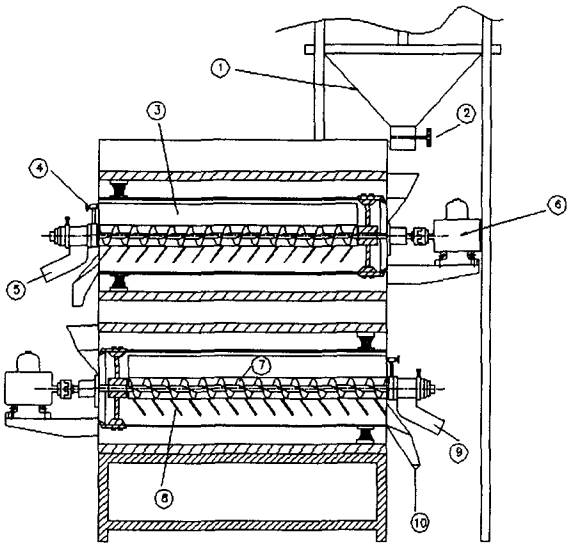

Fig. 1. Indented cylinder broken rice separator
① hopper ② controller of feed rate ③ trough
④ controller of trough angle ⑤ outlet of broken kernel
⑥ motor ⑦ screw conveyor ⑧ guide fin
⑨ outlet of semi whole kernel ⑩ outlet of whole kernel

선별원통의 회전수는 원통 구동모터와 전원간에 주파수 인버터 (Starvert-iG5, LG Industrial System. Co.)를 장착하여 조절이 가능하도록 하였고, trough의 각도는 각도 조절장치(④)에 의해서 6° 간격으로 제어가 가능하다. 선별 과정은 시료가 호퍼로부터 투입되면 홈의 크기보다 작은 곡립은 실린더의 안쪽 벽면에 있는 홈에 끼어 실린더의 회전 속도에 따라 일정 높이에서 trough로 떨어지게 된다. trough로 떨어진 곡립은 그 안에 있는 screw conveyor(⑦)에 의해서 출구 쪽에 수거용기로 수거된다. trough로 들어가지 못한 곡립은 trough의 밑에 붙어 있는 이송 날개를 통해 원통 바닥면을 따라 출구 쪽으로 이송된다.

2) 입선별기

입 선별기는 plate sieve를 이용해서 백미시료중의 쇄미 함유량을 분석할 수 있도록 고안된 장치이다 (USDA. 1976). 입선별기의 plate는 홈의 크기에 따라 여러 가지가 있는데 0.135P (3.43mmΦ)는 2.5~3.75㎜의 준완전립 분리에, 6P (2.38mmΦ)는 2.5㎜이하의 쇄미의 분리에 사용하였고, 1회 분석 시 시료량은 125g을 사용하였다.

다. 실험 처리

실험은 3수준의 공급량 400(F1), 600(F2), 800(F3) kg/h를 집구로 하여 원통 회전수 3수준과 trough 각도 3수준에 대하여 요인 실험을 수행하였다. 원통의 회전수는 원통 안의 시료에 작용하는 원심력과 중력의 비율인 K지수를 이용하였다. 시작기의 경우에는 K=1 일 경우, 원통의 임계 회전 속도는 68.6rpm으로 계산되었고, 기존 문헌 (Grochowicz, 1980)의 고속 선별에 해당하는 적정 K값을 참고하여 $0.26 \leq K \leq 0.64$ 범위에서 3수준 35(S1), 45(S2), 55(S3)rpm을 정하였다. trough 각도는 원통을 정면에서 봤을 때 수평면과 trough 옆면의 각도로서 37(A1), 55(A2), 73(A3)도 3개 수준으로 하였다.

라. 시료 채취

일정 시간 간격동안 시작기의 각 출구로부터 나오는 시료를 채취해 수거율을 계산하고 각 출구별로 채취한 시료는 잘 혼합하여 125g씩 sample을 다시 채취해 입선별기로 완전립, 준완전립, 쇄미를 분리해내 순도를 계산하였다. 다음은 순도와 수거율의 계산에 사용한 식이다 (고학균 외, 1990). 본 연구의 시작품인 선별기에서 i=1 은 완전립, 2는 준완전립, 3은 쇄미를 의미한다.

i 번째 출구에서 수거된 i 번째 물질의 순도 $P\,ii$ 는 다음과 같이 계산되어 진다.

$$P\,ii = \frac{W\,i - Q\,i}{W\,i} \times 100\ \%$$

$W\,i$: i 번째 출구에서 수거된 물질의 전체 무게

$Q\,i$: i 번째 물질 이외의 물질이 i 번째 출구에서 수거된 무게

i 번째 출구에서 수거된 i 번째 물질의 수거율 $D\,ii$ 는 다음과 같이 계산되어 진다.

$$D\,ii = \frac{P\,ii\,W\,i}{M\,i} \times 100\ \%$$

$M\,i$: 투입된 원료에 포함되어 있는 i 번째 물질의 무게

3. 결과 및 고찰

선별기의 효율을 계산하는 식은 일반적으로 수거율과 순도의 곱으로 나타낸다. 본 연구에서 효율식은 준완전립 출구와 쇄미 출구를 하나의 출구로 본다는 가정 하에 다음과 같이 정의하였다.

E1 = D11 × D(23)(23) × P(23)(23)

D11 : 완전립 출구에서 완전립의 수거율

D(23)(23) : 준완전립 출구와 쇄미 출구에서의 준완전립과 쇄미의 통합 수거율

P(23)(23) : 준완전립 출구와 쇄미 출구에서의 준완전립과 쇄미의 통합 순도

가. 홈 원통의 회전수와 trough 경사각의 효과

그림 2 는 공급율 3 수준의 평균 선별 효율을 요인 처리별로 나타낸 것이다. trough의 경사각과 원통의 회전수는 상호 작용이 매우 크게 나타나고 있으며, 각 회전수에서 최적의 경사각이 존재하는 것으로 판단된다. S1 수준에서는 A1 각도, S2 수준에서는 A2 각도, S3 수준에서는 A3 각도가 최대의 효율을 보여 주고 있다. A2 수준에서 보면 S2 수준이 최적의 각도라는 것을 확실히 알 수 있다. 같은 개념으로 보면 A1 수준에서는 S1 수준이 최대치로서 그 이상의 수준에서는 계속 효율이 감소하고 있는 것으로 판단되며 A3 수준에서 보면 S3 수준이 최적인 것으로 보인다. 이러한 이유는 회전수가 크면 원심력이 증가하여 홈 속에 들어 있는 쇄미가 더 높은 위치까지 올라갈 수 있기 때문이다. 선별 효율의 최대치는 S1A1 조건에서 70% 정도로 나타나고 있으며 S2, S3 수준으로 회전수가 증가할 수록 최적의 경사각에서 나타나는 선별 효율이 65%, 58%로 점점 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 회전수가 빠를수록 처리 용량이 증가하기 때문에 상용 대용량의 선별기에서는 대체로 고속 회전을 선호하는 것으로 보고되고 있다.

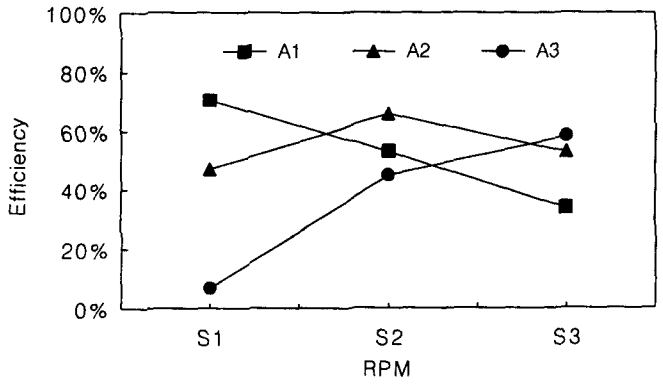

Fig. 2. Mean separation efficiency at each experimental condition

그림 3 은 실험 처리별 공급율 3 수준에서의 준완전립과 쇄미의 통합 수거율과 순도의 평균값을 나타낸 것이다. 수거율이 증가하면 순도는 감소하는 경향을 나타내며, 경사각이 클수록 순도는 높고 회전속도가 증가하면 수거율이 증가하는 경향을 보이고 있다. 선별 경사각이 제일 작은 A1에서 원통의 회전수가 증가할수록 수거율은 약간씩 증가하나 순도는 급격히 감소하고 있다. 이러한 이유는 회전수가 증가하면 원통 홈 직경보다 길이가 길어 홈에 완전히 들어가지 못하는 곡립이라도 원심력이 크기 때문에 높은 위치까지 올라갈 수 있다는 것을 의미한다.

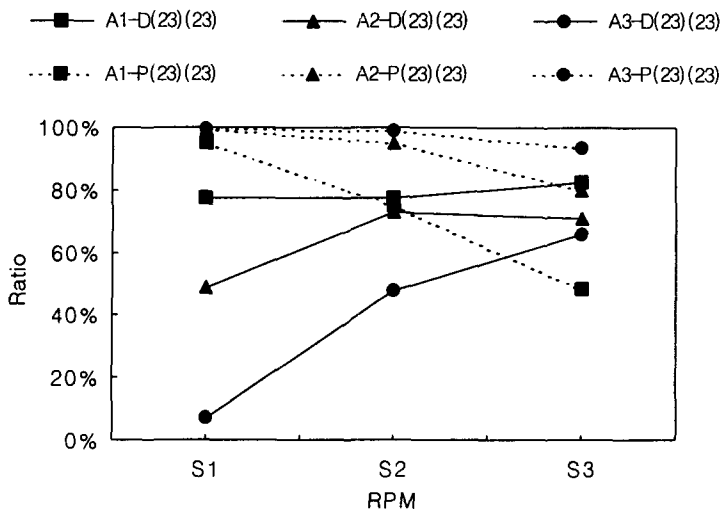

Fig. 3. Means of purity and degree of extraction at each experimental condition

실험처리에 대한 분산분석 결과는 집구인 공급률, 요인인 회전수와 경사각 모두 고도의 유의성을 보였으며, 두 요인간 상호작용이 매우 큰 것으로 분석되었다.

나. 공급율의 효과

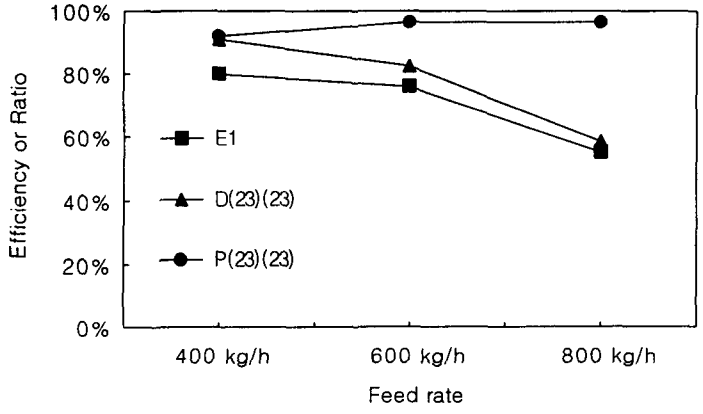

Fig. 4. Efficiency, purity and degree of extraction according to the feed rate

그림 4 는 요인의 최적 조건인 S1A1에서 공급율에 따른 선별효율, 준완전립과 쇄미의 통합 수거율 및 순도를 나타낸 것이다. 공급율이 증가함에 따라 효율과 수거율은 동일한 경

향으로 감소하지만 순도는 92%에서 96%로 약간 증가하고 있다. 본 연구에서 개발된 시작기의 설계 처리 용량은 800kg/h이지만 준완전립의 혼입율이 높은편이기 때문에 그림에서와 같이 최적 공급율은 600kg/h 정도로 추정된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 정밀 쇄미 선별 시스템을 개발하기 위하여 원통형 홈 쇄미 선별기의 시작품을 제작하고 이것의 설계인자와 운전인자에 따른 성능 분석을 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 원통형 홈 쇄미 선별기의 시작품은 홈의 직경이 작은 선별원통을 상단에, 홈의 직경이 큰 선별원통을 하단에 장착하는 2단형으로 설계 제작하였다. 각 단의 trough에는 스크류 컨베이어를 설치하였으며, 원통의 회전 속도와 trough의 각도 및 원통의 수평각을 변경시킬 수 있도록 하였다. 홈의 크기가 작은 상단에서 쇄미를, 홈의 크기가 큰 하단에서 준완전립을 선별하도록 하였다.

2. 원통형 홈 쇄미 선별기의 원통 회전속도가 증가하면 처리 용량이 증가하며, 이 속도에 따른 최적의 trough 각이 존재하는데, 본 실험에서는 회전 속도 35rpm에서 trough 각 37° , 45rpm에서 55° , 55rpm에서 73° 로 분석되었다.

3. 원통형 홈 쇄미 선별기의 공급율이 증가할수록 선별효율과 수거율(준완전립+쇄미)은 급격히 감소하지만, 순도(준완전립+쇄미)는 완만히 증가하였고, 완전립의 수거율과 순도는 95%이상을 유지하며 일정한 경향을 보였다. 본 실험 범위에서는 원통형 홈 쇄미선별기의 선별효율은 각 공급율에서 공히 원통의 분당 회전수 35rpm, trough 각 37° 에서 최대치를 나타내었다. 이 최적 조건에서 공급율 400-800kg/h 범위의 선별효율 평균치는 70% 정도로 분석되었다.

5. 참고 문헌

1. 고학균 외. 1990. 농산가공기계학. 향문사. 108-115.

2. 김상숙 외. 1998. 쌀의 품질등급화를 위한 지표설정 및 비파괴적 품질 측정기 개발. 농림부 최종 보고서

3.. USDA. Agricultural Marketing Service. 1976. Inspection Handbook for the sampling, Inspection, Grading, and certification of Rice

4. J. Grochowicz. 1980. Machines for cleaning and sorting of seeds. Published for the U.S. Department of agriculture and the national science foundation, Washington, D. C., by foreign scientific publications department of the national center for scientific, technical and economic. 264-295