

원통형 홈 선별기의 쇄미선별 특성[†]

Basic characteristics of an indented cylinder broken rice separator

순영석* 김명호* 박승제* 이종호*
 정회원 정회원 정회원
Y. S. Soon M. H. Kim S. J. Park J. H. Lee

1. 서론

그동안 정부는 쌀 시장 개방으로 인한 피해를 최소화하기 위해서 10년간 57조라는 막대한 예산을 농촌 경제활성화를 위해 투자했다. 이러한 결과 쌀의 경우 연속된 풍작으로 농림부는 올해 우리나라 쌀 생산량이 3,830만석(5,515천톤)이라고 확정 발표했다. 이는 지난해 3,674만석(5,291천톤)보다 156만석(4.2%)이 증가하였으며, 평년 3,722만석(5,360천톤)보다 108만석(2.9%)이 증가한 양이다(과, 2001). 이러한 연속된 풍작으로 쌀의 과잉공급 현상이 발생하게 되었는데, 식생활의 변화로 인해서 쌀 소비는 감소하고 있지만 생산량은 꾸준히 증가했기 때문이다. 이에 더해서 미국산이나 중국산의 값싼 쌀의 수입은 미곡가을 더 하락시키고 국내 쌀 산업에 타격을 줄 것이 명확하다. 이러한 악조건을 극복하기 위해서 제시될 수 있는 것이 미곡의 품질향상을 통해 경쟁력을 높이는 것이다. 뉴 라운드 협상을 앞두고 정부 역시 쌀의 품질향상을 통해 외국산과 차별화 시키는 방안이 최선이라고 발표했다

현재 국내에서 생산되는 거의 대부분의 벼는 미곡종합처리장(RPC)과 임도정공장에 의해 조선, 저장, 도정, 선별, 포장 등의 수확 후 처리가 이뤄지고 있다. 정백이 끝난 후 백미에 혼입되어 있는 쇄미, 미강 및 이물질을 제거하기 위한 쇄미선별공정에는 로타리 시프터가 사용되는데, 기존 로타리 시프터 쇄미선별기의 쇄미선별성은 국내 시중 유통백미 중의 쇄미 혼입상태 조사 결과(김, 2000), 로타리 시프터의 단독 사용만으로는 정밀쇄미선별공정의 구현에는 한계가 있다고 생각된다. 따라서, 쇄미선별에 더욱 효과적이라고 알려진 원통형 홈 선별기를 개발하여 로타리 시프터와의 조합 사용 또는 원통형 홈 선별기의 단독 사용에 의한 보다 정밀한 쇄미선별이 필요할 것으로 판단하였다.

이에 실험실용 원통형 홈 선별기를 사용한 쇄미선별 실험을 우선 실시하여 홈 선별의 기본 mechanism을 파악하고, 얻어진 실험결과를 상업용 규모의 쇄미선별공정을 위한 원통형 홈 쇄미선별기 시작품의 설계와 제작자료로 활용하고자 하였다.

* 전북대학교 농과대학 생물자원 시스템공학부

† 본 연구는 농림부 기술개발사업의 연구지원비에 의해서 수행되었음

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

공시재료는 2000년 전북 김제산 일미 품종의 품질인증미 112 kg 를 실험에 사용하였다. 시료에 혼입되어 있는 완전립, 준완전립, 쉼이의 혼입비율은 각각 95.2%, 2.6%, 2.2% 다. 이렇게 준비된 시료를 7kg 씩 총 16개의 군으로 나눈 후, 각각을 두꺼운 비닐봉지에 넣어 상온에서 보관하였다.

나. 실험장비

실험에 사용된 Labofix '90 (그림 1)은 많은 선행연구 결과 뛰어난 성능을 발휘하는 것으로 입증된 실험실용 원통형 흡 선별기이고, 조선평과 정선평을 일괄처리하기 위해 공기선별, 체선별, 흡선별 등의 다양한 선별부를 갖고 있다.

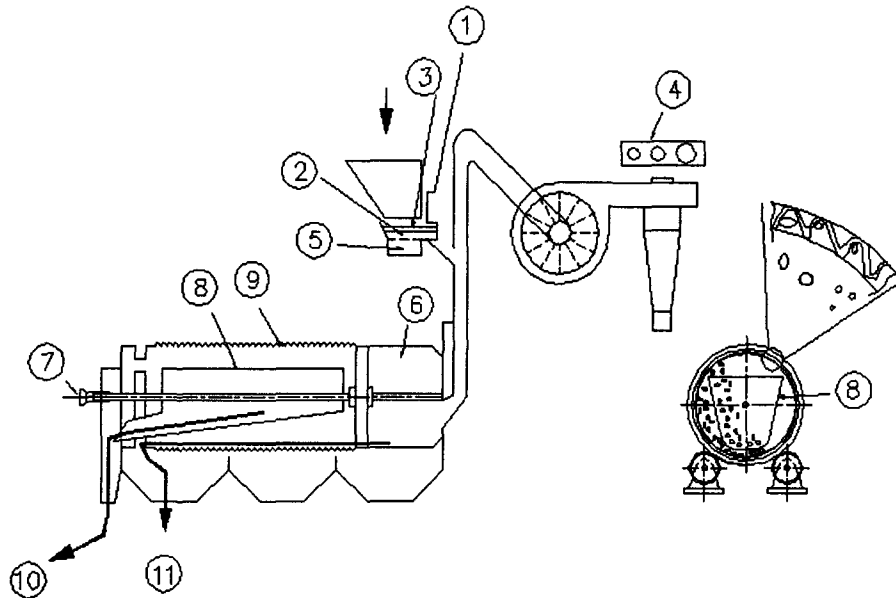


Fig. 1. Schematic diagram of indented cylindrical separator Labofix90

1. Inlet regulation for continuous feed; 2. Vibratory conveyer; 3. Pre-cleaning sieve(interchangeable); 4. Baffle for air quantity regulation; 5. Potentiometer control throughput; 6. Fine screening cylinder; 7. Indented cylinder trough angle adjustment; 8. Trough; 9. Indented cylinder; 10. Broken kernel outlet; 11. Whole kernel outlet.

일정하게 투입된 시료는 흡이 파인 실리더(⑨)에 의해서 선별이 이루어지는데, 선별되어진 쉼립은 trough(⑧)을 통해서 수거되고, 나머지 시료는 배출구(⑩)로 나오게 된다. 각 배출구로 수거된 시료에서 분석용 샘플 125g을 채취하여 입 선별기(Grainman, Seedburo Equip. Co., U.S.A.)를 사용

하여 혼입비율을 분석하였다.

다. 실험처리

인자와 수준에 따라 아래와 같은 총 384회의 실험을 실시하였는데, 실험은 흙의 모양과 크기, 그리고 공급량을 집구로 하여 각 집구에 대해 실린더 회전수와 trough 각도를 요인으로 갖는 3반복의 4×4 요인실험으로 설계하였다.

흙의 모양 (Us, S₁) × 흙의 크기 (2.5, 3.75 mm) × 공급량 (25, 50 kg/h) × 실린더 회전수 (17, 34, 51, 68 rpm) × trough 각도 (15, 37.5, 60, 82.5°) × 3반복 = 384회

흙의 크기는 미국쇄미기준(완전립의 평균길이의 3/4이하(3.75mm))과 국내 쇄미기준(완전립의 평균길이의 1/2이하(2.5mm))을 고려해서 2.5mm와 3.75mm을 선정하였다.

3. 결과 및 고찰

실험 결과 선별효율에 대한 원통 회전속도와 trough 각도의 단독효과 및 교호작용은 통계적으로 1% 수준에서 고도의 유의성이 인정되었다.

Table 1. ANOVA for separation efficiency

Source	d. f.	S. S.	M. S.	F-value
Block	7	0.9575	0.1368	
Treatment	15			
RPM (S)	3	0.9228	0.3076	22.13**
Angle (A)	3	0.2774	0.0925	6.65**
Interaction (S × A)	9	1.0950	0.1217	8.76**
Error	105	1.4593	0.0139	
Total	127	4.7120		

가. 효율산출방법

일반적으로 선별기의 선별성능 평가는 선별성능을 대표할 수 있는 단일지수를 정의하여 그 값을 비교함으로써 행해진다. 기존 문헌에 언급된 다양한 지수들을 검토한 결과, 다음과 같이 정의되는 선별효율을 선택하였다 (Kuprits, 1967).

$$\eta = \{ E_W \times E_B \times P_B \} \times 100 (\%) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$= \left(\frac{W_1}{W} \times \frac{B_1}{B} \times \frac{B_1}{T} \right) \times 100 (\%)$$

η = 선별효율, E_W = 완전립의 수거율, E_B = 쇄립의 수거율, P_B = 쇄립의 순도

나. Trough 각도와 원통 회전속도가 선별효율에 미치는 영향

그림 2, 3, 4, 5에서 알 수 있듯이, trough 각도와 원통 회전속도간의 교호작용으로 인해, trough 각이 15° (A1)또는 37.5° (A2)이면 17 rpm(S1)의 회전속도가, 60° (A3)이면 34 rpm(S2)의 회전속도가, 82.5° (A4)이면 51 rpm(S3)의 회전속도가 선별효율 면에서 유리하였다. 각각의 회전속도별로는, 회전속도가 17 rpm이면 37.5° 의 trough 각도가, 34 rpm이면 60° 의 trough 각도가, 51 또는 68 rpm이면 82.5° 의 trough 각도가 선별효율에 유리하였다. 따라서, trough 각도를 크게 조정된 상태로 흙 선별기를 작동해야만 할 경우, 회전속도 역시 적절히 증가시켜야만 선별효율의 저하를 방지할 수 있으리라 생각된다.

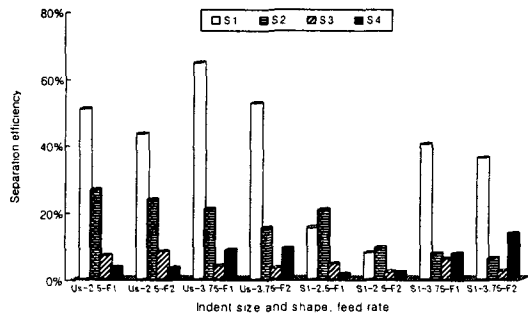


Fig. 2. Separation efficiency at 15°

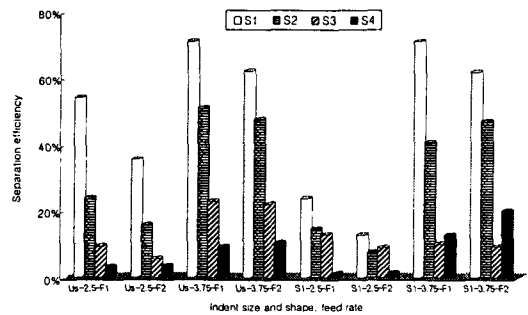


Fig. 3. Separation efficiency at 37.5°

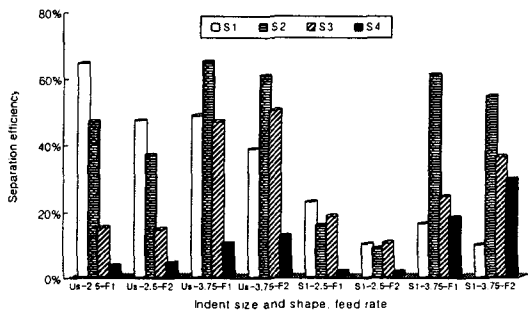


Fig. 4. Separation efficiency at 60°

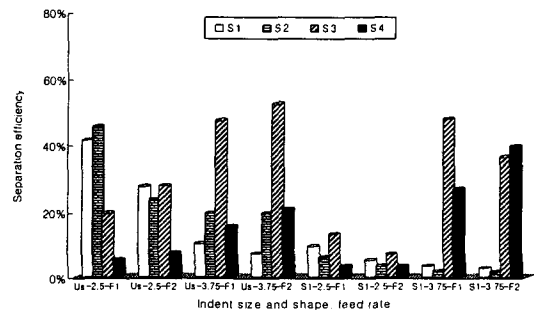


Fig. 5. Separation efficiency at 82.5°

최고 선별효율 값은 흙의 모양과 크기, 그리고 공급량에 관계없이 낮은 회전속도 (17 rpm)와 중간 trough 각도 (37.5° 또는 60°)가 조합된 처리에서 나타났다 (표 2). 최고 선별효율은 쇠립의 크기 분포 때문에 쇠립 수거율이 상대적으로 불량하였던 2.5 mm 흙 이외에는 모두 60~70% 범위의 높은 값을 보였다.

Table 2. Maximum separation efficiency in each treatment

Treatment	Us				S ₁			
	2.5		3.75		2.5		3.75	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
S1-A2	54.0	35.3	70.8	62.0	23.7	38.2	71.0	61.9
S1-A3	64.1	47.0	48.4	38.5	22.7	20.1	16.1	9.8

나. Indent 모양과 크기 및 공급량이 선별효율에 미치는 영향

Indent 모양과 크기, 그리고 공급량은 집구로 처리되어 실험계획이 수립되었으므로, 일반적인 분산분석법으로써는 상호비교가 불가능하다. 따라서, indent의 모양, 크기, 그리고 공급량의 차이가 선별효율에 미치는 영향은 paired t-test로써 검증하였는데, 표 3에 그 결과를 나타냈다.

Table 3. Paired t-test for indent shape and size, feed

	d. f.	Mean difference	Std. error	t value
Indent shape	63	0.1071	0.0174	6.138**
Indent size	63	-0.1234	0.0227	-5.449**
Feed rate	63	0.0343	0.0089	3.856**

1. Indent의 형상과 크기

표 4에서 2.5 mm 크기의 홈과 3.75 mm 크기의 홈을 사용한 처리 간의 선별효율 값들을 비교하면, 전반적으로 3.75 mm 홈에서의 선별효율이 높았다고 보여지는데, t 검정을 한 결과 1% 수준에서 역시 유의성이 인정되었다 (표 3).

크기가 3.75 mm 인 홈의 선별효율이 더 높았던 것은 2.5 mm 홈에 비해 쇠립 수거율이 높았기 때문이라고 생각된다. 앞에서 이미 설명한 바와 같이 3.75 mm 홈을 사용할 때는 길이가 3.75 mm 이하인 모든 쇠립이 포집대상이 된다. 따라서, 다양한 형상의 쇠립이 여러 가지 자세로 홈 속에 포집될 수 있게 되어 높은 쇠미 수거율을 기대할 수 있다.

표 4에서 말발굽형 (Us) 홈과 반구형 (S1) 홈을 사용한 처리간의 선별효율 값들을 비교하면, 대부분의 처리에서 말발굽형의 선별효율이 더 높았음을 쉽게 알 수 있다. 홈의 형상에 의한 선별효율의 차이는 t 검정 결과 역시, 1% 수준에서 유의성이 인정되었다 (표 3). 말발굽형 홈은 반구형 홈에 비해서 홈의 형상 자체가 쇠미의 확실한 포집 및 지지 측면에서 분명히 유리하도록 되어 있기 때문에, 더 뛰어난 선별효율을 보일 것이라 쉽게 예측된다.

그러나, 표 4의 실험결과와 표 5의 통계분석 결과는 보다 더 심층적으로 해석되어야만 하는데, 이는 제작 기술상의 문제로 인해 2.5 mm 홈의 경우, 실제 실험에 사용된 말발굽형 홈 원통과 반구형 홈 원통의 단위면적 (cm²) 당 indent 개수는 각각 8.33 개와 5 개로 양자간에 약 1.7 배의 차이가 존재하였기 때문이다. 따라서, 이와 같은 차이점을 감안하기 위해서 홈

형상에 대한 t 검정을 흙의 크기별로 재 실시하였다.

Table 4. Separation efficiency of indented cylindrical separator(%)

Treatment		Us-2.5 -F1	Us-2.5 -F2	Us-3.75 -F1	Us-3.75 -F2	S ₁ -2.5 -F1	S ₁ -2.5 -F2	S ₁ -3.75 -F1	S ₁ -3.75 -F2
S1	A1	50.4	43.2	64.4	52.4	15.1	7.7	40.2	36.1
	A2	54.0	35.3	70.9	62.0	23.7	12.6	71.0	61.9
	A3	64.1	47.0	48.4	38.5	22.7	10.1	16.1	9.8
	A4	41.2	27.2	10.1	7.0	9.3	5.0	3.2	2.5
S2	A1	26.2	23.5	20.6	14.9	20.3	9.1	7.5	5.9
	A2	23.7	15.7	50.8	47.4	14.3	7.4	10.5	47.0
	A3	46.7	36.6	64.8	60.5	15.7	8.7	60.9	54.3
	A4	45.3	23.5	19.3	19.3	5.8	3.1	1.6	1.3
S3	A1	6.7	8.1	3.8	3.2	4.4	2.0	5.9	2.3
	A2	9.4	5.5	22.7	21.9	12.8	8.8	10.0	9.2
	A3	14.9	14.5	46.7	50.0	18.4	10.4	24.3	36.1
	A4	19.5	27.6	47.1	52.1	13.1	6.9	47.7	36.4
S4	A1	3.3	3.1	8.4	8.9	1.4	1.8	7.5	13.3
	A2	3.0	3.3	9.2	10.2	1.0	1.7	12.6	19.8
	A3	3.3	4.3	10.2	12.4	1.7	2.2	18.1	29.5
	A4	5.2	7.3	15.5	20.7	3.2	3.1	26.7	39.5

표 5의 흙 크기별 t 검정 결과와 같이, 단위면적 당 흙의 개수가 거의 동일했던 3.75 mm 흙의 경우, 흙의 형상 차이가 선별효율에 주는 영향은 없었다는 사실이 밝혀졌다. 또한, 표 5에서 그 유의성이 인정된 2.5 mm 흙의 형상 간 선별효율의 차이가 원통의 단위면적 당 흙의 개수가 달랐었기 때문이었다면, 말발굽형 흙과 반구형 흙 간에는 선별효율의 차이가 없었다고 결론지을 수 있다.

Table 5. Result of additional t-test for indent shape

	d. f.	Mean difference	Std. error	t value
For 2.5 mm indent	31	0.1436	0.01569	9.154**
For 3.75 mm indent	31	0.0706	0.03727	1.894

따라서, 실제 상업용 규모의 원통형 흙 쇄미선별기 개발을 고려해 볼 때, 말발굽형 흙은 제작 난이도 및 흙에 쇄미가 자주 끼어 흙이 막혀버리는 취약점 때문에 실효성이 낮다고 판단된다. 반면, 반구형 흙의 경우는, 선별원통 단위면적 당의 흙 개수를 더 늘려 제작할 수만 있다면 오히려 말발굽형 흙을 능가하는 선별효율의 실현도 가능하리라 판단된다. 또한, 백미에 혼입되어 있는 쇄립들의 길이가 2.5 mm를 중심으로 주로 분포되어 있기 때문에 길이 2.5 mm 이하의 미립으로 정의된 쇄미의 선별에 사용할 흙의 크기는 2.5 mm 보다는 약간 큰 3.0 mm 정도가 되어야만 보다 더 효과적인 선별이 가능하리라 판단된다.

2. 공급량

실험에 사용된 공급량의 수준은 25 kg/hr (F1) 와 50 kg/hr (F2) 였는데, 50 kg/hr 는 실험장 치인 Labofix '90 의 최대 처리용량이었다. 공급량에 따른 선별효율의 차이는 1% 수준에서 유의성이 인정되었으며 (표 3), 선별효율 값들을 나타낸 표 4 을 보더라도 공급량이 25 kg/hr 일 때가 50 kg/hr 일 때에 비해 전반적으로 선별효율이 다소 높은 것을 알 수 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 상업용 규모의 쇄미선별공정에 사용할 수 있는 파이로트 규모 원통형 홈 선별기 시작기의 설계 및 제작에 필요한 기초 연구로서, 실험실용 원통형 홈 선별기를 이용하여 쇄미선별 실험을 실시하였다. 원통 회전속도, trough 각도, indent 크기와 형상, 공급량을 요인으로 하여 완전립의 수거율과 순도, 쇄립의 수거율과 순도 및 선별효율을 조사하였다. 수행한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 선별효율에 대한 원통 회전속도와 trough 각도의 단독효과 및 교호작용은 1% 수준에서 유의성이 인정되었다. 원통 회전속도가 커지면trough 각도 역시 그에 따라 적절히 증가시켜야만 선별효율의 저하가 방지되는 것으로 나타났다.
2. 최고 선별효율 값은 홈의 모양과 크기, 그리고 공급량에 관계없이 낮은 회전속도 (17 rpm) 와 중간 trough 각도 (37.5° 또는 60°) 가 조합된 처리에서 나타났으며, 60~70% 범위의 높은 값을 보였다. 선별효율에 관한 원통 회전속도와 trough 각도의 최적 조합은 17 rpm, 37.5° 라고 판단된다.
3. 말발굽형 홈과 반구형 홈 간 선별효율의 차이는 없었다. 따라서, 실제 상업용 규모의 원통형 홈 쇄미선별기 개발에 있어서는 제작이 쉽고 유지·보수가 간편한 반구형 홈을 채택하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 길이 2.5mm 이하의 미립인 쇄미의 선별에 사용할 홈의 크기는 2.5 mm 보다는 약간 큰 3.0 mm 정도가 되어야만 할 것으로 판단된다.
4. 공급량에 따른 선별효율의 차이는 1% 수준에서 유의성이 인정되었으며, 공급량이 작았을 때 전반적으로 선별효율이 높았다.

참고문헌

1. 곽용도. 2001. 올해 쌀 생산량은 3,830만석. 국립 농산물 품질관리원 농업정보 통계과.
2. 김상숙 외, 1998. 쌀의 품질등급화를 위한 지표설정 및 비파괴적 품질 측정기 개발. 농림부 최종보고서
3. 김정구. 2000. 미곡종합처리장 쇄미선별 공정개선을 위한 기초조사연구 .석사학위논문. 전북대학교
4. 운영석. 2002. 실험실용 원통형 홈 선별기를 이용한 쇄미의 선별성능 평가. 석사학위논문. 전북대학교.
5. Ya. N. Kuprits. 1965. Technology of grain processing and provender milling. Israel Program for Scientific Translations. 261-263.