

최 중
연구보고서

RPC 內 정밀쇄미선별공정 개발

Development of a Precision Broken Rice
Separation Process in Rice Processing
Complex (RPC)

주관연구기관
전북대학교

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “RPC 내 정밀쇄미선별공정 개발” 과제 (세부과제 “쇄미선별 공정 개선”, 세부과제 “쇄미선별 설비 개발”)의 최종보고서로 제출합니다.

2001. 11. 19.

주관연구기관명: 전북대학교

총괄연구책임자: 이 종 호

연 구 원: 박 승 제

연 구 원: 김 명 호

연 구 원: 서 용 교

연 구 원: 문 창 호

요 약 문

I. 제 목

RPC 內 정밀쇄미선별공정 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 목 적

제 1 세부과제 : 쇄미선별 공정 개선

현행 RPC 쇄미선별공정의 평가 및 개선방향의 설정

제 2 세부과제 : 쇄미선별 설비 개발

RPC 쇄미선별공정에 있어서, 3개 등급이상으로 쇄립을 정밀선별할 수 있는 설비와 system 의 개발

2. 연구개발의 중요성

쌀은 우리나라 국민의 주곡으로서, 또 우리나라 농민의 대표적인 소득원으로서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 미곡종합처리장 (RPC; Rice Processing Complex)은 농어촌구조개선사업의 일환으로 1991년부터 적극 보급 중인 벼 수확 후 일관 처리시설로서, 농촌 노동력의 절감과 WTO체제하의 쌀의 국제 경쟁력을 높이는 데 그 목적을 두고 있다. 최근에 세워지고 있는 RPC에는 기본적인 설비 외에 현미조질기, 연미기, 쇄미선별기, 색채선별기와 같이 직접적으로 백미의 상품성 향상을 목적으로 한 설비들이 도입되고 있다. 이 중, 쇄미선별기는 정백이 완료된 백미로부터 쇄미 (싸라기), 미강, 이물질

을 분리·제거하여, 최종 백미제품의 상품성을 높이기 위한 단위기계이다.

쌀에 싸라기가 혼입되면, 취반 시 싸라기 내부의 전분질이 용출되어 밥의 전체적인 식미가 크게 저하된다. 또한, 유통 백미제품에 싸라기가 혼입되어 있으면 일반 구매자들에게 품질이 열등하다는 인상을 주게 된다. 한국식품개발연구원의 '98년 조사에 의하면, 국내 유통 백미제품의 싸라기 혼입과 관련한 판정품위는 매우 불량하였다. 제품 판매가와 실제품위 간의 관련성에 대한 소비자의 불신 역시 심각하여, 국내산 백미제품에 대한 보다 더 엄격한 등급 관리가 시급하며, 이를 통해 외국산 쌀에 대한 경쟁력을 강화할 필요가 있는 것으로 지적되었다.

이러한 문제들은, 현재의 쉐미 정의를 보다 더 엄격히 세분화하여 길이기준 3~4개의 계급을 설정하고, 이 계급별로 정밀하게 쉐미를 선별·분류·제거해 낼 수 있다면 해결될 것이다. 그러나, 이를 위해서는 현행 RPC 쉐미선별공정의 개선과 새로운 정밀쉐미선별기의 개발이 요구된다.

이에, 본 연구에서는 미곡종합처리장 (RPC) 쉐미선별공정의 효율적 운영과 국내 유통백미 제품의 품질 고급화와 관련하여, 상업용 규모의 쉐미 선별공정에 있어서, 길이기준 3개 계급 이상으로 쉐미를 정밀하게 선별, 분리해 낼 수 있는 기술과 설비를 개발하고자 하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

제 1 세부과제 : 쉐미선별 공정 개선

1차년도

- ▣ 정밀쉐미선별기술 개발을 위한 방향설정과 기초자료의 확보
 - 쌀 생산 주요 국가들의 백미 등급표준 분석
 - 쉐미선별과 관련된 미립 물성의 측정
 - 현행 RPC 쉐미선별 공정과 설비의 실태 조사
 - 국내 유통 백미제품의 쉐립 혼입상태 조사

2차년도

- ▣ 정밀쉐미선별기술 개발을 위한 방향설정과 기초자료의 확보
 - 쉐미선별기 관련 기술자료의 수집과 검토
 - 현행 RPC 쉐미선별 공정과 설비의 기술적 검토
 - 국내 유통 백미제품의 쉐립 혼입상태 조사
 - 정밀쉐미선별을 위한 쉐미 기준·계급의 설정

제 2 세부과제 : 쉐미선별 설비 개발

1차년도

- ▣ 로타리 시프터 쉐미선별기의 개선
 - 파이롯트 규모 로타리 시프터 쉐미선별기 시작품의 제작과 성능실험
- ▣ 원통형 홈 쉐미선별기의 개발
 - 실험실용 원통형 홈 선별기를 사용한 쉐미선별 실험

2차년도

- ▣ 원통형 홈 쉐미선별기의 개발
 - 파이롯트 규모 원통형 홈 쉐미선별기 시작품의 설계와 제작

- 파이로트 규모 원통형 홈 쇄미선별기 시작품의 성능실험

▣ 상업용 규모 정밀쇄미선별 system 의 개발

- 로타리 시프터와 원통형 홈 쇄미선별기의 단독/조합사용에 의한 정밀쇄미 선별 system 의 설계와 제작
- 정밀쇄미선별 system 의 성능실험과 최종 평가

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

제 1 세부과제: 쇄미선별 공정 개선

1. 백미제품 중의 쇄립 허용 혼입율에 관한 우리나라의 규격은, 일본백미 1등 표준품의 기준 및 미국백미 1등급 제품의 기준에 비견될 정도였지만, 쇄립의 정의 자체는 엄격하지 않았다. 또한, 미국과 일본과는 달리, 쇄립 혼입율 차이에 따른 백미 제품의 등급 체제가 존재하지 않았다. 이러한 사실을 종합하여 일본과 미국의 규격과 비교했을 때, 쇄미 혼입에 관한 한 우리나라는 매우 관대한 규격을 적용하고 있다고 판단된다.
2. 국내 유통백미 제품의 경우, 완전립 길이의 3/4 이상인 낱알들이 차지하는 중량 구성비는 93.5% 였다. 완전립 길이의 1/4 ~ 1/3, 1/3 ~ 1/2, 1/2 ~ 2/3 및 2/3 ~ 3/4 에 해당하는 길이를 가진 낱알들의 중량비는 각각 0.3, 2.8, 2.7 및 0.6% 이어서, 쇄립들의 길이는 2.5mm 를 중심으로 주로 분포되어 있었다. 쇄립 혼입정도에 따른 국내 유통백미 제품의 등급은 한국과 일본의 기준을 적용할 경우, 쇄립의 총량 면에서는 만족할만한 수준이었다. 그러나, 한국의 잔싸라기 기준, 일본의 이물 함유비 기준, 미국의 6호체 통과분 기준이 적용될 경우, 국내 유통백미 제품의 등급은 매우 불량하였다.

3. 거의 모든 RPC에서는 쇄미선별설비로 로타리 시프터를 채택, 사용하고 있었으며, 로타리 시프터 사용상의 문제는 회전몸체를 지지하는 rod spring의 파손 등 구조와 관련된 것이었다. 로타리 시프터에 의한 쇄립의 선별과 제거정도는 만족할 만한 수준은 아니었다.
4. 국내 유통백미 완전립의 길이, 폭, 두께는 각각 5.02 mm, 2.93 mm, 2.03 mm이었으며, 산물밀도와 천립중은 각각 745.3 kg/m³ 및 20.46 g이었다.
5. RPC 백미제품의 품질경쟁력 향상을 유도하고자 현행 쇄미의 정의와 기준을 보다 강화하여 다음과 같은 쇄미 기준과 계급을 설정, 제시하였다.

“완전립” - 길이가 3.75 mm 이상인 미립

“준완전립” - 길이가 2.5~3.75 mm 인 미립

“쇄미” - 길이가 1.75~2.5 mm 인 미립

“이물” - 길이가 1.75 mm 이하인 미립

제 2 세부과제: 쇄미선별 설비 개발

1. 원통형 홈 선별기의 선별효율에 대한 원통 회전속도와 trough 각도의 단독 효과 및 교호작용은 1% 수준에서 유의성이 인정되었다. 원통 회전속도가 커지면 trough 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

2.5 mm 이하의 머릿인 쇄미의 선별에 사용할 흙의 크기는 2.5 mm 보다는 약간 큰 3.0 mm 정도가 되어야만 할 것으로 판단된다.

4. 공급량에 따른 흙 선별기의 선별효율 차이는 1% 수준에서 유의성이 인정되었으며, 공급량이 작았을 때 전반적으로 선별효율이 높았다.
5. 로타리 시프터의 공급율은 선별성능에 영향을 주지 않았으며, 편심추를 이용한 진동체의 회전속도가 증가할수록 처리 용량이 증가하였다. 900 kg/h 공급율에서 분당 회전수가 200 rpm 인 경우가 160 rpm 인 경우에 비하여 선별 효율은 10%, 쇄미의 순도는 15% 정도 높았으나 쇄미 수거율은 3% 정도 낮은 것으로 분석되었다.
6. 로타리 시프터의 회전수가 160 rpm 인 경우가 200 rpm 인 경우에 비하여 대 쇄미 선별효율은 9% 포인트 정도 낮았으나, 소쇄미 선별효율은 30% 포인트, 미강 및 이물질의 선별효율은 8% 포인트 정도 높았다.
7. 원통형 흙 쇄미선별기의 시작품은 흙의 직경이 작은 선별원통을 상단에, 흙의 직경이 큰 선별원통을 하단에 장착하는 2단형으로 설계, 제작하여 상단과 하단에서 각각 쇄미와 준완전립이 선별되도록 하였다. 선별된 쇄미와 준완전립의 수거를 위해, 각 단의 trough 에는 스크류 컨베이어를 설치했으며, 원통의 회전속도와 trough 의 각도 및 원통의 수평각은 변경될 수 있도록 하였다.
8. 원통형 흙 쇄미선별기의 공급율이 증가할수록 선별효율과 수거율(준완전립+쇄미)은 급격히 감소했지만, 순도(준완전립+쇄미)는 완만히 증가하였고, 완전립의 수거율과 순도는 95% 이상을 유지하며 일정한 경향을 보였다. 본 실험 범위에서 원통형 흙 쇄미선별기의 선별효율은 각 공급율에서 공히 원통의 분당 회전수 35 rpm, trough 각 37° 에서 최대치를 나타냈다. 이 최적 조건에서 공급율 400~800 kg/h 범위의 선별 효율 평균치는 70% 정

도로 분석되었다.

9. 최적 조건인 원통의 회전수 35 rpm, trough 각 37° 인 경우, 공급율이 증가할수록 상단 trough 에서 수거되는 총량은 직선적으로 증가하지만 하단의 trough 로 수거되는 총량은 공급율 중간 수준에서 최대 값을 가지는 것으로 분석되었다. 이것은 공급율이 증가할수록 상단에서 선별되지 않은 쇄미가 하단에서 선별되기 때문에 하단에서 준완전립의 선별비율이 감소하기 때문으로 분석된다.
10. 원통형 흙 쇄미 선별기의 원통 회전속도가 증가하면 처리 용량이 증가하며, 이 속도수준에 대한 최적의 trough 각도가 존재하는데, 본 실험에서는 회전 속도 35 rpm 에서 trough 각 37° , 45 rpm 에서 trough 각 55° , 55 rpm 에서 trough 각 73° 로 분석되었다.
11. 로타리 시프터 쇄미선별기의 장점은 비교적 저렴한 구입가격과 대용량이며, 원통형 흙 쇄미선별기는 선별효율이 높아 정밀한 선별이 가능하기 때문에, 정밀 쇄미선별 system 은 로타리 시프터와 원통형 흙 선별기를 조합하여 구성하는 것이 타당한 것으로 분석되었다.
12. 정밀 쇄미선별 system 의 최적 운전조건은, 로타리 시프터의 진동체 회전속도는 소쇄미 선별효율이 높은 160 rpm, 원통형 흙 선별기는 선별효율이 최대인 원통 회전속도 35 rpm, trough 각 37° 로 분석되었다. 이 조건에서 정밀 쇄미선별 system 의 성능을 시험한 결과, 백미 중 쇄미(길이 2.5 mm 이하)의 혼입율은 90%, 준완전립(길이 2.5~3.75 mm)의 혼입율은 50% 정도 감소하였고, 완전립(길이 3.75 mm 이상)의 혼입율은 7% 정도 증가하였다.

2. 결과 활용에 대한 건의

제 1 세부과제: 쇄미선별 공정 개선

현행 RPC 쇄미선별공정의 기술수준과 운영실태에 관한 연구결과는 RPC 종사자들에 대한 정부 및 농협의 교육자료로도 활용할 수 있을 것이며, 국내 백미제품의 쇄미 혼입상태를 개선하여 상품성을 높이기 위해 제시한 새로운 쇄미의 정의와 기준은 정부부처의 정책 입안에 참고자료로 활용할 수 있을 것이다.

제 2 세부과제: 쇄미선별 설비 개발

본 연구에서 개발한 원통형 흡 쇄미선별기는 현행 RPC의 쇄미선별공정의 효율을 크게 높여 줄 수 있는 잠재력이 있다고 판단된다. 개발된 원통형 흡 쇄미선별기가 RPC에 널리 보급되어 쇄미선별에 사용된다면 백미제품에 혼입된 쇄립의 총량과 조성에 관한 보다 더 엄격한 품질관리가 가능해져 국산 백미제품의 품질 경쟁력이 개선되리라 생각된다. 개발된 원통형 흡 쇄미선별기와 정밀 쇄미선별시스템은 연구 참여업체와 협의하여 상품화를 시도해 볼 계획이다.

SUMMARY

I. TITLE

Development of a Precision Broken Rice Separation Process in Rice Processing Complex (RPC)

II. OBJECTIVES AND RATIONALES

1. Objectives

Subsection I: Improvement of the conventional broken rice separation process

Evaluate the present status of the broken rice separation process in RPC and establish necessary strategies for the improvement

Subsection II: Development of a precision broken rice separation system

Develop a new precision broken rice separation process and necessary equipment for RPC use

2. Rationales

Rice is one of the most important agricultural commodities in Korea. Since the first Rice Processing Complex (RPC) was introduced in 1991, they take a major role in the postharvest processing of rice in Korea.

The RPC is a facility constructed for the collective postharvest processing of rice by which more dependable, labor-saving, and cost-effective postharvest processing of rice made possible. Other than the basic processing equipment, many new breeds of equipment continue to be

added in the processing line of the RPC on specific purpose to improve the final product quality. The broken rice separator is the equipment used for the removal of broken kernels, chaffs, and foreign matters from the milled rice.

Milled rice products rich in broken kernels result in sticky texture and poor overall eating quality when cooked. Such products also have less appealing appearance to most consumers.

Results from many previous studies indicate the domestic milled products would record quite low scores due to their broken kernel content if grading is done according to the international standards for rice. While the international market price for milled rice is strictly related to the grade, most Korean consumers generally believe that little relationship exists between the market price and the grade for domestic milled rice products. It means a rice product priced high does not necessarily guarantee high quality, and such situation would easily result in the loss of consumer credibility for the quality of domestic milled rice. This will eventually lead to the weakening of the domestic rice industry sector as the trend of global free trade for the rice product becomes stronger.

If a more strict criterion would be provided and enforced for the allowance of broken kernels in the domestic milled rice products and also if a more precise separation and removal of broken rices in the processing lines of the RPC were made possible, these problems will be solved.

This study was performed, therefore, to develop the necessary equipment for a precision broken rice separation in RPC.

III. SCOPE

Subsection I: Improvement of the conventional broken rice separation process in RPC

First Year

- Evaluation of the present status of the broken rice separation process in RPC and establishing necessary strategies for the improvement
 - Study on the milled rice grading standards of major rice producing countries
 - Physical properties measurement of rice pertinent to the broken kernel separation
 - Evaluating the present status of the broken rice separation process in RPC
 - Investigating the status of broken kernel content in the domestic white rice products

Second Year

- Evaluation of the present status of the broken rice separation process in RPC and establishing strategies for the improvement
 - Study on the technical information of broken rice separators
 - Evaluating the present status of the broken rice separation process in RPC
 - Investigating the status of broken kernel content in the domestic white rice products
 - Establishing a new definition and classification scheme for the broken rice kernels

Subsection II: Development of a precision broken rice separation system

First Year

- Improvement of the rotary sifter broken rice separator
 - Performance test of a pilot-scale rotary sifter broken rice separator

- Development of the indented cylinder broken rice separator
 - Experiment on broken rice separation using a laboratory indented cylinder separator

Second Year

- Development of the prototype indented cylinder broken rice separator
 - Design and construction of a prototype indented cylinder broken rice separator
 - Performance test of the prototype indented cylinder broken rice separator
- Development of the precision broken rice separation system
 - Design and construction of a precision broken rice separation system
 - Performance test and final evaluation of the precision broken rice separation system

IV. RESULTS AND RECOMMENDATIONS

1. Results

Subsection I: Improvement of the conventional broken rice separation process

1. The definition of a broken rice kernel in the Korean standards is less tight than the Japanese and the U. S. definition. Also, the Japanese and the U. S. grading system for milled rice according to the amount and composition of the included broken kernels are more detailed.
2. Analysis of the amount and composition of broken kernels in the milled rice products marketed domestically showed that the weight percent of the kernels longer than $\frac{3}{4}$ of the whole kernel was 93.5%. The weight percents of the broken kernels whose lengths were in the ranges of $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$, $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$, $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ and $\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}$ of the whole kernel were 0.3, 2.8, 2.7, and 0.6%, respectively. According to the Korean as well as the

Japanese standard, the amounts of broken kernels included in domestic milled rice products were acceptable. However, the composition of broken kernels was quite unacceptable with respect to the amount of small broken kernels.

3. Almost all RPCs are using the rotary sifter in their broken rice separation process. Analysis of the samples collected from the outlets of the separator showed unsatisfactory results in terms of separation accuracy and precision.
4. The average length, width, and thickness of the domestic milled short grain rice whole kernels were 5.02 mm, 2.93 mm, and 2.03 mm, respectively. The average bulk density and thousand kernel weight were 745.3 kg/m³ and 20.46 g, respectively.
5. A new criterion for the definition and classification of broken kernels was suggested as follows to motivate more strict quality control in terms of the allowance of broken kernels in the milled rice.

"whole kernel" - longer than 3.75 mm

"semi whole kernel" - 2.5 mm ~ 3.75 mm

"broken kernel" - 1.75 mm ~ 2.5 mm

"foreign matters" - shorter than 1.75 mm

Subsection II: Development of a precision broken rice separation system

1. Laboratory study on the basic characteristics of an indented broken rice separator showed that the effects of trough angle, cylinder speed, and their interaction on the separation efficiency are statistically significant. As cylinder speed increases, trough angle also has to be increased

- appropriately in order to prevent a rapid drop in separation efficiency.
2. Regardless of the indent shape and size, and feed rate, the maximum separation efficiency was recorded for the low speed (17 rpm) and medium trough angle (37.5° or 60°) combination treatment for the laboratory indented broken rice separator. The maximum efficiencies were in the range of 60~70%.
 3. Indents shaped differently as Us type and S₁ type showed virtually no difference in terms of the separation efficiency. Therefore, in commercial applications, it might be desirable to adopt the S₁ type indent because of its better manufacturability and easier maintenance. For a successful separation of the broken kernels 2.5 mm long, indent size should be set slightly bigger than the actual kernel size. An indent of 3.0 mm could be recommended for this purpose.
 4. Feed rate of the rotary sifter separator did not affect the separation efficiency. As the speed of the gyratory motion increased, the feed rate also increased. At the feed rate of 900 kg/h, treatments with the shaft speed of 200 rpm showed 10% increase, 15% increase, and 3% decrease in the overall separation efficiency, purity of brokens, and degree of extraction of brokens, respectively, than those with the shaft speed of 160 rpm.
 5. Rotary sifter shaft speed of 160 rpm gave 9% point lower separation efficiency for large broken kernels, but 30% point higher separation efficiency for small broken kernels, and 8% point higher separation efficiency for fines than the shaft speed of 200 rpm.

6. The prototype indented cylinder broken rice separator is designed with the double deck configuration where the upper cylinder has small size indents for the broken kernels and the lower cylinder has large size indents for the semiwhole kernels. A conveying screw was installed within each receiving trough of the cylinder to remove the collected kernels. Changes in the cylinder RPM, trough angle, and the degree of body inclination are possible.
7. As the feed rate increased, the combined separation efficiency and the combined degree of extraction of semiwhole and broken kernels rapidly dropped, the combined purity slowly increased, and the degree of extraction as well as purity of whole kernels were maintained over 95%. Regardless of the feed rates, the maximum separation efficiency was recorded for the cylinder speed of 35 rpm and the trough angle of 37°. Estimated maximum efficiencies for the feed rates of 400~800 kg/h were about 70%.
8. As the cylinder speed of the prototype indented broken rice separator increased, its capacity increased and the trough angle also needed to be changed appropriately. Among the operating conditions used in the study, the optimum combinations of the cylinder speed and trough angle were found to be either (35 rpm, 37°), (45 rpm, 55°), or (55 rpm, 73°).
9. The best operating conditions of the prototype precision broken rice separation system was as follows.

Rotary sifter shaft speed : 160 rpm

Indented cylinder speed and trough angle : 35 rpm and 37°

Milled rice products processed by the precision broken rice separation system at this condition showed remarkable improvement for their broken kernel contents over the conventionally processed ones - broken kernels ($l < 2.5$ mm) decreased by 90%, semiwhole kernels ($2.5 < l < 3.75$ mm) decreased by 50%, while whole kernels ($l > 3.75$ mm) increased by 7%.

2. Recommendations

Subsection I: Improvement of the conventional broken rice separation process

The results regarding the present status of the broken rice separation process in RPC could be used as a job training material for the employees of RPC. The new criterion suggested for the definition and classification of broken kernels also could be used as reference information for policymaking.

Subsection II: Development of a precision broken rice separation system

The precision broken rice separation system developed in this study does have the potential to improve the efficiency of the broken rice separation process currently performed in the RPC. If it is introduced to the processing lines of the RPC, the domestic milled rice will have more competitiveness through the strict quality control in terms of the allowance of broken kernels. Commercialization of the prototype indented cylinder broken rice separator will be tried in conjunction with the company participating in this study.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	22
1 - 1. Objectives	22
1 - 2. Background	25
1 - 3. Scope	27
Chapter 2. Fundamental Study for the Development of a Precision Broken Rice Separation System	29
2 - 1. Introduction	29
2 - 2. Analysis of the Grading Standards for Rice	29
2 - 3. Study on the Current Status of the Broken Rice Separation in RPC	34
2 - 4. Physical Property Measurement Pertinent to the Broken Rice Separation	47
2 - 5. Establishment of a New Standard for Broken Rice Classification	51
2 - 6. Conclusions	52
Chapter 3. Basic Characteristics of an Indented Cylinder Broken Rice Separator	55
3 - 1. Introduction	55
3 - 2. Experimental Procedures	56
3 - 3. Degree of Extraction and Purity	69
3 - 4. Overall Separation Efficiency	86
3 - 5. Conclusions	96

Chapter 4. Development of the Precision Broken Rice Separation System	98
4 - 1. Introduction	98
4 - 2. Performance of the Rotary Sifter Broken Rice Separator	99
4 - 3. Development of the Prototype Indented Cylinder Broken Rice Separator	109
4 - 4. Development and Performance Test of the Prototype Precision Broken Rice Separation System	128
4 - 5. Conclusions	131
References	134
Appendix	138

목 차

제 1 장	서 론	22
제 1 절	연구개발의 목적	22
제 2 절	연구사	25
제 3 절	연구개발의 내용 및 범위	27
제 2 장	정밀 쇄미선별 공정의 개발을 위한 기초연구	29
제 1 절	서 언	29
제 2 절	쌀 생산 주요 국가들의 백미 등급표준 분석	29
제 3 절	현행 RPC 쇄미선별공정의 실태 조사	34
제 4 절	쇄미선별과 관련된 미립 물성의 측정	47
제 5 절	정밀 쇄미선별을 위한 쇄미 기준·계급의 설정	51
제 6 절	결 론	52
제 3 장	원통형 흡 선별기의 쇄미선별 특성	55
제 1 절	서 언	55
제 2 절	실험실용 원통형 흡 선별기를 사용한 쇄미의 선별실험	56
제 3 절	원통형 흡 선별기의 수거율·순도 특성	69
제 4 절	원통형 흡 선별기의 선별효율 특성	86
제 5 절	결 론	96
제 4 장	정밀 쇄미선별 시스템의 구성 및 성능평가	98
제 1 절	서 언	98
제 2 절	로타리 시프터 쇄미선별기 시작품 개발 및 성능실험	99

제 3 절	원통형 홈 쇄미선별기 시작품 개발 및 성능실험	109
제 4 절	로타리 시프터와 원통형 홈 쇄미선별기 조합 시스템의 성능평가 .	128
제 5 절	결 론	131
참고문헌		134
부 록		138

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적

쌀은 우리나라 국민의 주곡으로서, 또 우리나라 농민의 대표적인 소득원으로서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 미곡종합처리장 (RPC; Rice Processing Complex)은 1991년부터 정부의 농어촌구조개선사업의 일환으로 적극추진 중인 사업으로서, 개별농가단위로 수행되던 벼 수확 후의 제반과정, 즉 벼의 수집·건조·저장·도정·선별·포장·판매 등의 작업을 대단위로 일괄처리 함으로써 처리비용의 절감, 미곡손실의 감소, 유통의 합리화, 미질의 향상, 부산물의 활용도 제고 등을 통해 궁극적으로 농촌노동력의 절감과 WTO체제하의 쌀의 국제 경쟁력을 높이는데 그 목적을 두고 있다. 미곡종합처리장은 이처럼 쌀 수입개방에 효과적으로 대처할 수 있는 시설로서 98년 현재 총 303개소 (단위농협: 190개소, 민간부문: 113개소)가 설치되었고 정부는 2004년까지 전국에 모두 400여 개소를 설치할 계획이다.

최근에 세워지고 있는 RPC에는 기본적인 설비라 할 수 있는 조선키, 저장시설, 이송설비, 석발기, 건조기, 현미기, 정미기 외에 고품질의 쌀을 선호하는 소비자들의 요구를 충족시키기 위해 현미조질기, 연미기, 쉐미선별기, 색채선별기와 같이 직접적으로 백미의 상품성 향상을 목적으로 한 새로운 설비들이 도입되고 있다. 이 중 쉐미선별기는 정백이 완료된 정립으로부터 쉐미 (싸라기), 미강, 이물질을 분리하여 제거함으로써 최종 포장된 백미제품의 시각적 품위 향상과 취반 후 우수한 식미를 유지하기 위한 단위기계이다.

쌀에 싸라기가 혼입되면 취반시 싸라기 내부의 전분질이 용출되어 밥의 전체적인 식미가 크게 저하된다. 따라서 레토르트밥, 무균포장밥 등을 제조하는 밥류 가공공장에서는 자체적으로 원료 백미로부터 쇄미를 재차 선별, 제거하고 있다. 또한 싸라기가 혼입되면 일반 구매자들에게 시각적으로 품질이 열등하다는 인상을 주게 된다. 근래에 들어 핵가족화와 식생활 형태의 변화에 따라 소매용 쌀의 투명 소포장제가 급속히 확산되고 있어 윤택, 투명도, 색, 싸라기 혼입상태와 같은 쌀의 외관품질이 더욱 중시되고 있다.

한국식품개발연구원의 '98년 조사에 의하면, 국내 유통 백미제품의 싸라기 혼입과 관련한 판정품위는 매우 불량하였다. 제품 판매가와 실제품위 간의 관련성에 대한 소비자의 불신 역시 심각하여, 국내산 백미제품에 대한 보다 더 엄격한 등급관리가 시급하며, 이를 통해 외국산 쌀에 대한 경쟁력을 강화할 필요가 있는 것으로 지적되었다.

국내유통 백미 중의 싸라기 혼입상태와 관련된 이러한 문제들은, 현재의 쇄미 정의를, 길이를 기준으로 보다 더 엄격히 세분화하여 전체를 3~4계급으로 나누고 이 계급별로 정밀하게 쇄미를 선별·분류·제거할 수 있다면 해결될 것이다. 그러나, 이를 가능케 하려면 현행 RPC 쇄미선별공정의 개선과 새로운 정밀쇄미선별기의 개발이 요구된다.

대부분의 RPC에서는 rotary sifter를 쇄미선별에 사용하는데 투입원료가 수평면상에서의 선회운동을 하는 8단으로 된 체를 순차적으로 통과하는 도중 쇄미와 정립의 선별이 이뤄지게 되어 있다. 로타리 시프터는 근본적으로 밀이 주곡인 미국의 제분공장에서 분쇄된 밀가루를 입도별로 분류하는 작업을 주대상으로 하는 설비로서 일본에서 이를 원용하여 백미로부터 쇄미, 미강, 기타 이물을 선별하는 장치로 자리잡았으며, 우리나라 역시

이를 본받아 현재 대부분의 RPC에서 쇄미선별에 사용하고 있다.

그러나 일본에서 백미 중의 쇄미선별에 로타리 시프터를 사용하는 근본 이유는 건조·제현·정백과정에 대한 엄격한 공정운영과 품질관리에 의해 원천적으로 쇄미 발생율이 1~3%로 매우 낮기 때문이며, 쇄미 발생율이 5~15%인 수입산 장립종 벼의 도정 후 쇄미선별에는 원통형 홈 선별기 (indented cylinder separator)를 주로 사용한다는 사실이 이를 증명하고 있다.

현행 로타리 시프터에 의한 쇄미선별에서 예견되는 또 다른 문제는 곡립인 백미와 분체인 밀가루라는 대상물의 차이에 따라 운영면에서 분명히 서로 다른 기술적 요소가 존재할 것이지만 국내의 경우 자체 축적된 운영 기술과 연구결과가 매우 미흡하여 현재 운영중인 쇄미선별공정의 효율성이 의문시되고 있다. 더구나, 곡립 선별의 기본 원리에 비춰볼 때, 쇄미선별에 로타리 시프터와 같은 평면체를 사용하는 것은 이론적으로 합당치 않다. 즉, 체 눈의 형상이 정사각형인 그물 체 (wire mesh)는 일반적으로 폭을 선별인자로 하여 선별할 경우에 사용되는 것이 합리적이다. 그러나 완전립, 대쇄립, 소쇄립 간의 선별인자는 두께나 폭이 아니며 길이이기 때문에 쇄미선별에는 길이를 선별인자로 하는 선별시스템이 도입되는 것이 합리적이다.

이에, 본 연구에서는 미곡종합처리장 (RPC) 쇄미선별공정의 효율적 운영과 국내 유통백미 제품의 품질 고급화와 관련하여, 상업용 규모의 쇄미선별공정에 있어서, 길이기준 3개 계급 이상으로 쇄미를 정밀하게 선별, 분리해 낼 수 있는 기술과 설비를 개발하고자 하였다.

제 2 절 연구사

현행 국내 농산물 검사규격 (국립농산물품질관리원, 2000)에 의하면 싸라기는 대쇄미 (완전립 길이의 1/2 미만으로, 1.68 mm 그물체 위에 잔류)와 소쇄미 (1.68 mm 그물체는 통과하나, 1.41 mm 그물체 위에는 잔류)로 나뉘지며 일반계 품종인 경우 대쇄미와 소쇄미의 혼입률이 각각 5%와 0% 이하를 합격품으로 판정하고 있다. 1995년부터는 품질 표시제를 통한 농산물 유통의 선진화를 목적으로 생산자단체에 의한 자율검사제도가 도입되었으며 이를 위한 농산물 표준출하규격이 제정되었는데, 쌀의 경우 싸라기를 1.7 mm 의 그물체 위에 잔류한 것으로 정의하여 그 혼입률이 각각 5%, 7%, 10% 이내를 특, 상, 보통으로 등급판정하고 있다.

미국의 경우는 싸라기 혼입량에 따라 등급판정을 더욱 세밀하게 하고 있다. 美농무성 산하 연방곡물검사소 (FGIS)의 검사기준에 의하면 백미는 7등급으로 나뉘며, 이 때 완전립 길이의 3/4이하는 모두 싸라기로 분류되며 이들을 그 정도에 따라 네 종류로 더욱 세분하여 각각의 혼입율에 따라 등급을 결정하고 있다 (GIPSA, USDA).

한국식품개발연구원의 '98년 조사자료 (Kim and Kim, 1998)에 따르면 국내 유통 백미를 美 FGIS의 규격에 준하여 품위판정을 했을 때, 피해립과 열손상립의 혼입을 기준으로 54점 모두가 1등급이었으나 쇄립과 분상질립의 혼입 정도는 시료간 편차가 커 이를 기준으로 할 때는 1등급이 2점, 2등급이 31점, 3등급이 18점, 그리고 4등급 이하가 3점이었다. 또한, 판정된 등급과 판매가격 간의 상관관계는 매우 낮은 것으로 조사되어 국내에 유통되는 쌀의 등급에 대한 소비자의 불신이 크기 때문에 엄격한 등급관리가 시급하며, 이를 통해 엄격하게 등급관리가 되고 있는 외국 쌀,

특히 미국 쌀에 대한 경쟁력을 강화할 필요가 있는 것으로 지적되었다.

현재, 거의 모든 국내 미곡종합처리장에서는 로타리 시프터 (rotary sifter) 선별기를 쇠미선별에 사용하고 있다 (高 등, 1995).

로타리 시프터의 선별부는 수평면 상에서 선회운동 (gyratory motion) 을 하는 6~8단의 선별체들의 조합으로 구성되어 있다 (한국농업기계학회, 1998). 투입원료가 다단의 선별체들을 순차적으로 통과하는 도중, 각각 1단에서는 큰 이물질, 2~3단에서는 완전립, 4~6단에서는 대쇄미, 7단에서는 소쇄미, 8단에서는 미강 및 작은 쇠미가 선별된다.

로타리 시프터는 근본적으로 밀이 주곡인 미국의 제분공장에서 분쇄된 밀가루를 입도별로 분류하는 작업을 주대상으로 하는 설비로서, 일본에서 이를 원용하여 백미로부터 쇠미, 미강, 기타 이물을 선별하는 장치로 자리 잡은 것으로 생각된다 (Araullo et al., 1976; Food Agency, 1995; 岩尾俊南, 1978).

완전립과 쇠립 간의 선별과 같이 곡립의 길이 차이가 주 선별인자인 경우, 일반적으로 가장 많이 사용되는 선별기는 홈 선별기 (indented separator)로 알려져 있다 (Posner and Hibbs, 1997). 홈 선별기는 곡물의 길이를 주 선별인자로 하고, 형상을 부차적인 선별인자로 하며, 회전원통 (cylinder)의 안쪽 면 또는 회전원판 (disc)의 양쪽 면에 판 홈 (indent)의 크기와 모양에 따라 길이가 긴 곡립과 길이가 짧은 곡립 간의 선별이 이뤄진다 (한국농업기계학회, 1998).

원통형 홈 선별기 (indented cylinder separator)는 회전하는 선별원통과 V자형 집적통 (trough)으로 구성되어 있다. 회전원통의 안쪽 벽면에는 일정한 크기와 모양의 홈들이 파여져 있는데, 곡물이 회전원통의 내부로 공급되면 길이가 짧은 곡립은 홈 속에 완전히 들어가기 때문에 원통이 어느

정도 회전한 후에야 홈에서 빠져 나와 trough로 떨어지지만, 길이가 긴 곡립은 홈 속에 완전히 들어가지 못하기 때문에 일찍 낙하하여 원통 내로 다시 떨어진다. 따라서, 짧은 곡립은 trough에 수거되며, 긴 곡립은 원통을 따라 출구 쪽으로 이송되어 양자간의 분리, 선별이 이뤄지게 된다 (高 등, 1990).

원통형 홈 선별에 영향을 주는 인자는 매우 많지만, 가장 중요한 것은 선별원통의 회전속도, trough의 설치각도, 그리고 indent의 모양과 크기로 알려져 있다 (Grochowicz, 1980). 선별원통의 회전속도는 입자에 작용하는 원심력 크기와 입자무게 간의 비인 운동학적 지수 K 값으로써 통상 표시된다. 기존 문헌 (Grochowicz, 1980)에 따르면 고속용 원통형 홈 선별기에 대한 K 값의 범위로 0.53~0.55가 제시된 사례가 있으며, 밀과 귀리를 대상으로 고속용 원통형 홈 선별기를 사용할 경우, K 값의 범위로 각각 0.3~0.35와 0.4가 제시되었다. 저속용 원통형 홈 선별기의 경우에는 K 값의 범위가 0.04~0.09로 제시되었다.

원통형 홈 선별기를 쇄미선별에 적용한 연구는 일본 학자들에 의해 일부 수행되었으며 (Hao et al., 1987; Hitoshi et al., 1979; Ritsuya et al., 1979), 구미의 경우 주곡이 밀이기 때문에 쇄미선별에 관련된 연구결과는 찾아보기 힘들었다.

제 3 절 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 미곡종합처리장 (RPC)의 효율적 운영 및 국내 유통백미 제품의 품질 고급화와 관련, “상업용 규모의 쇄미선별공정에 있어서, 길이기준 3개 등급 이상으로 쇄미를 정밀하게 선별, 분리해 낼 수 있는 기술과 설비의 개발”을 연구개발의 목표로 하고 있다. 상기 목표를 달성하기 위한 연구기간은 2년으로서, 주요 연구내용과 연구범위는 표 1-1 과 같다.

표 1-1. 연구개발 내용 및 범위

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2000)	◆ 정밀쇄미선별기술 개발을 위한 방향설정과 기초자료의 확보	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 쇄미선별 관련 문헌조사와 기술자료의 수집, 검토 ▶ 국내 주요품종 백미의 선별관련 물성의 측정 ▶ 현행 RPC 쇄미선별공정과 설비의 실태조사 - 설문 및 현지방문 조사 ▶ 유통 백미제품의 쇄립 혼입상태 조사
	◆ 로타리 시프터 쇄미선별기의 개선	▶ 파이로트 규모 로타리 시프터 쇄미선별기 시작품의 제작, 성능실험
	◆ 원통형 홈 쇄미선별기의 개발	▶ 실험실용 원통형 홈 선별기를 사용한 쇄미선별 실험
2차년도 (2001)	◆ 정밀쇄미선별기술 개발을 위한 방향설정과 기초자료의 확보	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 쇄미선별기 관련 기술자료의 수집, 검토 ▶ 현행 RPC 쇄미선별공정과 설비의 기술적 검토 ▶ 유통 백미제품의 쇄립 혼입상태 조사 ▶ 등급판정 및 정밀쇄미선별기술 개발을 위한 쇄미 기준과 계급의 설정
	◆ 원통형 홈 쇄미선별기의 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 파이로트 규모 원통형 홈 쇄미선별기 시작품의 설계, 제작 ▶ 파이로트 규모 원통형 홈 쇄미선별기 시작품의 성능실험
	◆ 상업용 규모 정밀쇄미선별 system 의 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 로타리 시프터와 원통형 홈 쇄미선별기의 단독/조합사용에 의한 RPC용 정밀쇄미선별 system 의 설계, 제작 ▶ 정밀쇄미선별 system 의 성능실험, 최종 평가

제 2 장 정밀 쇄미선별 공정의 개발을 위한 기초연구

제 1 절 서 언

유통 백미제품에 싸라기가 혼입되어 있으면 일반 구매자들에게 품질이 열등하다는 인상을 주게 된다. 또, 싸라기가 함유된 쌀을 취반하면 밥의 전체적인 식미가 크게 저하된다. 선행 연구결과들에 따르면, 국내 유통 백미제품의 싸라기 혼입과 관련한 판정품위는 매우 불량하였다. 유통 백미제품 판매가와 실제품위 간의 관련성에 대한 소비자의 불신 역시 심각하여, 국내산 백미제품에 대한 보다 더 엄격한 등급관리가 시급하며, 이를 통해 외국산 쌀에 대한 경쟁력을 강화할 필요가 있는 것으로 지적되었다.

이러한 문제들은, 현재의 쇄미 정의를 보다 더 엄격히 세분화하여 길이 기준 3~4개의 계급을 설정하고, 이 계급별로 정밀하게 쇄미를 선별·분류·제거해 낼 수 있다면 해결될 것이다. 그러나, 이를 위해서는 현재보다 더욱 정밀한 쇄미선별기술과 관련설비들의 개발이 선행되어야 할 것이다.

이에 본 연구에서는, 정밀쇄미선별기술 개발을 위한 방향설정과 기초자료의 확보를 목표로 하여, (1) 쇄미선별과 관련한 기술자료 및 쌀 생산 주요 국가들의 백미 등급표준의 수집과 분석, (2) 현행 RPC 쇄미선별공정과 설비의 실태 조사, (3) 쇄미선별과 관련된 미립의 물성 측정, (4) 정밀쇄미선별을 위한 쇄미 기준·계급의 설정에 관한 연구를 수행하였다.

제 2 절 쌀 생산 주요 국가들의 백미 등급표준 분석

쇄미선별 기술과 설비의 개발과 관련하여 쌀 생산 주요 국가들의 쇄미 기준과 정의, 그리고 백미의 검사규격과 검사방법을 수집하여 검토하였다.

쇄미기준 및 백미의 검사규격과 방법은 국립농산물품질관리원 품질관리과의 협조를 통해 우리나라, 일본, 미국, 중국, 태국, 호주 등 6개국의 자료를 수집하였는데, 우리나라와 일본, 미국의 자료를 중점적으로 비교, 분석하였다.

우리나라 국립농산물 품질관리원의 백미 검사규격규칙을 조사한 결과, 큰싸라기 (대쇄미), 잔싸라기 (소쇄미), 이물에 대한 정의는 다음과 같이 요약된다.

- ▶ 큰싸라기 = KS규격 체눈 크기 1.68 mm 인 표준 그물체 위에 남으며, 그 길이가 완전립 평균길이의 1/2 미만인 미립
- ▶ 잔싸라기 = KS규격 체눈 크기 1.68 mm 인 표준 그물체를 통과하지만, 체눈 크기 1.41 mm 인 표준 그물체 위에 남는 미립
- ▶ 이물 = KS규격 체눈 크기 1.41 mm 인 표준 그물체 위에 남은 곡립 외의 것과 체를 통과한 것 (아주 작은 싸라기, 미강, 돌, 잡초 씨 등)

이 기준에 따르면 우리나라의 경우, 그 길이가 완전립 평균길이의 1/2 이하인 낱알만이 싸라기로 분류되는데, 미국은 완전립 평균길이의 3/4 이하, 일본은 1/4~2/3인 낱알은 모두 싸라기로 정의하고 있다. 한편, 우리나라의 국내산 백미 (일반계 품종)에 대한 검사규격 (표 2-1)은 큰 싸라기 (대쇄미)와 작은 싸라기 (소쇄미)의 허용 혼입율은 각각 5.0% 및 0.0%로 규정하고 있다. 이는 외견상으로는 일본의 백미 검사규격 (표 2-2) 상의 1등 표준품과 미국의 백미 검사규격 (표 2-3) 상의 1등급에 비견될 수 있는 수치이지만, 위에서와 같은 쇄미의 정의를 함께 고려해 볼 때, 쇄립 혼입에 관한 우리나라의 규격은 비교적 허술한 편이라고 생각된다. 또한, 우리나라의 백미등급은 합격과 불합격의 2개 등급밖에는 없지만 일본은 4개 (1등, 2등, 등외, 규격외), 미국은 7개 (1~6등, 등외)로 더욱 세분화되어

있다.

표 2-1. 한국의 국내산 쌀 (일반계 품종) 검사규격 (멥쌀, 참쌀)

항목 등급	최저한도	최 고 한 도										
		도정도	수분 (%)	분상질, 피해립, 착색립			싸라기		뉘 [†]	이종곡립 [†]	이물	
				계 (%)	피해립, 착색립		큰 싸라기 (%)	잔 싸라기 (%)			계 (%)	돌 [†]
					계 (%)	착색립 (%)						
합격	표준품	15.0	6.0	2.0	0.1	5.0	0.0	3개	3개	0.0	1개	

[†] 1.5kg 중의 립수

일본의 경우, 우리나라와는 달리 백미의 최종등급은 식미평가에 근거를 둔 산지·품종별 유형구분과 기본적인 외관 품위 두 가지의 조합에 의해 결정된다. 이 중, 기본적인 외관 품위에 관한 백미 검사규격 (표 2-2)은 전반적으로 우리나라와 유사하지만, 보다 더 세분화된 등급과 엄격한 기준치를 갖고 있다. 또한, 외국산 현미와 백미에 대해서도 중단립종과 장립종으로 구분하여 한국, 미국, 중국, 태국, 베트남 등의 주요 쌀 생산국별로 세분하여 각각의 품질규격을 설정, 관리하고 있다. 일본에서는 소비자가 원하는 고품질 쌀의 유통과 공급에 대한 신뢰성 구축을 취지로 하는 민간 차원의 사단법인 일본취반협회가 '90년대 중반에 결성, 자체적으로 정한 쌀의 품위기준에 따른 품질인증사업을 실시하고 있는데, 이 기준에 의한 특A, A, 표준등급 백미의 쉼립 혼입율은 각각 3% 이하, 5% 이하, 그 외로 규정되어 있다.

표 2-2. 일본의 백미 검사규격

항목 등급	최저한도 형질	최고한도 수분 (%)	최고한도					
			분상질립 및 피해립			쇄립 (%)	이종곡립 및 이물	
			계 (%)	피해립			벼 (%)	벼 이외의 이물 (%)
				계 (%)	착색립 (%)			
1등	1등표준품	15.0	10	1	0.0	5	0.0	0.0
2등	2등표준품	15.0	20	2	0.2	10	0.0	0.1
등외	등외표준품	15.0	25	4	0.2	15	0.0	0.2

규격외 - 1등부터 등외까지의 각각의 품위에 적합하지 아니한 쌀로서, 이종곡립 및 이물이 50% 이상 혼입되지 아니한 것

미국의 백미는 미 농무성 (USDA) 산하기관인 GIPSA (Grain Inspection, Packers and Stockyards Administration)에서 제정한 검사규격 (표 2-3)에 따라 7개의 등급으로 분류되며, 장립종, 중립종, 단립종이 모두 생산되므로 다양한 기준과 검사방법이 마련되어 있으며 또, 전쌀과 가공용으로 주로 소비되는 쌀인 대쇄미 (Second Head Milled Rice), 소쇄미 (Screenings Milled Rice), 양조미 (Brewers Milled Rice)에 대한 검사규격 역시 제정된 것이 특징이다. 미국의 경우, 쇄립의 정의 자체가 완전립 길이의 3/4 이하인 낱알일 뿐만 아니라, 표 2-3의 백미 검사규격 중 쇄립에 대한 기준에서 보듯이 백미에 함유될 수 있는 쇄립의 대부분이 2.38 mm의 눈 크기를 가진 6호체 위에 남게 되는 길이 (단립종의 경우, 완전립 길이의 약 48%에 해당)를 갖도록 되어 있어 쇄립혼입에 관한 한 매우 엄격한 기준을 적용하고 있음을 알 수 있다.

표 2-3. 미국의 백미 검사규격

항목 등급	최 고 한 도										
	타종자, 열손립, 벼		앵미 및 피해립 (%)	분상질립		쇄립				타명표립	
	합계 (립/ 500g)	열손립, 타종자 (립/ 500g)		장립종 (%)	중단립 종 (%)	합계 (%)	5호체판 상에서의 수집분 (%) ^{1), †}	5호체판 상에서의 수집분 (%) ^{2), †}	6호체 통과분 (%) ^{3), †}	정립 (%)	정립 및 쇄립 (%)
1등	2	1	0.5	1.0	2.0	4.0	0.04	0.1	0.1	-	1.0
2등	4	2	1.5	2.0	4.0	7.0	0.06	0.2	0.2	-	2.0
3등	7	5	2.5	4.0	6.0	15.0	0.1	0.8	0.5	-	3.0
4등	20	15	4.0	6.0	8.0	25.0	0.4	2.0	0.7	-	5.0
5등	30	25	6.0	10.0	10.0	35.0	0.7	3.0	1.0	10.0	-
6등	75	75	15.0	15.0	15.0	50.0	1.0	4.0	2.0	10.0	-
등의	(a) 상기 1~6 등급규격에 부합치 못하는 것 (b) 수분함량이 15% 이상인 것 (c) 곰팡이 핀 것, 산패된 것, 발열하는 것 (d) 이취가 나는 것 (e) 이물질 함량이 0.1% 이상인 것 (f) 살아있거나 죽은 바구미 및 곤충류나 그 잔해, 거미줄, 배설물들이 2개 이상인 것 (g) 기타 현저히 품질이 낮은 것										

- 1) 5호체판: 직경 5/64 in의 원형 체눈들이 뚫려 있는 두께 0.051 in의 윗판과 구멍이 없는 두께 0.091 in의 아랫판으로 구성된 금속제 체판
 - 2) 6호체판: 직경 6/64 in의 원형 체눈들이 뚫려 있는 두께 0.051 in의 윗판과 구멍이 없는 두께 0.091 in의 아랫판으로 구성된 금속제 체판
 - 3) 6호체: 직경 6½/64 in의 원형 체눈들이 뚫려 있는 두께 0.032 in의 금속제 체
- † 남부산 백미의 경우 체판, 서부산 백미의 경우 체 사용을 권장

중국의 경우, 인디카 계열인 장타원형이나 세장형의 멥쌀은 선미 (籼米), 자포니카 계열인 타원형의 멥쌀은 갱미 (粳米)라 호칭하며, 이들은 또 조생종과 만생종으로 세분된다. 이 중, 우리나라에서 많이 재배하고 있는 단립종 쌀과 유사한 것은 만생종 갱미인 晚粳米로서, 표 2-4와 같은 검사규격을 갖고 있으며, 대쇄미와 소쇄미에 대한 정의는 다음과 같다.

▶ 대쇄미 = 눈 직경 2.0 mm 인 등근 체 위에 남아 있는 것으로, 그 길이가 정립 길이의 2/3 가 되는 쌀라기

▶ 소쇄미 = 눈 직경 2.0 mm 인 등근체를 통과하고 눈 직경 1.0 mm 인 등근 체 위에 남아 있는 쌀라기

이상과 같은 쇄미의 정의와 표 2-4의 쇄미 혼입율 기준을 종합해 볼 때, 중국의 쇄미관련 기준은 우리나라의 기준과 거의 비슷한 수준이라고 생각된다.

표 2-4. 중국의 만생종 쌀 (粳米)의 검사규격

등급	도정도	불완전립 (%)	이물질 최고한도					쇄미 (%)		수분 (%)		광택, 냄새, 맛
			계 (%)	겨분 (%)	광물질 (%)	벼껍질, 피립/kg	누립 /kg	계	소쇄립	6개 省 외	6개 省	
특등	표준품 대비	3.0	0.20	0.15	0.02	10	4	15.0	1.5	15.5	14.5	정상
1등	"	4.0	0.25	0.20	0.02	20	6					
2등	"	6.0	0.30	0.20	0.02	30	8					
3등	"	8.0	0.35	0.20	0.02	40	10					

6개 省 : 사천, 귀주, 운남, 복건, 광둥, 광서

제 3 절 현행 RPC 쇄미선별공정의 실태 조사

RPC에서 실제로 수행되고 있는 쇄미선별공정의 실태파악과 현장정보 습득을 목적으로 제주도를 제외한 전국 농협 RPC 중 50곳을 지역별로 안배, 선정하여 “RPC 쇄미선별 공정·설비 실태조사” 라는 제목의 설문지를 우송, 설문조사를 실시했다. 설문지 각 질의항목에 대한 응답 중 가장 빈도가 많았던 내용과 그 외 특기사항을 설문지 원본에 함께 기재하여 부록에 참고로 수록하였다. 상기 50 곳의 RPC 중 24 곳은 직접 방문하여, 쇄

미선별기에 투입되는 원료백미, 쇄미선별기로부터의 배출물, 그리고 최종 상품인 백미제품을 수집하여 이들의 쇄립 혼입상태를 분석함으로써 현행 RPC 쇄미선별공정의 성능을 조사하였다.

1. 국내 유통백미의 쇄립 혼입상태

전국 24곳의 RPC를 방문하여 수집해 온 최종 포장 유통백미 약 2kg 으로부터 4분법에 의해 시료 500g을 취한 후, 이를 ASTM 14번체 (체눈 구멍크기 1.41 mm)로 체선별하여 먼저 이물을 제거하였다. 다음, 체 위 잔류물로부터 돌, 누, 이종 곡립 및 기타 이물질을 육안으로 선별, 제거한 후, 그 잔량으로부터 4분법에 의해 최종 검사시료 30g을 채취하였다.

쇄립의 관별과 분류는 확대경과 정밀 자를 사용하여 육안으로 하였으며, 가장 엄격하고 세분화된 자체기준을 마련하여 적용하였는데, 즉 낱알의 길이가 완전립 평균길이 (약 5.0 mm)의 1/4~1/3, 1/3~1/2, 1/2~2/3, 2/3~3/4 및 3/4 이상인 5개군으로 분류한 후, 검사시료의 총 중량에 대한 각 군의 중량비를 계산하였다. 실험은 3반복으로 실시하였다.

국내 시중 유통백미 시료 24점의 쇄립 혼입상태 측정결과는 표 2-5와 같았다. 중량비로 전체 시료 무게의 93.5%는 그 길이가 완전립 길이의 3/4 이상인 낱알들로 구성되어 있었으며, 완전립 길이의 1/4~1/3, 1/3~1/2, 1/2~2/3 및 2/3~3/4에 해당하는 길이를 가진 낱알들의 중량비는 각각 0.3, 2.8, 2.7 및 0.6%로 밝혀졌다. 이 자료로부터 한국, 일본, 미국의 백미 검사규격에 따라 상기 국내 유통백미 시료 24점의 등급을 결정해보았으며, 그 결과는 표 2-6과 같았다.

표 2-6에서 알 수 있듯이 국내 유통백미의 쇄립 혼입정도는 한국과 일본의 기준을 적용했을 때, 쇄립의 총계면에서는 만족할 만한 수준이었다.

즉, 한국의 검사규격에서의 큰싸라기 함유비 기준 (5.0%)으로는 24점 중 22점이 합격품이었으며, 일본의 검사규격에서의 전체 쇠립의 함유비 기준 (5/10/15%)으로는 전체 시료 24점의 54% (13점)가 1등급, 42% (10점)가 2등급, 그리고 1점만이 등의등급으로 판정되었다. 가장 엄격한 미국의 검사규격을 적용한 경우, 역시 한국과 일본의 규격에 의한 등급보다는 낮은 결과를 보였다. 즉, 미국 백미 검사규격에서의 전체 쇠립 함유비 기준 (4.0/7.0/15.0/25.0/35.0/50.0%)에 따를 때 전체 시료 24점의 21% (5점)가 1등급, 54% (13점)가 2등급, 그리고 나머지 25% (6점)는 3등급으로 판정되었다.

그러나, 한국의 잔싸라기 함유비 기준 (0.0%)을 적용할 경우, 전체 24점의 시료 중 오직 4 점만이 합격품으로 판정되었고, 일본의 검사규격에서의 벼 이외의 이물 함유비 기준 (0.0/0.1/0.2%)에 의해 판정할 경우도 이와 유사한 결과가 예상된다. 또한, 미국 백미 검사규격에서의 6호체 ($\phi = 2.38 \text{ mm}$) 통과분 기준 (0.1/0.2/0.5/0.7/1.0/2.0%)을 적용해서 판정할 경우, 전체 시료 24점의 79%인 19점이 등의로, 그리고 나머지 21% (5점)는 최하위 등급인 6등급으로 판정되었다. 따라서, 본 연구의 최종목표인 정밀쇄미선별공정의 개발에 있어서는, 백미 중 쇠립의 전체 함유비 뿐만이 아닌 쇠립의 조성상태, 특히 잔싸라기와 그보다 작은 싸라기의 제거에도 큰 중점을 두어야만 하리라 생각된다.

표 2-5. 국내 유통백미 시료의 쉼입 혼입상태 (중량비, %)

항목 RPC 명	쉼입 길이 계급				
	1.40~1.75 mm (소쉼미)	1.75~2.50 mm (대쉼미)	2.50~3.25 mm (1/2~2/3 L)	3.25~3.75 mm (2/3~3/4 L)	3.75 mm 이상 (3/4 L 이상)
경기모가	0.30	2.49	1.84	0.87	94.51
경기연천	0.44	3.88	1.57	0.86	93.24
경기여주	0.09	2.19	4.18	0.33	93.21
경기부발	0.33	1.55	1.12	0.54	96.46
강원양구	0.03	3.41	3.13	0.44	92.98
강원철원	0.12	3.30	3.98	0.58	92.02
충남합덕	0.19	2.61	3.26	1.23	92.71
충남서산	0.33	1.70	1.45	0.43	96.09
충남부여	0.63	2.87	1.69	0.75	94.06
충남동면	0.40	2.47	2.33	0.60	94.20
충북금왕	0.81	5.34	4.66	0.55	88.64
충북증평	1.04	2.90	2.16	0.77	93.13
전남금성	0.03	3.41	3.13	0.44	92.98
전남해남	0.20	2.64	2.52	0.72	93.93
전남함평	0.15	3.71	3.14	0.44	92.55
전북김제	0.38	5.91	7.46	0.81	85.45
전북정읍	0.34	1.41	1.09	0.45	96.70
전북이리	0.04	2.02	2.23	0.26	95.46
경남군북	0.06	2.82	3.31	0.45	93.35
경남한림	0.01	1.16	1.65	0.40	96.77
경남진주	1.06	3.75	3.40	1.10	90.69
경북문경	0.08	1.17	1.60	0.30	96.86
경북다인	0.59	2.35	1.55	0.57	94.94
경북용궁	0.16	2.51	3.24	0.33	93.77
평균	0.33	2.82	2.74	0.60	93.52
표준편차	0.31	1.17	1.42	0.25	2.67

표 2-6. 한국, 일본, 미국의 백미 검사규격 중 쇄립 혼입 허용기준에 따른 국내 유통백미 시료의 품위등급 비교

적용 검사 규격 및 항목 RPC 명	한국 규격 적용시			일본 규격 적용시		미국 규격 적용시		
	큰싸라기 (%)	잔싸라기 (%)	등급	쇄립 계 (%)	등급*	쇄립 계 (%)	6호체 통과분 (%)	등급**
경기모가	2.5	0.3	합격	4	1등	5.5	2.8	2등/등의
경기연천	3.9	0.4	합격	5	1등	6.8	4.3	2등/등의
경기여주	2.2	0.1	합격	6	2등	6.8	2.3	2등/등의
경기부발	1.6	0.3	합격	3	1등	3.5	1.9	1등/6등
강원양구	3.4	0.0	합격	7	2등	7.0	3.4	2등/등의
강원철원	3.3	0.1	합격	7	2등	8.0	3.4	3등/등의
충남합덕	2.6	0.2	합격	6	2등	7.3	3.8	3등/등의
충남서산	1.7	0.3	합격	3	1등	3.9	2.0	1등/6등
충남부여	2.9	0.6	합격	5	1등	5.9	3.5	2등/등의
충남동면	2.5	0.4	합격	5	1등	5.8	2.9	2등/등의
충북금왕	5.3	0.8	불합격	10	2등	11.4	6.2	3등/등의
충북증평	2.9	1.0	합격	5	1등	6.9	3.9	2등/등의
전남금성	3.1	0.0	합격	7	2등	7.0	3.4	2등/등의
전남해남	2.6	0.2	합격	5	1등	6.1	2.8	2등/등의
전남함평	3.7	0.2	합격	7	2등	7.5	3.9	3등/등의
전북김제	5.9	0.4	불합격	13	3등	14.6	6.3	3등/등의
전북정읍	1.4	0.3	합격	3	1등	3.3	1.8	1등/6등
전북이리	2.0	0.0	합격	4	1등	4.5	2.1	2등/등의
경남군북	2.8	0.1	합격	6	2등	6.7	2.9	2등/등의
경남한림	1.2	0.0	합격	3	1등	3.2	1.2	1등/6등
경남진주	3.8	1.1	합격	7	2등	9.3	4.8	3등/등의
경북문경	1.2	0.1	합격	3	1등	3.1	1.3	1등/6등
경북다인	2.4	0.6	합격	4	1등	5.1	2.9	2등/등의
경북용궁	2.5	0.2	합격	6	2등	6.2	2.7	2등/등의

* 일본의 검사방법 및 규격에 따르면 눈 크기 1.68mm 체를 통과하는 물질은 벼 이외의 이물로 처리되며, 이를 적용할 경우 상기 백미시료들의 등급은 달라질 수 있음

** 결정된 두 개의 등급은 미국 백미 검사규격에서의 쇄립의 전체 계 및 6호체 통과분을 각각 개별 적용했을 경우의 등급임

2. 쇄미선별기 투입 백미시료의 쇄립 혼입상태

쇄미선별기 투입 백미시료의 쇄립 혼입상태는 앞에서 설명한 시중 유통 백미의 쇄립 혼입상태 조사에서와 같은 연구방법을 통해 수행되었다. 쇄미선별기의 대쇄미 출구 및 소쇄미 출구에서 수집한 시료들의 길이 분포 조사에는 체 분석법을 사용하였는데, ASTM 표준체 #30, #18, #16, #14, #12, #10의 6개 체 (체눈 크기는 각각 0.59, 1.0, 1.19, 1.41, 1.68, 2.0 mm)를 조합하여 Ro-Tap 진탕기로 15분간 진탕한 후, 각 체 위의 잔류시료 중량을 측정, 이로부터 쇄립시료 길이의 산술평균과 분포도를 구하였다.

쇄미선별기 투입 백미시료 중의 쇄립 혼입상태를 측정한 결과는 표 2-7과 같았으며, 중량비로 전체 시료 무게의 92.9%는 그 길이가 완전립 길이의 3/4 이상인 낱알들로 구성되어 있었다. 또, 완전립 길이의 1/4~1/3, 1/3~1/2, 1/2~2/3 및 2/3~3/4에 해당하는 길이를 가진 낱알들의 중량비는 각각 0.5, 2.9, 3.0 및 0.7%로 밝혀져, 동일 길이 계급에 대한 최종 유통백미 중의 쇄립 혼입 중량비 (표 2-5 참조)인 0.3, 2.8, 2.7 및 0.6%와 비교했을 때, 만족할 정도는 아니지만 쇄미선별기 사용에 따라 약간의 쇄립이 제거됨을 확인할 수 있었다. 따라서, 향후 정밀쇄미선별공정의 개발을 위해서는 현재 대부분의 RPC에서 사용하고 있는 로타리 시프터 쇄미선별기의 선별체 눈의 크기를 변경하거나 아예 다른 형식의 쇄미선별기를 사용하여 본 연구에서 얻은 결과와 비교할 수 있는 추가적 실험이 필요할 것으로 생각된다.

표 2-7의 자료로부터 한국, 일본, 미국의 백미 검사규격에 따라 결정한 쇄미선별기 투입 백미시료의 등급결과는 표 2-8과 같았다. 표에서 알 수 있듯이, 정백 후 쇄미선별기를 거치지 않을 경우 백미의 쇄립 혼입정도는 한국과 일본의 기준을 적용했을 때, 쇄립의 총계면에서는 역시 만족할 만

한 수준이었다. 즉, 한국의 검사규격에서의 큰싸라기 함유비 기준 (5.0%)으로는 16점 중 14점이 합격품이었으며, 일본의 검사규격에서의 전체 쇠립의 함유비 기준 (5/10/15%)으로는 전체 시료 16점의 56% (9점)가 1등급, 31% (5점)가 2등급, 그리고 2점만이 등외등급으로 판정되었다. 가장 엄격한 미국의 검사규격을 적용한 경우, 역시 한국과 일본의 규격에 의한 등급보다는 낮은 결과를 보였다. 즉, 미국 백미 검사규격에서의 전체 쇠립 함유비 기준 (4.0/7.0/15.0/25.0/35.0/50.0%)에 따를 때 전체 시료 16점의 6% (1점)가 1등급, 63% (10점)가 2등급, 그리고 나머지 31% (5점)는 3등급으로 판정되었다.

그러나, 한국의 잔싸라기 함유비 기준 (0.0%)을 적용할 경우, 전체 16점의 시료 중 오직 2점만이 합격품으로 판정되었고, 일본의 검사규격에서의 벼 이외의 이물 함유비 기준 (0.0/0.1/0.2%)에 의해 판정할 경우도 이와 유사한 결과가 예상된다. 또한, 미국 백미 검사규격에서의 6호체 ($\phi = 2.38$ mm) 통과분 기준 (0.1/0.2/0.5/0.7/1.0/2.0%)을 적용해서 판정할 경우, 전체 시료 16점의 69%인 11점이 등외로, 그리고 나머지 31% (5점)는 최하위 등급인 6등급으로 판정되었다.

표 2-7. 쇄미선별기 투입 백미 원료 중의 쇄립 혼입상태 (중량비, %)

항목 RPC 명	쇄립 길이 계급				
	1.40~1.75 mm (소쇄미)	1.75~2.50 mm (대쇄미)	2.50~3.25 mm (1/2~2/3 L)	3.25~3.75 mm (2/3~3/4 L)	3.75 mm 이상 (3/4 L 이상)
경기모가	0.03	3.41	3.13	0.44	92.98
경기연천	0.24	1.29	0.84	0.62	97.01
경기여주	0.11	1.87	2.69	0.19	95.14
경기부발					
강원양구	0.03	3.41	3.13	0.44	92.98
강원철원					
충남합덕	0.12	1.63	1.99	0.51	95.75
충남서산	0.40	1.49	1.52	0.76	95.83
충남부여					
충남동면					
충북금왕	1.92	6.60	6.15	0.96	84.37
충북증평	0.98	2.40	2.05	0.70	93.87
전남금성	0.09	2.94	3.72	0.31	92.34
전남해남	0.52	1.76	1.61	0.98	95.14
전남함평					
전북김제	0.40	5.18	7.48	1.37	85.57
전북정읍	0.24	2.57	2.91	1.43	92.85
전북이리					
경남군북	0.14	3.03	2.93	0.33	93.57
경남한림	0.06	1.60	2.54	0.53	95.27
경남진주	2.18	4.60	3.68	1.22	88.32
경북문경	0.14	2.52	2.15	0.36	94.82
경북다인					
경북용궁					
평균	0.48	2.89	3.03	0.70	92.86
표준편차	0.66	1.48	1.69	0.39	3.67

표 2-8. 한국, 일본, 미국의 백미 검사규격 중 쇄립 혼입 허용기준에 따른 쇄미선별기 투입 백미 원료의 품위등급 비교

적용 검사 규격 및 항목 RPC 명	한국 규격 적용시			일본 규격 적용시		미국 규격 적용시		
	큰싸라기 (%)	잔싸라기 (%)	등급	쇄립 계 (%)	등급*	쇄립 계 (%)	6호체 통과분 (%)	등급**
경기모가	3.4	0.0	합격	7	2등	7.0	3.4	2등/등외
경기연천	1.3	0.2	합격	2	1등	3.0	1.5	1등/6등
경기여주	1.9	0.1	합격	5	1등	5.0	2.0	2등/6등
경기부발								
강원양구	3.4	0.0	합격	7	2등	7.0	3.4	2등/등외
강원철원								
충남합덕	1.6	0.1	합격	4	1등	4.3	1.8	2등/6등
충남서산	1.5	0.4	합격	3	1등	4.2	1.9	2등/6등
충남부여								
충남동면								
충북금왕	6.6	1.9	불합격	13	등외	15.6	8.5	3등/등외
충북증평	2.4	1.0	합격	4	1등	6.1	3.4	2등/등외
전남금성	2.9	0.1	합격	7	2등	7.7	3.0	3등/등외
전남해남	1.8	0.5	합격	3	1등	4.9	2.3	2등/등외
전남함평								
전북김제	5.2	0.4	불합격	13	등외	14.4	5.6	3등/등외
전북정읍	2.6	0.2	합격	5	1등	7.2	2.8	3등/등외
전북이리								
경남군북	3.0	0.1	합격	6	2등	6.4	3.2	2등/등외
경남한림	1.6	0.1	합격	4	1등	4.7	1.7	2등/6등
경남진주	4.6	2.2	합격	8	2등	11.7	6.8	3등/등외
경북문경	2.5	0.1	합격	5	1등	5.2	2.7	2등/등외
경북다인								
경북용궁								

* 일본의 검사방법 및 규격에 따르면 눈 크기 1.68mm 체를 통과하는 물질은 벼 이외의 이물로 처리되며, 이를 적용할 경우 상기 백미시료들의 등급은 달라질 수 있음

** 결정된 두 개의 등급은 미국 백미 검사규격에서의 쇄립의 전체 계 및 6호체 통과분을 각각 개별 적용했을 경우의 등급임

3. 쇠미선별기에서 선별된 쇠립들의 길이 분포

쇠미선별기의 대쇄미 출구와 소쇄미 출구에서 수집한 시료들의 길이 분포 조사에는 체 분석법을 사용하였는데, 그림 2-1 과 같이 ASTM 표준체 #30, #18, #16, #14, #12, #10 의 6개 체 (체눈 크기는 각각 0.59, 1.0, 1.19, 1.41, 1.68, 2.0 mm)를 조합하여 Ro-Tap 진탕기로 15분간 진탕한 후, 각 체 위의 잔류시료 중량을 측정, 이로부터 쇠립시료 길이의 산술평균과 분포도를 구하였다.

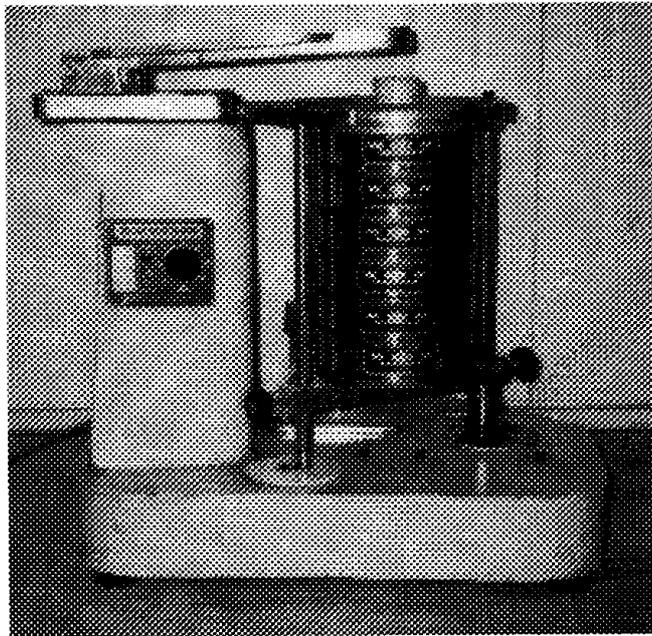


그림 2-1. Ro-tap 진탕기

쇠미선별기의 대쇄미 출구와 소쇄미 출구에서 수집한 쇠립시료들의 길이 분포 측정결과는 각각 표 2-9 및 표 2-10 과 같았다. 국립농산물품질관리원의 규정에 따른 대쇄미는 그 길이가 1.68 mm 이상 2.5 mm 이하, 소쇄미는 그 길이가 1.41 mm 이상 1.68 mm 이하인데, 표 2-9 와 2-10 의 결과는 대체적으로 이에 부합되었다. 그러나, 소쇄미와 심지어 이물로 선별되어야 할 것들이 대쇄미로 잘못 선별되고 있음도 알 수 있었으며, 특히,

그 길이가 1.4~1.68 mm 인 많은 소쇄미들이 대쇄미로 잘못 분류되는 문제점이 파악되었다 (그림 2-2). 또한, 쇄미선별기 소쇄미 출구에서 수집한 쇄립시료를 분석한 결과, 길이가 1.68 mm 이상이어서 대쇄미로 분류되어야 할 것과 길이가 1.4 mm 이하여서 이물 등으로 분류되어야 할 것들이 많이 섞여 있음을 알 수 있었다 (그림 2-3).

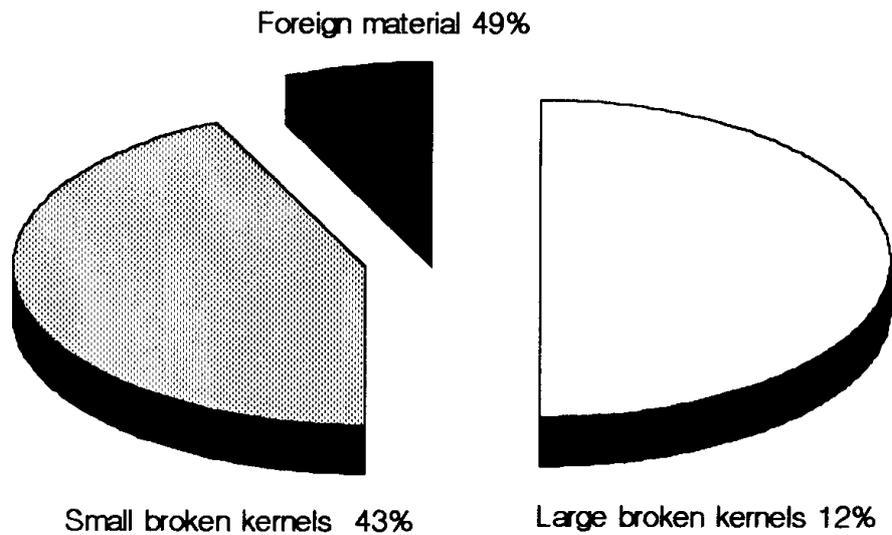


그림 2-2. 대쇄미 출구 배출물의 구성비

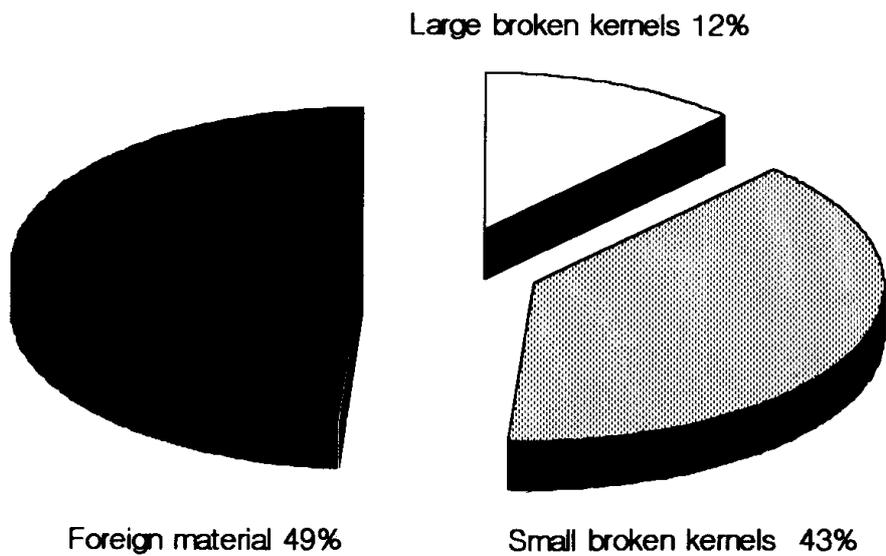


그림 2-3. 소쇄미 출구 배출물의 구성비

표 2-9. 쇄미선별기 대쇄미 출구에서 수집한 쇄립의 길이별 분포
(중량비, %)

항목 RPC 명	쇄립 길이 계급							길이 산술평균 (mm)	길이 표준편차 (mm)
	0.0~ 0.59mm	0.59~ 1.0mm	1.0~ 1.19mm	1.19~ 1.4mm	1.4~ 1.68mm	1.68~ 2.0mm	2.0 mm 이상		
경기모가	0.00	0.00	0.55	5.56	34.54	36.52	22.83	1.63	0.25
경기연천	0.00	0.11	0.66	11.85	53.07	29.19	4.12	1.48	0.21
경기여주	0.00	0.00	0.43	7.49	49.70	33.32	9.07	1.54	0.22
경기부발	0.00	0.00	0.10	0.17	6.40	18.59	74.74	1.90	0.18
강원양구	0.00	0.00	0.12	1.70	35.29	36.50	26.39	1.66	0.24
강원철원	0.00	0.00	0.10	0.74	18.69	47.23	33.24	1.74	0.22
충남합덕	0.00	0.00	0.35	3.06	32.02	53.59	11.00	1.62	0.21
충남서산	0.00	0.00	0.12	3.68	52.44	40.68	3.08	1.53	0.18
충남부여	0.00	0.21	0.38	4.18	48.11	43.85	3.27	1.54	0.19
충남동면	0.22	0.27	0.64	7.64	52.07	24.24	14.93	1.54	0.25
충북금왕	0.00	1.33	2.99	11.03	41.77	33.59	9.30	1.51	0.27
충북증평	0.00	0.09	2.51	31.10	65.99	0.30	0.00	1.32	0.12
전남금성	0.00	0.00	0.00	1.27	37.57	52.75	8.41	1.61	0.91
전남해남	0.00	0.71	0.61	8.86	74.52	14.04	1.27	1.42	0.16
전남함평									
전북김제	0.00	0.00	0.54	8.58	50.81	34.11	4.96	1.51	0.20
전북정읍	0.00	0.00	0.12	0.78	24.71	44.44	29.96	1.71	0.23
전북이리	0.00	0.02	0.31	4.48	39.69	49.60	5.91	1.57	0.20
경남군북	0.00	0.26	0.22	4.14	48.55	36.13	10.70	1.56	0.22
경남한림									
경남진주	0.00	0.00	0.00	1.10	30.41	37.29	31.20	1.70	0.24
경북문경	0.00	0.00	0.00	0.56	21.92	48.57	28.95	1.72	0.22
경북다인	0.00	0.06	0.28	6.74	56.40	35.28	1.24	1.50	0.18
경북용궁	0.00	0.00	0.23	6.96	63.89	27.89	1.10	1.47	0.17
평균	0.01	0.14	0.51	5.99	42.66	35.35	15.26	1.58	
표준편차	0.05	0.31	0.76	6.61	16.52	12.97	17.31	0.13	

표 2-10. 쇄미선별기 소쇄미 출구에서 수집한 쇄립의 길이별 분포
(중량비, %)

항목 RPC 명	쇄립 길이 계급							길이 산술평균 (mm)	길이 표준편차 (mm)
	0.0~ 0.59mm	0.59~ 1.0mm	1.0~ 1.19mm	1.19~ 1.4mm	1.4~ 1.68mm	1.68~ 2.0mm	2.0 mm 이상		
경기모가	0.05	7.64	35.76	46.13	10.35	0.06	0.00	1.10	0.19
경기연천	2.12	15.13	12.16	22.43	34.43	12.53	1.20	1.21	0.35
경기여주	0.00	0.00	8.81	50.66	36.55	3.98	0.00	1.11	0.16
경기부발	0.00	0.46	0.83	9.42	57.37	23.49	8.42	1.49	0.23
강원양구	0.11	1.22	2.36	9.71	60.96	23.81	1.82	1.44	0.21
강원철원	0.00	2.26	23.90	17.98	31.51	24.34	0.00	1.05	0.30
충남합덕	0.13	8.47	11.99	16.08	23.14	25.01	15.19	1.41	0.40
충남서산	1.74	44.75	12.31	22.74	18.45	0.00	0.00	0.93	0.33
충남부여	0.00	0.00	0.11	11.42	38.91	46.36	3.20	1.53	0.20
충남동면	6.30	8.41	7.51	21.71	48.45	5.67	1.96	1.23	0.33
충북금왕	0.66	23.58	39.23	31.37	5.16	0.00	0.00	0.98	0.24
충북증평	0.63	5.56	21.85	55.48	16.39	0.00	0.00	1.14	0.19
전남금성	0.00	2.28	2.36	14.40	50.44	28.12	2.40	1.44	0.24
전남해남									
전남함평	1.48	4.16	9.95	23.79	59.70	0.00	0.93	1.27	0.23
전북김제									
전북정읍	0.00	3.90	7.98	21.16	62.48	4.48	0.00	1.30	0.33
전북이리	0.76	9.18	17.38	42.35	26.96	2.48	0.89	1.17	0.26
경남군북	0.91	15.70	10.36	22.47	49.10	1.47	0.00	1.18	0.30
경남한림	0.00	0.48	0.80	5.98	63.77	27.69	1.28	1.47	0.18
경남진주	0.00	1.47	2.76	23.50	69.98	2.29	0.00	1.33	0.15
경북문경	0.46	10.28	5.68	25.73	56.36	1.49	0.00	1.24	0.26
경북다인	4.25	9.57	21.20	41.87	22.61	0.50	0.00	1.11	0.26
경북용궁	0.75	8.77	23.68	51.72	14.38	0.68	0.00	1.12	0.21
평균	0.93	8.33	12.68	26.73	38.98	10.66	1.70	1.24	
표준편차	1.57	10.11	11.00	14.83	19.82	13.43	3.56	0.17	

제 4 절 쇠미선별과 관련된 미립 물성의 측정

국내 RPC 방문 및 설문조사 결과, 품종별로 최종 포장 유통백미를 생산하여 출하하고 있는 곳은 거의 없었으며, 대부분의 경우 당해 년도에 확보된 원료곡을 품종구분 없이 혼합하여 건조, 도정, 포장 등의 가공을 하고 있었다. 또한, 농촌진흥청 작물시험장 문의 결과 (작물시험장, 2000), 우리나라에서 재배하고 있는 단립종 쌀의 경우, 길이, 폭, 두께와 같은 기하학적 물성은 품종에 따른 차이를 무시할 수 있다는 답변을 얻었다. 따라서, 백미의 선별관련 물성의 측정은 전국 24곳의 RPC 방문시 수집해 온 최종 포장 유통백미를 대상으로 하여 품종의 구분 없이 실시하였다.

백미 완전립의 선별관련 기하학적 물성의 측정은 그림 2-4와 같은 화상분석장치 (image analysis system) (박승재 등, 1998)로 백미 완전립의 영상을 얻은 후, 이로부터 길이, 폭, 두께, 둘레, 단면적을 프로그램에 의해 계산하여 수행하였다. 화상분석장치는 CCD 카메라 (Sony XC-711), Zoom 렌즈, RGB 모니터 (Sony KX-14CP1), 컴퓨터, 조명 및 무광 받침대로 구성하였으며, 광반사가 없는 무광 받침대 위에 20립의 백미 완전립과 보정용 기준 자를 함께 배열한 후, 이들의 영상을 취득하였다. 취득된 영상은 실제의 칫수와 차이가 나므로, 보정을 해 주었다. 보정방법은 버니어 캘리퍼스를 각각 가로, 세로 방향에서 영상을 취득한 후, photoshop 프로그램을 이용하여 버니어 캘리퍼스 1cm의 길이를 재어 보정계수를 구하였다. 백미의 화상은 CCD 카메라로 화상을 입력하여 화상이 맺힌 것을 TIF 파일로 저장하였다. 저장된 파일은 photoshop 프로그램으로 불러들여 백미의 윤곽을 떼어낸 다음, Matlab 5.1 소프트웨어 (Mathwork Inc.)를 사용하여 백미의 길이, 두께, 폭, 둘레, 단면적을 계산하는 프로그램을

구성하였다. 실험은 반복 당 백미 완전립 100립을 대상으로 3반복 실시하였다.

본 연구에서는 상기 기하학적 물성 이외에도 백미 완전립의 천립중, 산물밀도 및 함수율을 기본 물성치로서 측정, 제시하였다. 천립중은 무작위로 추출한 백미 완전립 1,000립의 무게를 측정하여 계산하였고, 산물밀도의 측정에는 그림 2-4의 곡물 산물밀도 측정장치 (Seedburo model 8800 Computer Grain Scale)를 사용하였으며, 시료의 습량기준 함수율은 10g 입자/135°C/24시간의 대류오븐법으로 3반복 측정하였다.

쇄립 판별을 위해 필요한 완전립의 길이, 폭, 두께, 둘레, 단면적 등의 기하학적 물성 및 기타 기본 물성치의 측정결과는 표 2-11 과 같았다. 백미 완전립의 길이, 폭, 두께의 평균치는 각각 5.02, 2.93, 2.03 mm로서, 金 등 (1996) 이 보고한 국내 일반계 백미 5품종의 길이, 폭, 두께의 평균치인 4.93, 2.80, 1.76 mm 및 농촌진흥청 작물시험장의 자료 (1995) 와 비교했을 때, 큰 차이는 없다고 판단된다. 천립중 역시 기존 연구결과와 큰 차이는 없었다 (金 등, 1990).

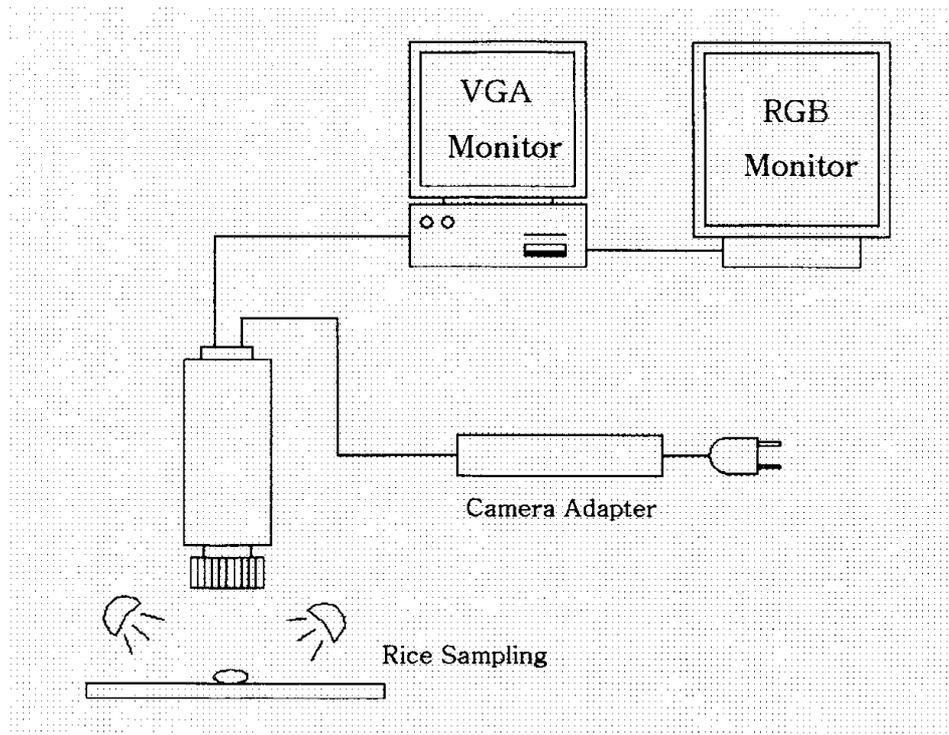


그림 2-4. 화상분석 장치



그림 2-5. 산물밀도 측정장치

표 2-11. 시중 유통백미의 쇠립선별 관련 기하학적 물성과 기타 기본 물성치

항목 RPC 명	완전립의 기하학적 물성						함수율 (%,w.b.)	천립중 (g)	산물밀도 (kg/m ³)
	길이 (mm)	폭 (mm)	두께 (mm)	장폭비	둘레 (mm)	단면적 (mm ²)			
경기모가	4.87	2.85	1.99	1.71	11.61	10.72	14.4	19.28	747.0
경기연천	4.99	2.91	2.00	1.71	11.92	11.30	15.4	20.10	755.5
경기여주	5.23	2.93	2.00	1.78	12.22	11.90	15.4	19.78	743.1
경기부발	4.85	2.88	1.98	1.68	11.69	10.87	15.5	18.85	742.3
강원양구	5.28	2.97	2.12	1.78	12.34	12.12	16.1	22.40	741.5
강원철원	5.20	2.98	2.12	1.74	12.27	11.19	16.2	22.68	739.1
충남합덕	4.91	2.90	1.99	1.69	11.77	11.02	15.5	20.48	750.8
충남서산	4.94	2.91	2.04	1.70	11.85	11.18	15.1	20.39	749.5
충남부여	4.97	2.91	2.06	1.71	11.87	11.24	15.2	20.75	751.3
충남동면	4.93	2.89	2.00	1.71	11.79	11.06	15.4	20.28	740.5
충북금왕	5.02	2.87	1.98	1.75	11.90	11.28	15.8	20.37	757.2
충북증평	4.96	2.89	2.01	1.72	11.84	11.17	15.7	20.26	741.9
전남금성	5.05	2.93	2.02	1.72	12.05	11.56	15.9	21.22	735.1
전남해남	4.93	2.89	2.00	1.71	11.79	11.06	15.6	19.80	736.9
전남함평	4.98	2.88	2.02	1.73	11.47	11.17	16.1	20.39	775.5
전북김제	5.06	2.93	2.04	1.73	12.00	11.47	15.6	20.48	741.6
전북정읍	5.03	2.89	2.02	1.74	11.93	11.33	15.2	20.54	743.1
전북이리	5.07	2.90	2.04	1.75	12.00	11.47	15.3	20.07	736.4
경남군북	4.93	2.89	1.98	1.71	11.79	11.15	14.7	19.31	734.2
경남한림	4.91	2.91	2.04	1.69	11.81	11.10	14.6	20.17	746.9
경남진주	4.95	2.88	2.04	1.72	11.56	11.15	14.6	19.83	744.7
경북문경	4.90	2.97	2.03	1.65	11.88	11.23	15.5	20.15	745.4
경북다인	4.90	2.97	2.05	1.65	11.92	11.30	15.5	20.94	734.3
경북용궁	4.97	2.90	2.02	1.71	11.85	11.18	15.3	20.13	752.4
평균	4.99	2.91	2.02	1.72	11.88	11.26	15.4	20.36	745.3
표준편차	0.11	0.03	0.04	0.03	0.21	0.30	0.5	0.85	9.1

제 5 절 정밀 쇄미선별을 위한 쇄미 기준·계급의 설정

2 절의 쌀 생산 주요 국가들이 채택하고 있는 쇄미의 기준과 정의 및 3 절의 국내 유통백미의 쇄립 혼입상태를 그림 2-6 과 같이 종합, 정리하였는데, 먼저 우리나라, 일본, 미국의 쇄미 기준으로부터 몇 개의 핵심적인 값들을 추출할 수 있었다.

미국의 쇄미는 완전립 길이의 $\frac{3}{4}$ 이하인 낱알로 정의되며, 단립종 백미 완전립의 평균길이는 5 mm 정도이므로, 이는 3.75 mm 에 상당한다. 일본과 우리나라의 경우, 쇄미의 정의는 각각 완전립 길이의 $\frac{2}{3}$ 와 $\frac{1}{2}$ 이하인 낱알이므로, 이에 상응하는 수치는 3.3 mm 와 2.5 mm 이다. 일본의 이물 기준 그리고 우리나라의 소쇄미 기준에는 1.68 mm 라는 수치가 동일하게 사용되고 있다.

그림에서 알 수 있듯이, 국내 유통백미에는 3.3~3.75 mm 범위에 속하는 쇄립은 0.6%, 1.75 mm 이하의 범위에 속하는 쇄립은 0.3% 밖에 포함되어 있지 않으며, 쇄립들의 길이분포는 완전립 길이의 $\frac{1}{2}$ 인 2.5 mm 를 중심으로 펼쳐져 있다.

따라서, 본 연구에서는 길이 3.75 mm 를 기준으로 완전립과 쇄립을 구분하여, 길이 3.75 mm 이상인 미립을 완전립으로 정의하였다. 또, 현행 쇄미의 정의와 기준을 보다 강화하여 RPC 백미제품의 품질경쟁력 향상을 유도하고자 길이가 1.75 mm 이하인 미립은 이물로 간주하여, 길이 1.75 mm~2.5 mm 인 미립만을 쇄미로 정의하였다. 이에 따라, 완전립의 차하위 계급인 2.5~3.75 mm 길이의 미립은 준완전립이라 정의했다.

한국	미국	일본
대쇄미 1.68 ~ 2.5 mm (1/2L)	대쇄미 2.38 ~ 3.75 mm (3/4L)	쇄립 1.68 ~ 3.3 mm (2/3L)
소쇄미 1.41 ~ 1.68 mm	소쇄미 2.18 ~ 2.38 mm	이물 < 1.68 mm
이물 < 1.41 mm	양조미 < 2.18 mm	

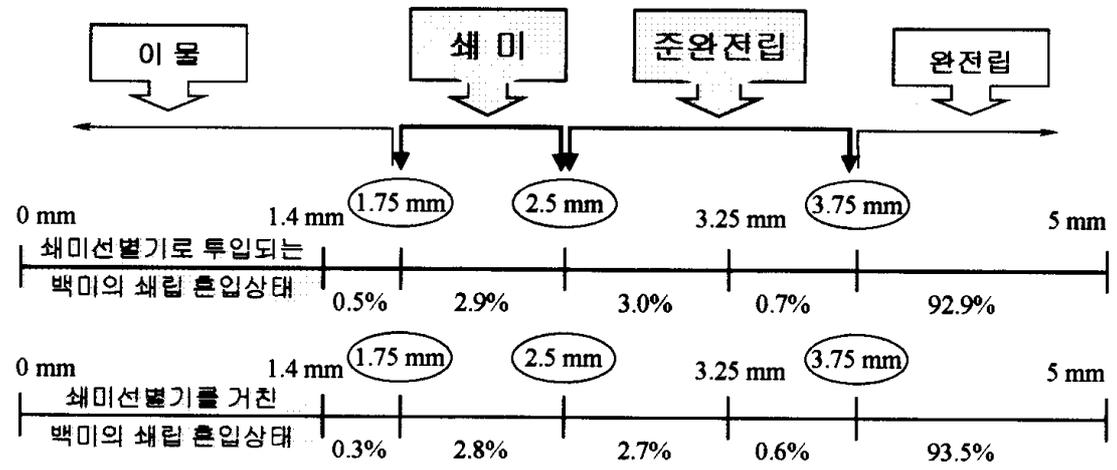


그림 2-6. 정밀 쇄미선별을 위해 설정된 쇄미의 기준 및 계급

제 6 절 결 론

미국종합처리장 (RPC)에서 수행되고 있는 쇄미선별공정의 개선을 통해, 국내산 백미제품의 쇄립 혼입상태를 보다 더 정밀하게 관리하기 위한 기초 연구로서, (1) 주요 미국 생산국가들의 백미 등급표준 및 검사규격의 분석·비교, (2) 국내 유통백미의 쇄립 혼입상태 조사, (3) 현행 RPC 쇄미선별공정의 실태조사, (4) 쇄립선별과 관련된 미립의 물성 측정을 실시하였고, 그 결과를 바탕으로 하여 국내 유통백미 제품의 등급판정에 사용할 수 있는 쇄립 기준을 결정하여 제시하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 백미제품 중의 쇄립 허용 혼입율에 관한 우리나라의 규격은, 일본백미 1등 표준품의 기준 및 미국백미 1등급 제품의 기준에 비견될 정도였지만, 쇄립의 정의 자체는 엄격하지 않았다. 또한, 미국과 일본

과는 달리, 쇠립 혼입을 차이에 따른 백미 제품의 등급 체제가 존재하지 않았다. 이러한 사실을 종합하여 일본과 미국의 규격과 비교했을 때, 쇠미 혼입에 관한 한 우리나라는 매우 관대한 규격을 적용하고 있다고 판단된다.

2. 국내 유통백미 제품의 경우, 완전립 길이의 3/4 이상인 낱알들이 차지하는 중량 구성비는 93.5%였다. 완전립 길이의 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$, $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$, $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 및 $\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}$ 에 해당하는 길이를 가진 낱알들의 중량비는 각각 0.3, 2.8, 2.7 및 0.6% 이어서, 쇠립들의 길이는 2.5 mm를 중심으로 주로 분포되어 있었다. 쇠립 혼입정도에 따른 국내 유통백미 제품의 등급은 한국과 일본의 기준을 적용할 경우, 쇠립의 총량 면에서는 만족할 만한 수준이었다. 그러나, 한국의 잔싸라기 기준, 일본의 이물 함유비 기준, 미국의 6호체 통과분 기준이 적용될 경우, 국내 유통백미 제품의 등급은 매우 불량하였다.
3. 거의 모든 RPC에서는 쇠미선별설비로 로타리 시프터를 채택, 사용하고 있었으며, 로타리 시프터 사용상의 문제는 회전몸체를 지지하는 rod spring의 파손 등 구조와 관련된 것이었다. 로타리 시프터에 의한 쇠립의 선별과 제거정도는 만족할 만한 수준은 아니었다.
4. 국내 유통백미 완전립의 길이, 폭, 두께는 각각 5.02 mm, 2.93 mm, 2.03 mm이었으며, 산물밀도와 천립중은 각각 745.3 kg/m^3 및 20.46 g이었다.
5. RPC 백미제품의 품질경쟁력 향상을 유도하고자 현행 쇠미의 정의와 기준을 보다 강화하여 다음과 같은 쇠미 기준과 계급을 설정, 제시하였다.

- "완전립" - 길이가 3.75 mm 이상인 미립
- "준완전립" - 길이가 2.5~3.75 mm 인 미립
- "쇄미" - 길이가 1.75~2.5 mm 인 미립
- "이물" - 길이가 1.75 mm 이하인 미립

제 3 장 원통형 흙 선별기의 쇄미선별 특성

제 1 절 서 언

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, 제 4 장 2 절에서는 기존 로타리 시프터 쇄미선별기의 쇄미선별성을 평가하였다.

그러나, 로타리 시프터 쇄미선별기의 성능평가 결과와 제 2 장 3 절의 국내 시중 유통백미 중의 쇄미 혼입상태 조사 결과 양자를 연계하여 종합적으로 판단해 볼 때, 로타리 시프터의 단독 사용만으로는 제 2 장 5 절에서 제시한 쇄미 기준과 계급에 기초를 둔 정밀쇄미선별공정의 구현에는 한계가 있다고 생각된다. 따라서, 쇄미선별에 더욱 효과적이라고 알려진 원통형 흙 선별기를 개발하여 로타리 시프터와의 조합 사용 또는 원통형 흙 선별기의 단독 사용에 의한 보다 정밀한 쇄미선별이 필요할 것으로 판단하였다.

이에 실험실용 원통형 흙 선별기를 사용한 쇄미선별 실험을 우선 실시하여 흙 선별의 기본 mechanism 을 파악하고, 얻어진 실험결과를 상업용 규모의 쇄미선별공정을 위한 원통형 흙 쇄미선별기 시작품의 설계와 제작 자료로 활용하고자 하였다.

제 2 절 실험실용 원통형 흙 선별기를 사용한 썬미의 선별실험

1. 실험장치

가. 원통형 흙 선별기

실험에 사용된 Labofix '90 (그림 3-1)은 독일 Schmidt AG사 제품으로 많은 선행연구 결과 뛰어난 성능을 발휘하는 것으로 입증된 실험실용 원통형 흙 선별기이다. Labofix' 90은 조선과 정선을 일괄처리하기 위해 공기선별, 체선별, 흙선별 등의 다양한 선별부를 갖고 있다. Labofix'90의 일반적인 제원은 표 3-1과 같다.

표 3-1. Labofix '90의 제원

	Specification
외형 크기	1250×550×970 mm (L×W×H)
중량	75 kg
소요동력	0.37 kW (3. phase, 220/380 V, 50 Hz)
처리능력	50 kg/h (for wheat)
동체 경사각 조절 범위	0°, 2°, 7° (3 steps)
선별원통의 정격 회전속도	30 rpm
선별원통의 크기	373×φ 245 mm

그림 3-2에서 호퍼에 담긴 시료는 투입장치 ①과 ②에 의해 2단계로 투입되는데, ①은 게이트로서 시료의 투입량을 조절하며, ②는 진동장치로서 시료의 균일한 투입을 담당한다. 배플 ④는 시료 내의 이물질과 미강 등 비교적 가벼운 물질을 흡입, 제거하는 공기 선별부의 흡입 공기량을 조절

한다. 조선용 체 (pre-cleaning sieve) ③은 검불과 같은 이물질의 제거에 사용되는데, 본 연구에서는 이를 탈거한 상태로 실험하였다. 정선용 원통 체 (fine screening cylinder) ⑥은 선별대상물의 직경 및 폭에 따른 체선별 장치로서, 쇄미의 흙 선별에 관한 본 연구에서는 이를 밀봉시킨 상태로 실험을 실시하였다.

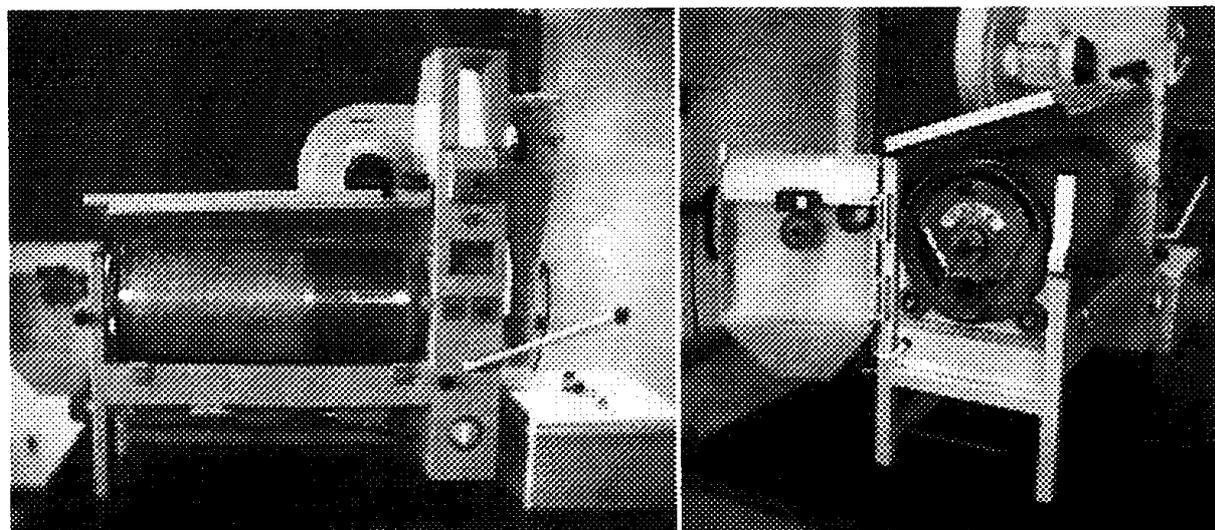


그림 3-1. 실험실용 원통형 흙 선별기 Labofix '90

Labofix '90의 흙 선별부는 곡립 길이의 차이를 이용하여 선별을 수행하며, 회전하는 선별원통과 V자형 집적통 (trough)으로 구성되어 있다. 회전원통의 안쪽 벽면에는 일정한 모양의 흙들이 파여져 있는데, 곡물이 회전원통의 내부로 공급되면 길이가 짧은 곡립은 흙 속에 완전히 들어가기 때문에 원통이 어느 정도 회전한 후에야 흙에서 빠져나와 trough로 떨어지지만, 길이가 긴 곡립은 흙 속에 완전히 들어가지 못하기 때문에 일찍 낙하하여 원통 내로 다시 떨어진다. 따라서, 짧은 곡립은 trough에 수거되며, 긴 곡립은 원통을 따라 출구 쪽으로 이송되어 양자간의 분리, 선별이 이뤄지게 된다.

Trough의 밑면은 원통 회전축에 대해 약 7° 정도 경사져 있으며, 또한

trough 배출부에는 진동장치가 있어 집적통에 수거된 곡립들이 원활히 배출되도록 되어 있다. 또, trough의 좌우 기울기를 조절핸들로 조절함으로써 회전원통에 대한 trough 양 옆면의 상대위치를 변경할 수 있는데, 이는 회전원통의 회전속도와 관련되어 중요한 작동인자로 여겨지고 있다.

선별원통의 회전수는 원통 구동모터와 전원 간에 주파수 인버터 (Starvert-iG5, LG Industrial System. Co.)를 장착하여 조절이 가능하도록 하였다.

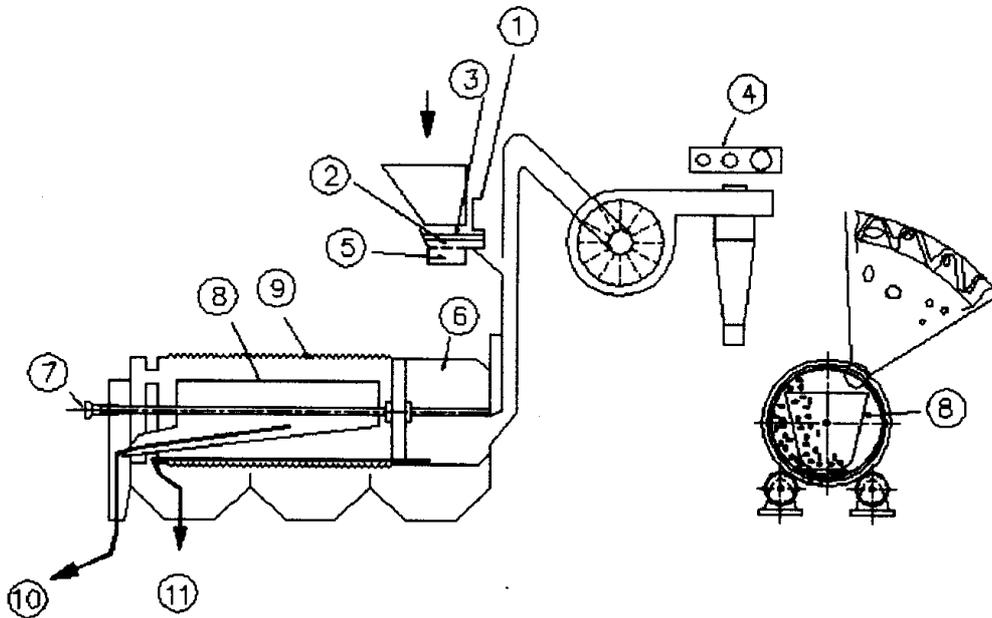


그림 3-2. 실험실용 원통형 흙 선별기 Labofix '90의 내부 구조

- 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 Trough angle adjustment ; ⑧ Trough ; ⑨ Indented cylinder ; ⑩ Broken kernel outlet ; ⑪ Whole kernel outlet

나. 입 선별기 (rice sizing device)

본 실험에서는 투입원료, 선별원통 끝단으로 배출된 시료, 그리고 trough로 수거되어 배출된 시료의 쇄미 함유량 및 분포도를 정확히 측정해야 했으며, 이를 위해 그림 3-3의 입 선별기 (Grainman, Seedburo Equip. Co., U.S.A.)를 사용하였다.

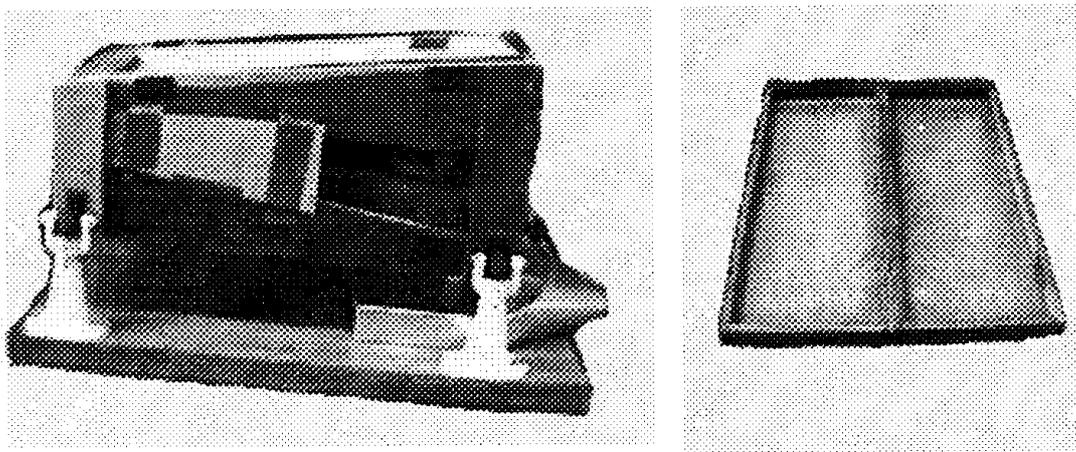


그림 3-3. 입 선별기 (Rice sizing device)

입 선별기는 체 판 (plate sieve)을 이용해서 소량의 백미시료 중의 쇄미 함유량을 분석할 수 있도록 고안된 장치로서 미국 농무성 (USDA)의 인증을 받고 있다 (USDA, 1976). 입 선별기 상단의 투입부에 적하된 시료는 기기 본체에 여기된 요동에 의해 체 판 위를 미끄러져 내려오게 된다. 체 판에 파여진 홈의 크기보다 작은 쇄립은 홈 속에 끼여 있게 되어, 시료가 완전히 배출된 후 체 판을 수거, 쇄립의 양을 측정함으로써 시료 중의 쇄립 혼입량 계산이 가능하다.

본 실험에서는 6호 체 판 (6P)과 0.135호 체 판 (0.135P)을 사용했는데, 6P와 0.135P에는 각각 2.38 mm 와 3.43 mm 직경의 홈들이 파여져 있어 6P는 쇄미를, 0.135P는 준완전립을 분리하려는 목적으로 사용하였다. 전술

했듯이 본 연구에서 채택한 완전립과 준완전립, 그리고 준완전립과 쉼이의 구분 길이는 각각 3.75 mm 와 2.5 mm 지만 국내 시중 유통백미를 조사한 결과 (제 2 장 3 절)에 따르면, 3.25 mm ~ 3.75 mm 범위의 길이를 갖는 미립은 많지 않았기 때문에 0.135P를 사용한 준완전립의 분리에는 무리가 없으리라 판단하였다.

2. 실험재료

실험에 필요한 시료는 RPC에서 가공되어 시중에 판매, 유통되고 있는 2000년 전북 김제산 일미 품종의 품질인증미를 선택했다. 총 120 kg의 구입시료 가운데 112 kg를 실험에 사용하였다. 실험재료의 조제를 위해, 우선 120 kg의 구입시료 전부를 잘 혼합한 다음 12군데에서 각각 125 g의 표본시료를 채취하였다. 이 12개의 표본시료에 혼입되어 있는 완전립, 준완전립, 쉼이의 양을 입 선별기로 분석한 결과, 완전립 97.21%, 준완전립 2.6%, 쉼이 0.19%의 혼입율을 보였다. 여기서 쉼이의 혼입율이 국내 시중 유통백미를 조사한 결과 (제 2 장 3 절)에 비해 상당히 적었는데 이는 시료로서 품질인증미를 사용했기 때문으로 생각되었다. 실험재료의 쉼이 혼입율이 너무 적으면 현행 RPC에서 생산되고 있는 평균적인 백미제품을 충실히 대변할 수 없다고 판단하여, 미리 준비해 둔 쉼이를 시료에 적정량 혼합하여 완전립, 준완전립, 쉼이의 혼입비율을 각각 95.2%, 2.6%, 2.2%로 조절하였다. 다음, 이렇게 준비된 시료를 7 kg씩 총 16개의 군으로 나누고, 각각을 두꺼운 비닐봉지에 넣어 상온에서 보관하였다.

3. 실험 방법

가. 선별에 영향을 주는 인자

흙 선별에 영향을 주는 인자는 다음과 같이 크게 3가지로 분류된다.

① 원통형 흙 선별기의 구조적 요인에 관련된 인자

indent의 크기와 형상, indent의 배치밀도, cylinder의 직경과 길이, cylinder의 회전수, cylinder의 재질

② 선별대상의 물성에 관련된 인자

크기와 형상, 마찰계수, 물성치의 분포도, 함수율

③ 작동조건에 관련된 인자

투입량, 선별시간, cylinder의 경사각도, trough의 기울기, 흡입 fan의 송풍량

상기 각 인자들은 흙 선별에 복합적으로 영향을 미치지만 이들 중 상당수는 고정된 값을 갖게 된다. 즉, 상용의 실험실 규모 원통형 흙 선별기를 사용함으로써 실린더 크기와 재질, indent의 배치밀도, 마찰계수 등의 인자는 자동적으로 고정된다. 또, 선별기 본체의 경사도는 2° 로, 흡입 송풍량도 기류에 의해 쇄미가 제거되지 않는 수준으로, 선별시간은 한 처리에 총 8분 동안 약 7kg의 시료가 통과되도록 정하여 실험을 실시하였다. 따라서, 본 연구에서는 공급량, 실린더 회전수, trough 경사각도, indent 크기와 모양을 실험인자로 선택하였다.

1) 공급량

공급량은 원통형 흙 선별기의 처리용량과 밀접한 인자로서, 제조사에서 밝힌 Labofix '90의 처리용량은 시간당 50kg이기 때문에 이를 기준으로 공급량의 수준을 설정하였다. 상기 수치는 밀의 선별시 제시된 값이지만

쌀에도 적용이 가능할 것으로 판단하여, 시간당 50 kg 과 25 kg 을 공급량의 수준으로 정하였다.

2) 실린더의 회전수

실린더의 회전수는 trough 각도와 함께 가장 중요한 선별인자 중의 하나로 여겨진다. 운동학적 지수 K 값으로서도 흔히 표시되는 회전수는 홈 선별시 입자에 작용하는 원심력과 중력의 상관관계를 고려함으로써 구할 수 있다. 회전하는 실린더 내면에 파여진 홈 속에 들어간 입자는 수직 상방향 정점에 이르기 전에 중력에 의해 낙하하여 trough로 수거되어야 하므로, 실린더의 최대 회전속도는 정점에서 입자에 작용되는 원심력이 중력보다는 작아야 한다는 조건에 의해서 식 (3-1)과 같이 표현할 수 있다.

$$mR_c\omega^2 < mg \dots\dots\dots (3-1)$$

$$K \triangleq \frac{R_c \omega^2}{g} = \frac{\pi^2 n^2 R_c}{900g} \dots\dots\dots (3-2)$$

(3-2)식에서 회전수 n 은 다음과 같이 표현된다.

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{Kg}{R_c}} \text{ (rpm)} \dots\dots\dots (3-3)$$

여기서, n = 실린더의 회전수 (rpm), K = 운동학적 지수, R_c = 실린더의 반경 (m), g = 중력가속도 (9.8 m/s^2), ω = 실린더의 각속도 (rad/s)

하지만 쌀을 대상으로 한 홈 선별에 대한 연구는 문헌조사 결과 거의 찾아볼 수 없었기 때문에, 적절한 K 값을 선정하여 (3-3) 식으로부터 실험에 사용할 회전수 n 을 결정하기가 매우 곤란하였다. 또한, 문헌에 따라서 고속용 원통형 홈 선별기와 저속용 원통형 홈 선별기에 대한 적정 K 값의 범위가 각기 달리 제시되어 있기도 하였다.

기존 문헌 (Grochowicz, 1980)에 따르면 고속용 원통형 홈 선별기에 대

한 K 값의 범위로 0.53~0.55가 제시된 사례가 있으며, 밀과 귀리를 대상으로 고속용 원통형 흙 선별기를 사용할 경우, K 값의 범위로 각각 0.3~0.35와 0.4가 제시되었다. 저속용 원통형 흙 선별기의 경우에는 K 값의 범위가 0.04~0.09로 제시되었다. 이렇듯 연구자들 사이에서도 적정 운동학적 지수에 대해서 엇갈리는 해석을 내놓고 있다. 이에 본 연구에서는 K의 최대 값인 1과 최소 값으로 제시된 0.04 사이에서 4개 수준의 실린더 회전수를 선택, 실험을 수행하였다. 운동학적 지수 K가 1과 0.04가 되도록 하는 실린더 회전수는 (3-3) 식을 이용해서 구할 수 있는데, 각각 86 rpm과 17 rpm으로 계산되었다. 그러나, 예비실험 결과 86 rpm의 경우, 회전속도가 너무 커 원통 내로 투입된 대부분의 시료가 미처 선별되지 않은 채 그대로 trough로 들어가 버리는 현상이 나타났다. 따라서 상기 최대 회전수의 80, 60, 40, 20%에 해당하는 69, 51, 34, 17 rpm을 실험수준으로 선택하였다.

3) Trough의 각도

Trough의 각도는 실린더의 회전수와 밀접한 관련이 있다. 즉, 실린더의 회전수와 연계하여 trough의 각도를 적절히 선택해야만 흙 선별에서의 선별성능을 극대화할 수 있다. 식 (3-4)는 회전하는 실린더의 흙 속에 들어간 작은 입자가 낙하하지 않고 흙에 머물러 있을 수 있는 원통의 한계 회전각 γ 를 운동학적 지수 K와 연관지어 표현한 이론식이다.

$$\gamma = \sin^{-1}(K) \dots \dots \dots (3-4)$$

하지만 위 식을 그대로 적용하여 trough각 β 를 결정하기에는 다소 무리가 따른다. 왜냐하면 위 식은 흙 속의 작은 입자가 어떤 고정된 한 자세로 위치해 있을 경우, 입자에 작용하는 힘들의 관계를 고려해서 유도된 식이기 때문이다. 실제의 경우, 실린더의 내면 흙 속에 들어간 작은 입자

들은 서로 다른 다양한 자세를 유지하게 될 것이기 때문에 실린더 내면과 입자간의 마찰력, 입자가 흠으로부터 받는 지지력, 입자가 흠을 이탈하는 형태 등에는 많은 차이가 존재하게 된다. 또, 그림 3-4에서 보듯이 흠에서 이탈된 입자는 원심력으로 인해서 포물선 낙하운동을 하게 되므로, trough의 각도 β 를 결정하는 γ 값은 식 (3-4)의 결과보다도 더 커져야 한다.

실린더의 회전방향이 시계방향인 원통형 흠 선별기에서 완전립과 쇠립의 선별적 이탈은 그림 3-4에서 보듯이 2사분면에서 이뤄진다. 따라서, trough 각도의 수준으로는 2사분면에서 4개의 값을 선택했다. 실험장치인 Labofix '90의 trough 각도 조절은 7.5° 간격으로 가능하였기 때문에 실험에 사용한 4개의 β 값은 $15^\circ, 37.5^\circ, 60^\circ, 82.5^\circ$ 였다.

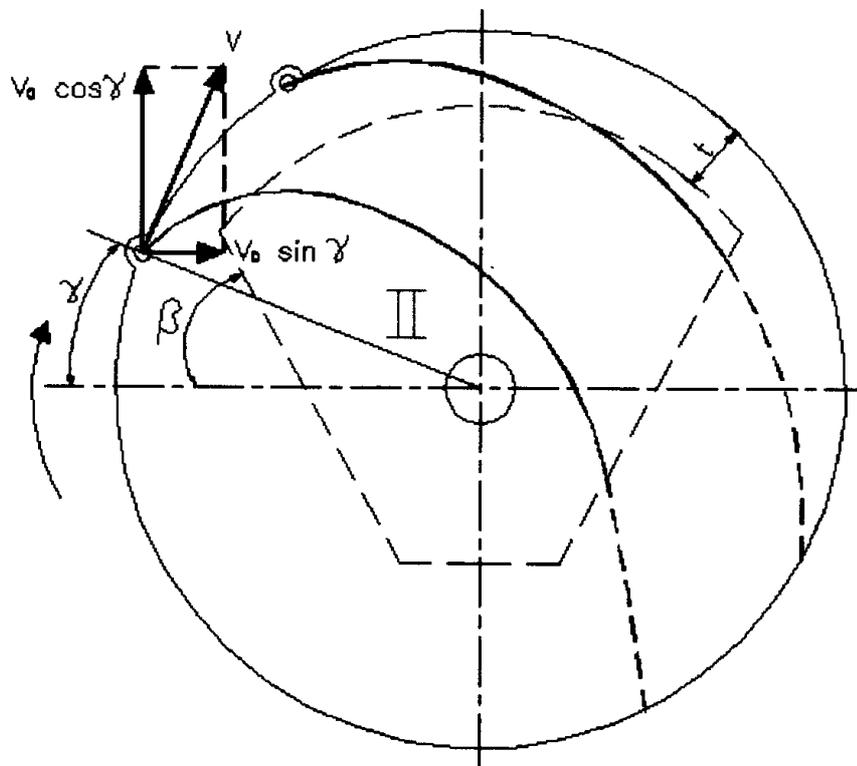


그림 3-4. 원통의 한계 회전각 γ 와 trough 각 β 간의 관계

4) Indent의 크기와 모양

원통형 흠 선별기에 사용되는 indent의 대표적인 형상으로는 그림 3-5와 같은 말발굽형 (Us type), 반구형 (S₁ type), 원통형 (S₂ type)의 세 가지가 있으며, 이들 흠의 주요부 치수는 선별대상 곡물의 기하학적 특성에 의해 결정된다. 그림 3-5에 표시된 W와 D가 흠의 대표치수로 사용되며, 쇄미선별용의 경우에는 이들의 결정기준으로서 완전립의 평균길이를 l 이라고 할 때, 다음과 같은 식을 사용한다.

$$W = \frac{2}{3} l, \quad D = \frac{1}{2} W \dots \dots \dots (3-5)$$

앞에서도 설명한 바와 같이 흠의 크기와 모양은 기 설정한 완전립, 준완전립, 쇄미의 정의에 따른 미립 길이의 경계값이 3.75 mm와 2.5 mm이기 때문에 말발굽형 (Us 3.75, Us 2.5) 두 가지와 반구형 (S₁ 3.75, S₁ 2.5) 두 가지를 선택했다. 원통형 (S₂)의 경우는 선별능력은 우수하지만 흠의 막힘 현상이 많다고 알려졌기 때문에 본 연구에서는 제외시켰다 (山下 등, 1987).

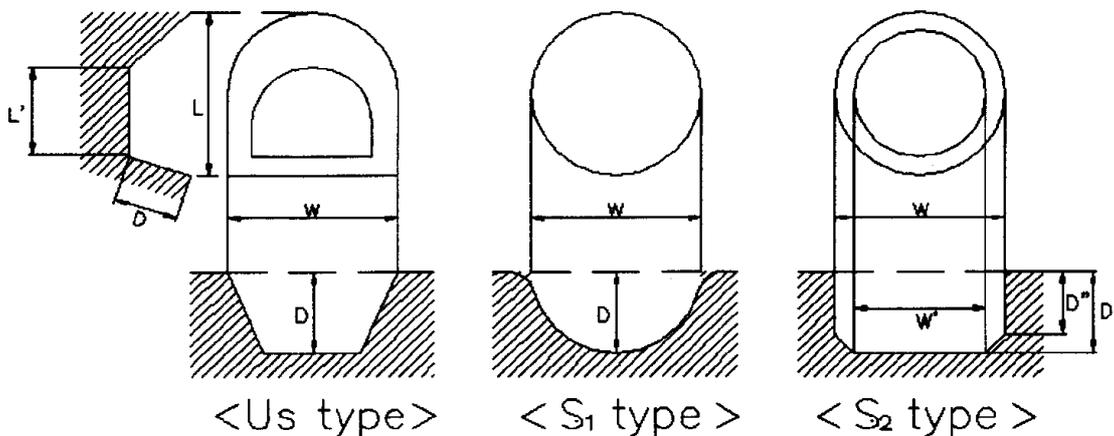


그림 3-5. 흠의 종류

말발굽형 홈을 가진 선별원통은 Labofix '90 제조회사로부터 본체와 함께 구입한 것이며, 반구형 홈 선별원통은 국내에서 제작하였다. 단위면적당 홈의 개수는 2.5 mm 홈의 경우, 말발굽형이 8.33 개/cm², 반구형은 5 개/cm² 으로 약 1.67배의 차이를 보였고, 3.75 mm 홈의 경우는 말발굽형이 3.22 개/cm², 반구형이 3.11 개/cm² 으로 거의 동일했다.

나. 실험 처리

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

홈의 모양 (U_s, S₁) × 홈의 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

호퍼로부터 선별기 내부로의 원료투입이 시작된 후 투입시료의 흐름이 정상상태에 도달되었다고 판단한 3분 후부터 2분간 완전립 출구로부터의 배출물을 전량 수거한 다음, 이로부터 분석용 시료를 125 g 씩 2회 채취했다. 쇄미와 준완전립이 대부분인 trough 로부터의 배출물은 2분 동안 분석용 시료를 채취할 경우, 절대량이 적어 처리시간인 8분간 받은 전체 수거량으로부터 125 g 의 분석시료를 채취했다. 다만, trough 수거물의 총량이 1 kg 이상일 경우에는 역시 125 g 씩 2회 분석시료를 채취하였다.

분석시료의 양을 125 g 으로 정한 이유는 이 정도의 양을 입 선별기에서 사용했을 때, 최적의 분석결과를 얻었기 때문이었다. 즉, 입 선별기 체 판

의 단위면적 당 흙 수에 비해 분석해야 할 시료량이 많아지게 되면 시료를 여러 번 통과시켜야만 정확한 분석이 가능하여 분석작업의 능률이 크게 떨어지게 되었다.

선별성능의 계량화에 일반적으로 사용되는 수거율, 순도, 선별효율은 입선별기로 측정된 trough 수거물 및 완전립 출구 배출물의 완전립, 준완전립, 쇄미의 혼입량과 선별기 투입원료의 완전립, 준완전립, 쇄미의 조성비로부터 다음 식들에 의해 계산하였다. 이 때, 선별원통 흙의 크기가 2.5 mm 인 처리에서는 trough 출구로는 쇄미만이, 완전립 출구로는 완전립과 준완전립이 배출되며, 흙의 크기가 3.75 mm 인 처리에서는 trough 출구로는 쇄미와 준완전립이, 완전립 출구로는 완전립만이 배출되는 것이므로 이를 고려하여 각 경우에 있어서 수거율과 순도를 구하였다.

$$E_w = \frac{W_1}{W} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (3-6)$$

E_w = 완전립의 수거율

W = 선별기에 투입된 완전립의 총량 (g)

W_1 = 완전립 출구 배출물 중 완전립의 총량 (g)

$$P_w = \frac{W_1}{K} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (3-7)$$

P_w = 완전립의 순도

K = 완전립 출구 배출물의 총량 (g)

W_1 = 완전립 출구 배출물 중 완전립의 총량 (g)

$$E_B = \frac{B_1}{B} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (3-8)$$

E_B = 쇄립의 수거율

B = 선별기에 투입된 채립의 총량 (g)

B_1 = Trough 수거물 중 채립의 총량 (g)

$$P_B = \frac{B_1}{T} \times 100 (\%) \dots \dots \dots (3-9)$$

P_B = 채립의 순도

T = Trough 수거물의 총량 (g)

B_1 = Trough 수거물 중 채립의 총량 (g)

일반적으로 선별기의 선별성능 평가는 선별성능을 대표할 수 있는 단일 지수를 정의하여 그 값을 비교함으로써 행해진다. 본 연구의 대상인 원통형 흙 쇄미선별기의 사용목적은, 정백과정이 끝난 백미에 혼입되어 있는 채립을 효율적으로 분리, 제거하여 최종 백미제품의 상품성을 높이고자 함이었다. 따라서, 이러한 정성적인 목표를 계량화하여 나타낼 수 있으며, 동시에 선별이라는 단위공정 자체의 효율을 표시할 수 있는 단일지수의 결정이 우선 필요하였다. 기존 문헌에 언급된 다양한 지수들을 검토한 결과, 본 연구에서는 다음과 같이 정의되는 선별효율을 선택하였다 (Kuprits, 1967).

$$\eta = \{ E_W \times E_B \times P_B \} \times 100 (\%) \dots \dots \dots (3-10)$$
$$= \left(\frac{W_1}{W} \times \frac{B_1}{B} \times \frac{B_1}{T} \right) \times 100 (\%)$$

η = 선별효율

E_W = 완전립의 수거율

E_B = 채립의 수거율

P_B = 채립의 순도

제 3 절 원통형 흙 선별기의 수거율 · 순도 특성

총 128개 전체 실험처리에서의 완전립 수거율, 완전립 순도, 쉘립 수거율, 쉘립 순도, 선별효율 값들을 표로 정리, 각 관련 단원에 수록하였다. 표에서 U_s 와 S_1 은 흙의 형태를 구분하는 기호로서, 각각 말발굽형과 반구형을 뜻하며, 흙의 크기인 2.5 mm와 3.75 mm를 이 기호 뒤에 부기하였다. F_1 과 F_2 는 공급량의 기호로서, 각각 공급량이 25 kg/hr와 50 kg/hr를 의미한다. 또한 기호 S 는 실린더 회전수를 나타내고, A 는 trough의 각도를 뜻하며, 1에서 4까지의 숫자들은 앞에서 설명했던 이들 요인들의 수준인 17, 34, 51, 68 rpm과 15, 37.5, 60, 82.5°를 의미한다.

1. 완전립 수거율 (degree of extraction of whole kernels)

선별기 투입원료에 포함된 완전립이 trough로 잘못 수거되지 않고 그 대부분이 완전립 출구로 제대로 배출된다면 완전립 수거율은 커지게 된다. 표 3-2에서 볼 수 있듯이, 전반적으로 완전립 수거율은 trough 각도에 비례하고, 원통 회전속도에는 반비례하는 경향을 보였다. 원통 회전속도와 trough 각도가 완전립 수거율에 대해 갖는 교호작용 역시 볼 수 있었는데, trough 각이 클 경우에 있어서의 완전립 수거율은 원통 회전속도에는 크게 좌우되지 않고 거의 모든 처리에서 95% 이상의 일정한 값을 보였다.

완전립 수거율이 trough 각에 비례하여 증가한 것은, trough 각이 크면 선별원통 내면을 따라 올라간 완전립의 일부가 집적통 내로 잘못 들어가 trough로 배출될 가능성이 작아졌기 때문으로 생각된다. 완전립 수거율과 trough 각도 간의 이러한 비례관계는 2.5 mm 보다는 3.75 mm의 흙을 사

용했을 때 및 원통 회전속도가 저속이나 고속보다는 오히려 중속도 범위였을 때 더욱 현저하게 나타났다.

완전립 수거율과 원통 회전속도 간의 관계는 수거율의 변화가 비교적 뚜렷한 trough 각 15° 와 37.5° 에서의 실험자료를 중심으로 살펴보았다 (그림 3-8, 3-9). 수거율이 가장 높았던 회전속도는 저속인 17rpm 이었는데, 모든 처리에 걸쳐 95% 이상의 수거율을 보였다. 완전립의 수거율은 선별 원통의 회전속도를 증가시킬수록 대체적으로 감소했는데, 실린더의 회전속도가 커지면 원심력도 이에 비례해서 커지므로, 선별원통 내로 투입된 원료 중의 일부는 미처 선별이 이뤄지지 않은 채 그대로 trough로 들어가게 되어 발생한 현상으로 생각된다. 실린더 회전속도와 완전립 회수율 간의 반비례 관계는 trough 각이 큰 처리에서는 다소 명확치 않았는데, 비록 투입시료가 회전원통 내면에 접하여 원주방향으로 상승되더라도 trough 각이 크면 이들이 실제로 trough 내로 낙하하여 들어갈 확률은 적어졌기 때문으로 추정된다.

한편, trough 각 15° 및 37.5° 에서 $U_s-3.75$, $S_1-2.5$, $S_1-3.75$ 의 처리와 trough 각 60° 에서 $S_1-2.5-F2$ 와 $S_1-3.75$ 의 처리에서는, 최고 회전속도인 68 rpm 에서의 수거율 값이 51 rpm 에서의 값보다 커 완전립 수거율과 원통 회전속도 간의 반비례 관계가 성립되지 않았다 (표 3-2). 원통 회전속도가 68 rpm 인 실험에서는 원통 밑면에 적재된 미립들이 고속으로 지나가는 선별 홈과 부딪쳐 심하게 튀어 오르지만 할 뿐 선별 홈에 포집되지 않았던 사실을 목격했는데, 결과적으로 회전원통 내면에 접하여 원주방향으로 상승하는 양 자체가 매우 적어 68 rpm 에서의 완전립 수거율이 51 rpm 에 비해 오히려 커진 것으로 생각된다.

Indent 의 모양에 따라서는 대체적으로 반구형보다는 말발굽형에서 완전

립의 수거율이 높았다. 말발굽형은 그림 3-5의 좌측면도에서 보듯이 원통 회전방향으로의 indent 면이 수직에 가까워 쇠립 입자만의 선별적 포집 및 확실한 지지가 반구형에 비해 유리하다. 이에 비해 반구형 홈을 사용했을 때는 쇠립 뿐만이 아니라 다수의 완전립도 홈에 포집되어 이송되었으리라 생각된다.

표 3-2. 완전림의 수거율 (%)

Treatment		Us-2.5 -F1	Us-2.5 -F2	Us-3.75 -F1	Us-3.75 -F2	S1-2.5 -F1	S1-2.5 -F2	S1-3.75 -F1	S1-3.75 -F2
S1	A1	99.4	99.5	99.2	99.3	99.4	99.5	95.8	97.7
	A2	99.3	99.2	99.5	99.7	99.6	100.0	99.5	99.7
	A3	99.9	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	A4	99.9	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
S2	A1	96.8	98.5	87.9	84.7	97.9	97.8	67.2	57.6
	A2	96.5	97.6	96.9	97.7	97.2	98.1	94.9	96.8
	A3	99.4	99.6	99.6	99.7	99.6	99.7	99.6	99.7
	A4	99.9	99.9	99.8	100.0	99.9	100.0	99.9	100.0
S3	A1	94.2	96.0	54.0	47.7	78.3	63.1	63.2	39.7
	A2	94.8	95.4	89.0	91.0	95.5	95.9	72.4	71.9
	A3	97.8	98.1	97.1	98.0	97.8	98.3	90.1	95.0
	A4	99.3	99.7	98.8	98.8	99.5	99.7	99.5	99.2
S4	A1	90.4	92.8	91.7	92.8	92.5	94.6	85.7	90.1
	A2	93.7	93.7	95.2	95.0	95.4	95.7	93.7	95.0
	A3	96.2	96.6	97.0	96.9	96.9	97.5	96.8	97.3
	A4	98.7	98.9	99.0	98.8	99.0	99.2	98.9	98.9

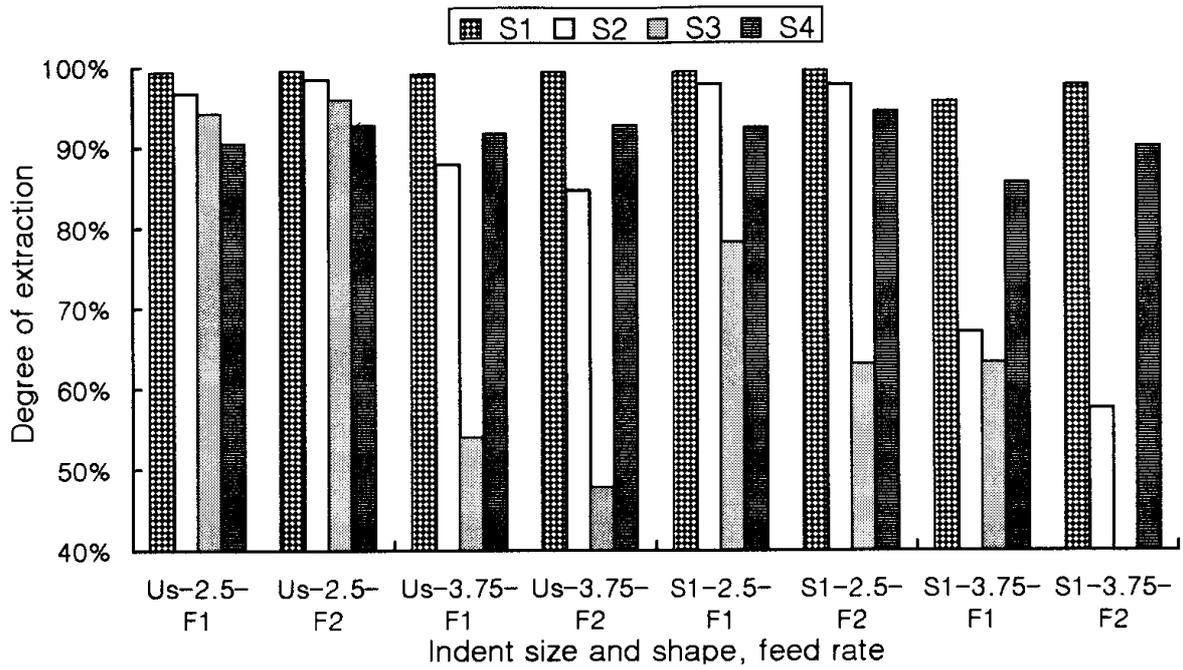


그림 3-6. 완전립 수거율 (trough 각도 15°)

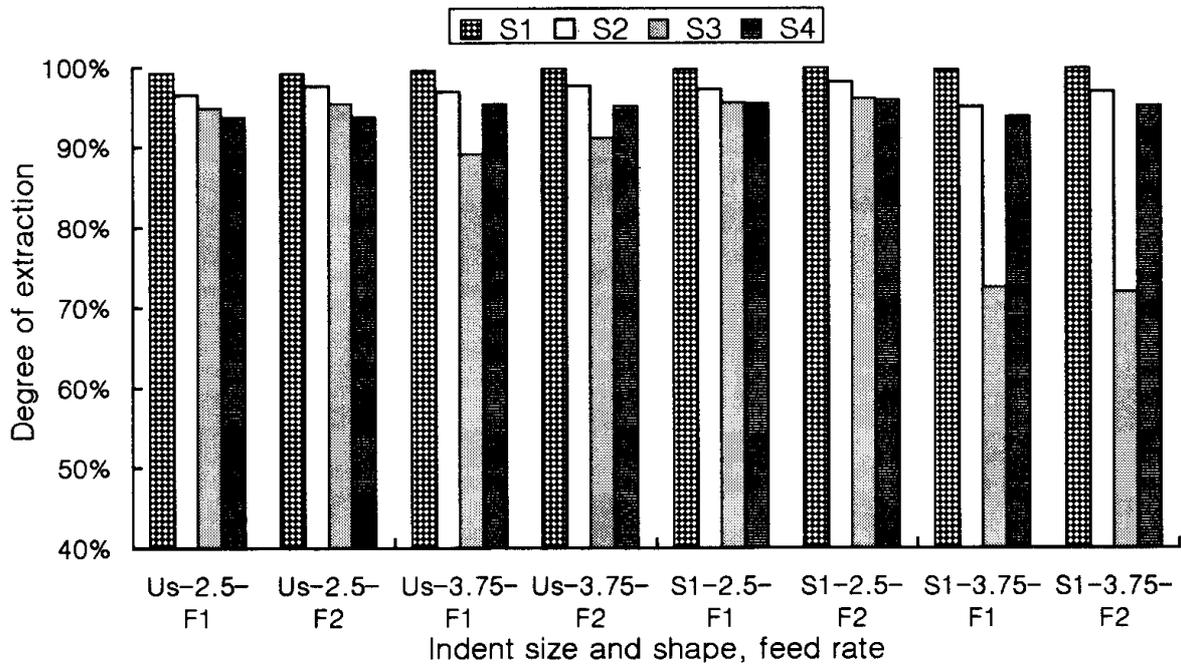


그림 3-7. 완전립 수거율 (trough 각도 37.5°)

2. 완전립 순도 (purity of whole kernels)

앞에서 살펴본 바와 같이 완전립의 수거율은 일부 조건을 제외한 모든 처리에서 대체적으로 만족할 만한 수준이었다. 그러나 수거율이 좋더라도 순도가 나빠지게 되면 선별이 잘 되었다고 평가하기는 어렵다.

완전립 순도는 표 3-3 에서와 같은 값을 보였는데, 완전립은 준완전립이나 소쇄미보다 단립중이 훨씬 크기 때문에 보통 완전립 순도의 기대치는 매우 높다. 선별기 투입원료 중에서 완전립이 차지하는 비율이 95.2% 였으므로, 완전립 순도의 최대, 최소, 평균값이 각각 99.7%, 95.4%, 98.4% 라는 결과로부터, 모든 처리에 걸쳐 다소 차이는 있었지만 정상적인 흙 선별이 이뤄졌다는 사실을 알 수 있었다.

실린더의 회전속도, indent 의 모양과 크기 및 공급량이 완전립의 순도에 미치는 영향은 별로 없다고 보여지지만 그림 3-8 과 3-9 에서 볼 수 있듯이 trough 각이 커질수록 완전립의 순도는 낮아졌다. 이는 trough 각이 클수록 투입원료 중의 완전립이 trough로 잘못 수거될 가능성은 낮아지지만, 쇄립이 trough로 수거되지 않고 완전립 출구로 잘못 배출될 확률도 동시에 높아져 발생한 현상으로 추정된다.

표 3-3. 완전립의 순도 (%)

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	99.5	99.3	99.0	98.4	98.8	98.5	99.2	98.4
	A2	99.6	99.2	99.0	98.6	98.8	98.4	99.1	98.4
	A3	99.4	99.1	97.8	97.0	98.8	98.5	96.1	98.4
	A4	99.1	98.7	95.9	95.5	98.3	98.2	95.4	95.8
S2	A1	99.7	99.1	99.4	99.0	99.2	98.6	99.6	99.6
	A2	99.6	99.1	99.3	99.0	99.1	98.8	99.6	99.4
	A3	99.4	99.0	98.6	98.3	98.6	98.4	98.6	98.1
	A4	99.2	98.6	96.2	95.8	98.2	98.4	95.5	95.5
S3	A1	99.1	98.9	99.0	99.1	99.6	99.4	99.3	99.3
	A2	99.1	98.8	99.4	99.1	99.3	99.0	99.4	99.5
	A3	98.8	99.0	99.2	98.8	99.2	98.7	99.3	99.3
	A4	98.7	98.8	98.3	98.1	98.7	98.4	97.6	97.7
S4	A1	98.6	98.6	97.0	96.9	98.6	98.5	97.7	98.0
	A2	98.6	98.9	96.8	96.9	98.0	98.5	97.6	97.9
	A3	98.4	98.6	95.9	97.0	98.5	98.3	97.2	98.0
	A4	98.6	98.5	96.6	97.0	98.4	98.2	97.3	98.0

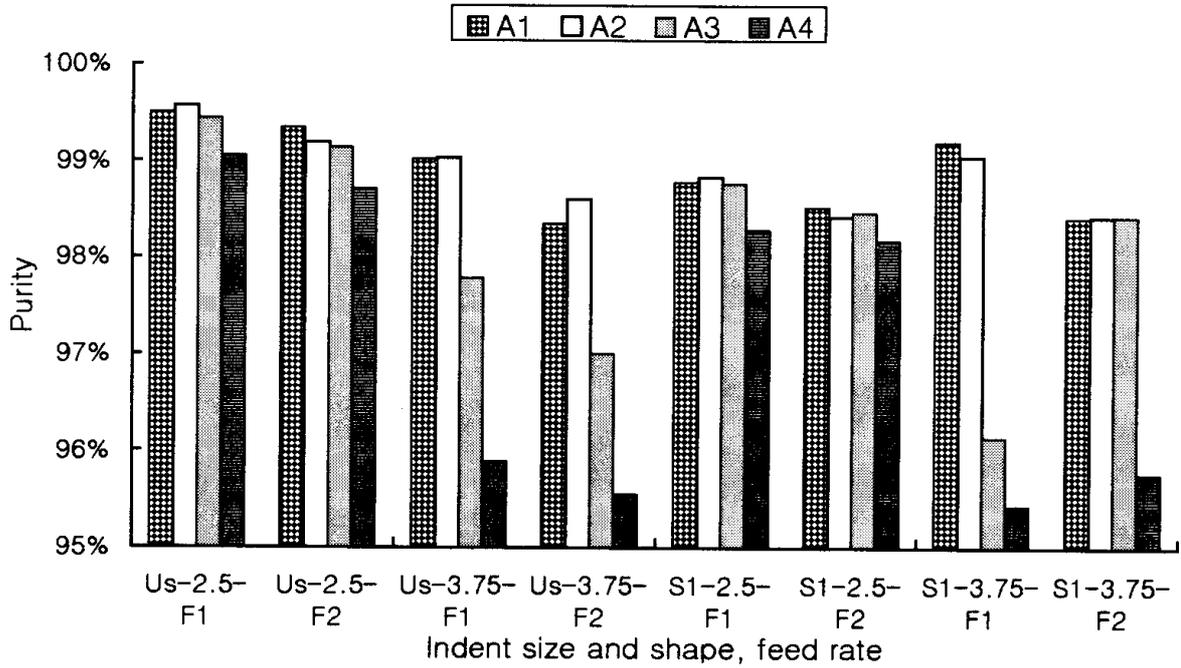


그림 3-8. 완전립 순도 (원통 회전속도 17 rpm)

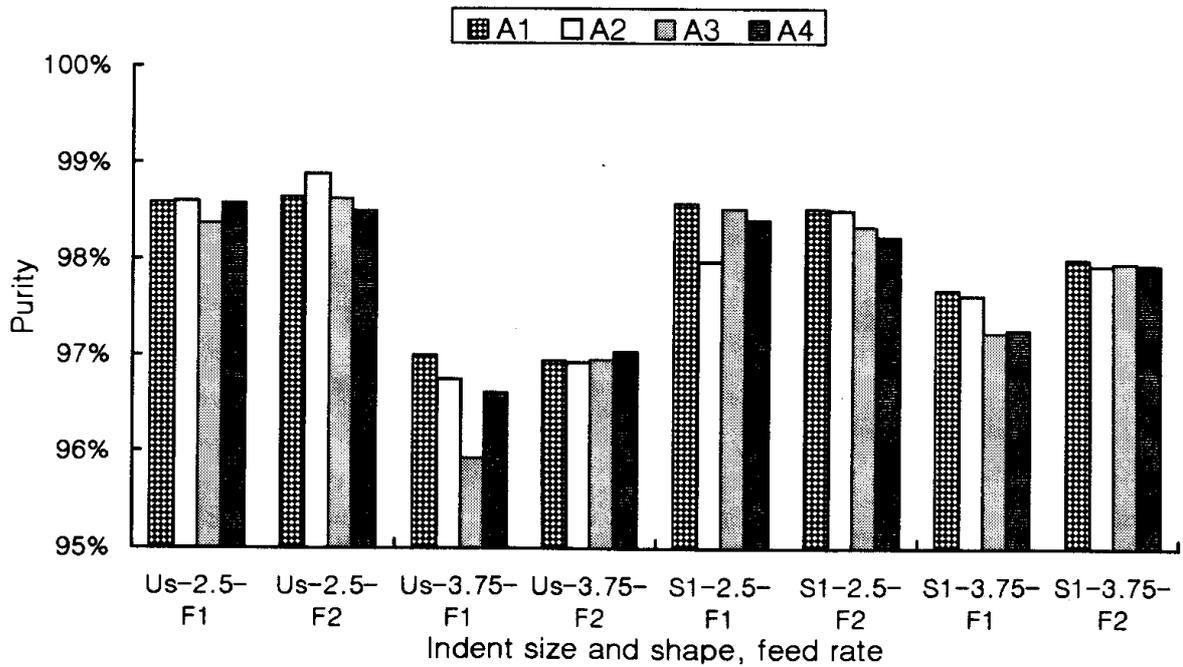


그림 3-9. 완전립 순도 (원통 회전속도 68 rpm)

3. 쉐립 수거율 (degree of extraction of broken kernels)

본 연구는, RPC의 최종 상품인 유통백미 중의 쉐립 혼입량을 줄여 제품의 상품성을 높이는 것을 목표로 하였다. 따라서 원통형 홈 선별에 있어서, 투입원료로부터 선별, 수거해내야 할 물질은 쉐립이 된다. 본 연구에서는 길이를 기준으로 하여 미립을 완전립 ($\ell > 3.75 \text{ mm}$), 준완전립 ($2.5 \text{ mm} < \ell < 3.75 \text{ mm}$), 쉐미 ($\ell < 2.5 \text{ mm}$) 중의 하나로 분류하는 방법을 이미 설정하였다 (제 2 장 4 절 참조). 따라서, 아래와 같은 쉐립 수거율 식에서, trough 수거물 중 쉐립의 총량인 B_1 은 indent의 크기가 2.5 mm 일 때는 쉐미 만의 양이지만, indent가 3.75 mm 일 때는 준완전립과 쉐미를 합한 양이 된다.

$$E_B = \frac{B_1}{B} \times 100 (\%)$$

E_B = 쉐립의 수거율

B = 선별기에 투입된 쉐립의 총량 (g)

B_1 = Trough 수거물 중 쉐립의 총량 (g)

쉐립의 수거율은 전반적으로 trough의 각이 작을수록 높아서 15° 와 37.5° 수준에서 만족할 만한 정도의 수거율 값이 나타났다. 이것은 trough 각을 37.5° 이상으로 하면, 원통 내면의 홈으로부터 낙하하는 쉐립을 받기 위해 개봉되어 있는 trough의 윗면이 쉐립의 낙하가 발생하는 원통 원주상의 지점을 지나쳐 정렬되기 때문으로 생각된다. 쉐립 수거율과 trough 각도 간의 반비례 현상은 원통 회전속도가 느려, 작은 원심력이 쉐립에 작용하는 처리들에서 더욱 두드러졌다.

쉐립 수거율에 대한 원통 회전속도의 영향을 보면, 회전속도가 17 rpm

에서 51 rpm 까지 증가하는 동안, 수거율은 거의 변화가 없거나 또는 완만한 증가 추세를 보였지만, 최고속도인 68 rpm 에서는 오히려 감소하여 쇄립의 수거율은 중속도 범위인 34 rpm 또는 51 rpm 에서 최대가 되었다. 총 선별시간이 동일하다면 선별원통의 회전속도가 클수록 투입원료가 원통 내면과 접촉하는 횟수가 많아져 더 많은 양의 쇄립이 흙에 포집될 수 있게 된다. 또, 전체 선별시간 중 포집된 쇄립의 총량은 비록 같더라도 원통의 회전속도가 클 경우는 이들이 원통 원주상의 쇄립 낙하 발생점을 통과하는 횟수가 증가하므로, trough 로 실제 수거되는 쇄립의 양은 많아질 수 있다. 최고속도인 68 rpm 에서 쇄립 수거율이 오히려 감소한 것은 완전립 수거율에서 이미 설명한 이상현상에 기인한 결과로 생각된다.

흙의 형상이 쇄립 수거율에 미치는 영향은 없었다고 판단된다. 흙의 크기가 2.5 mm 일 경우, 말발굽형에서의 쇄립 수거율이 반구형에서의 수거율보다 컸지만 이는 원통 제작상의 문제로 단위면적 당 흙의 개수에 차이가 있어 발생한 결과로 보인다. 실제로 단위면적 당 흙의 개수가 거의 동일하게 제작된 3.75 mm 크기 말발굽형 흙 원통과 반구형 흙 원통을 사용한 처리들 간에는 쇄립 수거율의 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

흙의 크기는 3.75 mm 가 2.5 mm 보다 더 큰 쇄미 수거율을 보였다. 이는 투입원료에 들어있는 쇄립들의 길이 분포와 연관지어 생각해 볼 수 있는데, 완전립 길이의 3/4 이하인 미립을 쇄립으로 정의할 때, 제 2 장 2 절에서 보는 바와 같이 국내 시중 유통백미 시료 24점에는 그 길이가 1.4~1.75 mm, 1.75~2.5 mm, 2.5~3.25 mm 및 3.25~3.75 mm 범위에 속하는 쇄립들이 각각 0.3, 2.8, 2.7 및 0.6% 들어있는 것으로 밝혀졌다. 즉, 쇄립의 대부분은 완전립 길이의 1/2인 2.5 mm 길이의 미립들이며, 완전립 길이의 3/4인 3.75 mm 길이의 미립은 적었는데, 흙의 크기와 비슷한 길이의

쇄립은 흙에 잘 끼어 눈금 막힘 현상이 발생하기 쉽다. 또한, 3.75 mm 흙은 2.5 mm 흙보다 직경과 깊이가 더 크기 때문에 하나의 흙 속에 쇄립이 2개 이상 들어갈 확률이 커지게 된다. 즉, 3.75 mm 흙은 길이가 3.75 mm 이하인 모든 쇄립을 포집대상으로 하기 때문에, 다양한 형상의 쇄립이 여러 가지 자세로 흙 속에 포집될 수 있어 2개 이상의 쇄미, 또는 1개의 준완전립과 1개의 쇄미가 하나의 흙 속에 함께 들어갈 수 있었으므로 수거율이 높아졌다고도 생각된다.

표 3-4. 채립의 수거율 (%)

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	74.1	61.9	79.2	64.5	31.7	18.8	84.4	65.4
	A2	78.9	60.4	80.4	68.4	37.4	19.4	80.4	67.4
	A3	70.0	52.2	49.0	39.2	23.7	10.9	16.5	22.8
	A4	45.4	30.2	10.5	7.3	9.7	5.3	3.4	2.7
S2	A1	83.8	56.1	88.5	83.3	59.0	35.4	94.1	95.6
	A2	80.6	53.7	87.2	79.5	54.3	32.1	92.3	87.1
	A3	69.2	51.8	71.6	65.7	28.6	16.3	69.4	60.3
	A4	52.7	28.0	23.0	20.0	8.0	4.0	2.5	1.7
S3	A1	52.2	46.3	88.1	90.2	82.0	78.5	90.2	93.1
	A2	55.7	40.4	88.9	81.5	64.3	48.8	91.8	92.2
	A3	47.3	46.9	83.9	77.2	57.8	35.6	87.6	85.8
	A4	36.6	39.1	65.2	67.9	27.0	15.1	56.1	49.6
S4	A1	41.7	36.5	43.8	42.2	26.1	24.4	56.3	62.5
	A2	33.7	37.8	35.6	38.9	15.1	17.9	50.2	58.4
	A3	26.5	30.1	29.1	35.8	18.1	13.9	45.1	58.8
	A4	21.9	24.2	27.4	36.1	14.8	12.8	42.0	56.5

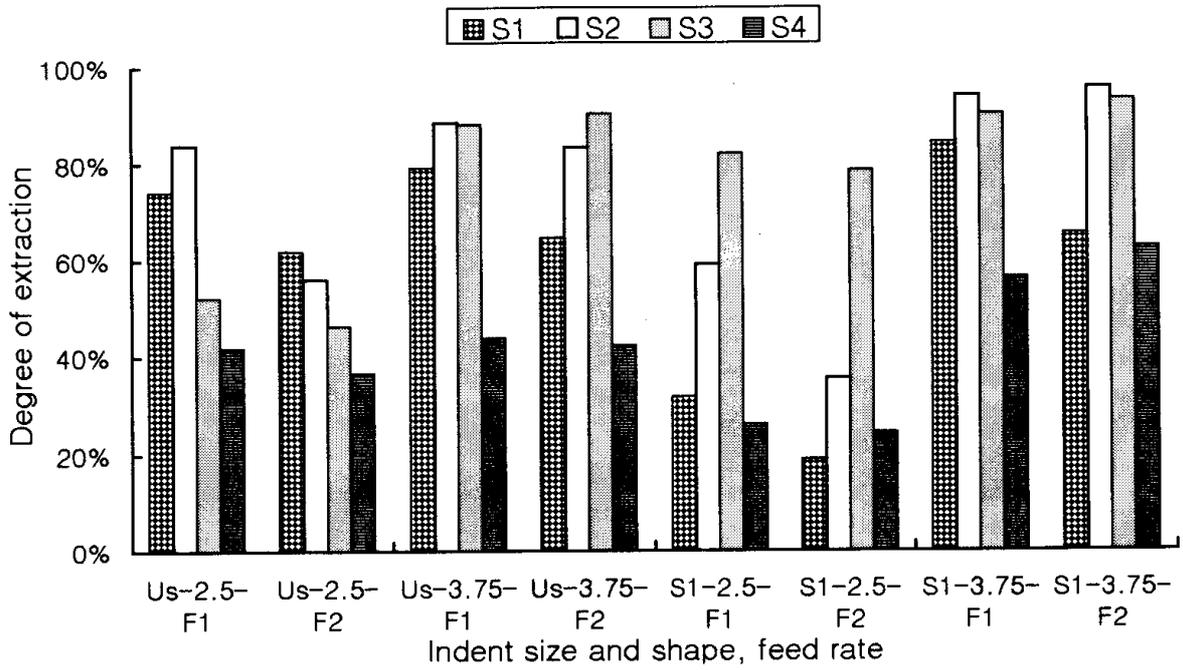


그림 3-10. 쇠립 수거율 (trough 각도 15°)

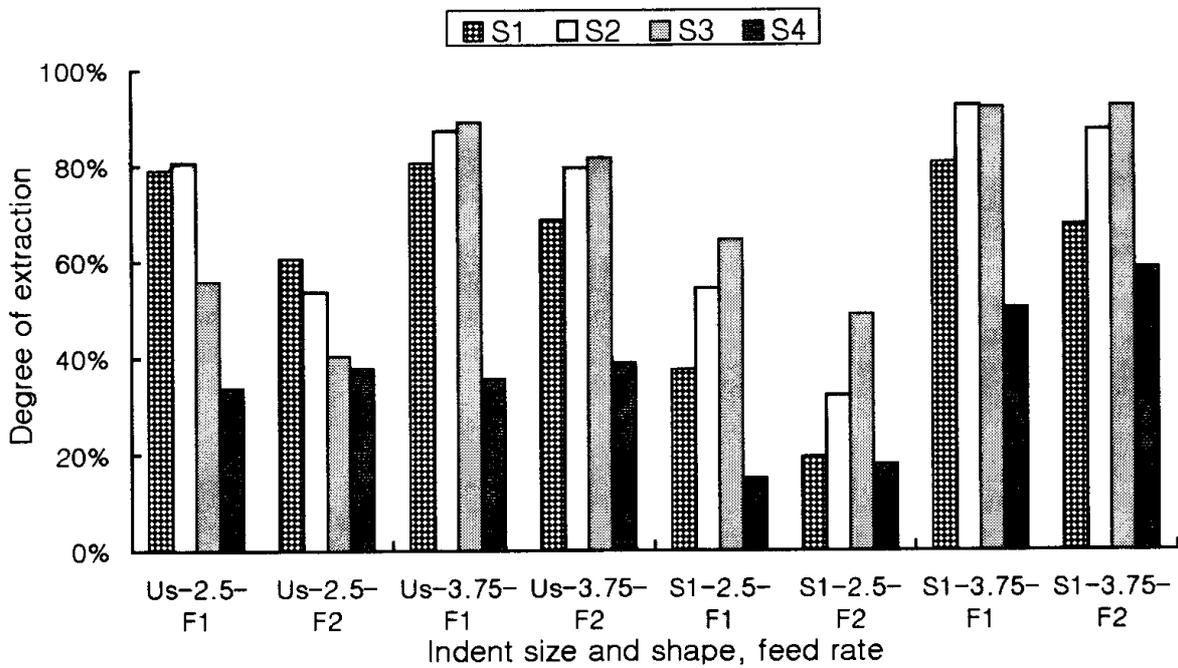


그림 3-11. 쇠립 수거율 (trough 각도 37.5°)

4. 쉐립 순도 (purity of broken kernels)

쉐립의 수거를 목적으로 하는 원통형 흙 선별기의 성능을 판단할 때, trough의 쉐립 수거율 뿐 아니라 쉐립 순도도 역시 중요하다. 왜냐하면 trough로 많은 양의 쉐립이 수거되더라도, 완전립 또한 많은 양이 trough로 수거된다면 양호한 선별이 이뤄졌다고 보기는 어렵다.

아래와 같이 정의되는 쉐립의 순도는 trough로 수거되는 완전립의 양에 따라 크게 변화한다. 본 연구에서 수행한 쉐립선별의 주목적은 소량의 쉐립이 혼입된 원시료에서 쉐립을 얼마만큼 효율적으로 선별, 분리해 내느냐 였으므로, trough로 유입되는 완전립의 양이 적으면 적을수록 좋겠지만, 비록 trough로 완전립이 적게 수거된다 하더라도 쉐립 역시 적게 수거된다면 이것 역시 양호한 선별은 아닐 것이다.

$$P_B = \frac{B_1}{T} \times 100 (\%)$$

P_B = 쉐립의 순도

T = Trough 수거물의 총량 (g)

B_1 = Trough 수거물 중 쉐립의 총량 (g)

쉐립의 순도는 쉐립의 수거율과는 반대로 trough 각도에 비례하였다. 즉, trough 각이 작을 때 쉐립의 수거율은 높았지만 순도는 낮았는데, 쉐립의 수거율은 높지만 순도가 낮다는 것은 trough 수거물에 쉐립 뿐만이 아니라 완전립도 많이 포함되어 있다는 것을 의미한다. 반면 trough 각도가 클 때는 쉐립의 수거율은 낮았지만 순도는 높았는데, 이는 trough로 수거된 전체 시료의 절대량은 적지만, 그 대부분이 쉐립이라는 것을 뜻한다. 따라서 쉐립의 수거율과 순도가 동시에 높게 나타나는 처리가 가장

바람직할 것이다.

원통 회전속도가 커짐에 따라 쇠립의 순도는 감소했는데, 특히, 낮은 trough 각도 (17° 와 34°)에서는 원통의 회전속도가 증가할수록 쇠립 순도가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있었다. 앞에서 이미 언급했듯이 원통 회전속도가 커짐에 따라 완전립 수거율은 감소하는데, 이는 곧 투입원료 중의 완전립이 trough로 잘못 들어가는 양이 점점 많아짐을 의미한다. 반면, 쇠립 수거율은 회전속도가 커져도 거의 변화가 없었거나 완만히 증가하였다. 결과적으로, 원통 회전속도가 커지면 trough로 수거되는 쇠립의 양은 소폭 증가하지만 완전립의 양은 더욱 큰 폭으로 증가하기 때문에 결국 쇠립 순도는 감소한다고 생각된다.

Indent의 모양에 따라서는 전반적으로 말발굽형에서 쇠립 순도가 높았는데, 말발굽형의 경우, 홈에 의한 완전립의 포집 가능성이 반구형에 비해 상대적으로 낮아, 완전립이 trough로 잘못 수거되는 양이 적었던 것으로 생각된다.

홈의 크기는 3.75 mm가 2.5 mm보다 더 큰 순도값을 보였는데, 이는 쇠미 수거율의 차이에 기인한 것으로 생각된다.

공급량이 큰 처리에서 대체적으로 쇠립의 순도 값이 컸지만, 그 차이가 미미하므로 공급량이 순도에 미치는 영향은 그리 크지 않은 것으로 판단된다.

표 3-5. 쇄립의 순도 (%)

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	68.5	70.1	82.0	81.8	48.0	41.3	49.7	56.5
	A2	68.9	59.0	88.6	90.9	63.7	65.2	88.7	92.0
	A3	91.7	90.2	98.9	98.2	95.6	92.2	98.1	98.2
	A4	90.7	90.1	96.9	95.5	95.4	95.1	94.2	95.9
S2	A1	32.3	42.5	26.4	21.2	35.2	26.1	11.9	10.7
	A2	30.4	29.9	60.1	61.1	27.2	23.5	46.2	55.7
	A3	67.9	70.9	90.8	92.3	55.0	53.4	88.1	90.4
	A4	86.0	84.2	84.5	96.5	72.8	77.1	64.6	76.3
S3	A1	13.7	18.2	8.0	7.4	6.8	4.0	10.3	6.1
	A2	17.8	14.2	28.7	29.6	20.9	18.8	15.0	13.8
	A3	32.2	31.4	57.3	66.1	32.5	29.7	30.8	44.3
	A4	53.4	70.7	73.2	77.7	48.8	45.5	85.5	73.8
S4	A1	8.8	9.2	21.0	22.7	5.9	7.8	15.5	23.7
	A2	9.6	9.3	27.1	27.7	7.0	6.9	26.8	35.8
	A3	13.0	14.7	36.3	35.7	9.4	9.6	41.4	51.6
	A4	24.2	30.6	57.0	58.1	21.7	23.8	64.2	70.7

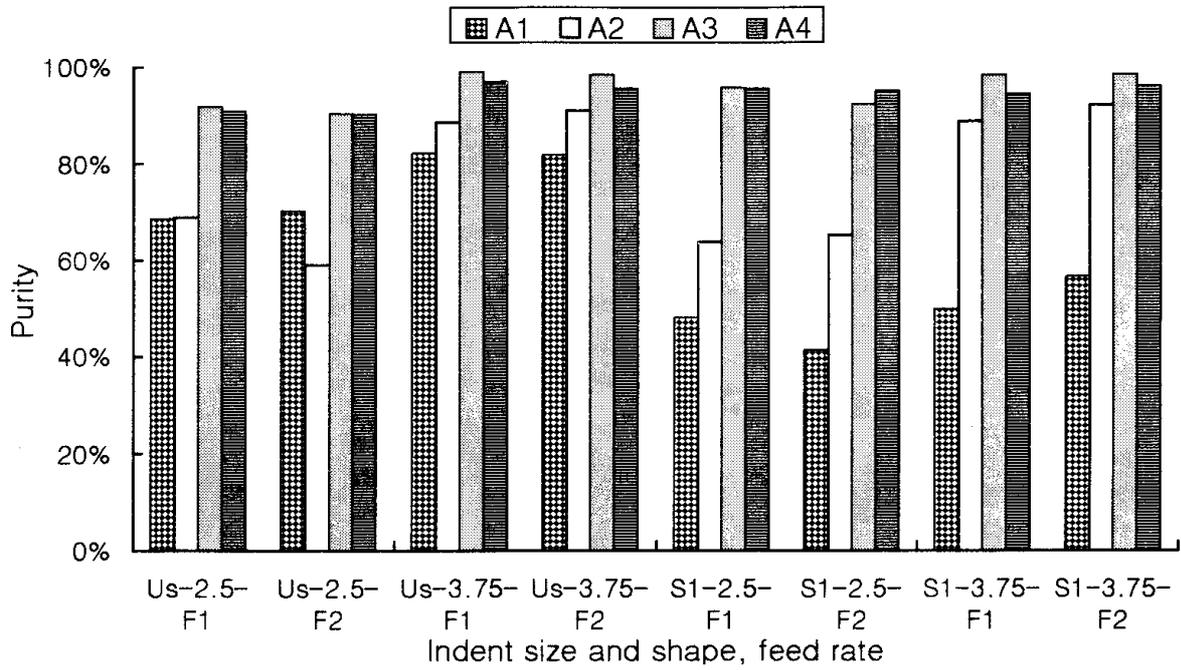


그림 3-12. 쇠립 순도 (원통의 회전속도 17 rpm)

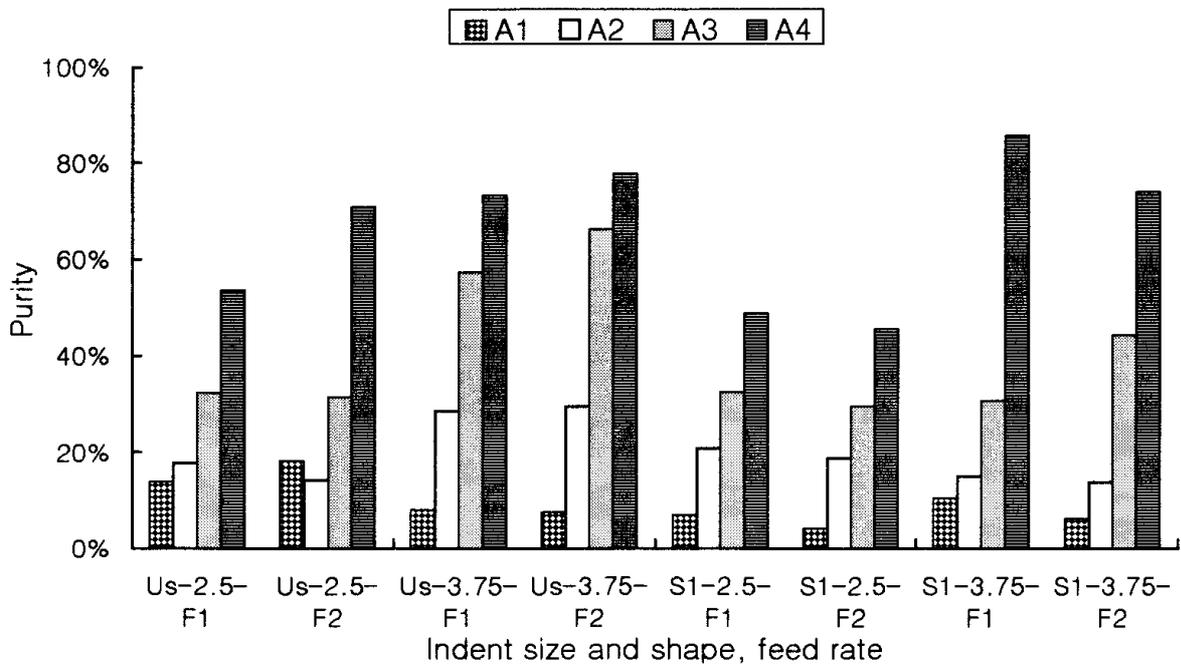


그림 3-13. 쇠립 순도 (원통의 회전속도 51 rpm)

제 4 절 원통형 흙 선별기의 선별효율 특성

본 실험은 흙의 형상과 크기, 그리고 공급량을 집구로 하여 각 집구에 대해 실린더 회전수와 trough 각도를 요인으로 갖는 3반복의 4×4 요인 실험으로 설계되었다. 실험에서 얻은 선별효율 값들을 표 3-6에 나타냈으며, SAS에 의해 통계분석한 결과는 표 3-7과 같았는데, 선별효율에 대한 원통 회전속도와 trough 각도의 단독효과 및 교호작용은 1% 수준에서 유의성이 인정되었다.

표 3-6. 선별효율 (%)

Treatment		Us-2.5 -F1	Us-2.5 -F2	Us-3.75 -F1	Us-3.75 -F2	Si-2.5 -F1	Si-2.5 -F2	Si-3.75 -F1	Si-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 3-7. 선별효율 값들의 분산 분석표

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		

1. Trough 각도와 원통 회전속도가 선별효율에 미치는 영향

표 3-6의 선별효율 값을 trough 각도별로는 그림 3-14, 15, 16, 17과 같이, 원통 회전속도별로는 그림 3-18, 19, 20, 21과 같이 도시하였다.

그림들에서 알 수 있듯이, trough 각도와 원통 회전속도 간의 교호작용으로 인해, trough 각이 15° 또는 37.5°이면 17 rpm의 회전속도가, 60°이면 34 rpm의 회전속도가, 82.5°이면 51 rpm의 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.

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 3-8). 최고 선별효율은 쇄립의 크기 분포 때문에 쇄립 수거율이 상대적으로 불량하였던 2.5 mm 흙 이외에는 모두 60~70% 범위

의 높은 값을 보였다.

표 3-8. 원통 회전수 17 rpm (S1), trough 각 37.5° (A2) 및 60° (A3)에서의 흙의 모양과 크기, 공급량별 선별효율 값

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

표 3-8에서 보듯이 말발굽형 2.5 mm 흙 (Us-2.5)의 경우에만 최고 효율을 나타낸 처리조건이 달랐는데, 이는 실험오차에 기인한 것이 아닌가 추정된다. 실험계획 수립시 확정된 순서에 따라 말발굽형 2.5 mm 흙을 사용한 실험이 가장 먼저 수행되었는데, 실험 초기에는 입 선별기로 시료를 분석할 때 체판의 눈금에 낀 쇠립을 일일이 파내어 수거하였다. 이 경우, 시료 분석에 걸리는 시간이 너무나 길었기 때문에, 이후 실험에서는 적당한 크기로 제작된 나무막대로 체판의 뒷면을 일정 횟수 두드려 눈금에 낀 쇠립을 제거하는 방법을 표준화하여 사용하였다. 이와 같은 실험방법 상의 차이가 실험결과에 어느 정도의 영향을 미쳤는지는 정확히 평가할 수 없지만 쇠립의 수거율 값 계산결과에는 분명히 반영되었을 것이라 생각된다. 이상으로 미루어 볼 때, 선별효율에 관한 원통 회전속도와 trough 각도의 최적 조합은 17 rpm, 37.5°라고 판단된다.

실험방법을 설명할 때 이미 소개했듯이, 회전속도의 수준 17, 34, 51, 68 rpm은 기존 문헌에 제시된 운동학적 지수 K 값으로부터 식 (3.3)에 의해 결정되었다. 식 (3.3)에서 알 수 있듯이, 선별원통의 직경이 커지면 동일한 K 값을 갖게 하기 위해서 회전수는 작아져야 한다. 따라서, 실험실

용 흡 선별기를 대상으로 얻어진 본 연구결과를 scale-up 하여, 원통형 흡 쇄미선별기 시작품의 설계에 적용한다면, 시작기의 회전속도는 처리용량을 희생하지 않는 한도 내에서 가급적 작게 설정해야 할 것으로 생각된다.

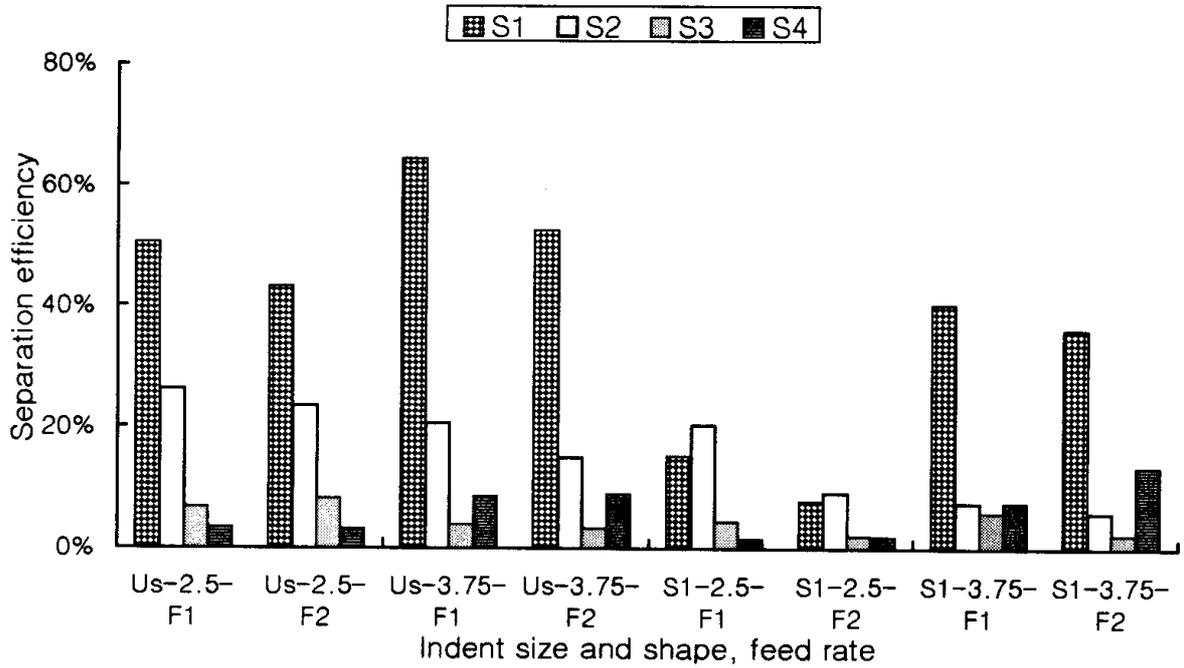


그림 3-14. 선별효율 (trough 각도 15°)

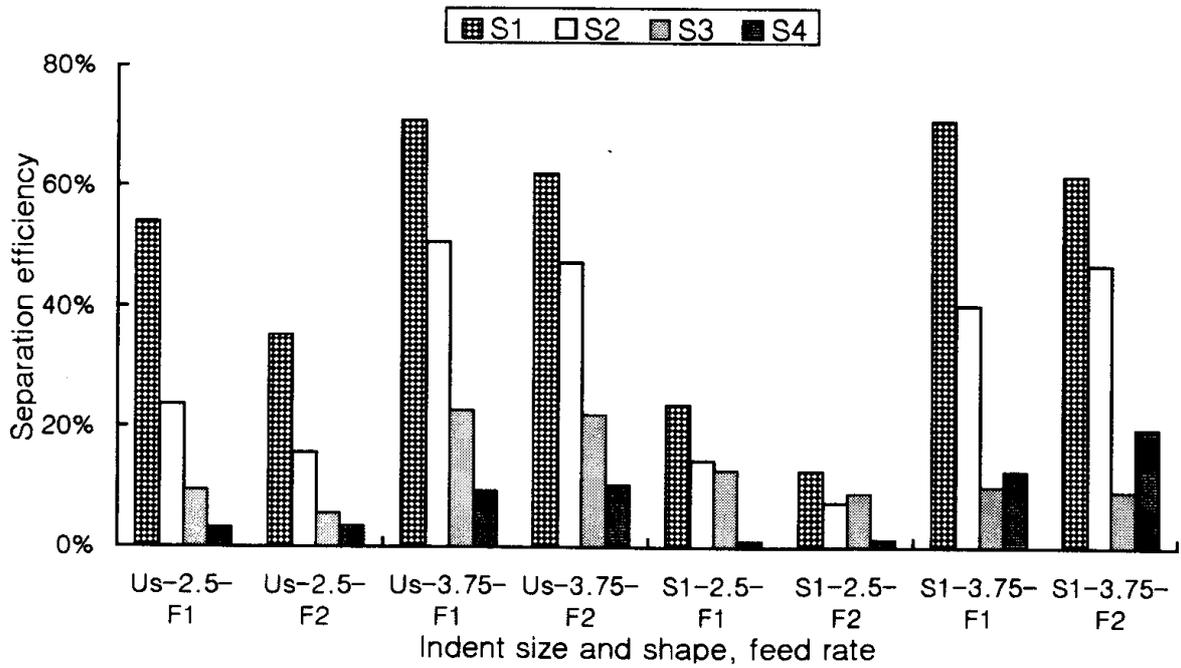


그림 3-15. 선별효율 (trough 각도 37.5°)

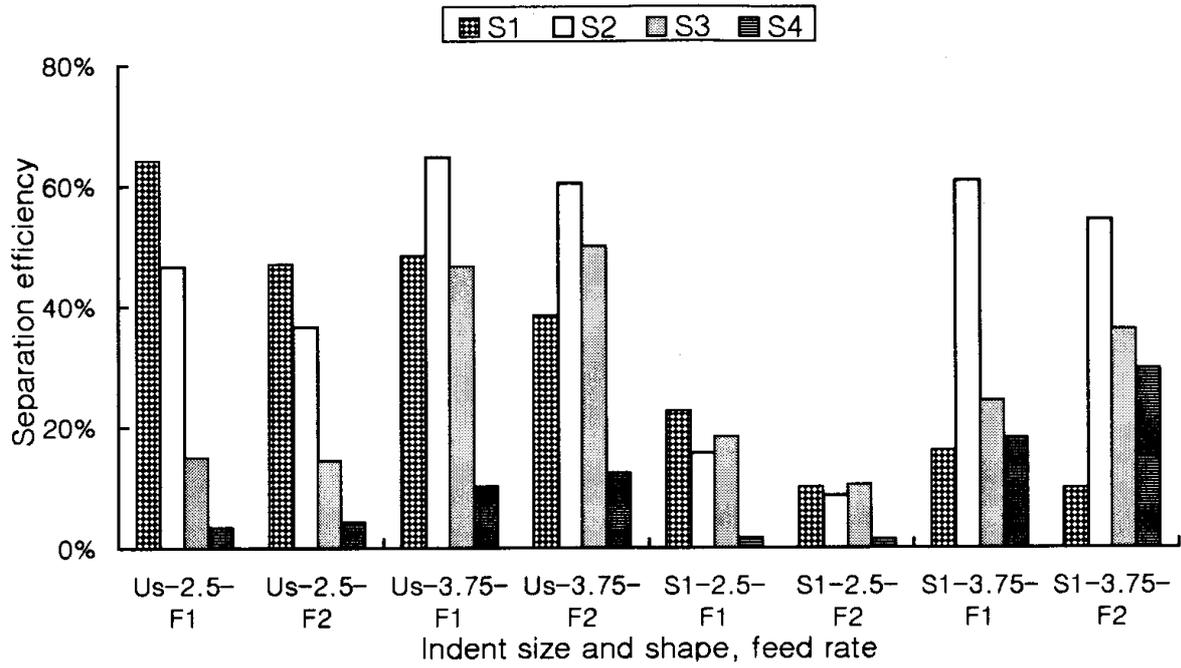


그림 3-16. 선별효율 (trough 각도 60°)

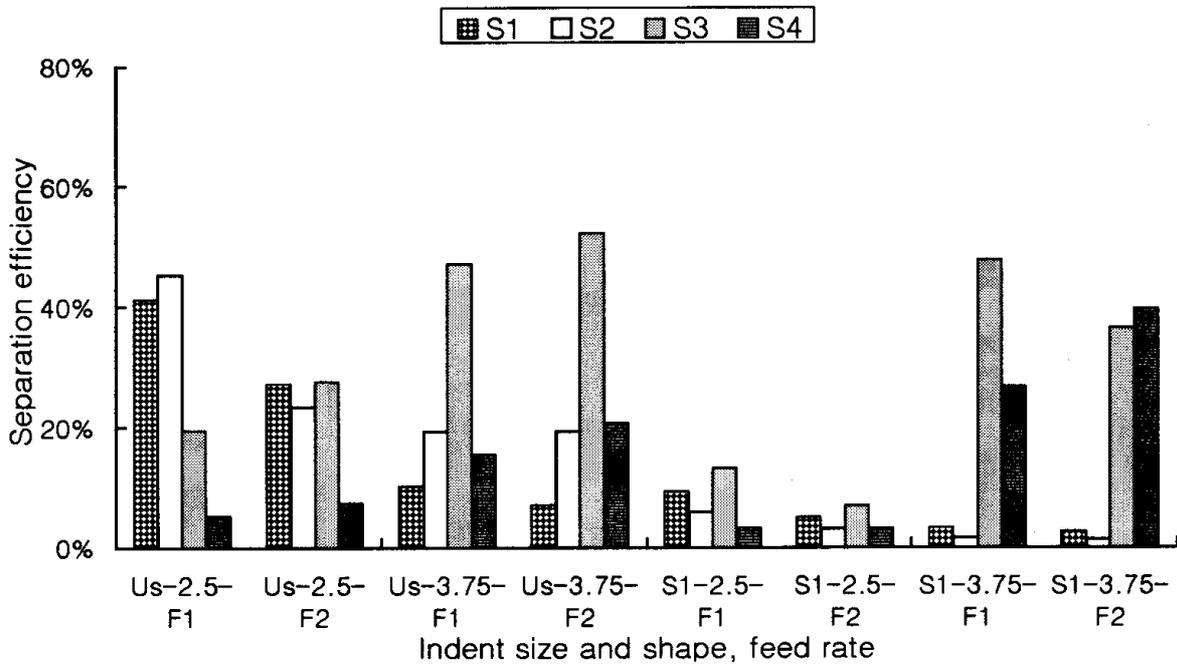


그림 3-17. 선별효율 (trough 각도 82.5°)

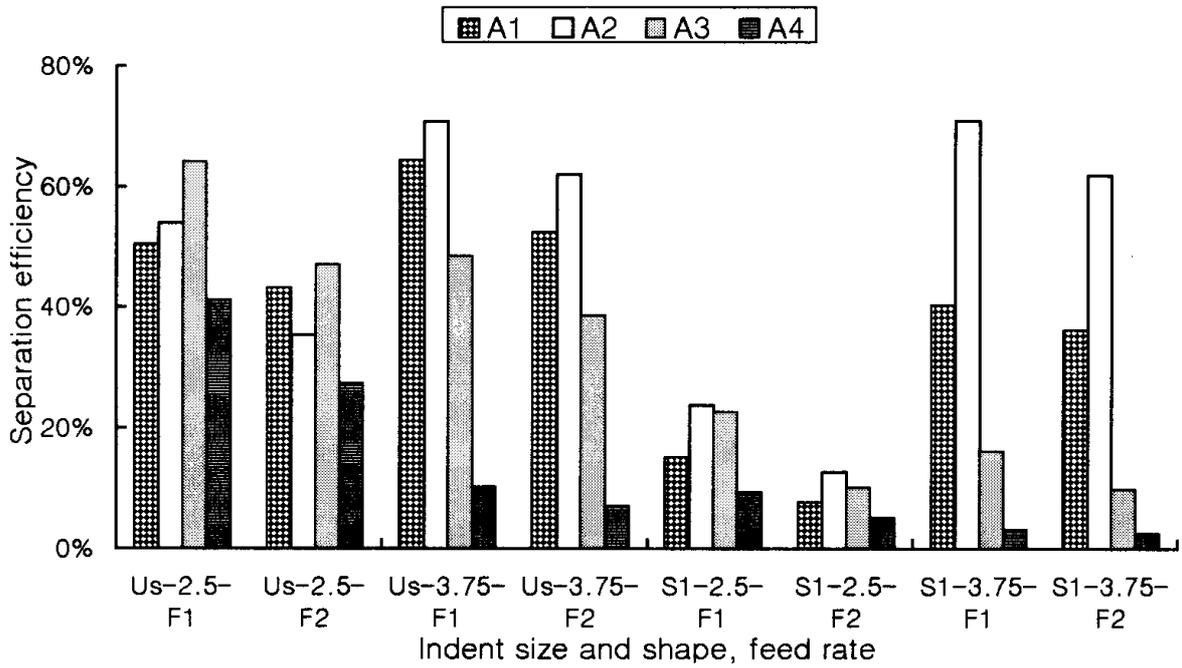


그림 3-18. 선별효율 (원통 회전속도 17 rpm)

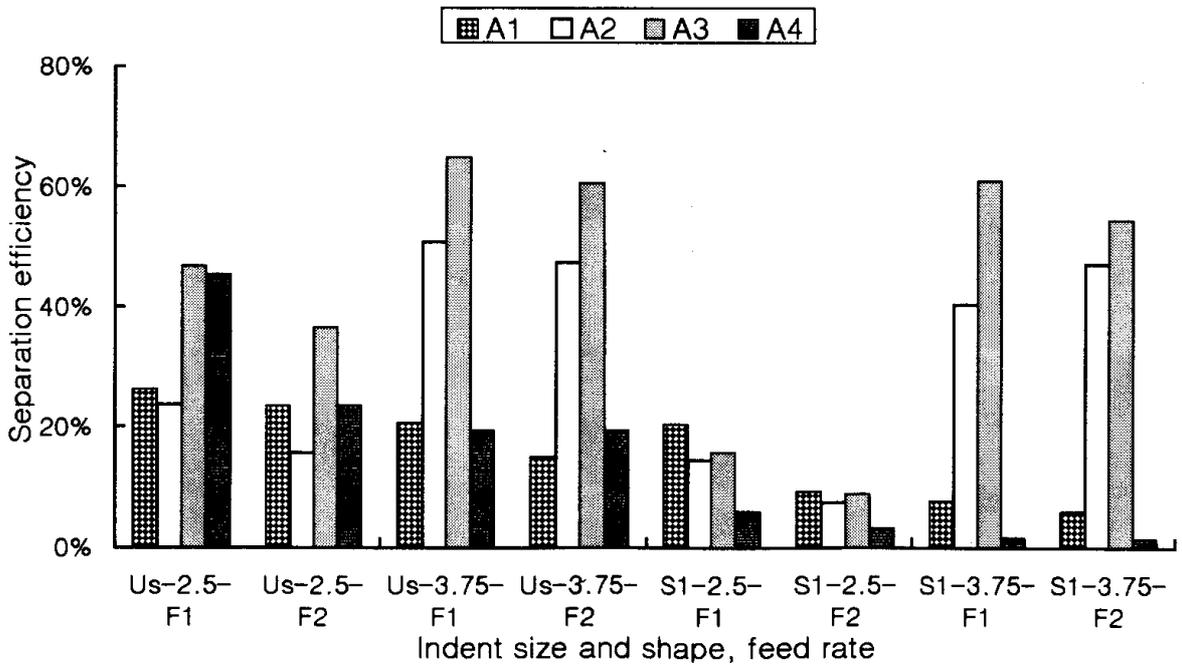


그림 3-19. 선별효율 (원통 회전속도 34 rpm)

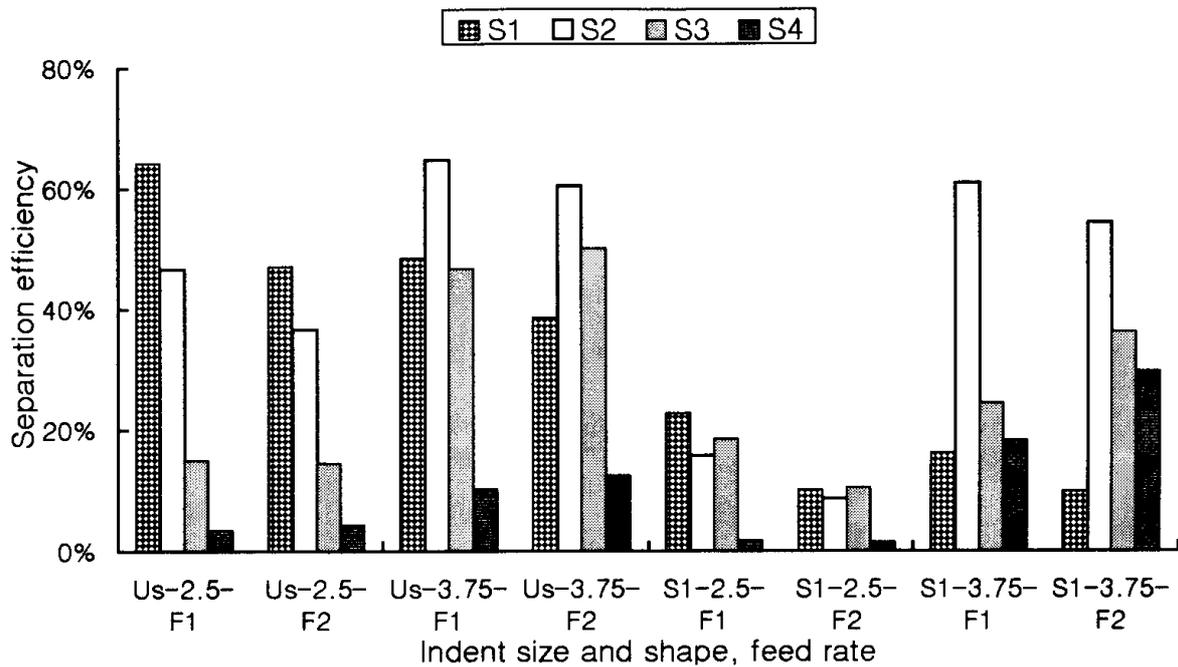


그림 3-20. 선별효율 (원통 회전속도 51 rpm)

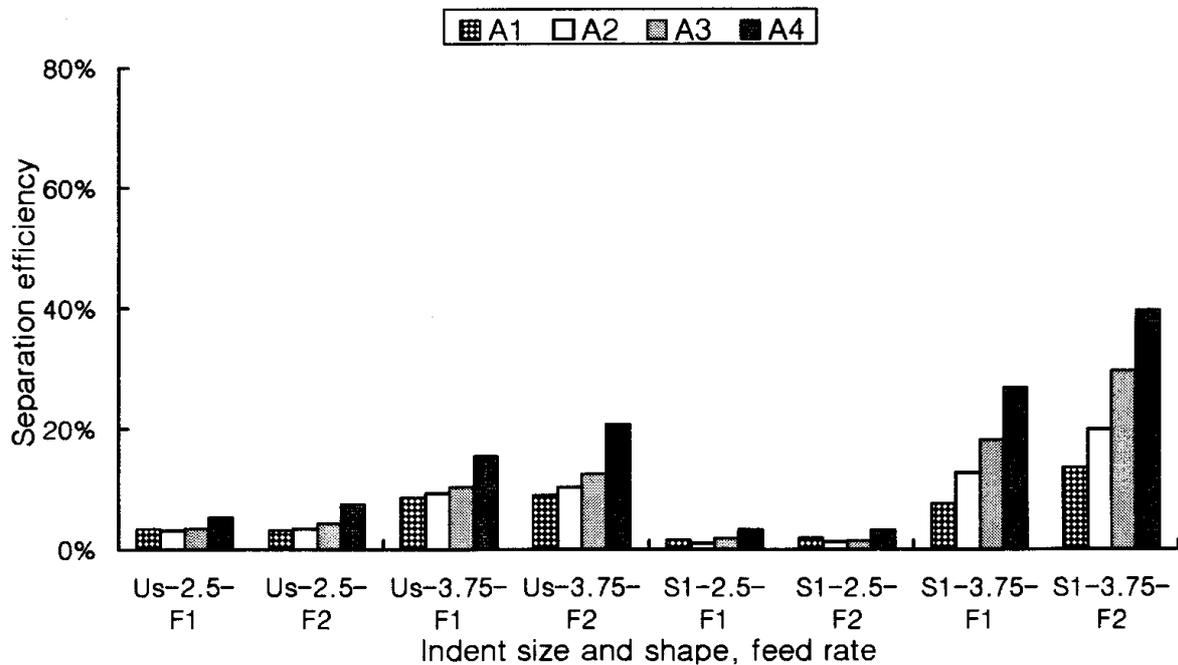


그림 3-21. 선별효율 (원통 회전속도 68 rpm)

2. Indent 모양과 크기 및 공급량이 선별효율에 미치는 영향

Indent 모양과 크기, 그리고 공급량은 집구로 처리되어 실험계획이 수립되었으므로, 일반적인 분산분석법 (Analysis of Variance)으로서는 상호비교가 불가능하다. 따라서, indent의 모양, 크기, 그리고 공급량의 차이가 선별효율에 미치는 영향은 paired t-test로써 검증하였는데, 표 3-9에 그 결과를 나타냈다.

표 3-9. Indent 모양과 크기 및 공급량에 대한 t 검정 결과

	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**

가. Indent의 형상과 크기

표 3-6에서 2.5 mm 크기의 흙과 3.75 mm 크기의 흙을 사용한 처리 간의 선별효율 값들을 비교하면, 전반적으로 3.75 mm 흙에서의 선별효율이 높았다고 보여지는데, t 검정을 한 결과 1% 수준에서 역시 유의성이 인정되었다 (표 3-9).

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

표 3-6에서 말발굽형 (Us) 흙과 반구형 (S₁) 흙을 사용한 처리 간의 선

별효율 값들을 비교하면, 대부분의 처리에서 말발굽형의 선별효율이 더 높았음을 쉽게 알 수 있다. 흙의 형상에 의한 선별효율의 차이는 t 검정 결과 역시, 1% 수준에서 유의성이 인정되었다 (표 3-9). 말발굽형 흙은 반구형 흙에 비해서 흙의 형상 자체가 쇄미의 확실한 포집 및 지지 측면에서 분명히 유리하도록 되어 있기 때문에, 더 뛰어난 선별효율을 보일 것이라 쉽게 예측된다.

그러나, 표 3-6의 실험결과와 표 3-9의 통계분석 결과는 보다 더 심층적으로 해석되어야만 하는데, 이는 제작 기술상의 문제로 인해 2.5 mm 흙의 경우, 실제 실험에 사용된 말발굽형 흙 원통과 반구형 흙 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 흙 형상에 대한 t 검정을 흙의 크기별로 재 실시하였다.

표 3-10. Indent 모양에 대한 추가 t 검정 결과

	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

표 3-10의 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 3-10에서 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.

따라서, 실제 상업용 규모의 원통형 흠 쇠미선별기 개발을 고려해 볼 때, 말발굽형 흠은 제작 난이도 및 흠에 쇠미가 자주 끼어 흠이 막혀버리는 취약점 때문에 실효성이 낮다고 판단된다. 반면, 반구형 흠의 경우는, 선별원통 단위면적 당의 흠 개수를 더 늘려 제작할 수만 있다면 오히려 말발굽형 흠을 능가하는 선별효율의 실현도 가능하리라 판단된다. 또한, 백미에 혼입되어 있는 쇠립들의 길이가 2.5 mm 를 중심으로 주로 분포되어 있기 때문에 길이 2.5 mm 이하의 미립으로 정의된 쇠미의 선별에 사용할 흠의 크기는 2.5 mm 보다는 약간 큰 3.0 mm 정도가 되어야만 보다 더 효과적인 선별이 가능하리라 판단된다.

나. 공급량

실험에 사용된 공급량의 수준은 25 kg/hr (F1) 와 50 kg/hr (F2) 였는데, 50 kg/hr 는 실험장치인 Labofix '90 의 최대 처리용량이었다. 공급량에 따른 선별효율의 차이는 1% 수준에서 유의성이 인정되었으며 (표 3-9), 선별효율 값들을 나타낸 표 3-6 을 보더라도 공급량이 25 kg/hr 일 때가 50 kg/hr 일 때에 비해 전반적으로 선별효율이 다소 높은 것을 알 수 있다.

제 5 절 결 론

상업용 규모의 쇠미선별공정에 사용할 수 있는 파이로트 규모 원통형 흠 선별기 시작기의 설계 및 제작에 필요한 기초 연구로서, 실험실용 원통형 흠 선별기를 이용하여 쇠미선별 실험을 실시하였다. 원통 회전속도, trough 각도, indent 크기와 형상, 공급량을 요인으로 하여 완전립의 수거율과 순도, 쇠립의 수거율과 순도 및 선별효율을 조사하였다. 수행한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 선별효율에 대한 원통 회전속도와 trough 각도의 단독효과 및 교호작용은 1% 수준에서 유의성이 인정되었다. 원통 회전속도가 커지면 trough 각도 역시 그에 따라 적절히 증가시켜야만 선별효율의 저하가 방지되는 것으로 나타났다.
2. 최고 선별효율 값을 흙의 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 흙과 반구형 흙 간 선별효율의 차이는 없었다. 따라서, 실제 상업용 규모의 원통형 흙 쇄미선별기 개발에 있어서는 제작이 쉽고 유지·보수가 간편한 반구형 흙을 채택하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 길이 2.5 mm 이하의 미립인 쇄미의 선별에 사용할 흙의 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.

제 4 장 정밀 쇄미선별 시스템의 구성 및 성능평가

제 1 절 서 언

우리나라의 미곡 도정은 현재 전국적으로 산재해 있는 미곡종합처리장에서 수행되고 있다. 미곡의 도정 체계에서 중요한 과정은 현미생산과정과 정미생산과정으로 나눌 수 있는데, 각 과정에서는 중요한 선별시설을 갖추고 있다. 현미생산과정에서는 현미분리 시설, 정미생산과정에서는 쇄미선별 시설이 그것이다. 현미분리 시설은 현미분리기라 칭하고, 쇄미선별시설은 로타리 시프터라 칭한다. 물론 정미생산과정에서 최근에는 색채선별기를 설치하여 미숙 청립이나 흑립 등을 선별해 냄으로써 유통 백미의 상품성을 제고시키고 있다. 그러나 색채 선별기는 극소량의 선별대상을 분리해내는 시설로서 정밀한 시설이지만 처리 용량은 매우 적다.

현미분리기는 현미와 탈부되지 않은 벼를 비중의 차이와 요동운동을 이용하여 분리하며, 로타리 시프터는 정상미와 쇄미를 길이 차이와 여러 층으로 된 체의 진동 운동을 이용하여 분리하는 시설이다. 미곡종합처리장에서 현재 사용되고 있는 로타리 시프터는 처리 용량에 따라 다르지만 보통 8단 (각 단은 체로 구성)이 많고, 정상미와 대쇄미, 소쇄미 및 이물질의 4종류로 분리해내고 있다. 로타리 시프터의 체의 구성과 체의 진동을 위한 편심추의 회전 속도 등은 처리용량과 선별 효율에 큰 영향을 주게 된다. 그러나 최적의 조건이라 할지라도 체의 사각 그물망으로서는 선별대상의 길이 차이를 완전히 분리해 낼 수가 없다는 것이 문제이다. 즉 설계 인자는 근본적으로 분석해 낼 수가 없는 문제점을 안고 있다. 따라서 길이 차이의 요인만으로 좀 더 정확하게 선별할 수 있는 시설의 개발이

요구된다.

선별 대상의 길이 차이 요인만으로 좀 더 정밀하게 선별할 수 있는 선별기로서는 원통형 흙 선별기가 적당하다. 우리나라의 도정 시설에서는 아직까지 이 선별기가 이용되지 않고 있다. 그 이유는 정밀도는 높으나 처리용량이 적고 고가이며, 백미의 쉼미 선별을 위한 최적의 설계 및 운전 조건이 확립되어 있지 않기 때문이다. 즉 백미의 쉼미 선별을 위한 원통형 흙 선별기가 개발되어 있지 않기 때문으로 판단된다. 가격이 고가인 것은 대량 생산 체계로써 어느 정도는 해결할 수 있을 것으로 본다. 왜냐하면 훨씬 더 고가인 색채 선별기는 현재 많이 이용되고 있기 때문이다.

본 연구에서는 정밀쇄미선별시스템을 개발하기 위하여 로타리 시프터와 원통형 흙 선별기의 시작품을 제작하고, 현재 미곡종합처리장에서 많이 이용되고 있는 로타리 시프터는 설계요인 분석이 불가능하므로 편심추의 적정 회전 속도에 따른 성능 분석을 수행하고, 원통형 흙 선별기는 설계인자와 운전인자에 따른 성능 분석을 수행하였다. 그리고 적정 운전 조건의 로타리 시프터와 원통형 흙 선별기의 조합 시스템에서의 선별 효율 분석을 통하여 개발된 정밀쇄미선별시스템의 성능을 분석하였다.

제 2 절 로타리 시프터 쉼미선별기 시작품 개발 및 성능실험

1. 로타리 시프터 시작품 설계

현재 전국적으로 미곡종합처리장에서 사용되고 있는 로타리 시프터 (rotary sifter) 쉼미 선별기는 8단의 2 ton/h 용량이 대부분이다. 로타리 시프터의 설계 인자로서 가장 중요한 것은 체망의 크기이며 단수 (체망의 층수)는 처리 용량과 관련이 있다. 사용되고 있는 체망은 사각체망인데, 이 사각체망으로는 길이 요인에 대한 완전 선별이 이론적으로 불가능하

다. 왜냐하면 백미는 길이가 길고 두께와 폭은 작기 때문에 작은 크기인 폭에 의하여 체망을 통과할 수 있기 때문이다. 따라서 많은 시행착오와 현장 실험을 통하여 현재의 로타리 시프터가 설계된 것으로 판단하였다. 그러므로 본 실험에서는 로타리 시프터의 중요 운전 인자인 진동체의 편심추의 회전속도에 대한 선별효율 분석을 수행하고자 하였다.

그림 4-1 과 4-2 는 제작된 로타리 시프터 시작기의 치수를 나타낸 외관도와 체망 조립도이며, 그림 4-3 은 외관 사진을 나타낸 것이다. 현재 많이 이용되고 있는 시간당 2톤 용량의 8단 구조이며, 운전 인자 실험을 위하여 진동체 편심추의 회전속도 제어용 인버터를 부착하였다.

2. 재료 및 방법

실험 재료인 백미는 익산 미곡종합처리장에서 청결미 500 kg 과 쉐미 50 kg 을 구입하여 도정기에서 배출되는 백미의 쉐미혼입을 (제 2 장 3 절 참조) 과 가능한 유사하도록 배합하였다. 표 4-1 은 공시재료의 쉐미 혼입율을 나타낸 것이다.

표 4-1. 공시재료의 쉐미 혼입율

완전립 출구		대쉐미 출구	소쉐미 출구	미강 출구
완전립	준완전립	대쉐미	소쉐미	미강
> 3.75 mm	2.5~3.75 mm	1.75~2.5 mm	1.4~1.75 mm	< 1.4 mm
91.0%	5.2%	2.4%	0.7%	0.7%

실험처리는 최대 공급을 1800 kg/h (F2) 와 그 반인 900 kg/h (F1), 진동체 편심추의 분당 회전수는 최대 회전수 200 rpm (S2) 과 그것의 80% 인 160 rpm (S1) 에 대하여 3반복으로 하였다. 그러나 회전수가 감소할수록 처리용량이 감소하기 때문에 회전수 S1에서는 공급을 F2 의 실험이 불가

능하였다. 실험처리별 선별효율 분석을 위한 시료는 수거량이 많은 완전립 출구에서는 공급을 F1 일 때는 시료공급 후 6분, 9분에서, F2 일 때는 10분, 15분에서 30초간씩 총 1분간, 대쇄미 출구에서는 동일한 시각에 1분간씩 총 2분간 수거한 양을 잘 혼합한 후 일정량을 채취하였으며, 수거량이 적은 소쇄미와 미강 출구에서는 총 수거량에서 잘 혼합한 후 일정량을 채취하였다.

채취한 시료의 성분 분포를 분석하기 위하여, 완전립과 준완전립은 제 3장에서와 같이 입선별기로 선별하였으며, 대쇄미와 소쇄미 및 미강은 Ro-tap 진탕기 (그림 2-1) 를 10분간 사용하여 진탕, 선별하였다.

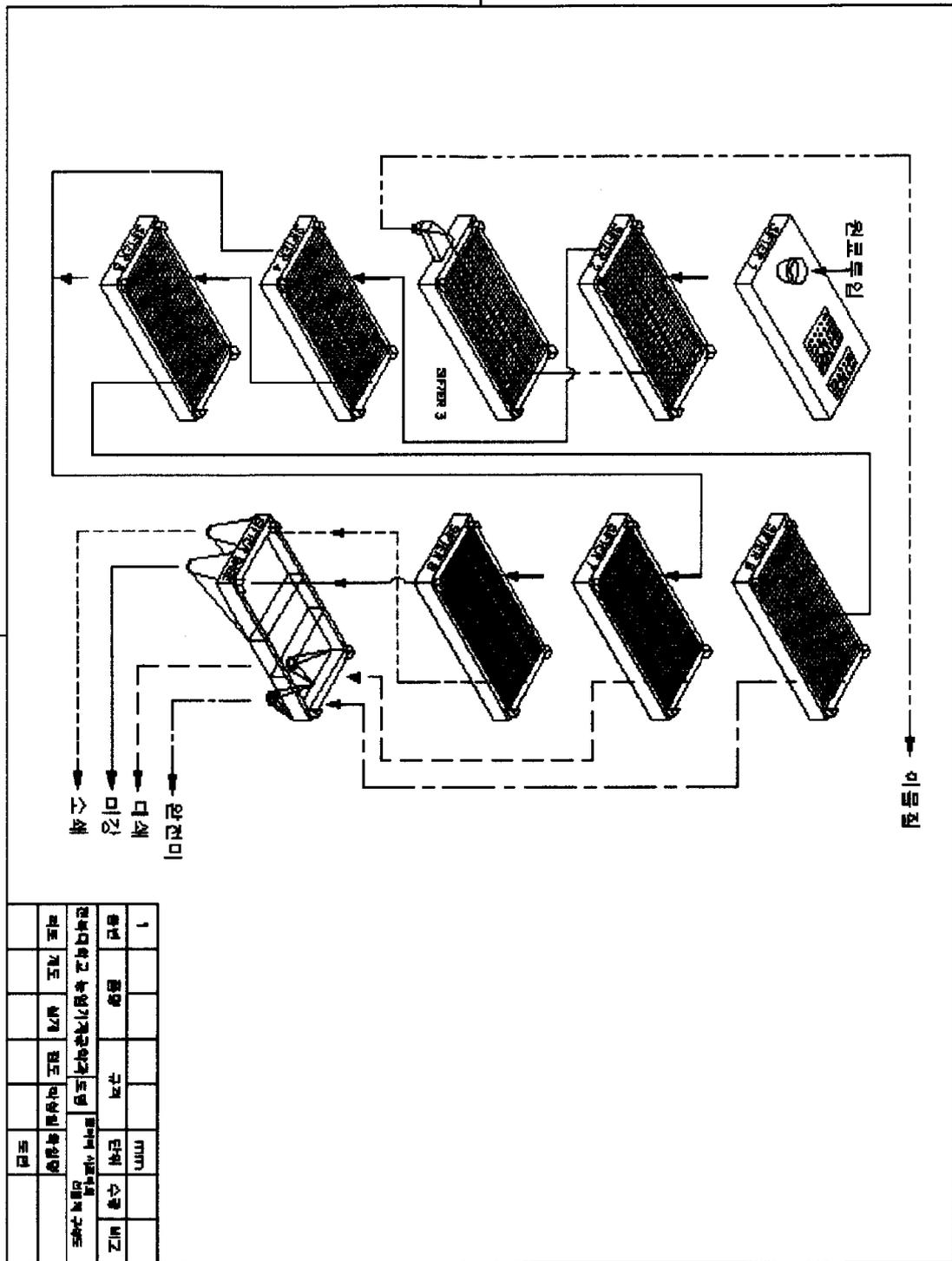


그림 4-2. 로타리 시프터 시작기의 체망 조립도

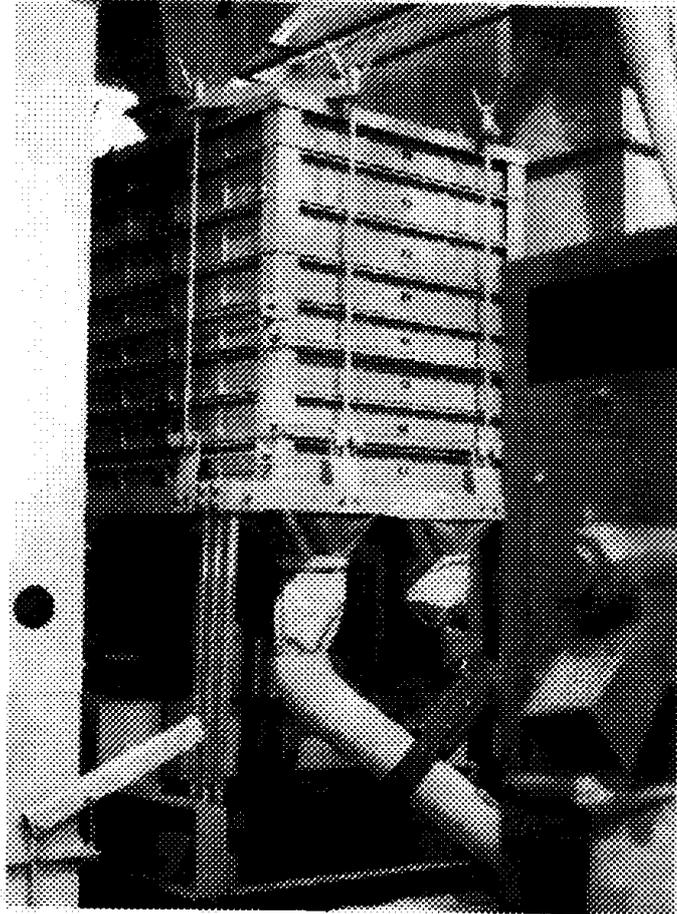


그림 4-3. 로타리 소프트러 시작기의 외관

3. 선별성능 분석

표 4-2는 실험처리별 선별효율의 평균값이며, 그림 4-4로 이를 도시하였다.

표 4-2. 실험처리별 평균 선별효율 (%)

Tmt. \ Effi.	E 1	E 2	E 3	E 4
F1S1	37.5	16.6	34.0	62.0
F1S2	47.3	25.1	3.5	54.0
F2S2	44.8	24.6	3.3	51.3

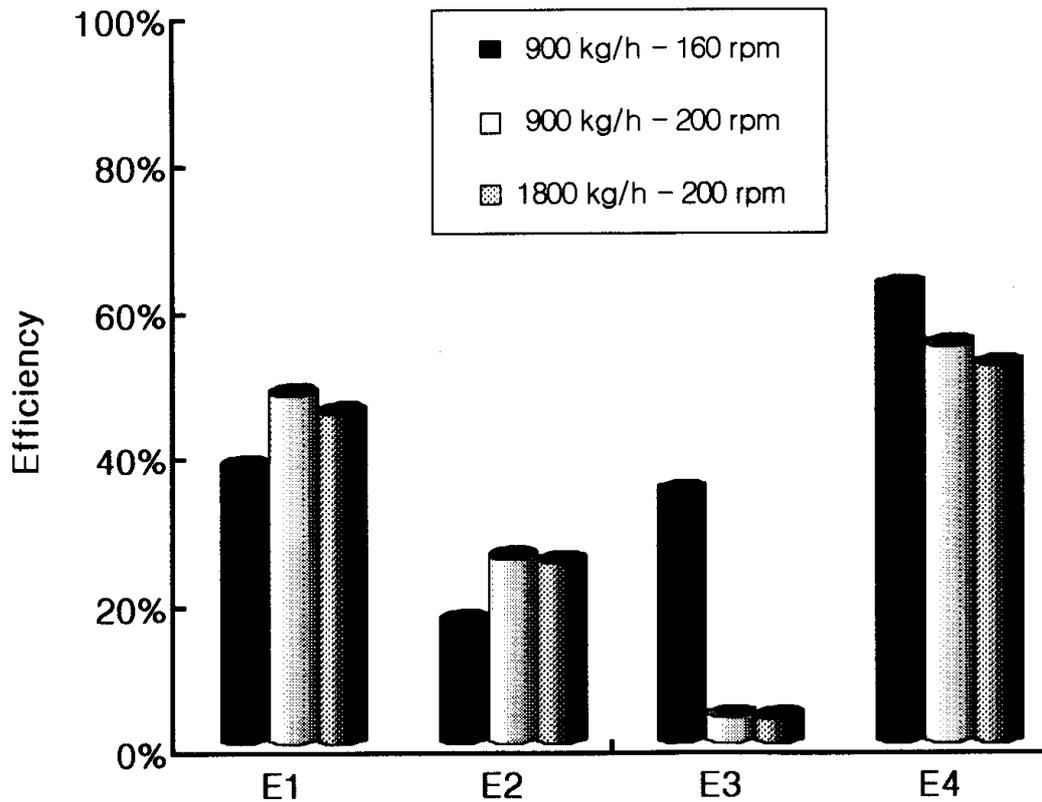


그림 4-4. 실험처리별 평균 선별효율

표에서 나타낸 기호 E는 선별효율을 의미하며 그 정의는 다음과 같다.

$$E1 = D11 \times D(23)(23) \times P(23)(23) \dots \dots \dots (4-1)$$

$$E2 = D22 \times P22 \dots \dots \dots (4-2)$$

$$E3 = D33 \times P33 \dots \dots \dots (4-3)$$

$$E4 = D44 \times P44 \dots \dots \dots (4-4)$$

여기서, E1은 전체 선별효율, E2, E3, E4는 각각 대쇄미, 소쇄미, 미강의 선별효율을 의미하며, D11은 완전립 출구에서의 완전립 수거율, D(23)(23)은 대쇄미와 소쇄미를 구분하지 않고 동일한 쇄미로 가정하였을 때의 쇄미 수거율, D22는 대쇄미 출구에서의 대쇄미 수거율, D33은 소쇄미 출구에서의 소쇄미 수거율, D44는 미강 출구에서의 미강의 수거율을, P는 순도의 기호이며, 뒤에 붙는 숫자들의 의미는 전술한 것과 동일하다.

표와 그림에서 보면, 공급율은 선별효율에 영향을 주지 않고 진동체의 편심추의 회전수가 증가할수록 전체 및 대쇄미의 선별효율은 10% 포인트 정도 증가하고 소쇄미의 선별효율은 30% 포인트 정도 감소하고 있다. 그림 4-5는 두 회전수에 대하여 전체 선별효율과 수거율 및 순도를 나타낸 것인데, 낮은 회전수에서 효율과 순도는 낮은 반면 수거율은 더 높게 나타나고 있다. 그림 4-6은 실험처리별 대쇄미, 소쇄미, 미강 출구에서의 총 배출량을 나타낸 것이다. 공급율의 증가율과 배출량의 증가율은 비슷한 것으로 나타나고 있는데, 이것은 공급율이 선별효율에 영향을 주지 않는 것을 시사한다. 낮은 회전수가 높은 회전수에 비하여 배출량이 대쇄미 출구에서는 30%, 소쇄미 출구에서는 50% 정도 더 많은 것으로 나타나고 있는데, 낮은 회전수에서는 작은 입자뿐만 아니라 체망보다 큰 입자도 많이 배출된다는 것을 의미한다. 긴 입자가 낮은 회전수에서는 세로로 잘 서는 경향이 있다는 기존의 보고와 일치하는 결과로 판단된다.

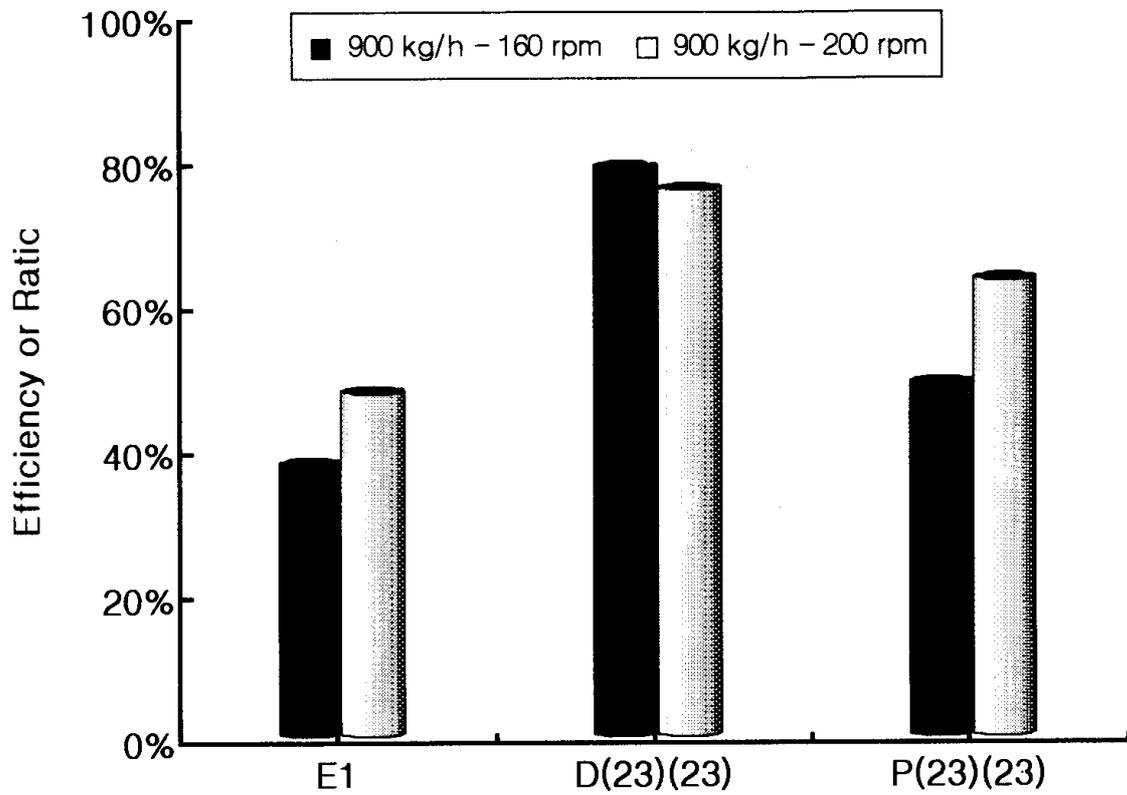


그림 4-5. 회전수에 따른 전체 선별효율, 수거율 및 순도

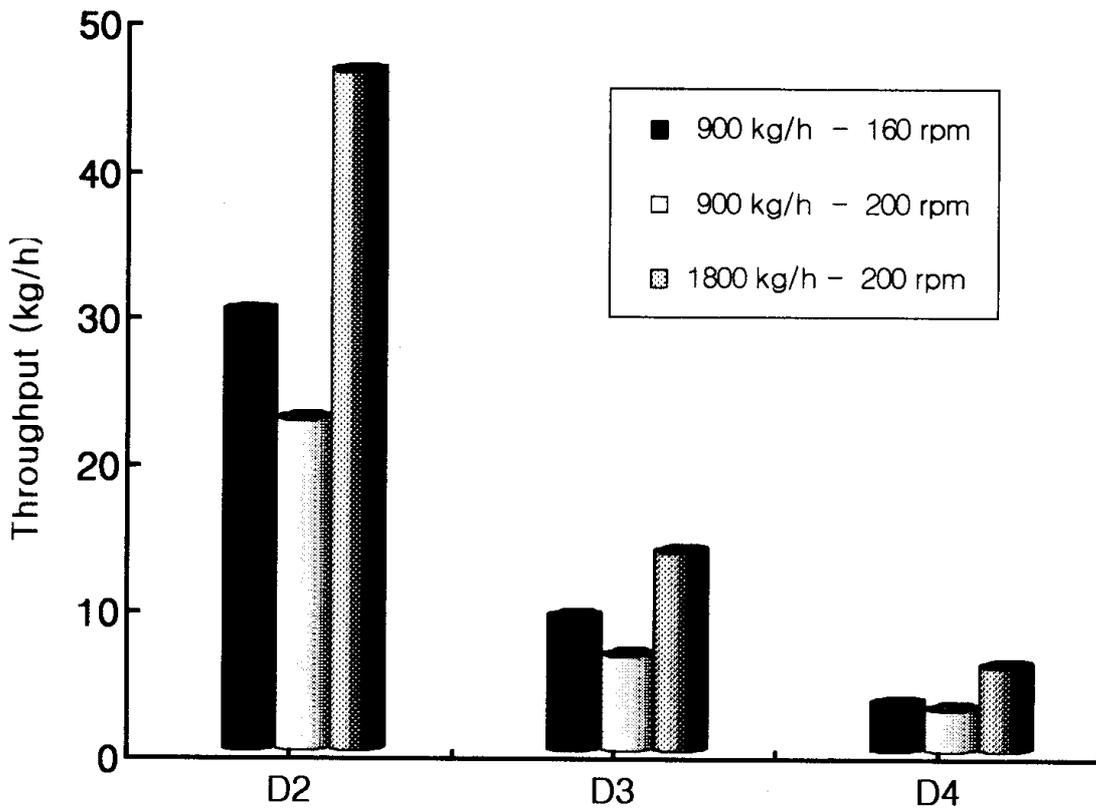


그림 4-6. 실험처리별 대쇄미, 소쇄미 및 미강 출구의 총 배출량

제 3 절 원통형 흙 쇄미선별기 시작품 개발 및 성능실험

1. 원통형 흙선별기 시작품의 설계

원통형 흙 선별기 (indented cylinder separator)는 곡립의 길이의 차이를 이용하여 선별을 수행하며, 그림 3-2와 같이 회전원통, 선별된 입자를 받는 V자형 집적통, 투입부, 구동부 등으로 구성된다. 회전원통의 안쪽 벽면에는 일정한 모양의 흙들이 파여져 있어 곡물이 호퍼를 통해 회전원통의 내부로 공급되면 길이가 짧은 곡립은 흙 속에 완전히 들어가기 때문에 원통이 어느 정도 회전한 후에야 흙에서 집적통 (trough)으로 떨어지며, 길이가 긴 곡립은 흙 속에 완전히 들어가지 못하기 때문에 원통이 회전하는 도중에 일찍 낙하하여 원통 내로 다시 떨어지게 된다. 따라서, 짧은 곡립은 집적통에 수거되며, 긴 곡립은 원통을 따라 출구쪽으로 이송되어 양자간의 분리, 선별이 이뤄진다.

원통형 흙 선별기의 3가지 주요 지표인 선별되는 곡립의 길이, 선별효율, 처리능력은 다양한 인자들에 의해 결정되는데, 본 연구에서는 문헌조사 및 실험실 규모 원통형 흙 선별기의 실험결과 (제 3 장) 분석을 토대로 하여 이들 작동 및 설계인자들의 적정값을 아래와 같이 결정하여 처리능력 800 kg/hr의 파이로트 규모 원통형 흙 쇄미선별기를 설계하였다.

가. 흙의 형상

선별되는 곡립의 종류와 모양에 따라 원뿔형, 원추형, 원통형, 말발굽형 등 복잡다양한 형상의 흙을 가진 선별기들이 사용되어 왔지만, 가공의 난이도, 제작비, 내마모성 등과 같은 현실적인 문제 때문에 현재는 금속판에 비교적 단순한 형상의 흙을 프레스 가공으로 만든 후, 이 판재를 등글게

말아 용접함으로써 회전원통을 제작하는 방식이 주종을 이루고 있다. 본 연구에서 제작한 파이로트 규모 원통형 흡 쇄미선별기의 회전원통 내벽에 제작될 흡의 모양은 제 3 장의 연구결과를 토대로 판단할 때, 제작비도 염가이고 성능도 우수한 반구형이 적당하다고 판단하였다. 현재 대부분의 상용 원통형 흡 선별기에서 채택하고 있는 흡의 형상도 반구형이다 (그림 3-5 참조).

나. 흡의 각 부 크기

프레스 가공에 의해 회전원통의 내벽에 반구 형상의 흡을 제작할 경우, 가공모재의 두께는 3mm 이하여야 한다는 현실적인 제약이 있다. 이에 따라 흡의 직경과 각 부 크기들 간에는 정형화된 관계들이 존재하며, 일반적으로 흡의 직경에 따라서 다음과 같은 두 종류의 실험식들을 각각 사용하여 각 부 크기를 결정한다. 흡의 배열은 밀집도를 높이기 위해서 보통 마름모형으로 배치된다 (그림 4-7). 실린더의 가로방향 흡 배치 간격 t 와 세로방향 배치간격 t_1 은 흡의 직경 d 로부터 보통 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$t = 0.6(1+2d) \dots \dots \dots (4-5)$$

$$t_1 = t\sqrt{3} \dots \dots \dots (4-6)$$

본 연구에서 제작할 파이로트 규모 원통형 흡 쇄미선별기의 흡의 직경은 선별 대상인 한국의 쇄미기준 (완전립 길이의 1/2 이하) 과 미국의 쇄미기준 (완전립 길이의 3/4 이하) 을 근거로 2.5 mm 와 3.75 mm 로 결정하였는데, 이들은 각각 단립종 백미 완전립의 평균 길이인 5 mm 의 1/2 과 3/4 에 해당한다. 그러나 선별 대상인 쇄미의 길이별 분포를 분석한 결과 (제 2 장 3 절), 대쇄미 (1.75~2.5 mm) 의 경우, 2.3~2.5 mm 크기가 가장 많

았기 때문에 2.5 mm 흠 직경 보다 큰 것이 유리하므로, 3.0 mm 가 더 적당하다고 판단하였다.

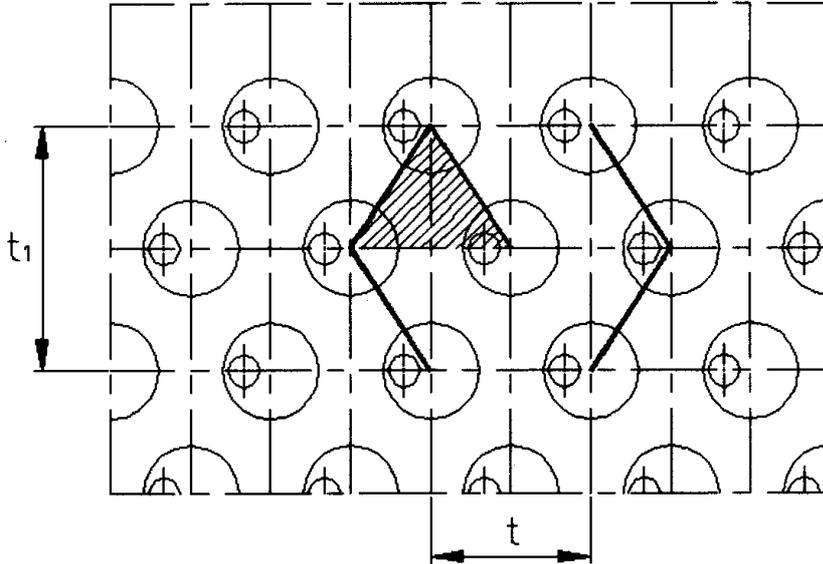


그림 4-7. 흠의 마름모 형 배치도

다. 회전원통의 크기 (직경과 길이)

회전원통의 길이는 원통형 흠 쇄미선별기에 요구되는 처리능력 Q (kg/hr)와 원통 내면의 실제 단위면적당 처리능력 q_F ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{hr})$)으로부터 결정된다. 파이롯트 규모 원통형 흠 쇄미선별기의 목표 처리능력 Q 는 800 kg/h (파이롯트 규모)로 결정하였으며, q_F 는 선별원료에 포함된 쇄미의 구성비, 원통 내면 단위면적당의 흠의 개수, 원통 회전속도 등의 함수로 표시할 수 있지만, 일반적으로 실험에 의하여 얻어진다. 문헌에 따르면 밀의 경우, $q_F = 550 \sim 600 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{hr})$ 정도의 값이 보고되었으나, 백미를 선별대상으로 하는 본 연구에서는 여유율을 고려하여 $500 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{hr})$ 로 설정하였다. 회전원통의 직경은 대형 선별기의 경우 1.1 m 까지도 보

고되지만 본 연구에서는 처리능력 800 kg/hr 인 파이로트 규모 원통형 흠쇄미선별기의 제작이 목적이며, 두께 3 mm 알루미늄 판 모재를 대상으로 한 프레스, 벤딩, 용접에 따른 실질적인 가공상의 문제 때문에 0.38 m 로 설계하였다. 이상의 설계치들로부터 회전원통의 길이 L은 다음과 같이 결정되었다.

$$S = \frac{Q}{q_F} = 2\pi R_c L \quad \dots \dots \dots (4-7)$$

$$\therefore L = \frac{Q/q_F}{2\pi R_c} = \frac{800/500}{2\pi(0.19)} = 1.34\text{m}$$

라. 회전원통의 경사각도

원통형 흠쇄미선별기에 투입된 원료는 회전원통 안에서 원통의 길이방향을 따라 이송, 배출되어야 하므로 흐름성이 좋지 않은 원료의 선별시 회전원통을 수평면에 대해 경사지게 설치할 필요가 있으며, 대부분의 경우 최대 5° 까지 경사각을 주고 있다. 본 연구에서는 회전원통의 지지부 높이를 조절 가능하도록 설계하여 회전원통의 경사각이 0~5° 범위에서 변경되도록 하였다. 또한 집적통 아래에 곡물의 흐름을 원활하도록 도움을 주는 안내깃을 설치하였다.

마. 원통의 회전속도

쇄미에 작용하는 중력과 원심력의 크기가 같게 되면 회전원통 내벽의 흠속에 들어간 쇄미는 집적통으로 낙하하지 않고 계속 흠속에 머무르게 되어 선별 자체가 불가능하게 된다. 즉, 원통의 임계회전속도는 중력에 대한 원심력의 비율인 지수 K가 1.0 일 때의 회전속도로 정의되어 다음과 같이 계산되며, 선별을 위한 원통의 실제회전속도는 1.0 이하의 적정한 K 값을 지정함으로써 주어지게 되는데, 주로 0.15~0.67 범위의 값들이 보고

되고 있으며 대용량 상용 시스템에서는 최대 0.8 까지도 가능한 것으로 보고되고 있다. 아래의 식은 K=1 일 때의 원통 임계 회전속도를 계산한 것이다.

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{mR_c \omega^2}{mg} \\
 &= \frac{R_c \omega^2}{g} = \frac{R_c}{g} \frac{\pi^2 n^2}{900} \quad \dots \dots \dots (4-8) \\
 \therefore n_{crit} &= \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{gK}{R_c}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{1.0 \times 9.81}{0.19}} = 68.6 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

본 시작기의 원통 임계 회전 속도는 약 69 rpm 정도로 계산되는 바, 교류 전동기 (1 hp / 1720 rpm)에 감속비 30:1의 감속기를 부착하여 원통의 최대 회전속도는 57.3 rpm 이 되도록 설계하였다. 또한, 주파수 인버터를 전동기와 전원 사이에 설치하여 최대 회전속도 이하에서 무단 변속이 가능하도록 하였다.

2. 원통형 흙 선별기 시작품의 구조 및 제원

제작한 원통형 흙 선별기는 2단 구조로 되어 있는데, 상단에는 크기가 3 mm 인 반구형 흙의 원통을 장착했고, 하단부에는 크기가 3.75 mm 인 반구형 흙의 원통을 장착하였다. 상단에 사용된 반구형 3 mm 흙 원통은 길이 2.5 mm 이하의 쇄미 선별용이며, 하단의 3.75 mm 흙 원통은 길이 2.5~3.75 mm 의 준완전립 (한국기준으로는 완전립이나, 미국기준에서는 쇄미이기 때문에 본 연구에서는 준완전립으로 명명하였음; 제 2장 5절 참조) 선별용이다. 그림 4-8 은 원통형 흙 쇄미선별기 시작기의 구조를 나타낸 개략도이다.

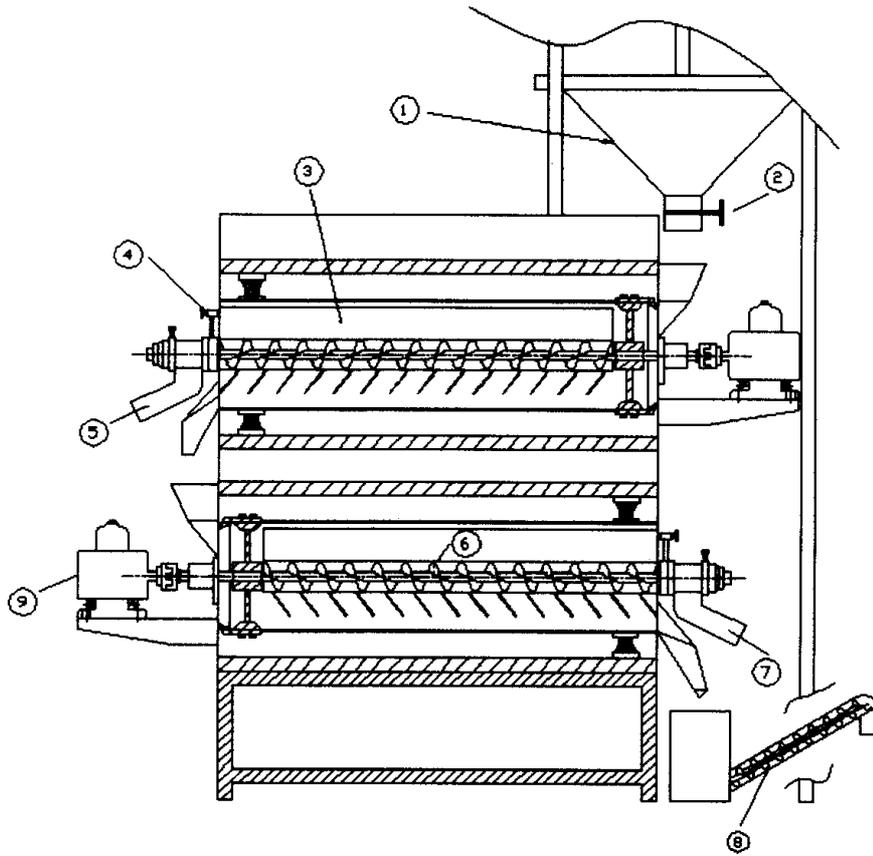


그림 4-8. 원통형 흙 선별기 시작품의 개략도

- ① 시작기 호퍼, ② 공급량 조절장치, ③ trough, ④ trough
 각도 조절장치, ⑤ 상단 쇄미 출구, ⑥ 수거된 쇄미 배출
 screw conveyor, ⑦ 하단 준완전립 출구, ⑧ 완전립 이송
 screw conveyor

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 60 간격으로 제어 가능하다. 그리고, 선별된 시료는 screw conveyor(⑥)에 의해서 출구로 배출되며 screw conveyor는 선별원통의 축에 고정되어 있기 때문에 선별원통의 회전속도와 동일하게 회전한다. 표 4-3은 시작기의 주요 제원을 나타낸 것이다. 그림 4-9는 원통형 흙 선별기 시작기의 치수를 나타낸 도면이며, 그림 4-10은 시작기의 외관과 내부 선별원통의 사진이다.

표 4-3. 원통형 흙 쇄미선별기 시작기의 제원

	Specification
외형 크기	1500×680×2100 mm (L×W×H)
중량	75 kg
전원	3 phase, 220 V
인버터	Starvert-iG5 (LG Industrial Sys. Co.) Input : AC 3 phase 220~230 V / 50~60 Hz Output : AC 3 phase 220~230 V, 1.9kVA, 5 A
동체 경사각 조절 범위	0~6°
선별원통의 정격 회전속도	30 rpm
선별원통의 크기	1350×φ 245 mm
선별 흙의 형상과 크기	반구형 3 mm, 3.75 mm

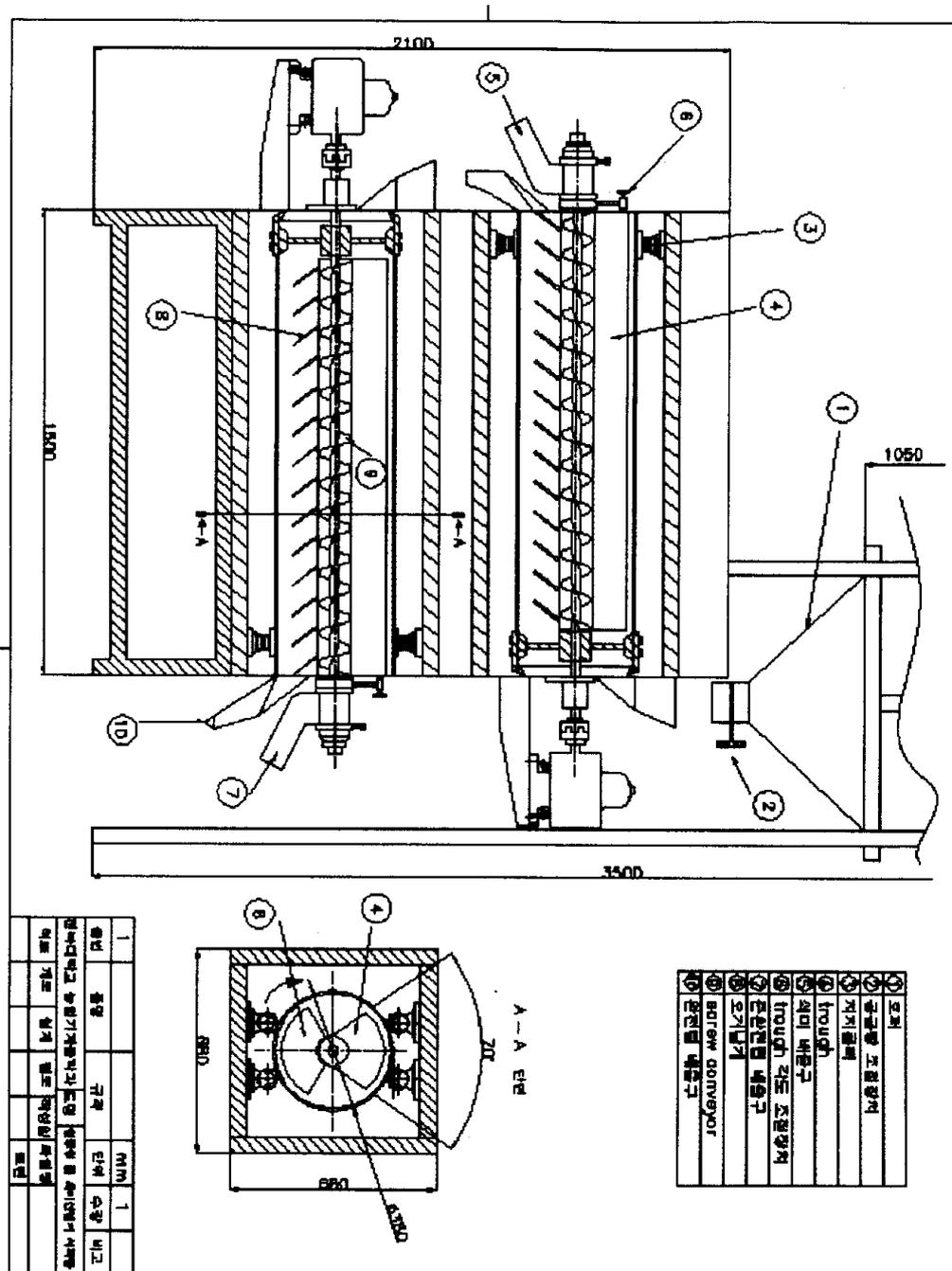


그림 4-9. 원통형 흙 선별기 시작기의 구조도

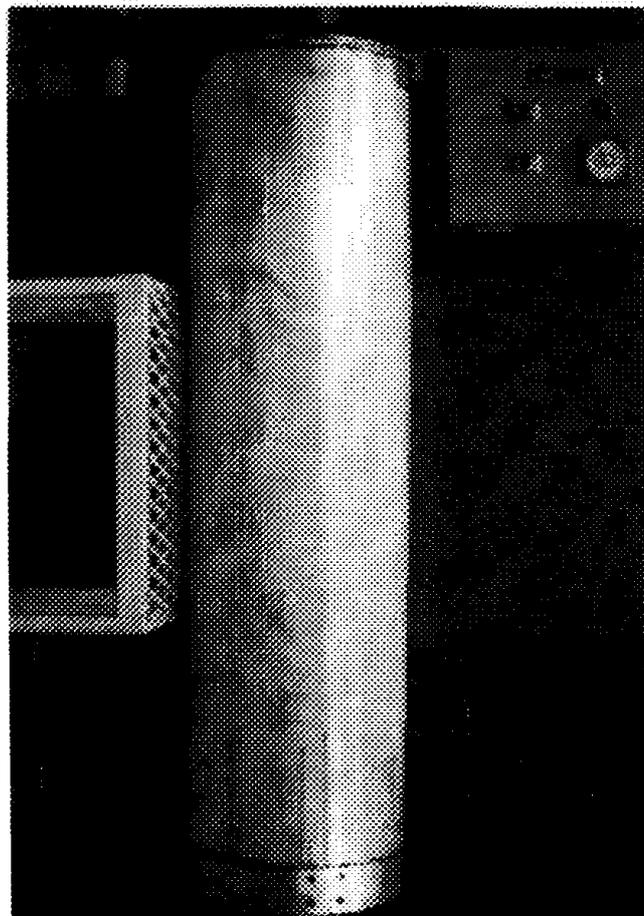
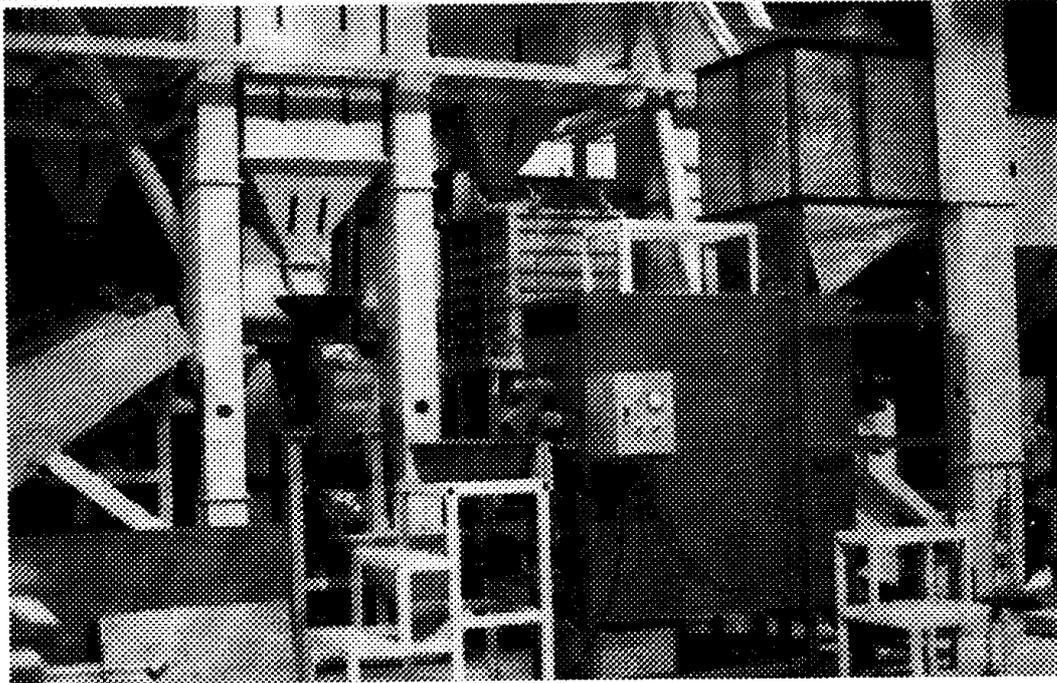


그림 4-10. 원통형 흙 선별기 시작기의
외관 및 내부 선별원통

3. 재료 및 방법

실험재료인 백미는 로타리 시프터 실험에 사용된 것으로서 실험 중에 시료 채취와 분실 등으로 조금씩 쇄미 혼입율이 달라질 수 있는데, 1 반복 실험이 종료될 때마다 시료 혼입율을 조정하여 가능한 일정한 비율이 되도록 하였다. 표 4-4는 공시재료의 쇄미 혼입율을 나타낸 것이다.

표 4-4. 공시재료의 쇄미 혼입율

완전립	준완전립	쇄미
> 3.75mm	2.5~3.75mm	< 2.5mm
91.0%	5.2%	3.8%

실험은 공급율 3수준 (F1; 400, F2; 600, F3; 800 kg/h) 을 집구로 설정하고, 원통의 회전수 3수준 (S1; 35, S2; 45, S3; 55 rpm) 과 집적통의 각도 3수준 (A1; 37, A2; 55, A3; 73°) 을 요인으로 하는 3²의 요인실험으로 2반복하였다. F3, S3 및 A3 수준은 원통형 흙 선별기 시작기의 최대 설계 용량이다.

한 처리별 시료의 순환 과정은 저장 호퍼 ⑪에서 나온 시료는 버킷 엘리베이터 ⑩를 통해 시작기 호퍼 ①로 이송되고, 실험수행 중 완전립 출구와 준완전립 출구 ⑦로 배출된 시료는 이송 스크류 컨베이어 ⑧와 버킷 엘리베이터를 통해 다시 저장 호퍼로 이송된다 (그림 4-11 참조). 실험수행 중 소량씩 배출되는 쇄미 출구 ⑤에서는 큰 용기에 쇄미를 수집하였다가 저장 호퍼 ⑪에서 시작기 호퍼 ①로 시료를 이송할 때 버킷 엘리베이터 ⑩에 소량씩 분산 투입하여 쇄미가 잘 혼합되도록 하였다.

시작기 호퍼로부터 선별원통 내부로 시료의 투입이 시작된 후, 투입시료의 흐름이 확실히 정상상태에 도달되었다고 판단되는 10분 후부터 완전

립 출구, 준완전립 출구, 쇠미 출구로부터 시료의 채취를 시작하였다. 그 후 F3 와 F2 수준에서는 5분마다 완전립 출구에서 20초 동안, 준완전립 출구와 쇠미 출구에서는 1분 동안 시료를 수집하였고, F1 수준에서는 10분 후부터 10분마다 완전립 출구에서는 40초 동안, 준완전립 출구와 쇠미 출구에서는 2분 동안 시료를 수집하였다. 수집된 시료는 잘 혼합한 다음, 완전립 출구에서 수집된 시료는 125g 씩 두 번을 분석용 시료로서 채취하였고, 준완전립과 쇠미 출구에서 수집된 시료는 각각 125g 씩 한 번 채취하였다. 출구별로 채취된 분석용 시료는 2단 구조로 된 입선별기를 사용하여, 완전립, 준완전립 및 쇠미의 양을 측정하였다.

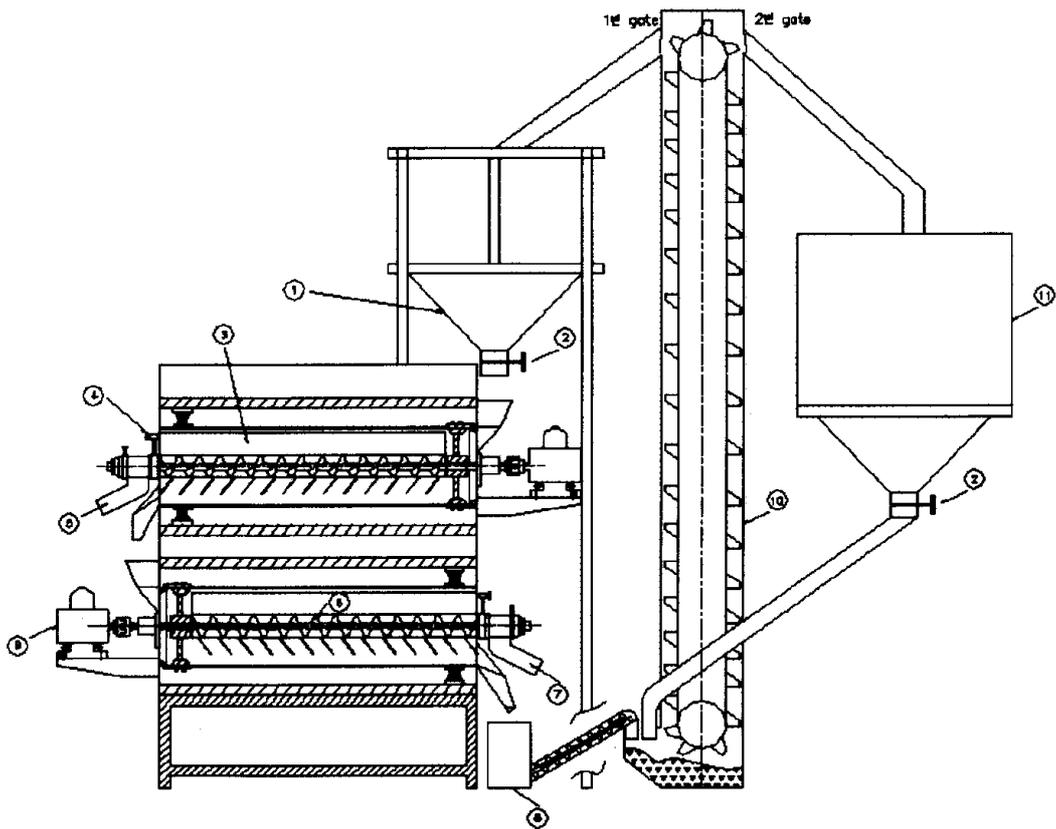


그림 4-11. 시작기, 시료 이송용 버킷 엘리베이터 및 저장 호퍼 간의 연결도

4. 선별성능 분석

선별 성능 분석을 위하여 사용된 용어와 기호는 4장 2절의 로타리 시프터의 선별 성능 분석과 3장에서 사용된 것과 유사한 개념이다. 다음은 용어와 기호의 정의를 요약한 것이다.

$$E1 = D11 \times D(23)(23) \times P(23)(23) \dots \dots \dots (4-1)$$

$$E2 = D22 \times P22 \dots \dots \dots (4-2)$$

$$E3 = D33 \times P33 \dots \dots \dots (4-3)$$

$$E4 = D44 \times P44 \dots \dots \dots (4-4)$$

여기서, E1은 전체 선별 효율, E2는 완전립, E3는 준완전립, E4는 쇄미의 선별 효율을 의미하며, D11은 완전립 출구에서의 완전립 수거율, D(23)(23)은 준완전립과 쇄미를 구분하지 않고 동일한 쇄미로 가정하였을 때의 쇄미 수거율, D22는 준완전립 출구에서의 준완전립 수거율, D33은 쇄미 출구에서의 쇄미 수거율을, P는 순도를 뜻하는 기호이며 뒤에 붙는 숫자들의 의미는 앞에서 설명한 것과 동일하다. 또한 D2(23)은 준완전립 출구에서의, D3(23)은 쇄미출구에서의 준완전립과 쇄미의 통합 수거율을 의미한다. D2는 준완전립 출구에서의 총 배출량, D3는 쇄미출구에서의 총 배출량, P21은 준완전립 출구에서의 총 배출량에 대한 완전립 량의 비, P23은 준완전립 출구에서의 총 배출량에 대한 쇄미 량의 비, P31은 쇄미 출구에서의 총 배출량에 대한 완전립 량의 비, P32는 쇄미 출구에서의 총 배출량에 대한 준완전립 량의 비를 의미한다.

가. 홈 원통의 회전수와 trough 경사각의 효과

그림 4-12는 공급율 3 수준의 평균 선별 효율을 요인 처리별로 나타낸 것이다. 집적통의 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 보이고 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 쇠머가 더 높은 위치까지 올라갈 수 있기 때문이다. 선별 효율의 최대치는 S1A1 조건에서 70% 정도로 나타나고 있으며 S2, S3 수준으로 회전수가 증가할수록 최적의 경사각에서 나타나는 선별 효율이 65%, 58%로 점점 감소하는 경향을 보이고 있다. 따라서, 본 실험에서 요인의 최적 조건은 S1A1으로 판단된다. 그러나 회전수가 빠를수록 처리 용량이 증가하기 때문에 상용 대용량의 선별기에서는 대체로 고속 회전을 선호하는 것으로 보고되고 있다.

그림 4-13은 실험 처리별 공급율 3 수준에서의 준완전립과 쇠머의 통합 수거율과 순도의 평균값을 나타낸 것이다. 수거율이 증가하면 순도는 감소하고, 경사각이 클수록 순도는 높고 회전속도가 증가할수록 순도는 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 이러한 현상은 속도가 증가하면 선별원통 홈 직경보다 길이가 길어 홈에 완전히 들어가지 못하는 곡립이라도 원심력이 크기 때문에 높은 위치까지 올라갈 수 있다는 것을 의미한다.

표 4-5는 실험처리에 대한 분산분석 결과를 나타낸 것이다. 집구인 공급율, 요인인 회전수와 경사각 모두는 고도의 유의성을 보이고 있으며, 두 요인간 상호작용이 매우 큰 것으로 나타나고 있다.

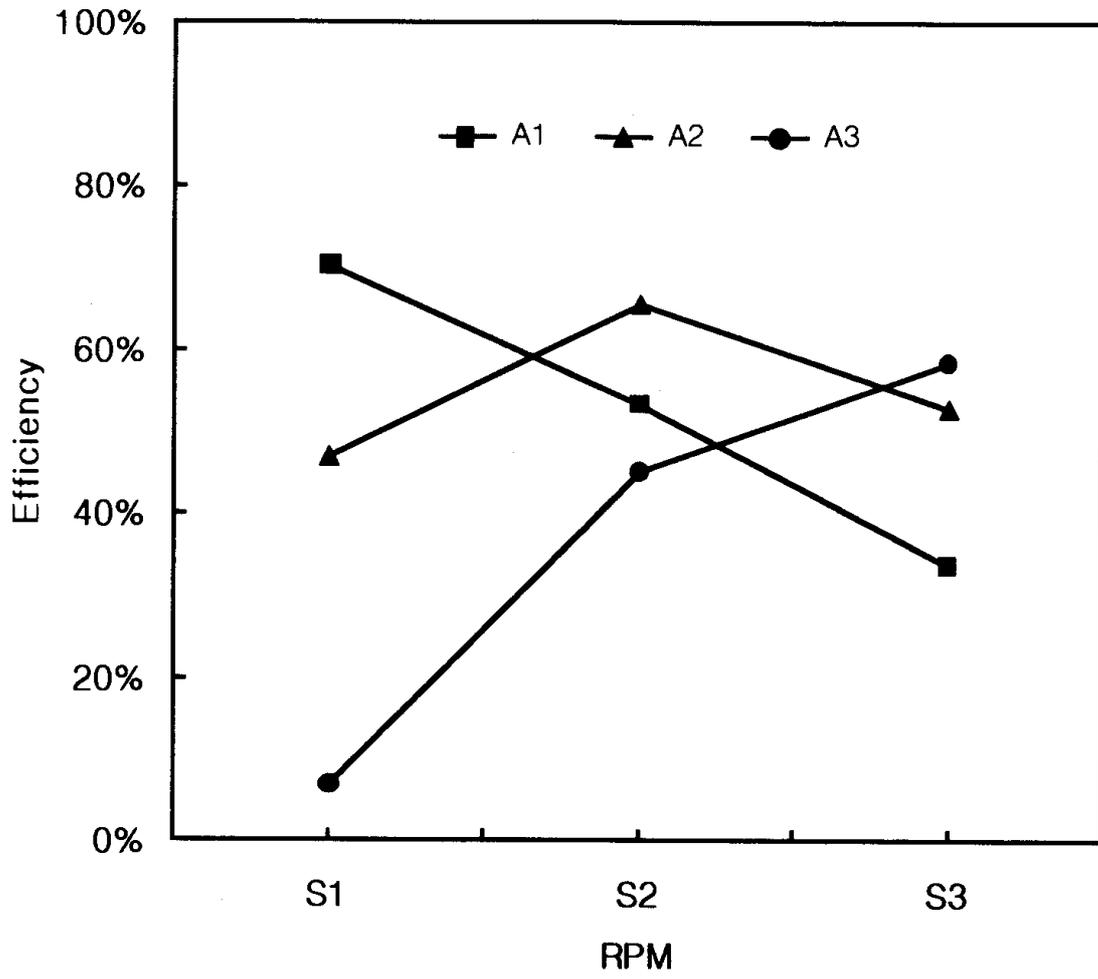


그림 4-12. 실험처리별 공급율 3수준의 평균 선별효율

표 4-5. 실험처리에 대한 분산분석

Source	d.f	S. S.	M. S.	F value
Total	26	1.0139		
Block	2	0.1233	0.06165	36.9**
Treatment	8	0.8638		
S (rpm)	2	0.0777	0.03887	23.30**
A (angle)	2	0.1762	0.08808	52.79**
Interaction (S*A)	4	0.6099	0.15248	91.39**
Error	16	0.0267	0.00167	

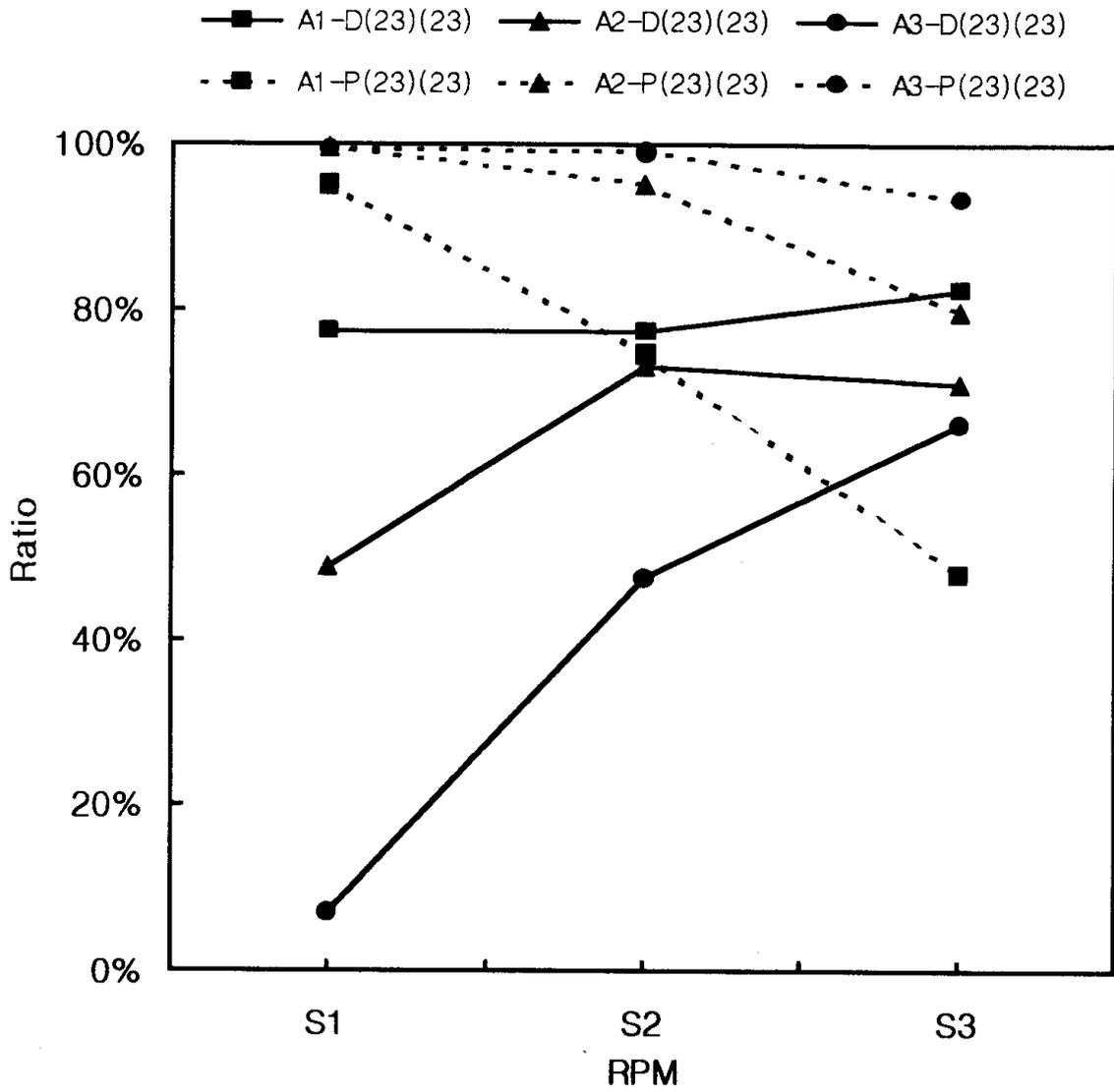


그림 4-13. 실험 처리별 공급을 3수준에서의 준완전립과 쇠미 통합 수거율과 순도의 평균값

나. 공급율의 효과

그림 4-14는 요인의 최적 조건인 S1A1에서 공급율에 따른 선별효율, 준완전립과 쉐미의 통합 수거율 및 순도를 나타낸 것이다. 공급율이 증가함에 따라 효율과 수거율은 동일한 경향으로 감소하지만 순도는 92%에서 96%로 약간 증가하고 있다. 이러한 현상은 동일한 회전 속도와 경사각의 조건에서 최적의 공급율이 존재한다는 것을 시사하는 것으로 판단된다. 즉 홈 선별기는 홈의 직경보다 작은 길이의 입자가 홈에 들어갈 확율이 높을수록 수거율이 높아지게 된다. 따라서 동일한 회전 속도에서 공급율이 많아지면 원통 속에 체류하는 시간이 짧아지므로 쉐미가 홈 속에 들어갈 확율이 낮아지게 됨으로서 수거율이 낮아지게 된다. 수거율이 낮다는 것은 홈 직경보다 작은 길이의 쉐미가 체류시간동안 홈 속에 들어가지 못하는 양이 많다는 것을 의미한다. 따라서 최적의 공급율이란 선별원통 속에 체류하는 시간동안 홈 속에 들어갈 수 있는 개수의 쉐미를 가지는 공급율이다. 극단적인 예를 들면, 투입원료 내에 쉐미가 거의 없는 경우에는 통속에 체류하는 동안 원료에 포함된 쉐미는 100% 홈 속으로 들어가서 선별이 될 것이며 오히려 홈 직경보다 길이가 약간 큰 입자도 잘못 선별되어 제거될 확률이 높아지므로 이 경우에는 수거율은 100%이지만, 선별 대상의 총량이 매우 적기만 할 뿐 아니라, 선별대상이 아닌 것이 잘못 선별될 가능성이 높아 순도는 매우 낮아질 수 있다. 반대로 선별대상인 쉐미가 원료 내에 매우 많은 경우에는 확률적으로 거의 쉐미들만이 선별되고, 선별 대상이 아닌 것이 잘못 선별될 확률은 매우 적을 것이다. 따라서 이 경우에는 수거율은 낮아지나 순도는 매우 높게 될 것이다.

시작기의 설계 처리용량은 800 kg/h 이지만 준완전립의 혼입율이 높은 편이기 때문에 전술한 이유로 적정량은 600 kg/h 정도로 추정된다.

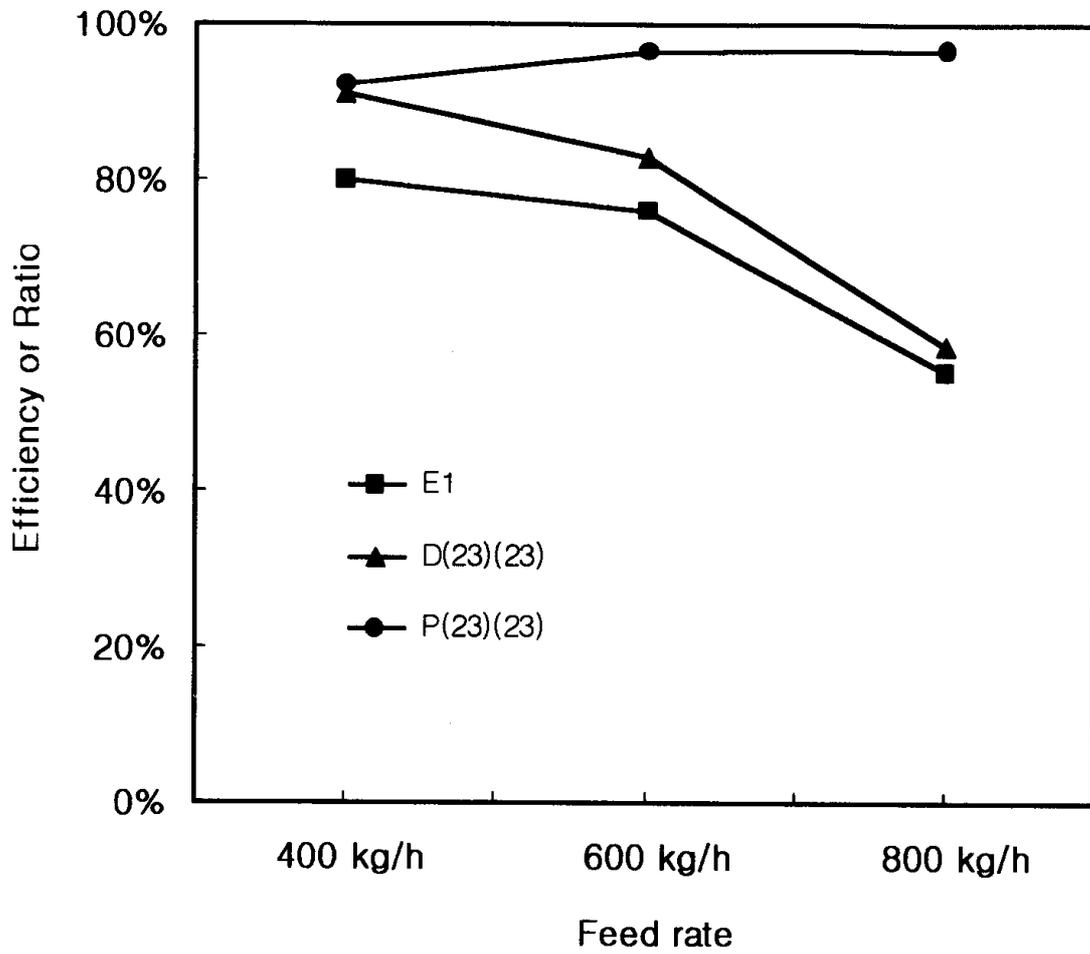


그림 4-14. 최적 조건인 S1A1에서 공급율에 따른 선별효율, 준완전립과 채미의 통합 수거율 및 순도

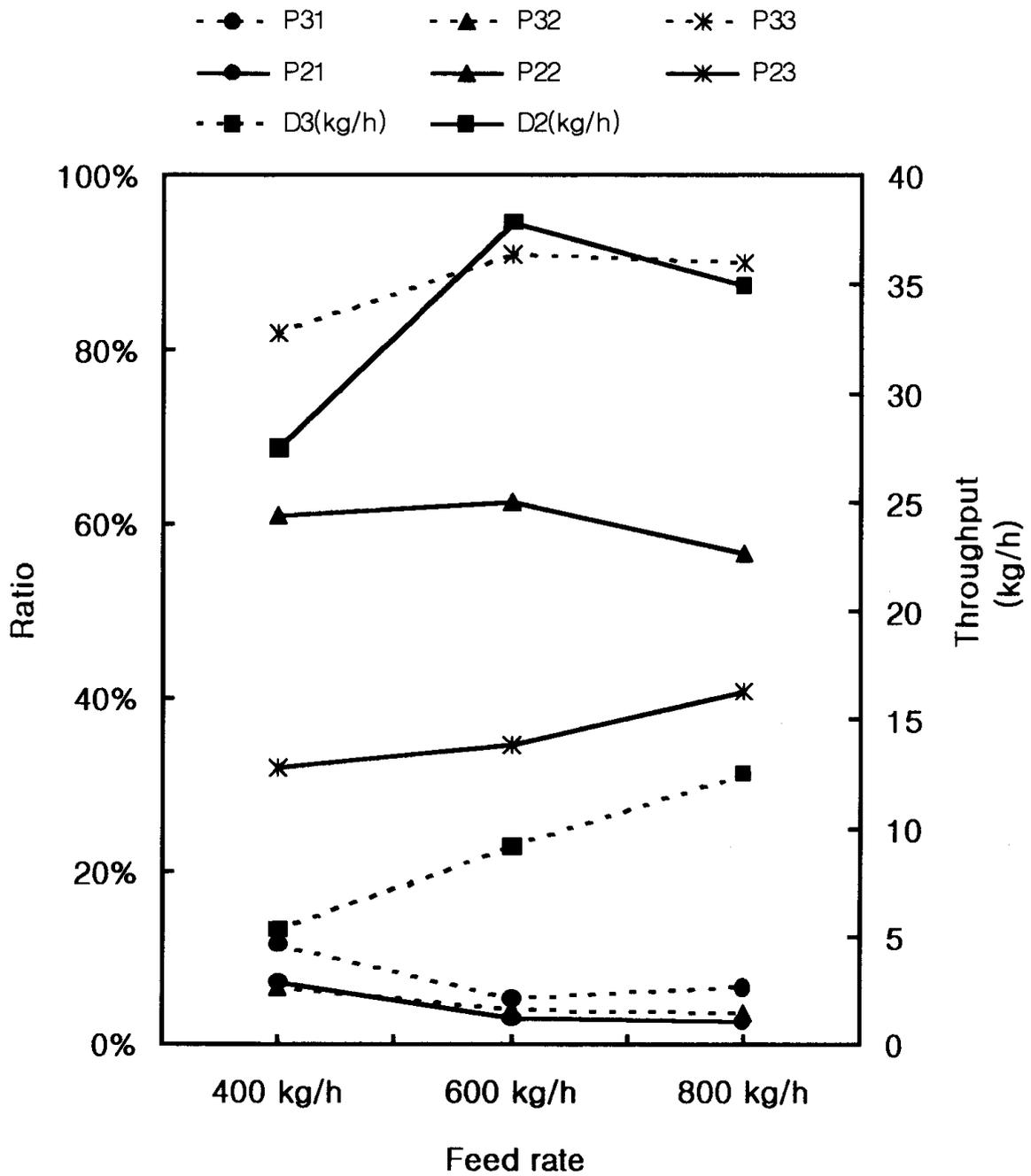


그림 4-15. 최적 조건인 S1A1에서 공급율에 따른 상·하단의 총 배출량과 성분비

그림 4-15는 최적 회전수와 경사각 조건인 S1A1에서 공급율에 따른 준완전립과 쉐미 출구에서의 총 배출량과 총 배출량에 대한 완전립과 준완전립 및 쉐미량의 비를 나타낸 것이다. 그림에서 쉐미의 출구인 윗단에서의 배출량은 공급율이 증가함에 따라 일정하게 증가하고 있다. 그러나 준완전립의 출구인 아랫단의 배출량은 600 kg/h에서 최대치를 나타내고 있다. 이것은 공급율이 증가함에 따라 쉐미 선별원통인 윗단에서 선별되지 않은 쉐미가 준완전립 선별통인 아랫단에서 선별되기 때문으로 분석된다. 이 현상은 아랫단에서 준완전립량의 비율(P22)이 감소하면 쉐미량의 비율(P23)이 증가함에서 알 수 있다. 따라서 아랫단에서 준완전립량의 비가 낮아지고 쉐미량의 비율이 증가하게 되면 총 배출량이 적어지게 되는데, 이는 원통형 흙 선별기 하나의 흙에는 선별 대상물이 하나씩만 포집되기 때문에, 동일한 수의 개체들을 선별했다 하더라도 준완전립이 쉐미보다 더 큰 크기와 무게를 갖고 있으므로, 중량으로써 총 배출량이 정의 되면 그 값은 감소하게 된다.

제 4 절 로타리 시프터와 원통형 흙 쉐미선별기 조합 시스템의 성능평가

정밀쉐미선별시스템은 대용량이며 비교적 저가격인 로타리 시프터와 소용량이나 정밀선별이 가능한 원통형 흙 선별기의 조합이 가장 적절할 것으로 판단하였다. 그림 4-16은 로타리 시프터 시작기와 원통형 흙 선별기 시작기를 조합하여 구성한 정밀 쉐미선별 시스템을 나타내고 있다.

실험 재료인 백미는 원통형 흙 선별기 성능실험에 사용된 것과 쉐미 혼입율을 동일하게 하여 2 반복 실험을 수행하였다. 로타리 시프터는 2 절의 연구 결과에서 구명된 소쉐미 선별효율이 높은 조건을 사용하여, 진동체

의 편심추 회전속도를 160 rpm, 공급율을 900 kg/h 로 하고, 원통형 흙 선별기는 3 절의 연구결과에서 공급율 800 kg/h 에서 최적으로 구명된 S1A1 조건으로 하여 실험을 수행하였다.

정밀쇄미선별시스템의 성능실험 결과, 전체 선별효율은 69%, 수거율은 87%, 순도는 82% 정도로 분석되었다. 그림 4-17 은 정밀 쇄미선별 시스템의 선별 성능을 분석하기 위하여 최초 원료 백미, 로타리 시프터 만을 통과시켜 로타리 시프터의 완전립 출구로 배출된 백미, 그리고 원통형 흙 선별기까지도 통과시켜 흙 선별기의 완전립 출구로 배출된 백미 중의 완전립, 준완전립, 쇄미의 혼입율을 나타낸 것이다. 흙 선별기의 완전립 출구에서 최종 배출된 백미는 최초 원료백미에 비하여 쇄미 (길이 2.5 mm 이하)의 혼입율은 90%, 준완전립 (길이 2.5~3.75 mm)의 혼입율은 50% 정도 감소하였고, 완전립 (3.75 mm 이상)의 혼입율은 7% 정도 증가하였다. 특히 로타리 시프터에서는 쇄미만 선별되었으며, 준완전립은 거의 선별되지 않은 것으로 나타나고 있다. 또한, 원통형 흙 선별기에서는 준완전립을 주로 선별한 것으로 나타나고 있는데, 이것은 쇄미는 로타리 시프터에서 많이 선별되었기 때문에 원통형 흙 선별기에서는 선별해야 할 쇄미량 자체가 매우 적었기 때문이기도 하다. 따라서, 준완전립의 선별을 위해서는 반드시 원통형 흙 선별기를 이용해야 하며, 정밀쇄미선별시스템인 조합 시스템의 원통형 흙 선별기에는 쇄미 선별을 위한 원통은 불필요한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 개발한 원통형 흙 선별기를 조합 시스템에 이용하기 위해서는, 상단 선별원통의 선별 흙의 직경도 하단과 동일하게 3.75 mm 로 하여 사용하는 것이 선별성능 향상에 기여할 것으로 판단된다.

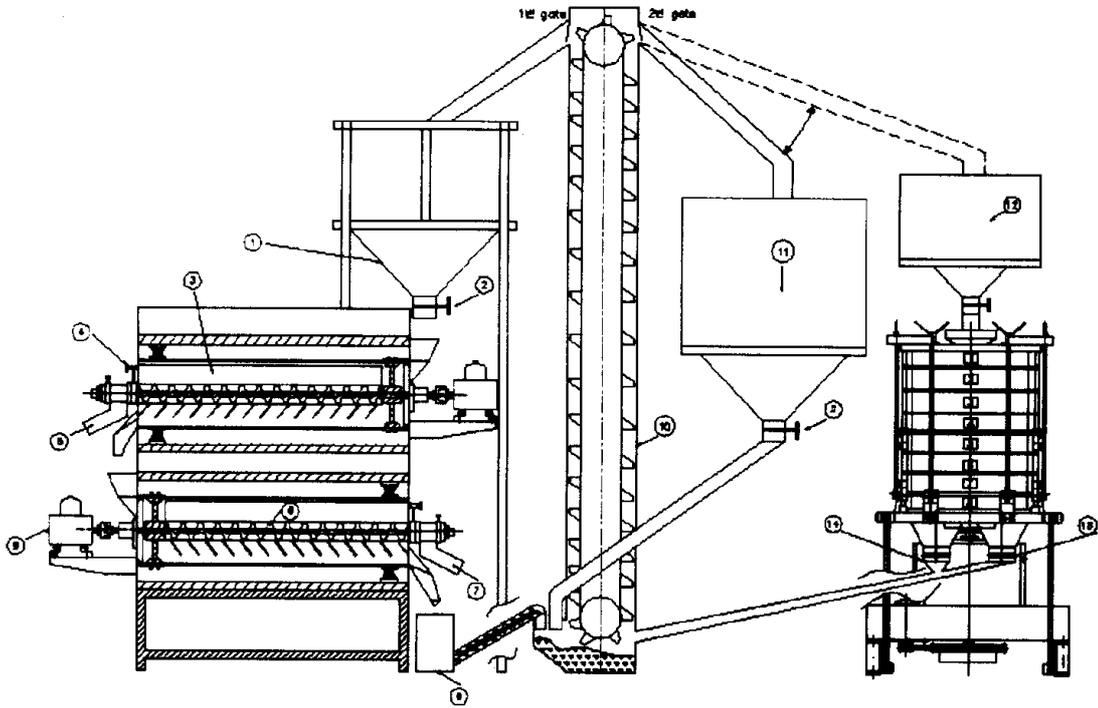


그림 4-16. 로타리 시프터와 원통형 흙 선별기의 조합에 의해 구성된 정밀쇄미선별시스템

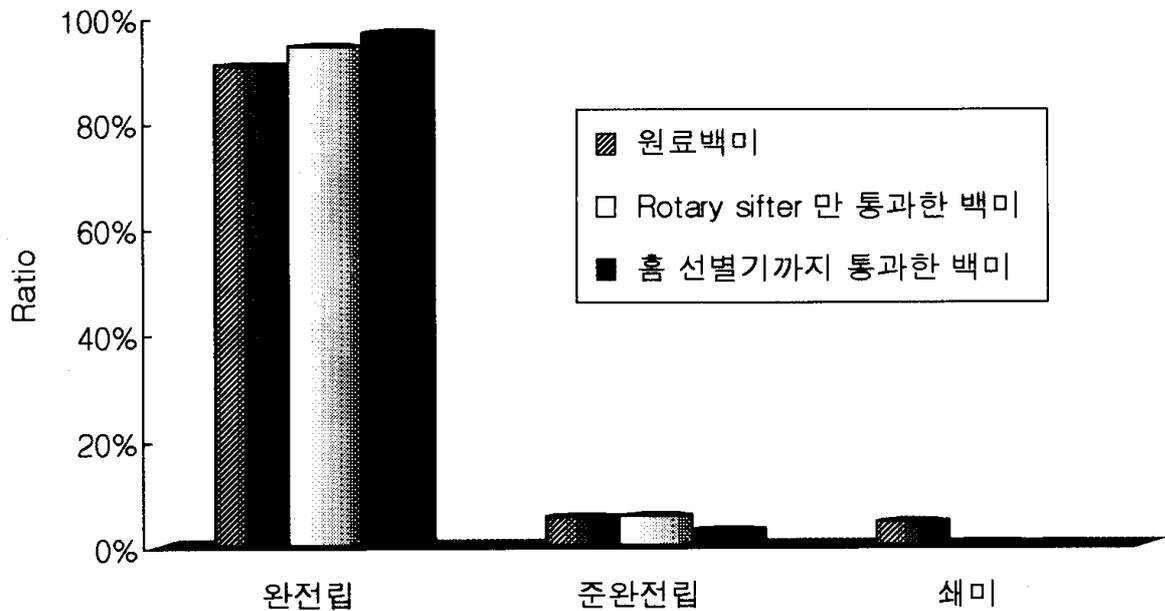


그림 4-17. 정밀 쇄미선별 시스템에서의 선별성능

제 5 절 결론

본 연구에서는 정밀 쇄미 선별 시스템을 개발하기 위하여 로타리 시프터와 원통형 흙 선별기의 시작용을 제작하고, 로타리 시프터는 편심추의 적정 회전 속도에 따른 성능 분석을 수행하였고, 원통형 흙 선별기는 설계인자와 운전인자에 따른 성능 분석을 수행하였다. 최종적으로, 적정 운전 조건의 로타리 시프터와 원통형 흙 선별기의 조합 시스템에서의 선별 효율 분석을 통하여, 개발된 정밀 쇄미선별 시스템의 성능을 분석하고자 하였으며, 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 로타리 시프터의 공급율은 선별성능에 영향을 주지 않았으며, 편심추를 이용한 진동체의 회전속도가 증가할수록 처리 용량이 증가하였다. 900 kg/h 공급율에서 분당 회전수가 200 rpm 인 경우가 160

rpm 인 경우에 비하여, 선별효율은 10%, 쇄미의 순도는 15% 정도 높았으나 쇄미 수거율은 3% 정도 낮은 것으로 분석되었다.

2. 로타리 시프터에서 분당 회전수가 160 rpm 인 경우가 200 rpm 인 경우에 비하여, 대쇄미 선별효율은 9% 포인트 정도 낮았으나 소쇄미 선별효율은 30% 포인트, 미강 및 이물질의 선별효율은 8% 포인트 정도 높았다.
3. 원통형 흙 쇄미선별기의 시작품은 흙의 직경이 작은 선별원통을 상단에, 흙의 직경이 큰 선별원통을 하단에 장착하는 2단형으로 설계 제작하였다. 각 단의 trough 에는 스크류 컨베이어를 설치하였으며, 원통의 회전속도와 trough 의 각도 및 원통의 수평각을 변경시킬 수 있도록 하였다. 원통형 흙 선별기에서는 흙의 직경보다 작은 물질이 선별되므로, 흙의 크기가 작은 상단에서 쇄미를, 흙의 크기가 큰 하단에서 준완전립을 선별하도록 하였다.
4. 원통형 흙 쇄미선별기의 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 범위에서 원통형 흙 쇄미선별기의 선별효율은 각 공급율에서 공히 원통의 분당 회전수 35 rpm, trough 각 37°에서 최대치를 나타내었다. 이 최적 조건에서 공급율 400~800 kg/h 범위의 선별효율 평균치는 70% 정도로 분석되었다.
5. 최적 조건인 원통의 회전수 35 rpm, trough 각 37°인 경우, 공급율이 증가할수록 상단 trough 로 수거되는 총량은 직선적으로 증가하지만, 하단의 trough 로 수거되는 총량은 공급율이 중간인 수준에서 최대값을 가지는 것으로 분석되었다. 이것은 공급율이 증가할수록

상단에서 선별되지 않은 쇄미가 하단에서 선별되기 때문에 하단에서 준완전립의 선별비율이 감소하기 때문으로 분석된다.

6. 원통형 홈 쇄미선별기의 원통 회전속도가 증가하면 처리 용량이 증가하며, 이 속도에 따른 최적의 trough 각이 존재하는데, 본 실험에서는 회전 속도 35 rpm에서 trough 각 37° , 45 rpm에서 55° , 55 rpm에서 73° 로 분석되었다.
7. 로타리 시프터의 장점은 염가의 대용량이며, 원통형 홈 선별기는 선별효율이 높아 정밀한 선별이 가능하기 때문에, 정밀쇄미선별 시스템은 로타리 시프터와 원통형 홈 선별기를 조합하여 구성하는 것이 타당한 것으로 분석되었다.
8. 정밀쇄미선별 시스템의 운전조건은 로타리 시프터의 진동체 회전속도를 소쇄미 선별 효율이 높은 160 rpm, 원통형 홈 쇄미선별기는 선별효율이 최대인 원통 회전속도 35 rpm, trough 각 37° 로 분석되었다. 이 조건에서 쇄미 (길이 2.5 mm 이하)의 혼입율은 90%, 준완전립 (길이 2.5~3.75 mm)의 혼입율은 50% 정도 감소하였고, 완전립 (3.75 mm 이상)의 혼입율은 7% 정도 증가하였다.

참고문헌

1. 고희균 등. 1990. 농산가공기계학. 향문사. pp. 108-115
2. 고희균 등. 1995. 미국종합처리시설. 문운당. pp. 363-400
3. 광용도. 2001. 올해 쌀 생산량은 3,830만석. 국립농산물품질관리원 농업정보통계과
4. 국립농산물품질관리원. 2000. 2000년도 농산물검사업무수첩. pp. 89-95, 295-296
5. 김광호, 안종국. 1997. 한국 쌀의 입형구분과 상품 품위등급 설정. 한국작물과학회지 42(3): 357-366
6. 김광호, 체제천, 임무상, 조수연, 박래경. 1988. 쌀 품질의 연구현황, 문제점 및 방향. 한국작물과학회지 (품질연구 1호): 1-17
7. 김상숙 등. 1998. 쌀의 품질등급화를 위한 지표설정 및 비파괴적 품질측정기 개발. 농림부 최종보고서
8. 김영배, 하덕모, 김창식. 1990. 우리나라 쌀의 도정 및 품위특성. 한국식품과학회지 22(2): 199-205
9. 김유호, 조영길, 한충수. 1998. 벼의 기하학적·기계적 성질 측정. 한국농업기계학회 1998 동계학술대회논문집: 261-268
10. 김정구. 2000. 미국종합처리장 쇄미선별 공정개선을 위한 기초조사연구. 석사학위논문. 전북대학교
11. 김호영, 이현덕, 이철호. 1996. 쌀밥의 최적가수량 결정인자에 관한 연구. 한국식품과학회지 28(4): 644-649
12. 박승제 등. 1998. 인삼의 최적 건조 및 품질 자동 평가시스템 개발. 농림부 최종보고서

13. 송주호. 2001. 뉴라운드 출범과 농업분야 합의결과. 농림부
보도자료
14. 신명곤 등. 1994. 산지 및 품종별 벼 구분 수매를 위한 쌀의
식미평가. 농림부 최종보고서
15. 작물시험장. 1995. 시험보고서 - 쌀 품질관리 기술개발 (벼
장려품종의 산지별 미질특성 시험). pp. 16-30
16. 작물시험장. 2000. 서신 교환
17. 한국농업기계학회. 1998. 농업기계 핸드북. 문운당. pp. 627
18. 岩尾俊男. 1978. 穀粒用の選別機. 日本農業機械學會紙 40(4):
580-588
19. Araullo, E. V., D. B. De Pauda, M. Graham. 1976. Rice
Postharvest Technology. Int'l Development Research Ctr.,
Ottawa, Canada
20. Food Agency, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries,
Japan. 1995. Rice post-harvest technology.
21. Fouad, H. A. 1980. The effect of cell configuration on length
grading of beans. J. of Agri. Engineering Research 25():
391-406
22. GIPSA (Grain Inspection, Packers and Stockyards
Administration) USDA Home page. <http://www.usda.gov/gipsa>
23. Grochowicz, J. 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. pp. 264-295

24. Hao, N., Y. Ritsuya, G. Kiyokazu. 1987. Study on separating by shape using test rice grader (Part 4) - Separating characteristics of rough rice and brown rice by indented cylinder separator. J. of Japanese Society for Agricultural Machinery 49(3): 207-216
25. Hitoshi, Y., Y. Ritsuya, G. Kiyokazu, N. Hao. 1979. Study on separating by shape using test rice grader (Part 2) - Factors of separating and catching probability by indent cylinder type. J. of Japanese Society for Agricultural Machinery 41(4): 603-609
26. Kim, S. S. and D. C. Kim. 1998. Quality of rices marketed in Korea. Food Science and Biotechnology 7(3): 225-228
27. Kim, S. S., J. S. Jo., and S. E. Lee. 1999. Comparison of image characteristics of starch and milled rice for cultivated site - cultivar identification of rice. Food Science and Biotechnology 8(5): 344-346
28. Kuprits, Y. N. 1965. Technology of grain processing and provender milling. Israel Program for Scientific Translations. pp. 261-263
29. Mohsenin, N. N. 1981. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Sci. Publishers, Inc., New York, U.S.A.
30. Posner, E. S. and A. N. Hibbs. 1997. Wheat flour milling. American Asso. of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN, U.S.A.
31. Ritsuya, Y., Y. Hitoshi, G. Kiyokazu, N. Hao. 1979. Study on separating by shape using test rice grader (Part 1) - Analysis of separating mechanism for indent cylinder type. J. of Japanese Society for Agricultural Machinery 41(3): 455-461

32. Sucher, R. W. and H. B. Pfost. 1964. Cylindrical grader performance in relation to corn cleaning problem. Transactions of the ASAE 7(): 300-306
33. USDA. Agricultural Marketing Service. 1976. Inspection Handbook for the Sampling, Inspection, Grading, and Certification of Rice
34. Wang, Y. J., D. S. Chung, C. K. Spillman, S. R. Eckhoff, C. Rhee, H. H. Converse. 1994. Evaluation of laboratory grain cleaning and separating equipment - Part I. Transactions of the ASAE 37(2): 507-513

부

부

▣ 일반 현황

1. RPC 시설 규모

시설 규모 (평)	
대 지 : 평균 2,000 평	건 물 : 평균 550 평

	처리능력	설비 종류, 용량·보유대수, 제작업체
건 조	조곡 기준 평균 3,050 톤/년	
저 장	조곡 기준 평균 2,550 톤/년	
가공 (도정)	백미 기준 평균 3.85 톤/시간	

2. 원료곡 확보 실태 ('99년 경우)

	자체 수매곡	정부 공매곡	계약 재배	개별 농가 위탁가공	기타	계
총 확보량 (톤)	5,000 톤	2,025 톤	535 톤	60 톤	230 톤	7,850 톤
물벼/건벼 의 비율	65/35	60/40	85/15			

3. 주요 취급 품종 및 비율은 ('99년 경우)? **일미, 일품, 동진**

4. '99년 경우 실제 도정 실적은? 백미 기준 **평균 5,720 톤**

5. 인력 현황 (총 인원, 전문인력, 담당 기사·공장장 학력 및 경력)

총 종사인원 : **평균 6.6 명** 전문직 인력 : **평균 1.8 명**

담당 기사, 공장장의 학력 및 경력은? **평균 고졸 및 12.5 년**

▣ 쉐미선별 공정 및 설비 현황

1. 쉐미선별기의 종류, 구입가격, 사양/규격 및 제작업체는?

로타리 시프터 쉐미선별기 (대원제품이 60% 이상)를 사용

2. 정미 → 백미 정선·선별 → 연미 공정은 어떻게 구성되어 있는지?
사용설비는?

현백 (정미기: 보천제품) → 백미 정선·선별 (로타리 시프터: 대원제품) → 석발 (석발기: 대륙제품) → 색채선별 (색채선별기: 日엔자이) → 연미 (연미기: 보천제품, 日사다께)

3. 쉐미선별기의 용량은 적절한지? (원료흐름이 정체되거나 방해되지 않는지?)

적 정

4. 쉐미선별기 사용중 선별기 내부에서 원료곡이 누설되는 현상은 경험하셨는지?

없 음

5. 선별 체 눈의 막힘 현상은 있는지, 있다면 어떤 정도인지?

미강에 의한 막힘 경험 (응답자 중 약 30%);

빈도는 2개월에 1번 정도

6. 선별 체의 녹슬음 현상은 있는지, 있다면 어떤 정도인지?

없 음

7. 선별 체의 교환이나 내부 청소를 위한 쉐미선별기의 분해 빈도는?

평균 2개월에 1번 정도

8. 쇠미선별기의 고장은 경험해 보셨는지? 원인은 무엇이었는지?

그에 따른 수리 횟수나 비용 등은?

지지 스프링 자체 또는 스프링과 프레임 연결부위 (응답자 중 50%)

선별 체 파손 (응답자 중 8%)

9. 쇠미선별기의 다음 부품들의 내구연한은 몇 년으로 보시는지?

●프레임 → **6.8 년** ●내부 선별체 → **5.1 년**

●기타 (스프링 등) → **3.8 년**

또, 내구연한이 다 된 쇠미선별기 자체 및 부품들의 처리는 어떻게 하시는지?

대부분 폐기처리

10. 기타 쇠미선별기 사용상의 문제점이 있다면?

짚은 잔고장; 체 망의 과도한 마모; 여름철 설비 내부에서 벌레 발생

11. 쇠미선별기 구조에 관한 개선 요구사항이 있다면?

사용자 대부분은 별다른 요구사항 없었음;

기타 (진동 저감 요구)

▣ 판매 및 유통 현황

1. '99년 총 판매량은? (백미 기준) **평균 6,240 ton**

또, 총 판매량 가운데 소포장 (20 kg 이하)이 차지하는 비율은?

평균 56% (단, RPC에 따른 차이가 매우 큼; 최고 100%, 최저 0.5%)

2. 다음과 같은 중량별 포장 중 실제로 사용하고 있는 것에 표 해 주십시오

1 kg (17%) 2 kg (0 %) 4 kg (17%) 5 kg (50%) 8 kg (25%)
10 kg (100%) 20 kg (100%) 40 kg (75%)

3. 주요 출하처 및 그 비율은 ?

(가) 산지 수집상 및 지역 도매상 - 0 %

(나) 대도시 도·소매상 - 7 %

(다) 농협 계통출하 (즉, 회원농협이나 농협중앙회 공판장) - 62 %

(라) 대도시의 직판장, 슈퍼마켓, 백화점에 직접 공급 - 26 %

(마) 대량 소비처 (학교, 병원, 기업체 등의 식당)에 납품 - 5 %

4. 고유상표 (브랜드)는 몇 종류이며 그들의 명칭은?

품질인증미는 출하하는지 ?

고유상표 부착 출하제품은 약 2.7 종;

조사 RPC의 25%는 품질인증미 출하

5. 귀하의 RPC에서 출하하는 제품 중 가장 대표적인 상품의 명칭과 중량, 가격은?

20 kg (평균 43,100 원)

▣ 부산물 처리 현황

1. 왕겨 처리실태

(가) 왕겨는 어떻게 처리하십니까?

왕겨 총 발생량 중 판매 비율 (100)% 판매가격 (42,000)원/톤
주 판매처 및 용도 (퇴비, 축사 바닥 깔개)

미판매 왕겨의 처리방법 ()

(나) 왕겨 저장탱크의 유·무 및 용량은?

응답자의 75%가 보유 (평균 탱크용량 55 ton)

(다) 왕겨 팽연화 시설 유·무 및 공동 퇴비제조 시설의 유·무

왕겨 팽연화, 공동 퇴비제조 시설 - 각각 응답자의 18% 및 6%
가 보유

2. 건조 벼에서 왕겨가 차지하는 비율은?

왕겨 (172) kg/건조 벼 1톤

3. 왕겨 처리와 관련된 애로사항 및 개선방안은? 특히, 계절별 문제점은 없는지?

대부분 응답자는 별다른 문제 없다고 응답

4. 미강은 어떻게 처리하십니까?

미강 총 발생량 중 판매 비율 (100)% 판매가격 (97.9)원/kg
주 판매처 및 용도 (미강유와 사료의 원료)

미판매 미강의 처리방법 ()

5. 총 매출액 (정곡판매, 건조 수수료, 수탁 도정, 부산물 (왕겨, 쉐미, 미강) 판매를 모두 포함) 대비 부산물 판매액의 비중은 얼마입니까?

총 매출액 (17,400) 백만원

왕겨 판매액 (62) 백만원
쇄미 판매액 (20) 백만원
미강 판매액 (53) 백만원

▣ 기타 RPC 와 관련된 전반적 개선 요망사항
(운영, 자금지원, 필요 설비 및 기계의 개발)