



500 kg/h용 수출전용 셋트 타입 중립종 쌀 도정기 개발

이석진^a, 이선영^a, 조종승^a, 이지애^a, 김경수^b, 홍성하^c, 이황규^d, 김진현^e, 김태욱^{e,*}

Development of a Set-Type Export-Dedicated Neutral-Variety Rice Milling Machine with a Capacity of 500 kg/h

Seok-Jin Lee^a, Sun-young Lee^a, Jong-seung Cho^a, Ji-Ae Lee^a, Kyung-Soo Kim^b,
Sung-Ha Hong^c, Hwang-Gyu Lee^d, Jin-Hyun Kim^e, Tae-Wook Kim^{e,*}

^a Leehwa Industry Co., Ltd.

^b Leehwa Rocom Co., Ltd.

^c Institute of Agro-Biotechnology Convergence, Jeonju University

^d School of Advanced Science and Technology Convergence Major in Precision Mechanical Engineering,
Kyungpook National University

^e Department of Precision Mechanical Engineering, College of Science and Technology, Kyungpook National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 July 2025
Revised 26 November 2025
Accepted 16 March 2026

Keywords:

Rice milling machine
Set type milling machine
Rice mill
Short grain rice
Medium grain rice
Long grain rice

ABSTRACT

Globally, 780 million tons of rice is produced annually across 127 countries, with Asia accounting for 87.4% of the total output. South Korea primarily cultivates short-grain rice, and its current milling facilities are optimized for this type, rendering them unsuitable for efficient medium- and long-grain processing. Compared with short-grain rice, medium- and long-grain rice require approximately 1/8 the frictional force and 1/10 the bending stress, respectively, during milling. This study develops a multipurpose rice milling set capable of processing short-, medium-, and long-grain rice to meet the needs of domestic consumption and export markets. The integrated set comprises six unit operations: a precleaner, husker, destoner, polisher, rice-polishing machine, and vibratory separator. The developed system specifically optimizes processing for medium-grain rice intended for export, targeting a processing capacity of 500 kg/h and milling efficiency of 50–60%. This approach ensures compliance with export-destination standards and enhances competitiveness in the global rice market.

1. 서론

우리가 주식으로 하는 쌀은 세계 127개국에서 1.67억 ha의 면적에 재배되고 벼는 7.8억 톤이 생산되는 것으로 알려져 있다. 이 중에 아시아권에서 87.4%인 1.4억 톤이 생산되고, 재배면적은 인도(4,450만 ha), 중국(3,019만 ha), 인도네시아(1,599만 ha), 태국

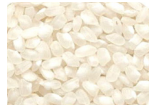


(1,041만 ha), 필리핀(480만 ha)으로 각각 한국(74만 ha)의 60배, 41배, 22배, 14배, 6.5배 수준이다. 이와 같이 쌀의 생산에 비례하여 쌀을 도정하는 정미기의 기능과 수요도 다양할 뿐만 아니라 동남아시아를 중심으로 점점 늘어나고 있는 실정이다. 전 세계 시장 규모는 23억 9,500만 USD(=2조 8,500억 원)로 추정하고 있으며^[1], 이중 70%는 사다케(Satake), 안마(Yanma), 가네코(Kaneko)

* Corresponding author. Tel.: +82-54-53-1277

E-mail address: kimtw@knu.ac.kr (Tae-Wook Kim).

가 점유하고 있다^[2]. 우리나라도 본 연구를 통하여 내수 및 수출이 가능한 중장립종 벼 세트식 정미기를 개발하고자 한다. 쌀을 벼에서 우리가 식용할 수 있는 쌀로 가공하는데 필요한 단위기계로는 정선기, 현미기, 석발기, 연삭기, 정미기, 진동 선별기 등으로 구성된다. 그러나 최근에는 이 단위기계의 사용하는 대신 이들 기계를 모두 통합한 세트식 정미기로 전환되고 있다. 우리나라에서는 단립종 쌀을 주식으로 하므로 국내 등록특허도 157건 대부분이 단립종용 단위기계별로 구성되어 있으나, 세트식 도정기와 관련된 특허는 연미장치, 급망 및 분도조절 등 단 7건에 불과하였다^[3]. 수출형은 중장립종 쌀을 도정하기 위해서는 최소한 6개의 단위기계에 대해 개별적으로 성능이 보장되어야 하고 이들을 한 개의 셋트로 조합되어야 한다. 그러나 학술적인 연구는 제조사별 도정기의 구조와 성능이 각기 달라 부족한 실정이다^[4]. 근본적으로 단립종은 쌀의 길이와 몸통 지름인 장폭비가 1.72~2.99 인데 비해 중립종은 3.72~4.23이며, 장립종 쌀은 중립종보다 장폭비가 더 큰 5.38로 나타난다. 따라서 단립종 쌀에 미치는 마찰력에 비해 중립종 쌀은 1/8로 줄이지 않으면 부서져 싸래기가 되고, 장립종 쌀은 단립종에 비해 약 1/10 정도로 굽힘응력이 약하게 적용되어야 한다(Table 3). 도정기는 벼의 마찰력에 의해 껍질이 벗겨지고 벗겨진 쌀은 진동과 송풍에 의해 구분되는 원리로 이루어지므로 6가지의 단위기계도 시간당 500 kg을 생산하며 싸래기나 미강, 품질이 수출 대상국가의 표준에 적합하도록 제작되어야 한다^[5,6]. 아직까지 모든 곡종을 도정하는 정미기의 개발은 성능면에서 쉽지 않은 것으로 알려져 있다. 세트식 정미기를 구성하는 단위 기계는 원료를 선별하고 분리하는 정선기, 벼에서 쌀을 분리하는 현미기, 돌을 골라내는 석발기, 현미의 거친 부분을 깎아내는 연삭기와 쌀의 표면을 깨끗하게 미백하는 정미기 및 벼와 싸래기를 분리하는 선별기 등이 있으며 중장립종에 적용되도록 개발하고자 한다. 개발의 가장 근본적인 방향은 쌀이 부서져 생기는 싸래기의 발생률을 줄이는 일이다. 우리나라에서 주식으로 하는 자포니카(단립종) 쌀은 길이에 비해 비교적 둥글고 중앙이 도톰하여 장폭비가 1.72~2.99로 낮은 편이다. 따라서 도정을 하는데 인디카(중장립종) 쌀에 비해 도정이 쉽고 쌀이 부서져 나오는 싸래기의 비율이 낮다. 반면에 인디카 쌀은 장폭비가 3.72~4.23로 길쭉한 형태를 이루고 있다. 따라서 싸래기의 발생은 마찰이 많은 현미작업이나 연삭 및 정미작업에서 특히 많이 발생된다. 최근에는 200 kg/h용 도정기가 세계적으로 상업적 활용이 낮아지며 용량에서 점차 규모화되고 있는 실정이다^[4]. 따라서 본 연구 최종 목표는 중립종 쌀의 시간당 도정량이 500 kg 이상, 도정 효율 50~60%의 성능을 가진 수출용 세트식 정미기를 개발하고자 수행하였다.

Table 1 General characteristics of rice types

Kinds	Zaponica, Short grain	Hyang yeol, Medium grain	Indica, Long grain
Shape			
Size	Length of approximately 5.0 to 6.0 mm central diameter 1.8 to 3.0 mm	Length of approximately 6.0 to 7.5 mm 1.5 to 2.0 mm in diameter at the center	Length of approximately 7.5 to 9.0 mm 1.5 to 2.0 mm in diameter at the center
Characteristics	Short, round, and hydrated	Longer than the short grain, chubby and less sticky, but starchy	Long and uncluttered
Area	Korea, Japan, and China	Italy, Spain, Portugal, USA, China, India	India, Pakistan, Cambodia, Thailand, Bhutan, and North America
Name	Samgwang, Koshihikari, Chucheong (Akibari), Shindongjin, Odae rice	Hyang yeol, Callos, Arborio, Valencia, Carolino, Sonamasuri, Woo Chang	Basmaty, Jasmine, Home Marley, Red Cargo, Wild Rice, Red Rice, Red Rice

2. 재료 및 방법

2.1 쌀의 종류에 따른 일반적인 특성

단립종(short grain rice)을 주식으로 하는 국가는 한국, 일본, 중국 정도이며, 쌀의 형태는 길이에 비해 짧고 통통하며 수분이 많고 찰기도 높다. 중립종(medium grain rice)은 이탈리아, 스페인, 포르투갈, 미국, 중국, 인도 등 많은 국가에서 폭이 넓은 편이다. 형태는 단립종보다 길며, 통통하고 찰기가 약한 반면, 전분이 많은 특징을 가진다. 그리고 장립종(long grain rice)은 인도, 파키스탄, 캄보디아, 태국, 부탄, 북미에서 이용되고 중립종보다 더 길쭉하고 찰기가 없어 푸석한 편이다. Table 1은 단립종, 중립종 및 장립종 쌀의 특성을 나타내고 있다.

2.2 쌀의 종류에 따른 외형적인 형태

도정 작업은 크게 이물질은 선별하는 정선작업과 쌀의 껍질(외피, hull)을 벗기는 현미작업, 배아(쌀눈, germ)가 붙은 쌀은 영양가는 높으나 거칠기 때문에 마찰에 의해 표면을 깎는 연삭작업, 그리고 마지막으로 미백을 하고 광택을 내며 전분으로 이루어진 쌀로 가공하는 정미작업으로 구분된다. 이들 대부분의 작업은 쌀

Table 2 Appearance dimension and average size by type of rice

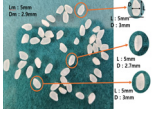
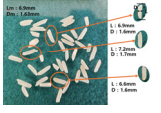
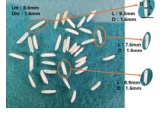

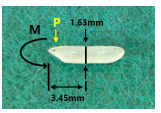
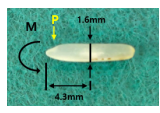
Sortation	Samgwang, Short grain, Korea,	Hyang yeol, Medium grain, Korea,	Bhasmati, Long grain, India,
Types and shapes of rice			
Average size [mm]	Korea, Lm = 5.0, Dm = 2.9 India, Lm = 5.6, Dm = 1.87	Korea, Lm = 6.9, Dm = 1.63 Dominican Republic, Lm = 7.17, Dm = 1.93	India, Lm = 8.6, Dm = 1.6
Lm/Dm Ratio	1.72~2.99	3.72~4.23	5.38
$\frac{\pi Dm^3}{32} \cdot \sigma_b$			
P & ob	2.5P = 2.39ob P = 0.96ob	3.45P = 0.42ob P = 0.12ob	4.3P = 0.4ob P = 0.093ob
Milling efficiency	70~72% (RPC) 75%~ (RDA)	50~60%	50~60%



Fig. 1 Hyang Yeol rice used in the test

은 중장립종의 벼는 병충해 확산의 우려로 수입이 매우 까다롭고 허가가 매우 어려운 실정이다. 일반적으로 벼의 장폭비가 3.0 이상이면 장방형 쌀, 2.0~3.0이면 중간형 쌀, 2.0 이하이면 등근 쌀로 구분하기도 한다^[2]. 또한 도정기는 국제 표준으로 설정되어 있어 필리핀의 경우도 이에 따르고 있다^[5]. 뿐만 아니라 국제 표준에 따른 검증도 엄격히 규정되어 있어 수출을 위한 세트식 정미기도 필리핀의 경우에는 국가공인검정기관 AMTEC 관련법령에 따라야 한다^[6]. 세부적으로는 필리핀 농업공학표준 PAES 206:2000 및 PAES 207:2000은 정미기 사양과 검사방법 규정 및 NAFCT 국가표준을 나타낸다^[7-9]. 본 연구에서는 이를 수행하는데 사용되는 벼는 한국에서 재배하는 중립종 쌀의 품종인 향열(무안에서 재배)을 시료로 설정하였다. 시험중 함수율은 15.2~16.1%로 범위로 나타났다. 이것은 통상 잡곡의 시험용 함수율 12.0~14.0%와 비교하면 약간 더 높았다^[10]. 미국종합처리장에서 단립종 도정을 할 경우 일반적으로 함수율은 14.8~16.2%로 보고되고 있다^[11]. 도정기의 성능은 함수율에 따라 달라지므로 함수율이 도정기의 조건에 영향을 미친다. 향열은 우리나라에 거주하는 외국인을 대상으로 판매하므로 일정량의 소비는 늘 이루어진다. 또한 필리핀, 태국 및 중국의 현지 벼는 반입하는데 어려움이 있어 해외 실증 시험은 개발된 세트식 정미기를 현지에 보내어 실증되어야 한다. Fig. 1은 시험에 사용한 벼인 향열(중립종)을 보여주고 있다.

의 입자 간 마찰이나 연삭기의 연마를 통한 표면 광택에 의해 이루어진다. 이때 마찰로 인한 충격으로 쌀이 파손되며 파손비율이 높을수록 수율(yield)이 낮아진다. 단립종, 중립종 및 장립종 쌀의 전분에 대한 물리적인 강도는 동일하다고 가정하면 쌀의 외형에 따라 충격으로 인한 굽힘강도가 달라지므로 현미기, 연삭기 및 정미기의 성능과 조건이 달라야 한다. Table 2는 쌀의 종류에 따른 외형치수를 나타내고 있다.

단립종 쌀은 삼광(한국)을 기준으로 치수를 측정하면 평균 길이가 5.0 mm, 중앙부의 지름은 2.9 mm이며, 중립종 쌀인 향열(한국)은 평균 길이가 6.9 mm, 중앙부의 지름은 1.63 mm로 나타났다. 그러나 중립종 향열이나 장립종인 바스마티(인도)는 평균 길이가 7.17~8.6 mm, 중앙부의 지름은 1.93~1.6 mm로 매우 길쭉한 형태를 지니고 있다. 이러한 쌀의 외형 형태로부터 쌀의 마찰 충격 시 강도(굽힘응력)를 비교하면 확연히 차이가 난다. 단립종 쌀을 기준으로 하면 중립종과 장립종의 경우 굽힘응력은 1/8과 1/10에 해당되어 매우 약할 것으로 판단된다. 따라서 필리핀, 태국, 중국 등의 중립종 도정기의 경우 백미의 수율이 우리나라 단립종에 비해 10~20% 정도 낮게 설정하고 있다.

2.3 시험용 벼

필리핀, 태국 및 중국 현지에서 식용으로 사용하는 가공되지 않

2.4 측정기 제원

세트식 도정기의 단위기계별 동력원은 모두 모터가 사용되므로 모터의 출력과 회전수 및 풀리의 지름에 따라 각 부분의 성능이 달라진다. 가장 중요한 측정원은 각 단위기계의 주모터의 회전수에 따른 정선 진동 회전수, 현미기의 임펠러의 회전수, 석탈기의 스크린의 진동 회전수, 연삭기의 주축 회전수, 정미기의 Milling roll의 회전수 및 풍향이 중요한 요인이 된다. 사용한 회전계(Tachometer, Tenton, Japan)와 풍속계(Anemometer, vane probe, CEM, DT-8893, China)는 Fig. 2(a), (b)와 같다. 또한 연삭기나 정미기에서 배출된 쌀 표면의 연마로 인해 나

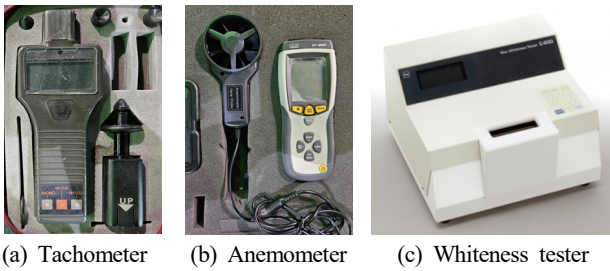


Fig. 2 Measurement instruments used in this study

Parameter	Value
Tribometer	Reciprocating type
Cycle/Duration	500/250 s
Normal load	1.96 N
Frequency/Speed	2 Hz/12 mm/s
Stroke	3 mm
Temperature	20~23°C
Humidity	20~25%
Counter surface	Zr(Φ 3 mm)

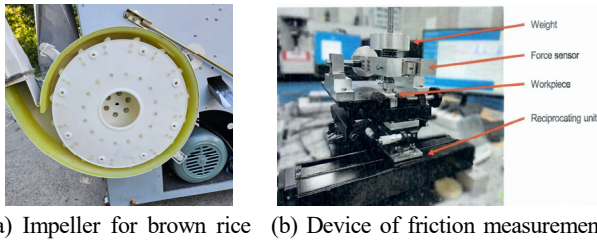


Fig. 3 Impeller for brown rice and device of friction measurement (ASTM G133-95 linear reciprocating ball-on-flat sliding wear)

타나는 색깔(흰색, 백도)을 측정하기 위해 Fig. 2(c)와 같은 백도계(Whiteness tester, C-600, Kett, Japan)를 사용하였다. 측정 범위는 5.0~69.9까지이며, 백도계는 쌀을 조사할 때, 투명도에 따른 반사광의 밀도를 측정하여 판별하는 반사율 측정식 원리를 이용한다.

2.5 임펠러 소재의 마찰력 측정

수출용 도정기의 개발에서 벼에서 겨를 분리하는 현미기의 임펠러는 벼의 마찰로 인한 사용수명이 제한적이다. 따라서 자주 교체해야 하므로 임펠러의 강도와 수명의 연장은 매우 중요하다. 본 연구에서는 고강도 우레탄, PE 및 일반 우레탄의 3종을 사용하여 임펠러를 제작하고 분석하였다. Fig. 3은 현미기에 결합된 임펠러와 임펠러 마찰 성능의 분석을 위한 마찰계(ASTM G133-95, Korea)를 나타내고 있으며 마찰계의 사양은 Table 3과 같다.

2.6 세트식 정미기의 기계적인 구성

벼를 투입하여 쌀이 배출되기까지 작업을 일관하는 세트식 정미기의 구성은 다음 Fig. 4와 같다. 중장립종 벼 세트식 정미기의 시스템 설계는 세부적으로 크게 7개의 단위 기계로 구성된다. 즉, ①정선기, ②승강기, ③현미기, ④석탈기, ⑤연삭기, ⑥정미기, ⑦선별기로 분리된다. 이 중에 성능에 큰 영향을 주는 단위기계는 현미기, 연삭기와 정미기로서 이들 단위기계의 성능은 500 kg/h 이상이 되어야 하고, 배출되는 찌래기는 최소화해야 하며 필리핀, 태국 및 중국의 수출대상 국가표준에 적합해야 한다^[5,6]. 따라서 개별 단위기계의 프레임 설계와 제작, 세부 부품 설계와 제작, 조립과

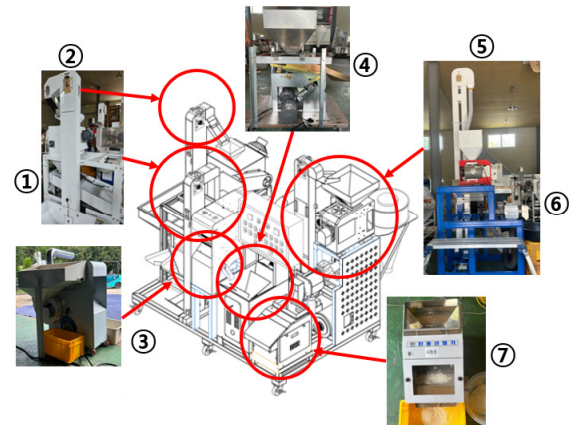


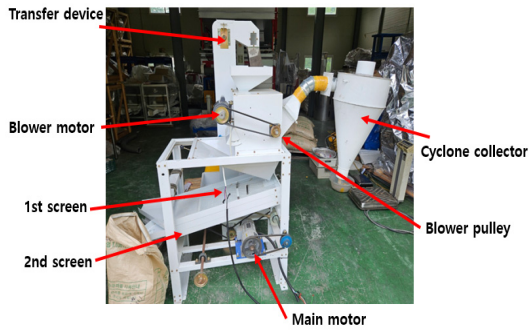
Fig. 4 Overall composition of 500 kg/h set type rice mill



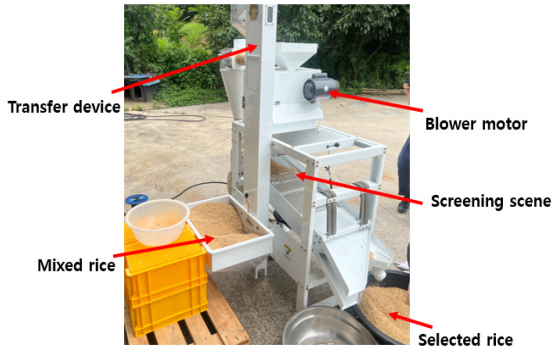
Fig. 5 The form of rice in the processing of rice through rice mill

성능평가 및 제품 개선의 과정을 거쳐 고도화되고 표준화가 되어야 한다.

세트식 도정기에서 가공되지 않는 벼는 ③현미기, ⑤연삭기, ⑥정미기를 통하여 쌀로 가공되는 과정은 Fig. 5와 같다. 가공되지 않은 벼(a)는 정선 한 이후에 현미기를 거치면서 벼의 외피(왕겨)가 벗겨진 현미(b)의 상태가 된다. 현미는 쌀눈(배아)에 영양분이 65% 함유하고 있고, 쌀의 껍질인 쌀겨에는 29%의 영양분이 있다. 순수한 백미에는 쌀의 영양분 중 5%만 포함되는 것으로 알려져 있다^[12]. 그러나 식감으로 인해 쌀눈과 쌀겨를 벗겨내는 작업은 연삭기에서 이루어진다. 이때 깎아 낸 가루는 미강(밀기울, Bran)이 된다. 연삭기를 거친 쌀은 정미기로 들어가 최종적으로 백미(c)로 다듬는 과정을 거친다.

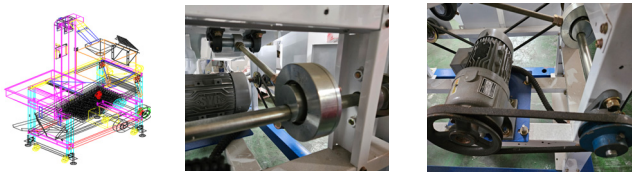


(a) Side view



(b) Front view

Fig. 6 Name of main part of selecting machine



(a) 3D design (b) Cam type slading screen (c) Main transmission

Fig. 7 3D design and main part of selecting machine

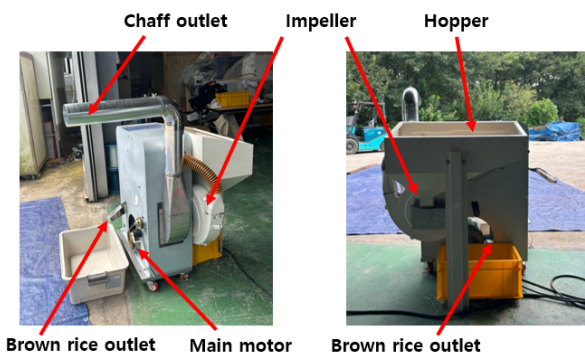


Fig. 8 Name of main part of brown rice machine

2.7 정선기의 명칭, 주요설계 및 제작

정선기는 수확한 벼에는 벼 이외에 여러 가지 이물질이 포함되기 때문에 이물질을 걸러내는 장치로써 가장 먼저 거쳐야 한다. 정선기는 벼에서 뼛집조각, 지푸라기, 미탈곡 이삭 등의 거친 이물질을 걸러내며, 주요부의 구성은 투입호퍼, 로터리 탈망, 원통형

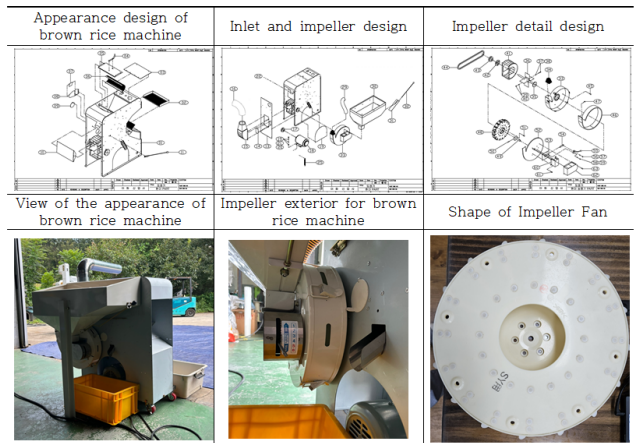


Fig. 9 3D design and production of brown rice machine

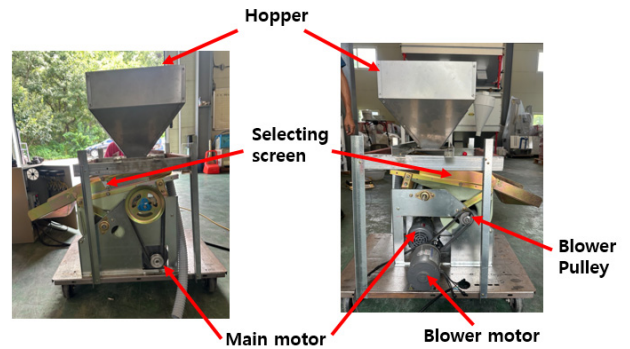


Fig. 10 Name of main part of stone selector

스크린, 흡인송풍기, 경사 스크린 및 배출부 등으로 구성된다(Fig. 6). 이 중에 성능에 가장 영향을 미치는 부분은 1차와 2차의 진동 스크린 망의 크기와 진동 회전수를 들 수 있다. Fig. 7은 정선기의 3D 설계와 주요부를 나타내고 있다.

2.8 현미기의 명칭, 주요부 설계 및 제작

Fig. 9은 정선된 벼(paddy)에서 벼의 껍질을 벗겨내는 기계를 현미기라 한다. 현미기에서 껍질을 벗겨낸 것을 왕겨(husk)라 부른다. 껍질을 벗기는 메카니즘은 벼 간의 충격과 마찰에 따른 힘을 이용하며 마찰의 대상은 벼와 벼, 벼와 임펠러의 회전시 충돌력에 의해 이루어진다. 임펠러는 일반적으로 플라스틱 소재를 사용하지만, 마찰력에 견디는 강도가 필요하므로 우레탄이나 고강도 우레탄이 더 우수하다. 본 연구에서도 수출용으로 500 kg/h용 세트식 도정기의 개발 성능에 크게 영향을 주는 부분이 Impeller이므로 수명을 높일수 있는 소재도 함께 개발하였다. Fig. 9는 현미기의 주요부 설계와 제작 상태를 나타내고 있다.

2.9 석발기의 명칭 및 주요부 설계 및 제작

석발기는 벼에 섞인 작은 돌을 골라내는 기계를 말한다. 수출

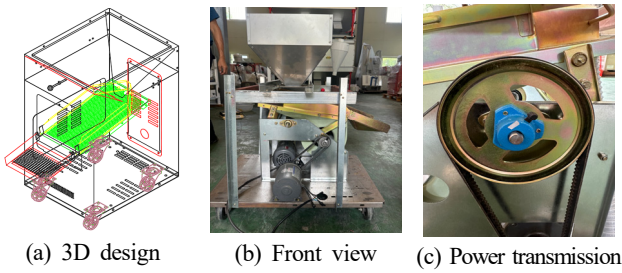


Fig. 11 Design and production of stone selector

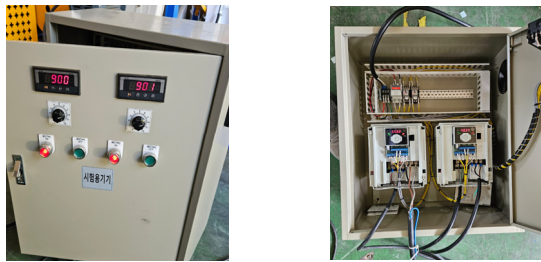


Fig. 12 Inverter used in this test

대 상국인 필리핀, 태국과 중국의 경우 우리나라와 달리 자연건조를 하는 경향이 높기 때문에 이물질이 많이 유입될 수 있다. 특히 도로에서 건조를 시킬 경우 작은 돌이 쌀에 쓸려 들어가는 경우가 매우 많다. 돌은 비중은 최소한 3.0 이상이 되므로 쌀의 비중 약 1.5에 비하면 2배가 높다. 석탈기의 설계 원리는 돌의 비중을 이용하여 스크린 진동과 망의 크기를 이용하여 석탈하는 원리로 설계하였다(Fig. 10, Fig. 11).

인버터는 셋트형 도정기가 해외에서 수출되어 도정작업을 할 때, 도정기에 공급되는 전력의 기준을 나타내므로 성능의 기준이 되는 중요한 역할을 한다. 해외에서는 전력의 안정적인 공급이 이루어지지 않으면 주모터, 스크린 진동 모터 및 송풍기의 성능이 나타나지 않으므로 입력되는 전력의 기준이 매우 중요하다. 일반적으로 인버터는 정류형 인버터(rectifier inverter), 전압형 인버터(voltage source inverter, VSI), 전류형 인버터(current source inverter, CSI), 멀티레벨 인버터(multilevel inverter), 서브시스템 인버터(subsystem inverter) 등이 있으나 본 연구에서는 멀티레벨 인버터(multilevel inverter)를 사용하였다(Fig. 12). 인버터가 모터를 제어하는 방법에는 모터의 속도를 목표로 하는 경우와 모터 출력 토크를 목표로 하는 2종류가 있다. 일반적으로 속도를 제어하면 출력도 따라 변하게 된다. 즉, 회전 속도가 빨라지면 출력은 줄어들고 반대로 회전속도가 느려지면 힘은 커지게 된다. 따라서 유도 전동기의 회전속도는 주파수와 극수에 따라 달라지고, rpm은 주파수 60 Hz로 가까울수록 회전이 빨라진다. 따라서 실험시 인버터 단수의 높이에 따라 rpm이 커지게 된다.

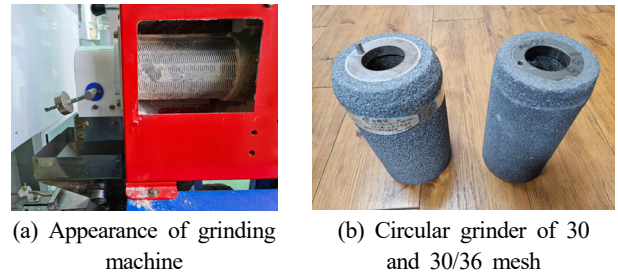


Fig. 13 Appearance of grinding machine and interior circular grinder

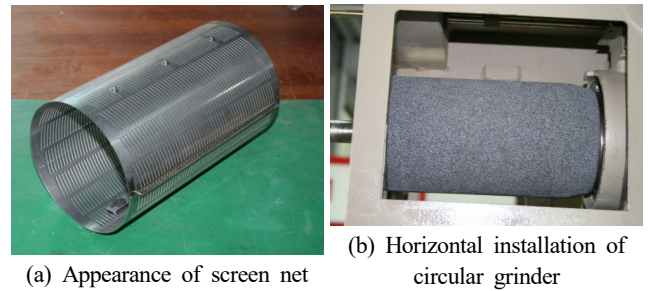


Fig. 14 Appearance of screen net and installation of circular grinder

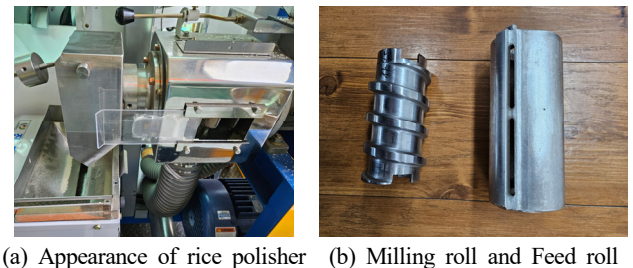
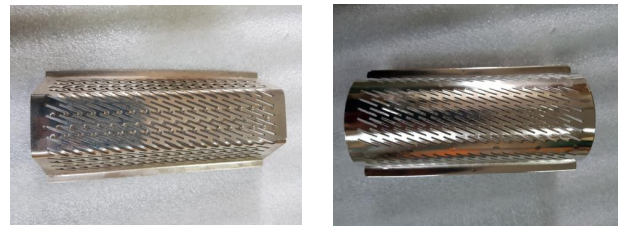


Fig. 15 Appearance of rice polisher and inside rolls of mid-grain rice

2.10 연삭기의 주요부 제작

연삭기는 현미가 정백실을 통과하는 동안 금강사의 절삭작용에 의해 이루어진다. 그러므로 정백 정도는 현미가 정백실에서 체류하는 시간에 비례하게 되고, 금강사의 회전시 현미가 마찰될 때 싸래기가 발생된다. 또한 현미의 정백실 체류시간은 출구에 있는 저항 장치에 의해 조절되며, 절삭이 이루어진다. 이때 분리된 싸래기는 금망의 구멍을 통해 배출된다. 본 연구에 적용한 방식은 수평 연삭식 정미기이며, 고속으로 회전하는 금강사 롤러에서 현미의 표면을 깎아 백미로 도정하게 된다. 금강사 롤러에 현미가 충돌될 때, 단립중 현미를 기준으로 하면 중립중 현미는 약 1/8 이상의 충격이 가해지면 부서져 싸래기가 되고, 장립중 쌀은 단립중에 비해 약 1/10 정도로 굽힘응력이 약하게 적용되어야 싸래기 비율이 낮아진다. 따라서 금강사의 표면 거칠기(mesh)의 선택이 매우 중요하다. 본 연구에서는 금강사 롤러를 30 mesh와 30/36 mesh를

사용하여 실험을 수행하였다. 금강사 롤러의 표면 거칠기를 측정 한 장비는 영상 현미경(EG-750D, EG Tech, Korea)를 사용하였고, 이미지 프로세싱 프로그램은 MeX를 활용하였다. Fig. 13은 연삭기와 내부의 현미 연마기인 금강사 롤러(grinder)를 나타내며 Fig. 14는 금강사 롤러의 외부 스크린과 수평으로 설치된 금강사를 보여주고 있다.



(a) Screen net of short grain rice (b) Screen net of medium grain rice
Fig. 16 Appearance of screen net of short and medium grain rice

2.11 정미기의 주요부 제작

정미기의 미백기능을 담당하며 Milling roll과 Feed roll의 외부에는 금망으로 싸여 있다(Fig. 15, Fig. 16) 금망의 틈으로 미강이나 찌라기를 배출하게 된다. Fig. 14의 6각 형태인 단립종의 금망과 중립종으로 개발한 원형 금망을 나타내고 있다. 여기서 6각 형태의 단립종 금망은 장폭비가 1.72~2.99 이므로 길이에 비해 지름이 크기 때문에 찌라기 비율이 낮아져 잘 배출된다. 반면에 중립종 쌀의 경우는 쌀의 장폭비는 3.72~4.22로 지름이 상대적으로 작아 마찰과정에서 잘 부서지는 경향이 있다. 따라서 중립종에는 금망을 원형으로 둥글게 만들어 찌라기 배출이 쉽도록 설계하였다.



(a) Test scene of selecting machine (b) Screening scenes of selecting machine

Fig. 17 Performance test of selecting machine

3. 실험

3.1 정선기의 성능평가 및 분석

중립종 벼의 이물질 선별은 정선기의 선별풍속, 모터 구동 회전수, 풍구의 회전수 및 선별망 1, 2차 크기 등에 영향을 받는다. 중립종의 정선기에 대한 개발은 우리나라에서 판매되고 있는 단립종 벼에 적용하는 정선기를 기본으로 개선하였다. 정선기의 최종 목표는 이물질이 완전히 걸러지고 시간당 배출되는 정선용량이 500 kg 이상 되는 조건을 구하여 제품을 개발하고 하였다. Fig. 15는 정선기의 시험장면을 나타내고 있다(Fig. 17).

정선기는 수확한 벼에는 벼 이외에 여러 가지 이물질이 포함되었다. 정하였더니 이물질 배출에 벼 낱알이 배출되지 않고 소요시간은 300 초가 걸려 시간당 정선용량으로 환산하면 480.0 kg으로 크게

향상되었다. 3차 시험에서는 2차 시험 조건을 동일하게 하고 선별망 진동회전을 8단(1,692 rpm)으로 상향하였다. 이때 소요시간이 280 초, 시간당 정선용량은 514.2 kg으로 배출되어 중립종 벼의 정선 기준에 도달하였다. 따라서 예비시험의 결과에서는 선별 풍속, 풍구 회전수, 선별망 진동회전과 2차망의 크기가 정선용량 및 이물질 배출에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 좀 더 안정적인 정선 성능을 위해 본 실험에서는 선별망 진동회전을 중심으로 수행하였다. 당초 제작된 풍구의 지름은 $\Phi 100$ mm(0.1 m)로 설계, 제작하였으므로 풍구의 단면적은 $(3.14 \times 0.1^2) / 4 = 0.00785$ m²가 된다. 이때 풍속을 17.1 m/s로 설정함에 따라 전체 풍량은 $0.00785^2 \times 17.1 = 0.134$ m³/s = 8.05 m³/min가 된다.

정선기 선별망의 진동 회전은 정선용량에 직접적인 영향을 미치므로 진동 회전 모터의 공급 pulse는 Table 5와 같이 측정되었다.

Table 4 The test results of the basic examination of the selecting machine

	Input amount [kg]				Selective wind speed [m/s]	Driving motor [rpm]	Wind moto [rpm]	Screening mesh [mm]		Screening mesh vibration [rpm]	Elevator [rpm]	Emission foreign matter [g]	Time [sec]	Capacity [kg/h]
	Rice	Foreign matter [g]	Stone, 2~3 [mm]	Total [kg]				1st	2nd					
								3×15	Ø3					
1	40	0.06	0.206	40.32	14.2 open	1,730 (Ø101.5)	1,970 (Ø89.5)	3×15	Ø3	6.0, 1,218	177 (open)	0.078 (stone)	579	248.7
2	40	0.06	0.206	40.32	17.1 open	1,730 (Ø101.5)	2,273 (Ø78)	3×15	Ø2	7.5, 1,600	177 (open)	0.136	300	480.0
3	40	0.06	0.206	40.32	17.1 open	1,730 (Ø101.5)	2,273 (Ø78)	3×15	Ø2	8.0, 1,692	177 (open)	0.138	280	514.2

Table 5 Pulse and motor revolution according to inverter position No.

Inverter position No.	Pulse [Hz]	Test motor [rpm]	10:1 pulley deceleration [rpm]
4	25	750	75
5	33	997	100
6	40	1,218	122
7	50	1,500	150
8	56	1,692	170
9	60	1,800	180
10	60	1,800	180

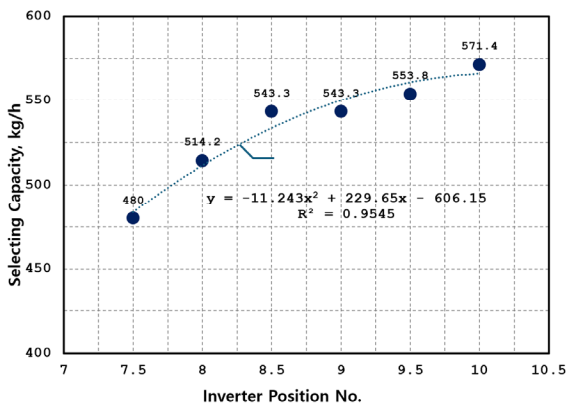


Fig. 18 The relationship between selecting capacity according to inverter position No. of the selecting net of the selecting machine

이것은 세트식 정미기를 수출 할 경우 공급 전원의 pulse에 따라 출력이 달라지며 따라서 성능도 달라진다. 인버터 설정 단수는 기본적으로 5단 이하에서는 33 Hz로써 출력이 약한 관계로 진동 성능이 나타나지 않았다. 선별망의 회전수 조절은 정토크(constant torque) 부하로 토크가 회전수에 관계없이 일정한 상태를 나타낸다. 즉, 출력은 토크와 회전수에 비례하므로 인버터의 주파수가 낮으면 회전수가 줄어들어 출력은 낮아지게 된다. 1차 기초시험에서

는 6단(1,218 rpm), 7.5단(1,600 rpm), 8단(1,692 rpm)까지 올림으로써 500 kg/h 이상 정선되었다. 따라서 정선기의 성능은 진동 선별기의 회전수에 영향을 받으므로 본 실험에서는 진동 스크린의 회전수를 상향하여 실시하였다(Table 5).

정선기의 본 시험은 기초실험을 기준으로 하였다, 동일하게 중립종 벼를 40 kg 투입, 구동모터를 1,730(pulley Φ101.5 mm)rpm으로 하고, 풍구모터를 2,273(pulley Φ78.0 mm)rpm로 하였다. 선별 스크린은 1단(3.0 × 15.0 mm), 2단(Φ2.0 mm)로 고도화하였다. 이때 송풍 속도는 17.1 m/s로 고정하였다. 여기서 인버터 설정은 7.5~10단까지 조정하여 시험을 수행하였다. 기초시험의 결과에서 514.2 kg/h를 배출한 조건을 그대로 활용하고 진동 스크린의 회전수를 상향하여 실시하였다. 진동 스크린의 회전수를 8.5단(1,750 rpm)에서는 543.3 kg/h로 나타났고, 9단(1,800 rpm)에서도 동일하게 543.3 kg/h로 정선되어 시간당 500.0 kg의 안정된 성능을 보였다. 3차와 4차 시험에서도 같은 조건을 적용하여 시험한 결과 벼의 낱알은 100% 걸러진 상태에서 553.8 kg/h와 571.4 kg/h로 나타났다.

따라서 중립종 벼의 정선조건은 이물질과 돌을 걸러내고 시험시간을 최소한으로 줄이며 안정된 정선용량을 얻는데 구동 모터와 풍구의 회전수, 풍속 및 선별 1차망 및 2차망의 크기와 선별 스크린의 진동회전까지 최적으로 조건을 구하였다(Table 6). Fig. 18은 정선기의 스크린 진동에 따른 시간당 정선 용량을 나타내고 있다. 정선 진동 스크린의 회전수는 인버터에서 공급하는 Pulse (Inverter position No.)에 따라 달라진다. 인버터 Pulse가 58~60 Hz(Inverter position No. 8.5~10)의 범위에서 가장 효과가 높아 배출시간도 짧아지고, 석발된 쌀의 용량도 안정적으로 500 kg/h를 달성하였다.

3.2 현미기의 성능평가 및 분석

현미기의 성능은 벼가 임펠러에 마찰될 때, 겨(husk)가 벗겨지므로

Table 6 The test results of the main examination of the selecting machine

	Input amount [kg]				Selective wind speed [m/s]	Driving motor [rpm]	Wind motor [rpm]	Screening mesh [mm]		Screening mesh vibration [rpm]	Elevator [rpm]	Emission foreign matter [g]	Time [sec]	Capacity [kg/h]
	Rice	Foreign matter [g]	Stone, 2~3 [mm]	Total [kg]				1st	2nd					
								3×15	Φ2					
1	40	0.06	0.206	40.32	17.1 open	1,730 (Ø101.5)	2,273 (Ø78)	3×15	Φ2	8.5 1,750	177 (open)	0.141*	265	543.3
2	40	0.06	0.206	40.32	17.1 open	1,730 (Ø101.5)	2,273 (Ø78)	3×15	Φ2	9.0 1,800	177 (open)	0.155*	265	543.3
3	40	0.06	0.206	40.32	17.1 open	1,730 (Ø101.5)	2,273 (Ø78)	3×15	Φ2	9.5 1,800	177 (open)	0.155*	260	553.8
4	40	0.06	0.206	40.32	17.1 open	1,730 (Ø101.5)	2,273 (Ø78)	×15	Φ2	10.0 1,800	177 (Open)	0.168*	252	571.4

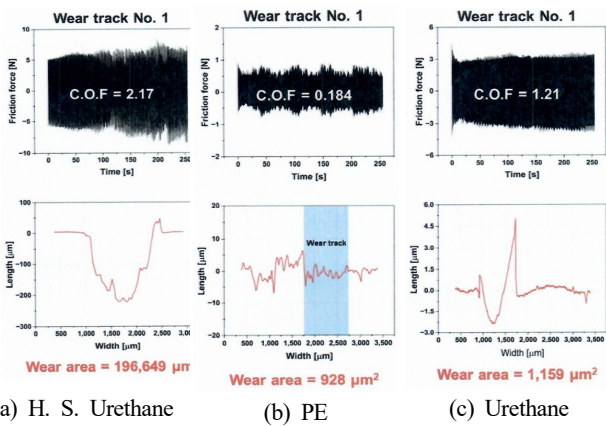


Fig. 19 The area and coefficient of friction of the H. S. urethane, PE and urethane material

Table 7 Friction coefficient and wear area of H. S. urethane, PE and urethane material

Workpiece	C.O.F. (Avg.)	Wear area (Avg.)
H. S. Urethane	2.3	196,649 μm^2
PE	0.19	1,159 μm^2
Urethane	0.83	928 μm^2

로 소재에 따른 마찰계수와 강도가 중요하다. 임펠러에서 20~50%의 꺾질이 벗겨지는 것으로 보고되고 있다^[2]. 임펠러의 적합한 소재를 구하기 위해 3종의 재료에 대한 분석을 하였다. 일반적으로 임펠러는 현미 과정에서 마모가 되므로 주기적으로 교체를 해야 한다. 따라서 마찰계수와 강도에서 적합한 소재를 찾아 수명을 연장할 필요가 있다. Fig. 19와 같이 임펠러 소재는 고강도 우레탄 (high strength urethane), Polyethylene(PE) 및 일반 우레탄에 대해 분석하였다. 마찰계수(C.O.P, Coefficient of friction)는 고강도 우레탄이 2.17, 일반 우레탄이 1.21, PE가 0.184로 나타나 고강도 우레탄이 가장 우수하였다. 내마모성도 Table 7과 같이 고강도 우레탄이 196,649 μm^2 , 일반 우레탄이 1,159 μm^2 , PE가 928 μm^2 로 나타나 고강도 우레탄이 가장 우수하여 임펠러는 고강도

우레탄 소재를 사용하여 제작하였다.

현미기는 최근 쌀 눈이 붙은 현미의 성분이 건강에 더 유리하기도 하지만 특히 당 성분이 55~72%로써 백미의 77.5~88% 보다 크게 낮다. 그러나 백미는 맛이 좋고 소화가 잘 되지만 단점으로는 비타민 B1이 0.1 mg/100 g으로 현미의 0.54 mg/100 g보다 크게 적다^[12]. 따라서 최근에는 현미의 수요가 늘어나기도 하지만 섯트식 정미기에서는 현미를 먼저 생산하므로 현미기도 500 kg/h 이상의 성능으로 개발되어야 한다. 현미의 마찰력을 이용한 고무롤러 방식에서는 롤러의 간격을 조정하여 현미 성능을 분석한 연구가 있으나^[15], 그러나 최근 성능 향상을 위해 임펠러 방식이 많이 이용되고 있다. 본 연구에서도 임펠러를 이용한 L사의 현미기 LH-500M GOLD를 기본으로 하였다^[14]. 현미기의 성능은 기본적으로 벼의 꺾질을 마찰력으로 벗겨내므로 회전 임펠러의 속도에 따라 마찰량과 마찰력이 달라진다. 처음에는 주 모터의 풀리의 규격은 $\varnothing 126 \rightarrow 1,750$ rpm으로 하고, 모터는 1마력(3상)으로, 주축은 $\varnothing 66 \rightarrow 3,200$ rpm(측정값)/3,340 rpm(공식에 의한 계산값)으로 설정하였다. 공급 Pulse는 인버터 속도 7.0~10.0(60 Hz)으로 조정하여 테스트 하였다. Table 8에서와 같이 기초시험에서는 임펠러 회전수를 모두 2,800 rpm으로 동일하게 하고 공급량의 조절을 위해 공급레벨은 1차와 2차에서는 4단으로 하고 3차와 4차에서는 6단으로 조절하였다. 4차의 조건을 제외하고는 현미의 배출에서 500 kg/h에 미치지 못했으며 겨와 쪽정이가 배출되지 못한 반면에 찌라기는 늘어났다. 그리고 배출량이 불균일하여 임펠러의 회전수에 안정성이 낮은 것으로 판단되었다. 특히 4차에서는 763.1 kg/h로 매우 높은 성능을 나타내었지만 공급량이 많아 무리하게 배출되므로 겨의 분리가 이루어지지 않은 것으로 나타났다. 따라서 본 시험에서는 현미기의 임펠러 회전속도와 공급레벨의 조절을 통하여 20~50% 정도의 탈부율로 안정적인 성능을 얻고자 하였다.

Table 9는 현미기의 구동 조건에서 임펠러 회전수를 2,660 rpm으로 조정하고 공급레벨을 5단으로 수정하여 시험한 본 실험의 결과를 나타내고 있다. 또한 현미성능에서도 현미 비율은 모두 80%

Table 8 The test results of the basic examination of the brown rice machine

	Input amount [kg]	Inverter No. and [rpm]	Supply level	Motor pulley [rpm]	Main pulley [rpm]	Main pulley calculated value [rpm]	Power usage, start/operation, [Amp]	Test time, [sec]	Brownrice output [kg]	Husk output [kg]	Bran output [kg]	Brownrice output [kg/h]
1	10	7.0 2,800	4 (half open)	$\varnothing 126$ 1,750	$\varnothing 66$ 3,200	3,340	-	113	7.62	×	×	240.0
2	10	7.0 2,800	4 (max open)	$\varnothing 126$ 1,750	$\varnothing 66$ 3,200	3,340	1.53/ 2.60	60	7.98	×	×	478.8
3	10	7.0 2,800	6 (max open)	$\varnothing 126$ 1,750	$\varnothing 66$ 3,200	3,340	1.61/ 2.46	71	7.92	×	×	399.3
4	10	7.0 2,800	6 (max open)	$\varnothing 126$ 17,50	$\varnothing 66$ 3,200	3,340	1.51/ 3.4	37	8.0	×	×	763.1

Table 9 The test results of the main examination of the brown rice machine

	Input amount [kg]	Inverter No. and [rpm]	Supply level	Motor pulle [rpm]	Main pulley [rpm]	Main pulley calculated value [rpm]	Power usage, start/operation [Amp]	Test time [sec]	Brownrice outpu [kg]	Husk output [kg]	Bran output [kg]	Brownrice output [kg/h]
1	10 (Increase of broken rice)	7.0 2,800	5 (max open)	Ø126 1,750	Ø66 3,200	3,340	1.47/2.71	55	8.08	1.60	0.22	526.9
2	10 (Increase of broken rice)	6.6 2,660	5 (max open)	Ø126 1,750	Ø66 3,200	3,340	1.47/2.51	55	8.09	1.60	0.22	518.2
3	10 (Decrease of broken rice)	6.6 2,660	5 (max open)	Ø126 1,750	Ø66 3,200	3,340	1.40/2.51	57	8.14	1.60	0.24	514.1

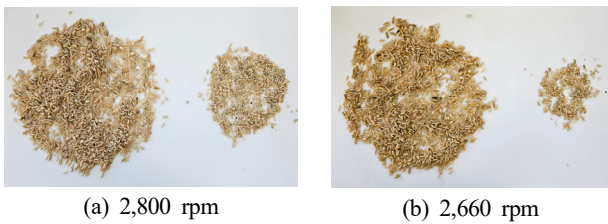


Fig. 20 The ratio of broken brown rice to the impeller rpm of brown rice machine

를 초과 달성하였다. 이것은 필리핀 IR35의 품종을 충격식과 롤러식 탈부 성능의 비교 결과 현미 비율 74.6%, 77.9%보다 더 높게 나타났다^[2]. 미국종합처리장의 단립종 쌀의 현미 탈부율은 84.2~85.2%로 보고되고 있어^[11], 중립종으로 80%를 초과한 것과 안정적으로 500 kg/h의 용량이 배출된 것은 수출의 조건으로 만족한 결과를 얻었다. 우리나라의 단립종 현미기를 생산하는 대부분 제조사는 임펠러 회전속도를 4,800 rpm으로 높게 설정하고 있다^[4]. 이것은 단립종의 경우 중립종보다 장폭비가 작기 때문에 가능하지만 중립종의 경우에는 이보다 낮은 회전수를 적용해야 한다. 특히 현미 찌레기의 비율이 높으면 최종적인 도정기의 수율도 낮아지므로 최대한 찌레기 비율을 줄일 필요가 있었다. 또한 벼의 공급레벨을 5단으로 하여 임펠러의 마찰흐름에 영향을 적게 받도록 함에 따라 안정적인 배출이 이루어진 것으로 판단되었다. 또한 현미량은 벼의 공급량에 비해 약 81%의 수율을 나타내었고 시간당 현미량도 526.9, 518.2, 514.1 kg으로 모두 시간당 500 kg을 초과 달성하였다. 뿐만 아니라 겨와 죽정도 정상적으로 배출되어 현미기의 중립종 설계조건을 만족하였다. 그러나 최종적으로 찌레기의 비율이 가장 낮은 인버터 설정 6.6(2,660 rpm), 현미 배출 8.14로 시간당 산정한 총 배출량 514.1 kg의 조건을 선택하였다.

Fig. 20은 현미기의 임펠러 회전수의 조정에 따른 찌레기 비율을 나타내고 있다. 임펠러 회전속도를 2,800 rpm에서 2,660 rpm으로 낮추에 따라 찌레기 비율이 68.2% 줄어들었다. 이것은 벼의 껍질은 임펠러와 벼, 또는 벼와 벼의 마찰력에 의해 이루어지므로



Fig. 21 The scene of the examination of a stone selector

회전속도가 높으면 과도한 마찰이 발생하고 이로 인해 현미의 손상이 늘어나 찌레기 비율이 높아진 것으로 볼 수 있다. 임펠러 회전수와 잡곡(기장, 조)의 도정에 관한 연구에서는 기장은 3,600 rpm에서 탈부율이 가장 높았으며, 조는 3,800 rpm에서 가장 높았다. 또한 작업성능은 회전수가 높을수록 작업성능이 높았으나 탈부 성능은 이와는 상반된 경향으로 나타나 미탈부되는 비율이 증가하는 것으로 보고되고 있다^[10]. 중립종 벼의 경우 임펠러 회전속도가 낮아지면 현미율이 현저히 떨어지므로 가장 적절한 회전수가 2,660 rpm으로 판단되었다.

3.3 석발기 성능평가 및 분석

우리나라는 벼를 건조할 때 대부분 건조기를 활용하므로 실제로 돌이나 이물질이 발견될 경우가 드물다. 또한 정미작업에서 대부분 걸러진다. 그러나 수출 대상국가인 동남아시아 국가에서는 아직도 도로에서 쌀을 건조하는 경우가 많아 쌀에 작을 돌 등의 이물질이 많이 포함되므로 석발기의 성능이 매우 중요하다. 따라서 석발기의 성능을 평가하기 위해 인위적으로 작을 돌을 70 개씩 현미에 섞어 시험을 수행하였다. 석발기는 기본적으로 바람을 불어 현

Table 10 The test results of a stone selector experiment

	Input amount [kg]	Blower [rpm]		Stone screen [rpm]		Result [EA]		Stone weight [kg]	Total weight [rpm]	Output time [sec]
	Brown rice+stone	Inverter position No.	Pulley [rpm]	Inverter position No.	Pulley [rpm]	Stone No.	Check			
1-1	3.00	6.0	1197	900	575	70	0	1.36	1.64	74.66
1-2	3.00	6.0	1193	800	514	70	0	1.56	1.44	99.21
1-3	3.00	6.0	1193	700	448	70	0	1.18	1.82	148.20
2-1	3.00	6.8	1368	900	578	70	0	1.08	1.92	46.24
2-2	3.00	6.8	1364	800	515	70	0	1.22	1.78	54.19
2-3	3.00	6.8	1366	700	445	70	0	1.00	2.00	74.95
3-1	3.00	7.5	1540	900	577	70	0	0.86	2.14	28.69
3-2	3.00	7.5	1544	800	514	70	0	0.82	2.18	36.69
3-3	3.00	7.5	1533	700	447	70	0	0.76	2.24	49.05

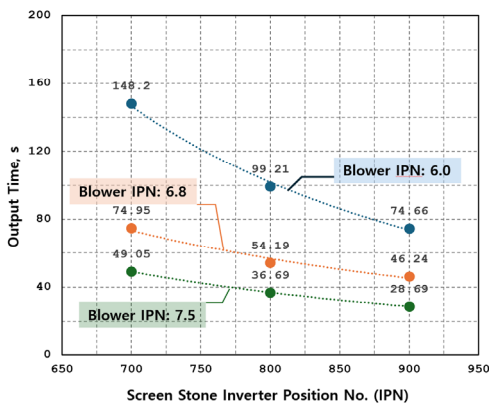


Fig. 22 Output time of stone discharge according to screen stone inverter position No. and blower inverter position No. (IPN)

미를 흔들면서 무게가 무거운 돌을 분리시키는 원리이다. 따라서 석탈 성능은 석탈 스크린의 회전진동과 송풍기의 회전에 의해 좌우된다. 석탈 스크린과 송풍기의 회전수는 인버터의 조정에 의해 풀리의 회전수로 나타난다. 성능 평가에서는 석탈 스크린 회전수를 446, 514, 577 rpm으로 고정하고 송풍회전수를 1194, 1366, 1539 rpm으로 조정하였을 때, 석탈은 모두 100% 걸러졌다. Fig. 21은 석탈 시험과정과 인위적으로 투입한 돌(70개)을 나타내고 있다. 석탈기의 시험 결과 석탈 성능과 배출시간은 Table 9와 같이 나타났다. 표에서와 같이 석탈 시험은 송풍기의 회전수와 석탈 스크린의 진동 회전수를 인버터의 공급 Pulse로 조정하였다. 9차의 시험에서 전체적으로 석탈은 100% 이루어졌으며 석탈기의 완료 시간이 짧을수록 높은 성능을 나타내므로 가장 성능이 우수한 것은 현미 3 kg을 투입한 결과 배출시간 28.69초로 나타났다. 이때 평균 송풍기 회전수 1,540 rpm, 평균 석탈 스크린 회전수 577 rpm에서 나타났다. 석탈기의 성능은 진동 스크린 모터 회전수에 따라 달라지며 진동 모터의 인버터 위치(IPN, Inverter position

No.)에 따른 Pulse가 높을수록 석탈 시간도 줄어들었다(Table 10, Fig. 22).

3.4 연삭기의 성능 평가 및 분석

Fig. 23은 연삭기에서 현미가 유입되면 현미의 표면을 희게 깎는 장면을 나타내고 있다. 연삭기에서 현미를 깎는 량(겨, bran)이 쌀의 품질(white rice)을 나타내는 척도가 된다. 연삭기의 성능 평가의 기준은 단립종 현미를 중심으로 수행하고 비교하였다. 현미의 표면을 연삭기로 깎을 때, 현미의 함수율에 따라 달라진다. 본 연구에서는 현미의 함수율이 15.2~16.1%로 측정되었다. 국내 단립종 연구에서는 함수율을 12.8~13.2 %의 범위에서 수행할 경우, 연삭횟수에 따라 함수비가 증가한다고 하였다^[13]. 중립종 쌀의 경우 평균 길이가 6.9 mm로 긴 반면 중앙 지름은 1.63 mm(장폭비 3.72~4.22)로써 상대적으로 충격과 굽힘응력에 약하다. 필리핀 IR36 품종의 경우, 벼의 길이는 7.1~9.0 mm로 평균 길이는 8.0 mm이고, 폭은 2.0~2.8 mm로 평균폭은 2.3 mm이므로 장폭비는 3.2~3.8로 나타나 중립종 향열과 비슷하였다^[2]. 장폭비가 높을수록 현미가 잘 부서지므로 쓰래기의 비율이 높아지게 된다. 중립종 현미의 연삭 기준을 설정하는데 우리나라 단립종 현미의 기준으로 연삭기의 표면 거칠기(mesh)와 연삭기의 회전수를 조정하였다. 단립종 현미는 30 mesh, 지름 122 mm의 금강사를 사용하였고 현미 경을 통한 표면 거칠기는 Fig. 24(a)와 같이 연마기의 입자 평균크기가 1.547 mm로 거친 것을 알 수 있다. 반면에 중립종에 사용한 30/36 mesh는 Fig. 24(b)와 같이 입자가 곱고 부드러우며 평균 크기는 0.374 mm로 30 mesh에 비해 약 25 %에 해당한다. Mesh는 높을수록 단위면적당 입자가 가늘어 부드럽고 반면에 mesh가 낮을수록 입자가 거칠다(Fig. 24). 예를들어 30/24 mesh의 경우 보리나 수수용으로 사용된다. 따라서 단립종 쌀의 연삭기에는 30 mesh의 금강사와 1,700 rpm을 적용한 결과 수율이 95.4%가 나

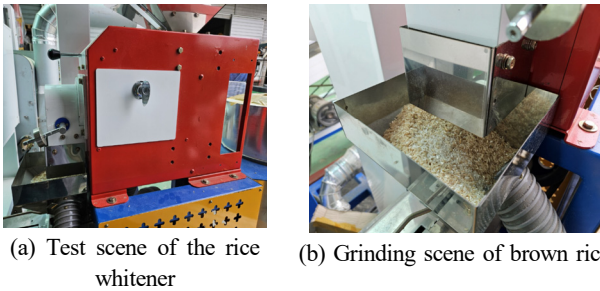


Fig. 23 Grinding scene at 1,400 rpm of 30 mesh grinding machine

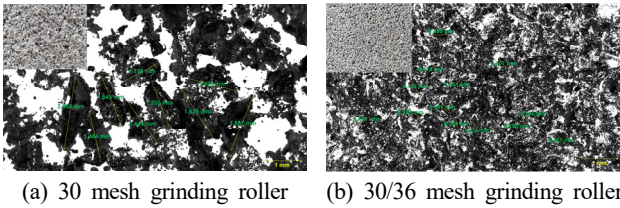


Fig. 24 Surface roughness of roller 30 and 30/36 mesh

왔고 찌레기의 비율은 0.21%로 나타났다(Table 11). 그러나 중립종은 Table 2와 같이 굵힘응력이 1/8로 작기 때문에 금강사의 거칠기에 따라 찌레기가 크게 늘어날 가능성이 있다. 따라서 중립종에는 30/36 mesh에 1,700 rpm과 1,400 rpm을 적용한 결과 수율은 91.8~94.2%로 매우 높게 나타났다. 중립종의 경우 기준 수율이 국가별로 다소 차이가 있지만 단립종에 비해 10~20% 정도 낮게 설정되어 있다^[7-9]. 잡곡의 경우에는 금강사 롤러 24 mesh를 적용하고, 회전수는 1,600 rpm에서 수율이 가장 높은 것으로 보고되고 있다^[10]. 연삭기의 기본적인 성능은 금강사 mesh가 동일한 조건에서는 금강사의 회전속도가 빠르면 현미의 찌레기가 늘어나고 더 많이 깎이게 된다. 반대로 금강사의 회전수를 줄이면 현미 찌레기는 줄어들고 현미는 덜 깎이는 경향으로 나타난다.

3.5 정미기의 성능 평가 및 분석

정미작업은 쌀의 미립화를 하는 과정이며 외피에서 내부로 조직을 깎아내는 작업을 말한다. 원리는 마찰력, 입자간의 충돌, 정미물의 연삭 및 절삭 등 기계적인 작업이 수반된다. 마찰식 정미기의 구성은 공급 스크루, 원통형 다공 금망, 정백실의 압력을 조절하는 출구 저항장치, 정미의 출구, 쌀겨의 출구 등으로 이루어져 있다. 쌀은 롤러와 금망 사이의 공간인 정백실 사이로 이동한다. 여기서 쌀이 정미기 배출부에 있는 저항판을 밀 때, 정백실의 압력이 올라가고 이때 유동밀도가 증가한다. 따라서 정미작용은 정미물에 접촉되는 저항의 증가와 발열과 압력 및 부하가 동반되며 이루어진다. 또한 쌀에 작용하는 평균 정미 압력은 식(1)과 같이 정미롤의 구동 동력에 비례하고 정미롤의 마찰계수, 회전수, 롤의 지름 및 길이에 반비례한다. 수출을 위한 중립종 쌀의 경우 찌레기의 발생

Table 11 The test results of the grinding machine

Sortation	Grinder	Main moter [kg]	Input [kg]	Output [kg]	White rice [kg]	Broken rice [kg]	
Short grain	Rice 30 mesh 122Ø	First	1,700	10	9.54	9.46	0.02
						99.79%	0.21%
						8.94	
Medium grain	Mixed grains 115Ø	First	1,700	10	9.84	9.36	0.36
						96.30%	3.70%
						9.72	
		Second	1,400	10	9.04	8.64	0.32
						96.4%	3.50%
						8.96	
	Rice 30 mesh 122Ø	First	1,700	10	9.18	8.36	0.40
						95.43%	4.57%
						8.76	
		Second	1,700	10	9.20	8.40	0.36
						95.89%	4.11%
						8.76	
First	1,400	10	9.18	8.48	0.28		
				96.80%	3.20%		
				8.76			
Second	1,400	10	9.42	8.58	0.36		
				95.97%	4.03%		
				8.94			

을 줄이기 위해 원형 금망을 적용하였다. 송풍팬에서 공급되는 기류는 중공축 → 정백실 → 금망 → 배출의 과정을 거치는데 이때 미강과 함께 배출된다. 여기서 흡입된 기류는 정백롤러의 분출구로 분출되어 곡온의 상승을 방지하고 미립 마찰면에서 쌀겨 분리작용을 도운다.

$$N = \frac{HP}{\mu n (\pi D)^2 L} \quad (1)$$

여기서

N = 평균 정미 압력, kg/cm²

HP = 부하(소요구동동력), ps

μ = 마찰계수

n = 회전수, rpm

D = 정미롤 지름, mm

L = 정미롤 길이, mm

Fig. 25는 정미기에서 배출되는 백미의 장면과 모터 풀리의 회전수를 측정하고 있다. 중립종 쌀의 표면을 희게 깎는 Milling roll



(a) Final production of white rice (b) Measurement of revolution of main motor

Fig. 25 The experimental scene of a rice whitener



(a) Grinder passed rice (b) Inverter position No. 900 (c) Inverter position No. 800

Fig. 26 Quality evaluation of discharged rice in grinder and whitener

의 회전수를 찾기 위해 Inverter position No.를 700, 800, 900으로 조정하면 정미 폴리의 회전수가 540, 633, 795 rpm으로 설정된다(Table 12). 이때 백미는 약 94.0%, 93.0%, 94.5%의 수율을 얻었고, 찌래기는 약 6.0%, 7.0%, 5.5%로 나타났다. 전체적으로 정미 수율은 90%를 초과 달성하였다. Fig. 26은 연삭기를 통과한 쌀(a)과 정미기를 통과한 쌀(b)(c)의 품질을 백도계로 측정하였다. 쌀의 백도는 쌀에 반사되는 광의 밀도를 측정하여 판별하는 반사율 측정식으로 쌀이 투명할수록 숫자가 높아진다. Inverter position No.를 900으로 설정한 경우 백도는 38.5%, 800으로 설정한 경우는 40.1로 나타나 약간의 차이가 있었지만 모두 우수하였다. 백도는 시중에 판매되는 쌀의 경우 38.0 이상이면 품질 기준에 적합하므로 본 실험의 결과에서는 중립종 정미기의 성능으로 만족한 결과를 토출하였다.

3.6 개발된 세트식 도정기의 성능 평가 및 분석

수출용 세트식 도정기의 개발은 벼의 공정과정으로 분류하면 정선기, 승강기, 현미기, 석발기, 연삭기, 정미기, 선별기 및 계량포장기로 나누어진다(Fig. 27). 이중에 도정성능을 좌우하는 단위기계는 정선기, 현미기, 석발기, 연삭기와 정미기로 크게 구분된다. 세트식 도정기의 성능이 시간당 500 kg이상되어야 하고, 또한 배출되는 찌래기는 필리핀, 태국 및 중국의 국가표준에 적합해야 하므로 최소화해야 한다. 세트식 도정기의 최종 성능은 각 단위기계의 개별 성능이 기준치에 도달해야 하고 이들을 결합하여 전체적으로 목표치에 도달되어야 한다. 우리나라 단립종의 정미수율은 미국중

Table 12 The test results of the rice whitener

Sortation	Whitener pulley [rpm]		Inverter position No.	Input [kg]	Output[kg]	
					White rice [kg]	Broken rice [kg]
Medium grain rice	1	540	700	10	9.20	0.58
					94.1 %	5.9 %
					9.78	
	2	540	700	10	9.13	0.58
					94.0 %	6.0 %
					9.71	
	3	540	700	10	9.06	0.58
					94.0 %	6.0 %
					9.64	
	1	633	800	10	8.42	0.62
					93.1 %	6.9 %
					9.04	
2	633	800	10	8.86	0.68	
				92.9 %	7.1 %	
				9.54		
3	633	800	10	8.64	0.65	
				93.0 %	7.0 %	
				9.29		
1	795	900	10	9.18	0.52	
				94.6 %	5.4 %	
				9.70		
2	795	900	10	9.12	0.52	
				94.6 %	5.4 %	
				9.64		
3	795	900	10	9.00	0.54	
				94.3 %	5.7 %	
				9.54		

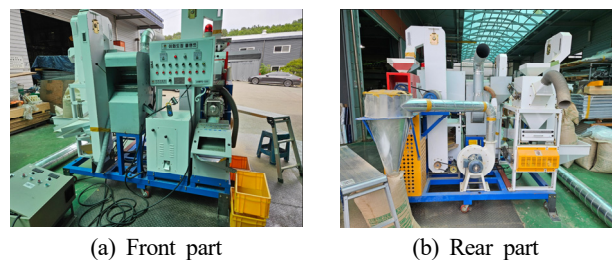


Fig. 27 The overall appearance of the developed set type milling machine

합처리장(RPC, Rice Processing Center)에서 70~72%로 설정하고 있으나, 중립종용 세트식 도정기의 성능은 국가별로 또는 품질별로 다소 차이가 있다. 일반적으로 필리핀과 태국에서는 등급에 따라 차이가 있으나 1등급의 경우 50~60%로 알려져 있다^[7,8]. 본

연구에서는 도정기의 성능을 좌우하는 정선기, 현미기, 석발기, 연삭기, 정미기에 대한 성능 평가를 실시한 결과 모두 500 kg/h 이상으로 나타났다. 세트식 도정기를 구성하는 전체 동력은 각 단위 기계별로 정선기(0.4 ps), 석발기(0.27 ps), 현미기(1 ps), 연삭기(3 ps), 정미기(7.5 ps), 진동선별기(0.27 ps), Blower(0.75 ps), 승강기(0.12 ps) 소요되므로 최소한 13.5 ps(약 10 kW)의 전력 소모가 예상된다. 개발된 세트식 도정기의 최종 성능 시험에서는 단위기계의 최적 성능 조건을 고려하고 정미기의 폴리회전 속도를 795 rpm으로 설정한 상태에서 120 kg의 벼를 투입하였다. 시험의 결과 백미는 74.28 kg, 찌라기는 4.96 kg, 이물질은 3.12 kg이 배출되었다. 찌라기는 백미에 포함되며 크기에 따라 쌀의 품질에 영향을 주지만 정미수율에는 포함이 된다. 따라서 최종 세트식 도정기의 완전미율로 보면 $74.28/79.24 = 93.7\%$ 이며, 정미 수율은 79.24 kg으로 66.03%로 나타났다.

4. 결론

세트식 정미기를 구성하는 단위기계는 정선기, 현미기, 이송장치, 석발기, 연삭기 및 정미기로 구성되어 있다. 이들 기계의 성능은 모터 회전수, 스크린 메시, 송풍속도, 임펠러 회전수 등에 따라 달라진다. 중립종은 단립종에 비해 쌀의 평균 길이가 6.9 mm로 길고 중간 부위의 단면이 1.63 mm로 작아 찌라기가 많이 발생된다. 본 연구에서는 단립종 정미기를 중립종에 적합하도록 단위기계를 개발하여 기초시험과 본실험으로 나누어 수행하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

1. 정선기는 구동모터 1,730(Pulley $\Phi 101.5$ mm) rpm, 풍구모터는 2,273(Pulley $\Phi 78.0$ mm) rpm, 선별 스크린은 1단(3.0×15.0 mm), 2단($\Phi 2.0$ mm)으로, 송풍 속도는 17.1 m/s, 인버터는 8.5~10단 일 때, 시간당 500.0 kg 이상 정선되었다.
2. 현미기는 임펠러 회전수를 2,660 rpm, 공급레벨을 5단으로 시험한 결과 안정적으로 500 kg/h을 달성(수율 약 81%)하였다.
3. 현미기의 임펠러 회전수는 2,800 rpm에서 2,660 rpm으로 낮춤에 따라 찌라기 비율이 68.2% 줄어들었다.
4. 석발기의 스크린 진동에 따른 석발 용량에서는 인버터 펄스가 58~60 Hz(Inverter position No., 8.5~10)의 범위에서 가장 효과가 높고 배출시간도 짧으며 석발도 100% 이루어졌다.
5. 정미기의 경우 Milling roll의 적정 회전수는 인버터 설정을 800, 900에서 약 93.0%, 94.5%의 수율을 얻었고, 찌라기는 약 7.0%, 5.5%로 나타났다. 이때 정미 수율은 90%를 초과 달성하였다. 백도는 각각 38.5%와 40.1로 나타나 두가지 경우 모두 우수하였다.

500 kg/h용 세트식 정미기의 개발에서 완전미율로 보면 $74.28/79.24 = 93.7\%$ 이며, 정미 수율은 79.24 kg으로 66.03%로 나타나 필리핀의 수출 조건에는 만족한 결과를 얻었다.

후 기

본 연구는 2024년도 농림축산식품부 기술사업화지원사업에서 “내수 및 수출전략 세트식 정미기의 상용화 개발” (과제번호 RS-2024-00401064) 과제의 지원에 의해 수행되었음.

References

- [1] WCO, 2022, Harmonized Commodity Description and Coding System - Heading 8437: Machines for Cleaning, Sorting or Grading Seed, Grain or Dried Leguminous Vegetables, HS 8437, World Customs Organization, Brussels.
- [2] Son, C. M., 2012, Development of Integrated Small-Size Grinding Machine for Long Grain Rice, Doctoral Dissertation, Kyungpook National University, Republic of Korea.
- [3] Park, K. K., Ha, Y. S., Son, C. M., Hong, D. H., Nam, S. H., Kim, K. S., Lee, S. J., Lee, S. Y., 2011, Development of an Integrated Compact Rice Mill for Strategic Export, Report on Agriculture Technology Development Project of Ministry of Agriculture, Fisheries and Food Research, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA), Republic of Korea, <<https://doi.org/10.23000/TRKO201400026342>>.
- [4] Lee, S. J., Ha, Y. S., 2014, Analysis of Structural Factor and Performance of Farmhouse Rice Milling Machines, Current Research on Agriculture and Life Sciences, 32:2 91-97, <<https://koreascience.kr/article/JAKO201424566319427.page>>.
- [5] ISO, 1977, Rice Milling Symbols and Equivalent Terms, ISO 3971:1977, International Organization for Standardization, Geneva.
- [6] ISO, 2021, Rice - Specification (Edition 4), ISO 7301:2021, International Organization for Standardization, Geneva.
- [7] PNS/PAES, 2015, Agricultural Machinery — Rice Mill — Specifications, PNS/PAES 206, Bureau of Philippine Standards, Philippines.
- [8] Lee, S. J., Jo, J. S., Hong, S. H., 2021, Analysis of Philippine Standards for Fostering Rice Milling Machine as an ASEAN Export Strategic Model, Proceedings of the KSAM 2021 Spring Conference, 146.

- [9] Republic of the Philippines, 2013, viewed 29 March 2026, Republic Act No. 10601 — An Act Promoting Agricultural and Fisheries Mechanization Development in the Country, Official Gazette of the Republic of the Philippines, <<https://www.officialgazette.gov.ph/2013/06/05/republic-act-no-10601>>.
- [10] Park, H. M., Hong, S. K., Yoon, Y. H., 2018, Grain Processing Machinery and Improvement of Milling Yield, Final Report, National Institute of Agricultural Sciences (RDA), Republic of Korea.
- [11] Lee, S. J., Jung, S. K., Choi, H. S., Hong, S. K., Park, K. K., 2022, Development of Polyurethane Roller for Huller, Proceedings of the KSAM 2022 Spring Conference, 214-220.
- [12] Healthcare News, 2022, viewed 29 March 2026, The Efficacy and Applications of Brown Rice, <<http://www.hcnews.or.kr/news/11037>>.
- [13] Kim, Y. S., Lee, N. Y., Hwang, C. S., Yu, M. J., Back, K. H., Shin, D. H., 2004, Changes of Physicochemical Characteristics of Rice Milled by Newly Designed Abrasive Milling Machine, J. Korean Soc. Food Sci. Nutr., 33:1 152-157, <https://doi.org/10.3746/jkfn.2004.33.1.152>.
- [14] LEE-HWA INDUSTRY CO., 2025, viewed 29 March 2026, LH-5001M GOLD, <https://www.lee-hwa.co.kr/eng/02product/01pd_s.html?P_index=2>.
- [15] Kim, K. J., Hong, H. C., Jung, Y. P., Kim, T. Y., Son, J. R., Hwang, H. K., Choi, H. C., Min, Y. K., 2003, Milling Characteristics and Rice Quality of Rice Cultivars with Different Grain Types, Appl. Biol. Chem., 46:1 46-49, <<https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArticleView.kci?sereArticleSearchBean.artId=ART001188959>>.



Seok-Jin Lee

Researcher and CEO of Leehwa Industry Co., Ltd. His research interests include agricultural processing machinery.
E-mail: lh3035@hanmail.net



Sun-young Lee

Researcher and Executive Director of Leehwa Industry Co., Ltd. Her research interests include agricultural processing machinery.
E-mail: lesy96@naver.com



Jong-seung Cho

Researcher and Managing Director of Leehwa Industry Co., Ltd. His research interests include agricultural processing machinery.
E-mail: jjs9379@hanmail.net



Ji-Ae Lee

Researcher in the Leehwa Industry Co., Ltd. Her research interests include agricultural processing machinery.
E-mail: wldo4465@naver.com



Kyung-Soo Kim

Researcher and CEO of Leehwa Rocom Co., Ltd. His research interests include automated agricultural machinery.
E-mail: pskim213@naver.com



Sung-Ha Hong

Researcher in Institute of Agro-Biotechnology Convergence. His research interests include agricultural machinery.
E-mail: grain-tec@hanmail.net



Hwang-Gyu Lee

Ph.D. candidate in the Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University. His research interests include robotics.
E-mail: lhg0314@knu.ac.kr



Jin-Hyun Kim

Professor in the Department of Precision Mechanical Engineering, Kyungpook National University. His research interests include agricultural machinery.
E-mail: jinhyun@knu.ac.kr



Tae-Wook Kim

Professor in the Department of Precision Mechanical Engineering, Kyungpook National University. His research interests include agricultural machinery.
E-mail: kimtw@knu.ac.kr