

초경날식 절삭형 완패스정미기의 개발*

Development of One-Pass Rice Whitener with Cutting Blades of Hard Metal

정 종 훈*

정회원

J. H. Chung

ABSTRACT

A one-pass rice whitener with hard metal blades was developed to solve the problems of the existing one-pass rice whitener. The developed one-pass rice whitener was tested and improved through various milling experiments. It showed high performance such as the capacity of 3.5 t/h, the energy consumption of 1.0 kWh/100kg, milled rice recovery of 91.6%, broken rice rate of 2.2%, the crack rate of 1.9% at the 750 rpm of the roller shaft, compared with those other domestic and foreign one-pass rice whiteners. Especially, it could whiten brown rice of high moisture (16-17%) with water sprayed at low internal pressure of less than 0.2 kg/cm² and low temperature due to the characteristics of the cutting part composed of 24 hard metal blades. The developed one-pass rice whitener was industrialized and distributed to some rice processing complexes in one fourth price compared with that of imported one-pass rice whiteners.

주요용어(Key Words): 초경날(Hard metal blade), 완패스정미기(one-pass rice whitener), 개발(Development), 성능평가(Performance Evaluation)

1. 서 론

정백과정은 미곡 도정과정 중에서 에너지를 가장 많이 소요할 뿐만 아니라 도정과정 중에 발생하는 미곡손실의 대부분이 이 과정에서 발생하므로 현백 효율(정백수율), 완전미 수율(완전립율) 및 정백효율(단위 시간당 생산된 백미의 무게/단위 시간당 에너지 소요량)을 극대화시키기 위하여 정미기 각 기종의 특징을 고려하여 여러 가지 형태로 구성하여 사용하고 있다. 국내에서는 연삭식 정미기와 마찰식

정미기를 동시에 연좌식으로 사용하는 복합식 시스템을 주로 채택하여 사용하고 있으나, 최근에는 외국의 영향을 받아 연삭식과 마찰식 정미기가 하나로 되어 있는 일체식의 완패스정미기를 설치하고 있다(정종훈 등, 1995). 기존의 국산 완패스 정미기들은 금강사로 구성된 연삭부와 롤러로 구성된 마찰부로 구성되어 있으나, 특히 연삭부에서는 금강사의 입도가 일정치 않아 균일한 연삭이 이루어지지 않고 얼룩이 지며 쉼미가 발생하고 일정시간이 경과하면 입도 사이에 미강이 끼어 제대로 연삭이 되지 않는 문

* 본 연구는 농림부 농림수산물특정연구사업의 연구비 지원과 (주)북성기업과의 산학협동으로 수행됨.

* 전남대학교 농과대학 농공학과

제점이 야기되고 있으며, 수분함량이 낮은 현미에 조절이 필요하여 가수하는 경우 연삭부에는 가수할 수가 없어서 그 소모동력이 높다. 그리고 최근에는 16~17% 이상의 함수율 수준에서 현미를 도정하기 때문에 수분이 많은 미강이 금강사틀러 표면에 붙게 되어 그 연삭기능이 현저히 떨어져 사용을 기피하고 있다. 특히 정미과정에서 많이 발생하는 쇄미를 줄이면서 미강을 잘 제거하고 윤택하게 하며 저온과 낮은 압력에서 가공할 수 있는 고성능 완패스 정미기의 개발이 절실히 필요하게 되었다.

수평 연삭식 정미기의 주요 성능인자로는 금강사 표면 입도, 롤러와 금망사이의 간격, 롤러의 원주속도, 금망의 구멍방향 및 각도, 금망내벽에 설치되는 작은 철판의 방향 그리고 출구저항장치 등으로 알려져 있다(이종환, 1985). 이때 소형 수평 연삭식 정미기의 금강사틀러의 표면입도는 30-40번, 롤러의 적정 원주속도는 600 m/min 그리고 롤러돌기와 금망사이의 적정 간격은 10 mm 등이라고 보고된 바 있다(고학균 등 1990). 연삭식 정미기는 정백식 내부압력이 낮기 때문에 깨지기 쉬운 장립종 벼를 도정하기에 적합하여 사용되어 왔으나, 여전히 완패스정미기의 1차 정백공정에 사용되고 있다. 특히 금강사의 연삭부에 물을 가수할 수 없어서 동력소모가 크고 사용시간 증가에 따라 미강이 금강사에 끼어 점차로 연삭효과가 떨어지는 단점이 있다. 이에 외국에서는 연삭식 대신에 세라믹 칼날을 이용해 절삭하는 정미기를 개발한 바 있다(東洋精米機製作所, 1987).

분풍 또는 흡입 마찰식 정미기의 주요 성능인자로는 롤러의 원주속도, 롤러의 길이, 롤러와 금망과의 간격, 롤러의 저항돌기 형태 및 수, 금망의 형태, 구멍방향 및 각도, 금망내벽에 붙이는 철판의 형태 및 수, 공급스크루의 피치와 길이, 그리고 출구저항압력 등이 있다(김삼도, 1982). 정백식내의 압력형성은 원료의 공급률, 롤러와 금망간의 간격, 롤러의 원주속도, 금망의 단면모양 및 슬롯의 각도, 출구저항 등에 의해 결정된다고 보고된 바 있다(고학균 등 1990). 그리고 정백실에 머무는 시간은 곡물의 축방향 속도, 정백식의 길이 및 금망간의 슬롯방향 등에

의해 결정되어 진다. 일부 연구결과에 따르면, 일정한 롤러의 회전속도에서 공급스크루의 피치가 클수록, 그리고 출구저항압력을 증가시킬수록 정백실내의 압력은 증가하며, 슬롯이 수평면과 이루는 각도가 증가할수록 압력은 감소하는 것으로 보고되고 있다. 금망의 단면모양 및 표면상태는 정백실내의 압력형성에는 큰 영향을 끼치지 않지만 현백효율과 관계가 깊은 것으로 나타나고 있다. 롤러의 회전속도와 압력과의 관계는 공급스크루의 피치가 클 때(48 mm)에는 회전속도가 증가함에 따라 압력이 감소하고 피치가 작을 때(24 mm)에는 증가하는 것으로 보고되고 있다. 특히 흡인마찰식 정미기에서 원료가 1회 순환시 추정벼는 약 2 kg/cm², 동산벼는 1.9 kg/cm²의 압력을 형성한다고 보고된 바 있다(고학균 등 1990).

최근에 도정시설의 간편화, 미질 향상 및 시설비용의 절감을 위해서 연삭식 정미기와 마찰식 정미기의 기능이 함께 있는 일체식의 완패스 정미기가 개발되어 보급되고 있으며 대부분의 미곡종합처리장에서는 이를 선호하고 있다. 이에 일본의 S사 및 T사, 멕시코의 R사, 그리고 국내 K사 및 Y사 등에서는 완패스 정미기를 개발하여 도정공장에 설치하고 있다. 대부분의 국내의 완패스 정미기는 금강사로 구성된 연삭부와 롤러식의 마찰부로 구성되어 있으나 일본의 T사 제품은 세라믹 날을 사용해 미강을 깎는 절삭식 세라믹 완패스 정미기를 생산하고 있다(고학균, 1995). 그러나 이들 수입기계의 가격은 국내 기계의 4배 이상하는 고가 제품들이면서도 수입 정미기들의 성능에 대한 연구 보고가 거의 없는 실정에서 무조건 수입에 의존하고 있는 상태이다.

따라서 기존 정미기의 문제점들을 해소하기 위해서 초경의 재료로 칼날을 만들어 저압력에서 현미의 미강을 깎는 초경칼날의 절삭형 완패스 정미기를 개발하고자 하였다. 그리고 개발된 완패스 정미기의 성능개선 실험을 통해 정미기의 성능과 효율을 향상시킨 다음 국내의 완패스정미기와 성능을 비교분석하고, 최종적으로 산업화하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 초경칼날식 절삭형 완패스정미기의 개발

(1) 완패스정미기의 구성

초경 절삭식 완패스 정미기는(폭 750 mm, 길이 2,200 mm) 초경식 칼날로 제작된 절삭부와 마찰롤러로 구성된 마찰부, 미강이 잘 빠지도록 구멍(slot)들이 뚫어진 금망부, 정미기 출구의 저항장치부, 정미기 출구에서 미강을 브러쉬로 털어주며 정미를 배출시키는 이송부, 현미에 물을 분무해 주며 섞어주는 가수 및 혼합부, 완패스 정미기를 제어하는 제어반, 미강을 제거하는 흡입 팬, 동력부 등으로 구성되도록 그림 1과 같이 설계하였다.

(2) 완패스정미기의 초경 절삭부 및 마찰부

완패스정미기의 초경 절삭부는 고강도의 초경 소재를 사용해 제작한 칼날을 직경이 330 mm이고 길이가 약 300 mm인 금속원통에 일정 간격으로 부착시켜 절삭기능을 갖도록 한 것으로서 그 세부도는 그림 2와 같다. 그림에서와 같이 총 25개의 초경 칼날들을 14.4° 간격으로 원통밖으로 1 mm씩 돌출되도록 볼트들을 사용해 고정하였으며, 칼날이 마모될

경우에는 이들 볼트를 조절해 칼날의 돌출높이를 조절하도록 하였다. 이들 칼날과 금망과의 간격은 약 13.5 mm가 되도록 하였다. 또한 초경 칼날들의 끝부분은 일정방향으로 경사도를 갖게 하여 절미가 생기지 않도록 하였으며, 칼날등이 부착된 금속원통에 일정 간격으로 공기구멍들을 만들어서 미립의 온도 상승을 막고 미강이 미립으로부터 잘 분리되도록 하였다.

정미기의 마찰부의 물러는 직경이 164 mm, 길이가 604 mm이 되도록 제작하였다. 마찰롤러에는 2개의 돌기(높이 10 mm)를 설치하여서 마찰돌기와 금망간의 간격을 8 mm로 하여 정백실내에 압축압력이 형성되도록 하였다. 그리고 돌기 뒷부분에는 공기구멍을 뚫어서 미립의 온도 상승을 막고 미강이 미립으로부터 잘 분리되도록 하였다. 또한 출구쪽의 롤러끝에는 노즐을 설치하여 마찰부의 시작부에 가수함으로써 미립의 온도 상승을 막도록 하였다.

(3) 완패스정미기의 금망부

완패스 정미기의 금망 형태는 초경 절삭부는 직경이 357 mm인 원통형으로 하였고, 마찰부의 금망은 직경이 180 mm 인 8각형으로 제작하도록 하였다.

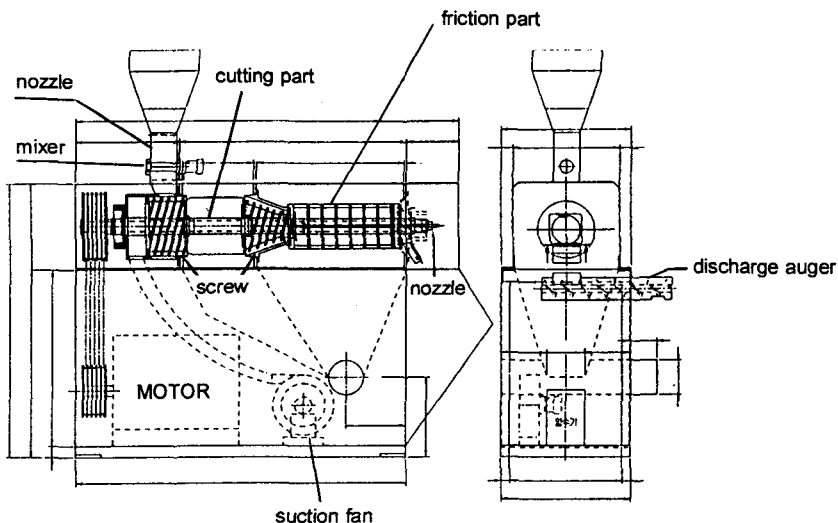


Fig. 1 Structure drawing of one-pass rice whitener with hard metal blades.

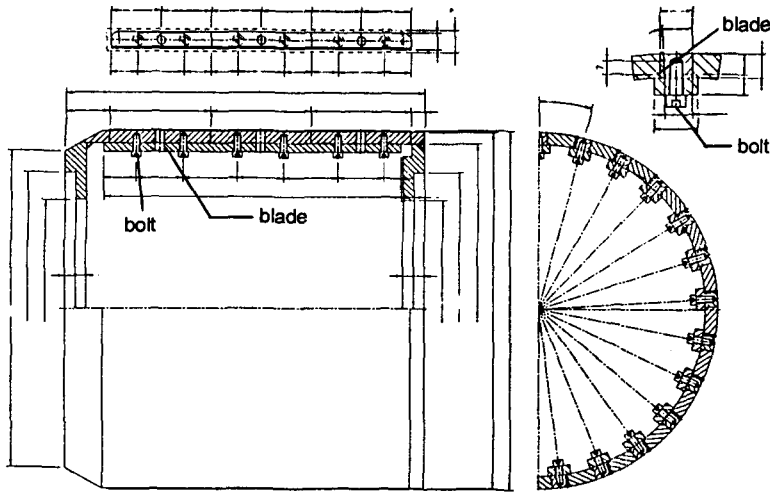


Fig. 2 Cutting part with hard metal blades of one-pass rice whitener.

정백실 내부에서 미강이 빠져 나오는 금망의 슬롯(slot)방향을 순방향 45° (↘)와 역방향 45° (↗)로 2종류를 제작하여 금망이 도정시간, 미립의 품질 및 기타 성능에 미치는 효과를 분석하고자 하였다. 즉 슬롯의 순방향 45° (↘)는 미립이 잘 배출되도록 추진력이 최대가 되게 하며, 슬롯의 역방향 45°는 미립이 배출의 반대방향으로 추진력을 받도록 하여 정백실 내에 오래 머물도록 하기 때문에 이들 금망의 형태가 미질, 내부압력 및 기타 성능에 미치는 효과를 분석하고자 하였다. 또한 정백실내의 저항을 크게 하기 위해 철판피를 일정간격으로 금망내벽에 부착시켜서 금망의 철판이 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

(4) 완패스정미기의 가수부

정미기에 현미를 투입하기 전에 현미에 물을 분사시켜 소모동력을 줄이기 위해서 최대 용량이 10 gal/h인 노즐을 가수부에 설치하였으며, 현미의 함수율에 따라 물 분무량을 조절하도록 유량계를 설치하였다. 본 연구에서는 예비실험을 통해 물 분무량이 18.93 l/h (5 gal/h)가 적당하다고 사료되어 초경부에 투입되는 현미에의 물 분무량을 18.93 l/h로 고정하였다. 그리고 분사노즐밀에는 쌀을 고루 섞어주는

혼합기를 설치하였다. 또한 마찰부의 물러 끝부분에 공기혼합 노즐을 설치해 30 μm의 아주 미세한 물 미립자를 분사할 수 있도록 제작하였다. 이때 공기압은 약 4 기압으로 하였으며 수압은 약 12기압이 되도록 하였다.

(5) 완패스정미기의 동력부

정미기의 동력부에는 효율이 92%이고 RPM이 1170인 45 kW(60마력)의 삼상 유도전동기를 설치하였으며, 기동전류를 줄이기 위해서 전원과 부하는 성형-델타결선 방식을 채택하였다. 그리고 정미기에서 나오는 미강을 집진하기 위해서 5.5 kW(7.5마력)의 원심식 흡입팬을 설치하였으며, 절삭부의 롤러축에 분풍하기 위해서 0.5 kW(1마력)의 분풍팬을 설치하였다. 또한 정미기 롤러 축의 회전수가 정미기의 성능에 미치는 영향을 분석하고자, 롤러축의 분당 회전수가 850과 750이 되도록 구동폴리를 2종류로 제작하였다.

나. 완패스정미기의 성능개선실험

개발된 완패스 정미기를 분당 회전수 850과 750의 2수준과 금망의 슬롯 방향 및 각도(순방향 45°와 역

방향 45°), 마찰부에 설치된 노즐의 물 분사 여부, 금망에 붙여진 저항철판의 유무, 기계의 경사도 등을 주변수로 조합하여 예비실험 결과들을 기초로 12가지의 선별된 처리에서 성능 개선실험을 실시하였다.

초경식 완패스 정미기의 성능평가를 위해서 쌀의 백도, 현백율, 완전미 수율(완전립율), 동할율, 마찰부의 내부압력, 절삭부의 내부압력, 쌀의 함수율 변화, 소모동력, 소모전류, 시간당 처리능력, 쌀눈이 붙어 있는 배아미의 비율 등을 12가지의 처리조건에서 각각 분석하였다. 이같은 결과를 기초로 성능이 개선된 초경칼날식 완패스정미기를 개발하였다. 쌀의 백도는 Kett C-300의 백도계를 사용해 측정하였으며, 현백율은 정백수율로서 현미 및 정미의 무게를 전자저울(북성기업 FS-2303, chleo 100 kg)로 측정해 산출하였다. 완전립율과 동할율 그리고 배아미 비율은 100 gr의 시료를 채취해 5반복의 시각적 검사를 통해 추정하였다. 이때 백미(현미)의 완전립율은 생산된 총 백미(현미)에 대해 완전한 백미(현미)의 3/4 이상이 되는 정상정립의 비율을 완전립율이라 정의하여 산출하였다. 동할율은 미립에 금이 1개 있는 경우, 금이 2개 있는 경우, 금이 3개 이상이 있는 경우로 분류하여 추정하였다. 또한 마찰부와 절삭부의 내부압력은 각각의 금망의 중앙상층부에 압력센서(50AB/HP, 50 psia, 정밀도 0.5%, 작동온도범위

-54~93℃)를 설치해 측정하였다. 이때 압력센서의 신호는 Thorn-EMI사의 증폭기(SE 1054)와 오실로그래프를 사용해 감광지에 나타내도록 하였다. 쌀의 함수율은 Kett사의 전기저항식 수분측정기(K 305)로 측정하였다. 정미기의 총소모동력은 적산전력계를 사용해 측정하였으며 소모전류는 전류계를 사용해 측정하였다. 정미기의 부하는 정미기에 투입되는 쌀의 시간당 공급량에 따라 달라지는데 본 실험에서 부하전류가 약 110 A가 유지되도록 원료 공급량을 일정하게 유지하면서 정미기 성능개선 실험을 실시하였다. 또한 정미기 톨러축의 회전수는 G. Cussoms사의 타코미터(모델 p 4743)를 사용해 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 초경칼날식 절삭형 완패스정미기의 개발

기존 완패스정미기 연삭부의 문제점을 없애기 위해서 초경날을 사용한 초경칼날식 절삭형 완패스정미기(처리용량 3 톤/시간 이상)를 그림 4와 같이 개발하였다. 초경 완패스정미기는 절삭부, 마찰부, 동력부, 물 분사장치부, 미강 흡입부, 제어부 등으로 구성되었다. 그림 5는 개발된 초경 완패스 정미기

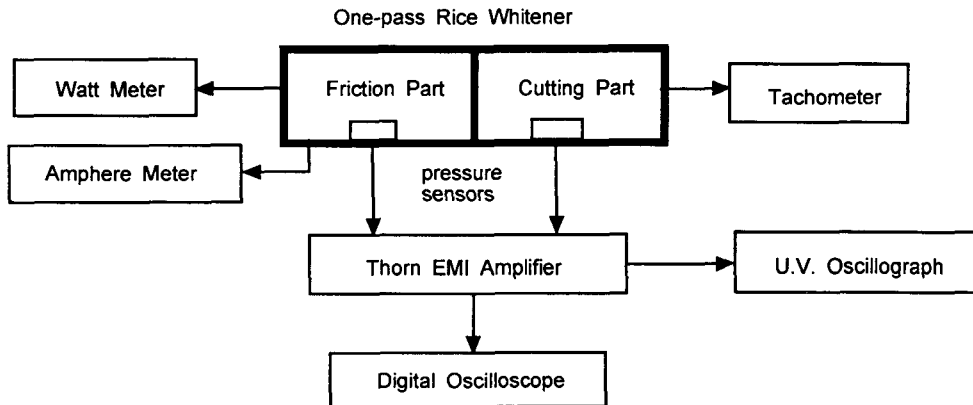


Fig. 3 Data acquisition equipments for testing the performance of the developed one-pass rice whitener.

의 마찰부와 초경칼날로 이루어진 절삭부를 보여주고 있다.

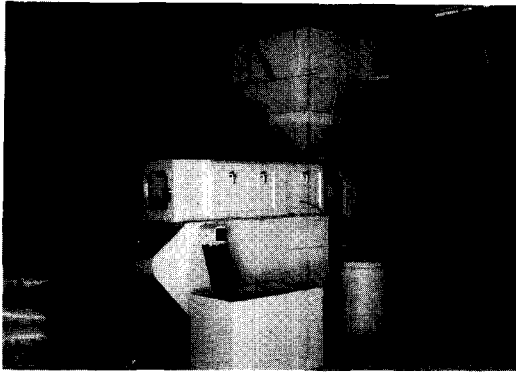


Fig. 4 The shape of the developed one-pass rice whitener with hard metal blades.

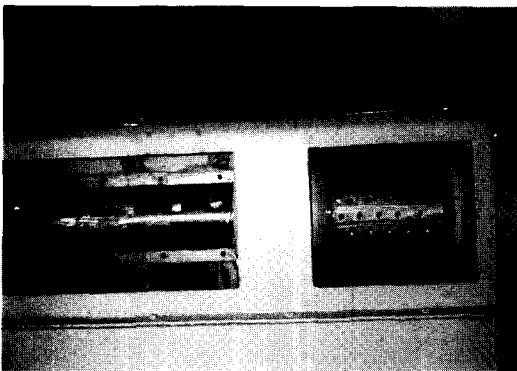


Fig. 5 Friction and cutting parts of the developed one-pass rice whitener.

(1) 완패스정미기의 초경 절삭부

기존의 완패스 정미기는 연삭부와 마찰부로 구성되었는데, 연삭부에서는 연삭돌의 입자 크기가 일정하지 않아 연삭이 균일하게 되지 않고, 연삭돌이 거칠기 때문에 쉐미를 발생시킨다. 또한 일정 시간이상 사용하면 연삭돌에 미강이 많이 끼어 연삭기능이 제대로 이루어지지 않는다. 따라서 고강도의 합금인 초경을 사용해 만든 칼날들을 그림 2와 같이 연삭부의 돌 대신에 원통에 일정 간격으로 부착시켜서

절삭부를 제작하였다. 총 25개의 초경 칼날들이 14.4° 간격으로 원통으로부터 1 mm씩 돌출 되게 설치되어 있다. 이들 초경날이 회전하면서 현미의 미강을 깎아 박리시키기 때문에 정백실내의 압력도 전혀 높지 않고 쌀 온도 상승도 없어서 고품질의 백미를 생산할 수 있었다.

(2) 완패스정미기의 가수부

연삭롤러 대신에 절삭부에 초경날들이 설치되어 있고 물을 분사할 수 있기 때문에 연삭식에 비해 초경칼날식 절삭형이 동력 소모량을 줄일 수 있었다. 또한 마찰부에 공기 혼합 노즐을 설치해 30 μm 이하로 물을 미립화하여 분사시킴으로써 백미에 묻어있는 미강을 제거할 수 있었고, 미립들의 온도 상승을 낮추어 주었다. 이처럼 마찰부에서의 압축공기에 의한 가수기능은 쌀의 온도 상승을 막고 미세 미강을 털어주는 연미기능을 수행하였다.

나. 성능실험 결과 및 고찰

개발된 완패스정미기를 850 rpm과 750 rpm에서, 초경 절삭부의 금망 각도를 순방향 45°와 역방향 45°의 2 수준에서, 초경 절삭부의 금망에 부착시킨 저항 돌기의 유무, 마찰부에서 공기혼합 노즐에 의한 물 분사 유무, 그리고 정미기의 부하를 줄이기 위해 기계의 3° 경사도(처리 #12에서만) 유무 등의 처리조건에서 정백실험을 실시하여 초경날식 완패스정미기의 성능을 분석한 결과 표 1과 같았다.

(1) 정미기 회전수의 차이 효과

개발된 완패스정미기에서 롤러축 회전수가 850 rpm이고 투입되는 현미의 쉐미율이 약 3%, 동할율이 약 8% 일 때, 정미기를 거친 후 백미중에 쉐미가 8~10%, 완전미의 동할율이 약 10~18%, 배아미의 비율이 4% 수준에 이르렀고, 회전수가 750 rpm인 경우에는 쉐미가 5~7%, 완전미의 동할율이 약 8~13%, 배아미의 비율이 약 8% 수준으로 나타났다. 따라서 회전수 750 rpm에서 본 정미기에서 발생되는 순쉐미율이 약 2.2%, 순동할율이 약 1.9%로 나

타났고 850 rpm에서는 순쇄미율이 약 5%, 순동할율이 약 7%로 나타났다. 즉 회전수가 낮춤으로써 쇄미와 동할율을 줄이고 배아미의 비율을 높일 수 있었다. 그러나 백도는 회전수 850 rpm에서 37~38, 회전수 750 rpm에서 34~36로 나타나 회전수가 높을 때 약간 백도가 높게 나타났다. 그리고 정미기 초경 절삭부와 마찰부의 원주속도는 틀러축의 회전수가 750 rpm일 때 각각 약 770 m/min와 약 380 m/min로 나타났다.

(2) 정미기 금망의 처리효과

정미기의 초경 절삭부의 금망에 저항 철판띠를 붙였을 때에는 안 붙였을 때에 비해 처리능력이 떨어지고 소모전력이 증가하여 4차 실험(처리 #4) 이후부터는 금망으로부터 저항 철판띠(resistance strip)를 떼어 미립 손상 특히 동할율을 줄이도록 하였다. 초경 절삭부의 금망 각도가 정미기의 성능에 축 회전수만큼이나 큰 영향을 미쳤다. 금망의 각도가 쌀의 배출에 용이한 순방향 45° (Ⅲ)일 때는 역방향 45°에 비해 처리능력이 시간당 3톤 이상으로 증가하였고 소모전력도 약 1.0 kWh/100kg으로 낮게 나타났으며 초경부의 내부 압력도 약 0.12 kg/cm²로 낮게 나타났다. 그러나 마찰부에서는 초경부의 저항 감소로 인하여 내부압력이 약 2.4 kg/cm²로 역방향 45°에 비해서 약 25% 이상 증가하였다. 그러나 종합적으로 볼 때 초경 절삭부의 금망 각도가 순방향 45°일 때가 처리능력도 좋고 쇄미 발생과 소모전력이 줄어들며 배아미의 비율도 증가하였다. 개발된 초경 완패스 정미기의 소모전력은 초경 절삭부의 금망 각도가 역방향 45°이고, 정미기 기계 자체에 경사 3°를 주어(처리 #11과 12) 쌀 투입구 쪽이 배출구 보다 높을 때에는 비슷한 부하에서 소비전력이 가장 낮게 나타났으며 처리능력도 시간당 3.5톤으로 높게 나타났다. 그러나 기계의 3°의 경사도가 정미기의 성능에는 큰 영향을 미치지 않았다.

(3) 정미기 내부압력

정미기 마찰부의 최대 내부압력은 그림 6과 같이 처리조건에 따라 0.74~3.45 kg/cm²까지 분포하였다.

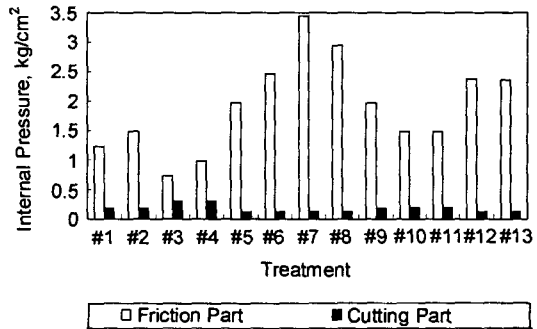


Fig. 6 Internal pressure in the milling chamber of the developed one-pass rice whitener under various treatments.

회전수가 850 rpm 일 때는 0.74~2.47 kg/cm², 750 rpm 일 때는 1.48~3.45 kg/cm²에서 분포하였다. 즉 회전수가 높을 때 마찰부의 최대 내부압력은 회전수가 낮을 때에 비해 상대적으로 낮게 나타났다. 마찰부의 최대 내부압력이 3.45 kg/cm²일 때는 쇄미율 7.2%, 최대 내부압력 2.4 kg/cm²의 경우 쇄미율 4.7%에 비해 약 2% 정도 높게 나타나 최대 내부압력이 높을 때 쇄미율이 높게 나타났다. 또한 축 회전수에 관계없이 초경 절삭부의 금망의 슬롯각도가 역방향 45도(Ⅲ)일 때의 마찰부의 최대 내부압력은 처리조건에 따라 0.74~1.97 kg/cm²의 분포를 나타냈고, 금망의 슬롯각도가 순방향 45° (Ⅲ)일 때는 처리조건에 따라 1.24~3.45 kg/cm²로 분포하여 상대적으로 높게 나타났다. 이러한 이유는 초경 절삭부의 금망 슬롯각도가 순방향 45°일 때 초경절삭부의 정백실에서 쌀이 머무는 시간이 짧아 쌀의 배출이 잘 되면서 오히려 마찰부 정백실의 압력을 높게 형성하였기 때문이었다. 그러나 금망의 슬롯각도가 역방향 45°일 때는 마찰부의 최대 내부압력은 줄일 수 있었으나 초경 절삭부에서 쌀이 머무는 시간이 길게 되어 오히려 쌀이 많이 각이고 쇄미 등의 손상이 더욱 많았다. 이에 초경 절삭부의 금망 슬롯각도를 순방향 60° 등으로 하여 절삭부에서 머무는 시간을 적정 수준으로 하거나, 정미기의 출구저항을 줄임으로써 마찰부의 내부압력을 감소시켜 마찰부의 최대 내부압력을 줄이는 것이 필요하였다. 반면에 초경 절삭부

의 정백실 최대 내부압력은 0.12~0.3 kg/cm²으로서 손상은 없는 것으로 나타났다.
 마찰부에 비해 매우 낮게 나타나 내부압력에 의한

Table 1 Performance evaluation of the developed one-pass rice whitener at various treatments

Treatment	Roller Revolution rpm	Cutting Part Slot Angle	Cutting Part Resistance strip yes/no	Water Spray	Brown Rice M.C. %	Milled Rice M.C. %	Capacity t/h	Energy Consumption kWh/100kg	Milled Rice Recovery %
# 1	850	순방향(↓) 45°	strip installed	no spray	15.2	14.7	2.0	•	89.9
# 2	"	"	"	"	"	14.9	2.7	•	90.3
# 3	"	역방향(↑) 45°	"	"	"	14.2	2.3	1.60	90.3
# 4	"	"	not installed	"	"	14.9	2.8	1.45	89.0
# 5	"	순방향(↓) 45°	"	"	"	15.0	3.6	1.10	91.1
# 6	"	"	"	spray	"	15.2	3.7	1.10	90.6
# 7	750	"	"	"	"	14.9	3.0	1.00	90.1
# 8	"	순방향(↓) 45° 분동1개제거	"	"	15.1	15.1	3.7	0.95	91.5
# 9	"	역방향(↑) 45°	"	"	"	14.9	3.0	1.25	90.0
#10	"	" 기계경사도 3°	"	"	"	14.9	3.5	0.74	93.0
#11	"	역방향(↑) 45° 분동1개제거 기계경사도 3°	"	"	15.5	15.5	3.0	1.25	89.4
#12	"	순방향(↓) 45° 기계경사도 3°	"	"	15.5	15.5	3.5	1.00	91.6
#13	"	"	"	"	15.2	14.9	3.5	1.00	91.5

Treatment	Friction Part Pressure kg/cm ²	Cutting Part Pressure kg/cm ²	Head Rice Yield %	Cracked Rice Percent %	Rice with Germ %	Whiteness Index	Remark
# 1	1.24	0.18	90.6	9.8	3.6	38	Initial conditions of brown rice: 1) head rice yield : 97% 2) crack rate : 8.4% 3) rate of rice with germ : 96% 4) whiteness index : 20
# 2	1.48	0.18	90.5	17.8	5.3	37	
# 3	0.74	0.30	92.5	17.1	3.6	38	
# 4	0.99	0.30	91.5	11.7	3.5	38	
# 5	1.97	0.12	91.4	12.1	4.4	38	
# 6	2.47	0.12	92.5	16.0	5.4	37	
# 7	3.45	0.12	92.8	13.4	7.5	36	
# 8	2.95	0.12	94.3	10.4	9.2	35	
# 9	1.97	0.18	93.6	8.4	9.1	36	
#10	1.48	0.20	92.4	9.9	9.2	36	
#11	1.48	0.20	94.4	13.1	4.1	35	
#12	2.37	0.12	94.6	7.9	5.9	34	
#13	2.35	0.12	94.6	10.3	7.6	34	

(4) 현백율, 완전립율 및 동할율

초경 완패스 정미기의 현백율은 그림 7과 같이 89.9%에서 91.6%까지 분포하였으며, 축 회전수 750 rpm, 순방향 45°의 금망 각도 (처리 #12와 #13)에서 현백율이 91.6%로 가장 높게 나타났다. 이것은 이들 처리에서 상대적으로 쌀이 덜 깎이는 것을 의미하며 백도도 다른 처리보다 상대적으로 조금 낮게 나타났으나, 색미 및 동할율은 감소하였고, 배아미 비율은 증가하였다.

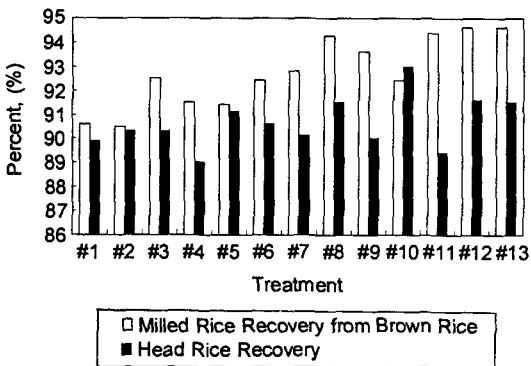


Fig. 7 Milled rice recovery from brown rice and head rice recovery at the developed one-pass rice whitener under various treatments.

초경 완패스 정미기의 처리조건에 따른 백미의 완전립율이 그림 7에 자세히 나타나 있는데 축 회전수가 750 rpm일 때와 초경부의 금망이 순방향 45°일 때 즉 처리 #12에서 백미의 완전립율이 가장 높게 나타났으며 동할율도 낮게 나타났다. 그러나 색미와 동할미를 줄이고 완전립율을 높이기 위해서는 금망과 마찰롤러 및 롤러돌기와의 간격 그리고 초경 절삭부의 원주속도와 금망의 슬롯각도 등의 적정 수준의 구명에 대한 연구가 추가로 요구된다.

완패스 정미기의 처리조건과 반복에 따른 백미의 동할율은 현미의 완전립율이 97%이고, 축 회전수가 750 rpm, 초경부 금망 각도가 순방향 45°일 때(처리 #12) 백미의 완전립율이 약 94.6%로 가장 높게 나타났으며 동할율 역시 5%로서 가장 낮게 나타났다. 이때 동할율을 분석한 결과 완전미중에서도 동할이 전

혀 없는 쌀이 약 95%, 금(동할)이 1개 있는 경우 약 4%, 금(동할)이 2개 있는 경우 약 1%, 금이 3개 이상 있는 경우는 거의 없었다.

(5) 배아미의 비율과 백미의 백도

초경 완패스 정미기에서 처리조건에 따른 배아미 (쌀눈이 붙어 있는 쌀)의 비율은 그림 8과 같이 모든 처리조건에서 약 5% 이하로 매우 낮게 나타났으며 축 회전수가 750 rpm인 경우에는 약 6~9%로 약간 높게 나타났다. 그러나 현미의 배아미 비율이 96%인 것을 감안할 때 정미기에서 거의 모든 쌀눈이 떨어져 있기 때문에 배아미만을 생산하기 위해서는 회전수를 더욱 감소시키고, 롤러의 돌기와 금망과의 간격도 지금보다 줄이는 것이 필요하였다. 완패스 정미기의 처리조건에 따른 백미의 백도가 그림 8에 나타나 있다. 축 회전수가 850 rpm일 때는 약 38을 나타내었고, 축 회전수가 750 rpm일 때는 약 34~36으로 약간 떨어졌다. 회전수 750 rpm에서 가공한 쌀을 본 도정공장에 있는 연미기에서 연마를 시킨 결과 출구저항에 따라 백도는 약 38~40으로 증가하였고, 850 rpm에서 가공한 쌀의 백도는 약 40° 수준까지 밖에 더 이상 증가하지는 못했다.

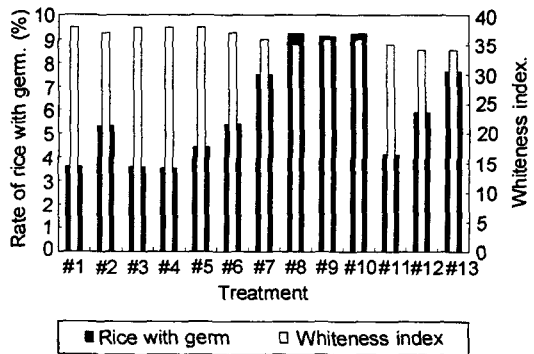


Fig. 8 Rate of rice with germ and whiteness index at the developed one-pass rice whitener under various treatments.

(6) 국내외 완패스정미기의 성능 비교

개발된 초경 완패스 정미기를 국내에서 성능이 좋다고 알려진 완패스정미기와 고가의 일체 완패스 정

미기와 성능, 기능 및 가격 측면에서 비교한 결과 표 2와 같이 나타났다. 개발된 정미기의 처리능력도 3.5톤/시간으로 높고, 소모동력도 일제 정미기와 같이 1.0 kWh/100kg으로서 낮게 나타났다. 그리고 개발된 정미기의 현백율이 91.6%, 쇄미율은 2.2%, 동할율 1.9%로서 외제 정미기 및 기존의 국산 정미기보다 미질 상태가 우수한 것으로 나타났다. 이때 백도는 외제 A사의 정미기가 39(Kett C-300으로 측정), 외제

B사 정미기가 37, 국산 A사 정미기가 36 그리고 개발된 정미기가 36으로 나타나 별차이는 없었다. 배아미의 비율은 모든 정미기가 공통적으로 10% 이하로 매우 낮게 나타났다. 또한 정미기의 가격 측면에서도 개발된 정미기의 가격이 외제 정미기의 약 25% 이하 수준이어서 경제성이 매우 높고 정미기 수입대체의 효과를 올릴 수 있으리라 사료된다.

Table 2 Performance comparison between the developed one-pass rice whitener and other foreign and domestic models

Model	Type	Roller Revolution rpm	Brown rice M.C. %	Milled rice M.C. %	Capacity (t/h)	Energy Consumption	Milled Rice Recovery %	
Developed Model	Cutting + Friction	750	15.5	15.5	약 3.5	1.0 kWh/100kg 45 kW	91.6	
Domestic Model	Abrasion+ (Abra.+Friction)	900+850	15.1	14.9	약 3.5	23 kW+45 kW	•	
Foreign Model	A	Abrasion+Friction	•	16.8	16.2	약 3.5	50 kW	•
	B	Ceramic Cutting+ Friction	1555+702 + 1170	15.5	15.5	약 6.0	1.0kWh/100kg 82 kW	91.1

Model	Broken rice Rate %	Cracked Rice rate %	Rice Rate with Germ %	Whiteness Index	Remark	
Developed Model	2.2	1.9	7.6	36	○ 조경칼날 사용으로 저운, 저압에서 미강을 켜아 미질이 우수함. ○ 현미의 백도 : 19 (Kett C-300)	
Domestic Model	2.4	3.2	5.7	36	○ 연삭식 정미기 1대와 완패스 정미기 1대를 직렬로 설치한 경우임. ○ 연삭돌에 의한 마찰로 곡온상승 ○ 사용시간 경과에 따라 연삭기능 약화. ○ 현재 널리 설치되고 있는 경우임 ○ 현미의 백도 : 20 (Kett C-300)	
Foreign Model	A	7.4	11.1	7.3	39	○ 쇄미율 및 동할율이 높음 ○ 성능에 비해 가격이 높음 ○ 현미의 백도 : 21 (Kett C-300)
	B	•	4.4	10	37	○ 조질처리된 현미쌀을 사용한 경우임 ○ 성능에 비해 가격이 높음 ○ 현미의 백도 : 19 (Kett C-300)

Note : 1) The data of foreign model B was from 全農農業技術 center.
 2) The above data are the average values of 5 replications on the 100gr samples.

4. 요약 및 결론

국내 보급된 완패스정미기의 문제점을 해결하고자 초경칼날을 이용한 절삭형 완패스정미기를 개발하였다. 개발한 완패스정미기의 성능을 평가하고 여러가지의 처리조건에서 성능개선실험을 실시하여 최종적으로 완패스정미기를 완성하였다. 그리고 국내외 완패스정미기와 성능, 기능 및 가격을 비교 분석하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같았다.

1. 초경 칼날로 구성된 절삭부, 마찰부, 물 분사 장치부, 미강 흡입부, 동력부, 제어부 등으로 구성된 초경 절삭식 완패스 정미기를 개발하였다. 개발된 정미기는 산업화되어 미곡종합처리장에 설치되었다.

2. 정미기 절삭부에서 초경 칼날들이 회전하면서 현미의 미강을 깎아 박리시키기 때문에 정백실내의 압력은 약 0.2 kg/cm^2 으로서 매우 낮았고 쌀온도 상승도 줄일 수 있었다.

3. 초경 완패스정미기의 롤러축 회전수 750 rpm과 850 rpm의 두 수준에서 성능시험한 결과, 회전수 750 rpm에서 본 정미기에서 발생하는 쇄미율이 약 2.2%, 동할율이 약 1.9%로 나타났고 850 rpm에서는 쇄미율이 약 5%, 동할율이 약 7%로 나타났다.

4. 정미기 초경 절삭부의 금망에 저항 첩편따를 붙였을 경우에는 안 붙였을 때에 비해 시간당 처리능력이 떨어지고 소모전력이 증가하며 쇄미율 및 동할율이 증가하므로 저항 첩편따를 금망에 붙이지 않는 것이 좋을 것으로 사료되었다.

5. 금망의 각도가 쌀의 배출에 용이한 순방향 45° (Ⅲ)일 때는 역방향 45° (Ⅱ)에 비해 처리능력이 시간당 3톤 이상으로 증가하였고, 소모전력도 약 $1.0 \text{ kWh}/100\text{kg}$ 으로 낮게 나타났으며 초경부의 내부 압력도 약 0.12 kg/cm^2 로 낮게 나타났다. 그러나 마찰부에서는 초경부의 저항 감소로 인하여 내부압력이 약 2.4 kg/cm^2 로 역방향 45° 에 비해서 약 25% 이상 증가하였다. 그러나 종합적으로 볼 때 초경 절삭부의 금망 각도가 순방향 45° 일 때가 처리능력도 좋고 쇄미 발생과 소모전력이 줄어들며 배아미의 비율도 증가하므로 더 고품질의 쌀을 생산할 수 있었다.

6. 초경칼날식 완패스정미기의 현백율은 89.9%에

서 91.6%까지 분포하였으며, 축 회전수 750 rpm, 순방향 45° 의 금망각도에서 현백율이 91.6%로 가장 높게 나타났다.

7. 초경칼날식 완패스정미기에서 처리조건에 따른 배아미 (쌀눈이 붙어 있는 쌀)의 비율은 모든 처리조건에서 5% 이하로 매우 낮게 나타났으며 축 회전수가 750 rpm인 경우에는 약 6~9%로 약간 높게 나타났다.

8. 완패스정미기의 처리조건에 따른 백미의 백도는 축 회전수가 850 rpm일 때는 약 38을 나타내었고, 축 회전수가 750 rpm일 때는 약 34로 떨어졌으나 이 정미들을 본 도정공장에 있는 연미기에서 연미를 시킨 결과 백도는 약 40으로 증가하여 광택이 있고 깨끗한 쌀을 얻을 수 있었다.

9. 개발된 초경 완패스 정미기를 국내산 완패스정미기와 외제 완패스 정미기와 성능, 기능 및 가격을 비교한 결과 개발된 정미기가 성능 및 가격 면에서 우수한 것으로 나타났다. 개발된 정미기의 처리능력도 3.5톤/시간으로 높고, 소모동력도 외제 정미기와 같이 $1.0 \text{ kWh}/100\text{kg}$ 으로서 낮게 나타났다. 그리고 정미기의 현백율이 91.6%, 쇄미율은 2.2%, 동할율 1.9%로서 외제 정미기 및 기존의 국산 정미기보다 미질 상태가 우수한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 고학균외 12인. 1995. 미곡종합처리시설. 문운당.
2. 고학균외 6인. 1990. 농산가공기계학, 향문사.
3. 김삼도, 1982. 연삭·마찰의 조합식 정백작용이 정백성능에 미치는 영향, 서울대학교 석사학위 논문.
4. 동양정미제작소(주). 1987. 동양세라믹정미기 시험결과.
5. 이중환, 1985. 분풍 연삭식 정미기의 설계기준 설정에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문.
6. 정중훈외 1인. 1995. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 미곡 도정공장의 적정설계 및 개발 (I) 한국농업기계학회지 20(1):47-57.
7. Extension and Training Center, Satake Engineering Co., 1983. Group training courses in rice processing.