

중·소형 연미기의 성능평가 및 성능개선에 관한 연구 (I)

-소형 연미기에 대하여-

Performance Evaluation and Improvement of Medium and Small Scale Rice Polishers (I)

-small scale rice polisher-

정 중 훈*

정회원

J. H. Chung

최 영 수*

정회원

Y. S. Choi

권 흥 관*

정회원

H. K. Kwon

ABSTRACT

The structural characteristics of a small scale rice polisher was analyzed to improve its performance. Spraying characteristic of nozzles used for rice polishing was also analyzed by a machine vision system. The internal pressure of the polishing chamber was measured according to outlet resistance, water spraying, and roller shaft speed. In addition, the performance of the rice polisher was evaluated to improve it in the basis of internal pressure in polishing chamber, whiteness, and broken rice ratio of clean rice according to the operating conditions. Actual nozzle discharge rate and drop size were 125 cc/min and 86~97 μm , respectively. In the case of water spraying on rices, the internal pressure showed 4.9~9.8N/cm² increase, broken rice ratio decreased, and there was no difference in whiteness. The internal pressure increased up to two times with the increase of the outlet resistance. Also, the pressure at the upper part of screen was one and half times as high as the pressure at the lower part. In the case of water spraying rate of 150 cc/min, the roller shaft speed of 850 rpm resulted in no difference in whiteness and decrease of 0.3% in broken rice ratio, comparing to the roller shaft speed of 950 rpm.

주요 용어(Key Words) : 소형연미기(Small scale rice polisher), 내부압력 (Internal pressure), 노즐분무특성(Nozzle spraying characteristic), 백도 (Whiteness), 쉐미율(Broken rice ratio)

* 전남대학교 농과대학 농공학과

1. 서론

현재 국내에서는 청결미 생산을 위해 미곡종합처리장 등에서 도정시설의 필수기계로 연미기를 수입하거나 또는 국내에서 제작하여 설치하고 있다. 그러나 이들 연미기의 성능구명이 제대로 되지 않은채 규정하여 생산, 시판되고 있는 실정이다. 따라서 현재 사용되고 있는 연미기들의 성능 평가와 이들 기계에서 생산되는 쌀들의 품질검사를 토대로 연미기의 성능을 개선시키고 우리 쌀에 적합한 연미기의 국산화가 절실하다.

최근 미곡종합처리장이나 정부미 도정공장에서는 처리용량 3~5ton/h의 연미기가 요구되고 있으나, 현재 국내에서는 대부분 1.2~2.4ton/h의 처리용량을 갖는 중·소형 연미기가 사용되고 있다(고학균 등, 1995, 1990). 연미기의 성능에는 롤러축의 회전수, 금망의 형태, 연미기의 가수실에서 물의 분무방법, 노즐의 형태, 물의 분무량, 분무입자 크기, 물의 온도 등이 중요하며(Chung, 1983), 연미기의 미강제거 공정부에서는 스크린의 크기 및 방향, 가공 축의 길이, 내부의 압력, 흡입하는 공기량 및 공기속도 등의 여러 가지 요인들이 청결미 제조에 커다란 영향을 미침에도 불구하고 국내에서는 이에 대한 연구가 전혀 수행된 바 없으며, 시판되고 있는 연미기들의 성능시험 자료 조차도 없는 실정이다.

연미기에 관한 국내외의 기술현황을 살펴보면, 연미기로서 건식과 습식의 2종류가 사용되고 있는데, 건식은 브러쉬 등을 사용하여 쌀 표면의 미강과 이물질을 털어 주는 방법으로 브러쉬 등의 닦아주는 재료가 많이 소모되는 반면, 습식은 투입구에서 안개와 같은 소량의 물 입자를 분무하여 백미의 표면을 세척하는 방법이다. 표면이 흡습된 백미는 연미기 내부에서 쌀 입자간의 마찰과 강한 흡입공기의 와류로 표면의 이물질의 완전한 제거는 물론 광택 기능도 가져야 하는데, 아직까지 국내 기계들은 과도한 가수량과 쉐미 발생 등의 여러가지 문제점을 안고 있다. 일본에서는 최근 기존의 연미기를 보완하고 습식 연미기 또는 습식 세미기 등을 개발하여 종래의 연미기에 비해 미강과 미분립이 잘 제거되고 광택효과도 높아 청결미 생산에 많이 이용하고 있다. 일본식 습식 연미기의 처리용량은 보통 3~4ton/h이며 연미기의 상부에 있는 호퍼에서 백미가 투입되고 관으로 된 축 속에 물을 분사하는 노즐과 압축 공기를 넣어 줄 수 있는 노즐이 함께 장착되어 있다. 외부에는 콤퓨레셔, 물 필터, 공기 필터 및 수량계가 설치되어 있으며 내부에는 강한 흡입용 송풍기를 설치하여 이물질을 제거할 수 있도록 되어 있다. 일본식 연미기에 비해 국산 습식 연미기는 투입구에 가수실이 있어 가수용 특수 롤러가 장착되어 있으며, 일정량의 물을 공급할 수 있도록 되어 있으나 롤러축의 회전수, 분무방법, 가수량, 분무입자 크기, 물의 온도, 연미기 내부의 압력, 금망의 각도 등에 따른 연미기 성능에 대한 연구가 전무한 상태이다.

본 연구는 국내외 연미기들의 성능을 평가하고 문제점을 구명하여 연미기의 성능을 개선하고자 수행되었다. 이에 본 연구에서는 국내에서 제작된 1.6ton/h의 처리용량을 갖는 소형 연미기의 구조적 특성, 노즐특성 및 연마성능을 분석하고 성능을 개선하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 연미기의 구조분석

현재 국내의 임도정공장 등에서 사용되고 있는 국내 A사의 최대 처리용량 1.6ton/h인 소형 연미기의 외형치수, 동력, 마찰롤러의 치수 및 속도, 금망의 치수 및 슬롯 각도, 롤러에 부착된 저항돌기수, 저항돌기와 금망과의 간격, 분사노즐의 용량 등의 구조 및 용량을 분석하였다.

나. 노즐의 분무특성 구명

연미기의 노즐에서 분사되는 물 미립자의 특성을 구명하기 위해서 컴퓨터를 이용한 영상처리시스템을 사용하여 감수지에 채취된 노즐 분무입자의 크기, 수 및 균일도를 조사하였다. 영상처리시스템은 분무입자의 확대를 위해 최대 60배의 광학현미경, 칼라CCD카메라(모델 Sony F380), 칼라영상처리보드(Image Technology Co., Color Frame Graber, 해상도 512 × 480 × 8bit) 및 간접조명장치(20W × 3) 등으로 구성하였다. 물 분사노즐에 따른 실분무량 및 분무입자의 크기를 조사하기 위하여 분무용량이 각각 7.6, 8.5, 9.5, 11.4, 18.9 l/h인 5개의 노즐을 사용하였다. 물의 분무압력은 노즐 끝 10 cm 지점에서 측정하여 수압을 9기압으로 하였고, 노즐 끝 20cm에서 분무입자들을 일정 조건에서 감수지로 채취하였다.

다. 연미기의 성능평가 및 성능개선

연미기의 성능평가를 위해 연미기를 통과한 쌀의 쉼미증가율, 백도변화, 동할을 증가율, 함수율 증가율 등의 쌀품질을 조사하였다. 그리고 연미기의 성능개선을 위해서 연마실 위치, 출구저항, 롤러축 회전수, 가수여부 등의 작동조건에 따라 연미기내의 내부압력의 변화를 측정하고 통과한 쌀의 품질을 조사하고자 하였다. 연미기의 내부압력을 측정하기 위해 최대 3.5기압까지 측정할 수 있는 압력센서(50A \bar{B} /HP, 50PSIA)를 연마실 금망에 설치하였다. 우선적으로 압력센서 1개를 연마실 금망의 중앙부 하부에 설치해 분동의 위치 즉 출구저항에 따라 내부압력을 조사하였다. 이때 연미기의 출구저항은 13.7, 26.8, 39.8, 52.9 kg·cm의 4수준으로 하여 연마실의 내부압력을 조사하였다. 그리고 센서를 연마실 금망 중앙부의 상부에 설치하여 금망 상단부와 하단부에서의 압력차이를 조사하였다. 또한 그림1과 같이 연미기 축 방향의 위치에 따라 압력차를 조사하기 위해 축 방향에 따라 3개의 압력센서를 설치하였다. 사용된 압력센서의 정확도(accuracy)는 $\pm 0.5\%$ 이었고, 작동 온도범위는 $-1\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 71\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로서 온도 보정이 자동으로 되도록 되어 있어서 곡은 상승에 의한 오차는 염려할 필요가 없었다. 또한 연마실내의 순간적인 압력변화를 정확히 측정하기 위해서 센서의 출력들을 증폭기(Thorn EMI Datatech LTD, SE 1054)로 증폭하여 빛 감각용 오실로그래프 또는 스토리지 오실로스코프(storage oscilloscope)를 사용해 내부압력을 측정하였다.

연미기 롤러축의 회전수는 타코미터(G Cussoms, p4743)로 측정하였다. 쌀의 백도는

Kett C-300의 백도계를 사용해 측정하였다. 또한 쌀의 함수율은 Kett 전기저항식 수분계를 사용해 측정하였다. 완전립율과 동할율은 수작업을 통해 조사하였고 완전립율은 총 백미중 온전한 정상립의 3/4 이상이 되는 미립의 비율로 정의하여 조사하였다.

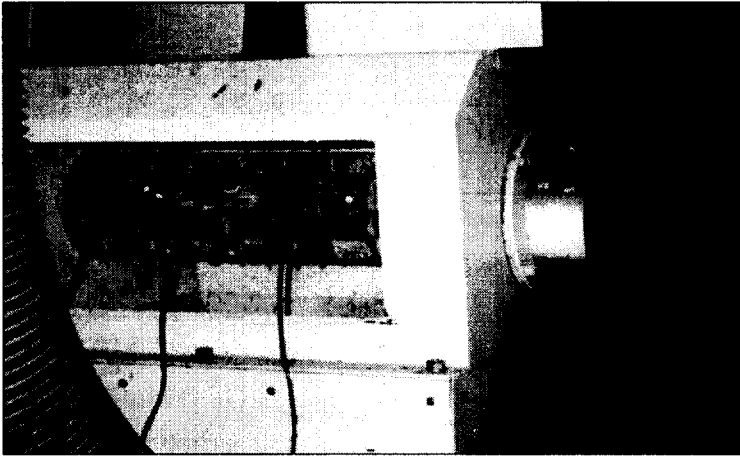


Fig. 1 Pressure sensors on the screen for the internal pressure measurement of the polisher.

3. 결과 및 고찰

가. 연미기의 구조분석

연미기 공시기의 처리능력, 주요부의 치수 및 구조적 특성을 표1에 나타내었으며 공시기의 구조적 특징을 처리용량 3ton/h인 일제 연미기와 비교 분석하였다. 본 공시기의 처리능력은 1.6ton/h이었고 소요동력은 20PS이었다. 연미기 롤러축의 회전수를 측정된 결과 무부하시에는 950 rpm, 부하시에는 940 rpm으로 나타난 반면에 일제 연미기는 축 회전수가 850 rpm에서 작동되도록 되어 있었다. 그리고 공시기는 롤러에 약 10mm의 저항돌기 2개가 설치되어 이부분이 회전하면서 높은 압력을 야기하였다. 마찰롤러의 돌기와 금망과의 간격은 약 10 mm로 제작되어 있었다. 연미기 금망의 슬롯방향은 쌀의 진행방향(순방향: \)으로 되어 있어서 쌀이 연마실내에 머무는 시간을 줄여 쌀이 깎이는 정도가 적도록 되어 있었으나, 일제 대형 연미기의 금망은 이와 반대로 금망의 슬롯 방향들이 쌀의 진행방향과 역방향으로 되어 있어서 쌀이 연마실에 오래 머물러 쌀이 더욱 잘 깎이도록 되어 있었다.

연미기의 롤러축 길이는 103 cm, 금망의 길이가 50 cm, 슬롯 하나의 길이는 14.8mm이고 폭은 1.25mm이었으며, 슬롯의 간격은 5.45mm, 그리고 슬롯의 각도는 순방향(\) 23.5°, 금망의 형태는 8각형으로 되어 있었다. 특히 국산 연미기의 마찰롤러는 수작업으로 제작되어 그 롤러표면이 일제에 비해 훨씬 다듬 정도가 좋지 않았다. 또한 공시기의 가수부에는

8.5ℓ/h 용량의 노즐이 설치되어 있어서 물의 시간당 실분무량은 약 124 cc/min로 나타났다. 물 자동분사장치가 연미기 시료 투입부에 설치되어 있어서 쌀이 투입되지 않는 경우는 물이 자동으로 분사되지 않도록 있었다. 그러나 가끔 분사된 물이 잘 섞이지 않아 쌀이 멍치는 현상이 나타났다. 공시기의 물탱크에는 동파를 방지하는 열처리장치는 없었으며, 물 여과장치로 25 μ m의 여과필터가 물탱크에 설치되어 있었다.

Table 1 Specification of the rice polisher used in this study

Items	Values
Capacity (ton/h)	1.2~1.6
Required power (PS)	20
Roller speed (rpm)*	950
Roller shaft length (mm)	1030
Cylinder length (mm)	600
Screen length (mm)	500
Slot length (mm)	14.8
Slot width (mm)	1.25
Slot gap (mm)	5.45
Slot direction**	+ 23°
Number of resistance protrusion	2
Gap between screen and resistance protrusion (mm)	10
Discharge rate of nozzle (ℓ/h)	8.5

* : Idling speed

** : Positive slot direction equals to the direction of rice flow

나. 국산 연미기의 성능평가

국산 소형 연미기의 성능평가를 위해서 노즐의 분무 특성, 연마실내의 내부압력, 그리고 쇄미율, 동할율, 배아미 비율 등을 통한 쌀의 품질 평가 등을 실험 결과를 통해 분석하였다.

1) 노즐의 분무 특성

물분사 노즐에 따른 실분무량 및 분무입자의 크기를 조사하기 위하여 분무용량이 각각 7.6, 8.5, 9.5, 11.4, 18.9 ℓ/h인 5개의 노즐을 사용하여 시간당 실분무량 그리고 평균 입자크기(직경)를 표2와 같이 분석하였다. 특히 쌀의 품질 평가를 위하여 공시기의 성능을 처리용량 3ton/h인 일제 연미기 그리고 국내 Y사의 연미기와 비교 분석하였다. 실분무량은 비이커를 이용하여 직접 분무량을 측정하였으며, 분무 입자의 크기는 개발한 영상처리시스템을 이용하여 측정하였다. 표에서 나타난 바와 같이 노즐용량이 증가함에 따라 비례적으로 물입자의 직경도 커지는 경향을 보였으며, 국산 연미기의 노즐의 입자크기는 70 μ m 이상으로 일제 연미기의 가수입자에 비해 크게 나타났다. 일제 연미기의 공기혼합(air mix) 노즐에서는 그

입자 크기가 30 μm 이하로 아주 미세하게 나타났다.

공시기에 장착된 분사노즐은 분무 용량이 8.5 ℓ/h 로서 실제 최대 분무량은 124cc/min으로 제조회사 추천 분무량인 150cc/min에 못미치는 것으로 나타나 성능개선 실험에서 분무용량이 9.5 ℓ/h 인 노즐로 교체하였다. 일반적으로 대부분의 국산 연미기에서는 많은 양의 물을 뿌려 혼합하기 때문에 연미기를 통과한 후 쌀의 함수율이 약 0.1~0.2% 이상이 증가하므로 수분증가를 최소로 줄이면서 최대의 연마의 효과를 올리기 위해서는 가능한 분무용량이 적고 입자의 크기도 작으면서 연무 형태로 분사하는 것이 좋을 것으로 사료되었다.

Table 2 Spraying characteristics of nozzles

Capacity, ℓ/h (cc/min)	Actual nozzle discharge rate (cc/min)	Drop size (μm)
7.6 (126)	103	77 ~ 92
8.5 (142)	124	86 ~ 97
9.5 (158)	143	82 ~ 112
11.4 (190)	191	109 ~ 126
18.9 (315)	284	131 ~ 144

2) 연마실 내부압력

함수율 15%(w.b.)인 시료를 사용하여 연미기의 상용 롤러축 회전수인 950 rpm에서 연마실내의 최대 및 평균 내부압력을 연마실 중앙의 상층부와 하층부의 위치에서 출구저항에 따라 표3과 같이 나타내었다.

Table 3 Internal pressure of the polisher according to outlet resistance

Outlet Resistance (N · cm)	Sensor Position at Screen Center	Max. Internal Pressure $\text{N}/\text{cm}^2(\text{kg}/\text{cm}^2)$	Mean Internal Pressure $\text{N}/\text{cm}^2(\text{kg}/\text{cm}^2)$	Remarks
13.7	upper part	15.7(1.6)	5.2(0.5)	Shaft speed: 950 rpm Rice M.C. :15 %(w.b.) Water spraying rate : 150cc/min. Max. capacity of the polisher :1.6ton/h
	lower part	7.9(0.8)	4.2(0.4)	
26.8	upper part	21.0(2.1)	7.9(0.8)	
	lower part	10.5(1.0)	5.2(0.5)	
39.8	upper part	26.2(2.6)	10.5(1.0)	
	lower part	13.1(1.3)	6.3(0.6)	
52.9	upper part	31.4(3.1)	13.1(1.3)	
	lower part	15.7(1.6)	7.9(0.8)	

Note: 1 $\text{N}/\text{cm}^2 = 10 \text{ kPa}$

표 3에서 나타낸 바와 같이 출구저항(분동위치)에 따라 연미기 연마실내의 내부압력 변화가 2배까지 증가하였다. 분동위치를 '0'(출구저항: 13.7N · cm)으로 하여 연미기 출구부분

에서 쌀의 배출이 용이한 상태(출구저항이 가장 작은 상태)에서의 연마실 중앙의 상층부에서의 최대압력은 15.7N/cm^2 (157kPa or 1.6 kg/cm^2) 이었고 하단부에서는 최대압력이 7.9N/cm^2 으로 나타났으며 분동위치가 '6'(출구저항: $52.9\text{N}\cdot\text{cm}$) 즉 연미기에서 출구의 저항을 최대로 하여 쌀이 가장 많이 가공되게 할 때에는 연마실 중앙 상층부에서는 최대압력이 31.4N/cm^2 이었고, 하층부에서는 최대압력이 15.7N/cm^2 로 나타났다. 이처럼 연마실의 중앙 상층부 최대 압력이 각 출구저항에서 똑같이 하층부 최대 압력의 약 1.5~2배를 나타내었다. 이 이유는 연마실 하층부에서는 미강 흡입용 팬에 의해 흡입력이 강해 쌀들이 금방쪽으로 붙게끔 하여 내부압력을 줄여주는 반면, 연마실 상층부에서는 미강 흡입팬의 흡입력이 거의 작용하지 않기 때문에 상층부에서는 압력이 상당히 높게 나타나는 것으로 사료되었다. 이에 연마실 상층부에도 하층부에 상응한 흡입력이 작용하여 가능한 균일한 내부압력이 되도록 흡입장치의 설치 등 구조 개선이 요구되었다. 그리고 가능한 한 출구저항을 적게 하여 연미작업을 하는 것이 내부압력을 줄여 쉐미 및 동할미를 줄일 수 있으므로 연미기에서는 쌀을 가능한 덜 깎으며 단지 미세 미강만을 털어냄으로써 광택을 내도록 하는 것이 좋다고 사료되었다.

그림 1과 같이 연마실 축 방향에 따라 연마실 하층부에 압력센서를 3개 설치하여 실험을 한 결과 연미기의 쌀 투입구쪽의 압력이 평균 17N/cm^2 로 출구쪽 압력보다 약 0.98~1.96 N/cm^2 높게 나타났으나 큰 압력차이는 없었다. 그러나 압력센서를 하나만 설치했던 경우와 마찬가지로 연마실내의 상층부와 하층부의 압력을 조사한 결과, 연마실의 입구, 중앙, 출구쪽의 각 상층부의 내부압력이 각 하층부의 내부압력보다 약 1.5배 이상 높게 나타났다. 이밖에, 분동위치 '0' 상태에서도 쌀의 수분과 공급을 그리고 가수상태에 따라 연마실의 윗쪽(상층부)의 내부압력이 $21\sim 24\text{N/cm}^2$ 까지 높게 올라가기도 하였으며, 이때 역시 연마실의 아랫쪽(하층부)의 압력보다도 약 1.5배 높게 나타났다.

3) 쌀 품질평가

연미기의 롤러축 회전수 950 rpm, 분무노즐 용량 8.5 l/h , 시료함수율 약 15%(w.b.), 출구저항 $13.7\text{N}\cdot\text{cm}$, 실분무량 124 cc/min 등의 실험조건에서, 공시기를 통과하기 전의 쌀 상태와 통과한 후의 쌀상태를 비교한 결과, 미강은 약 1.5% 정도 더 깎이면서 쉐미율은 약 8%수준에서 약 10% 수준으로 약 2% 이상 증가하였다. 동할미의 비율도 15% 수준에서 25% 수준으로 증가하였으며 쌀눈이 붙어 있는 배아미의 비율도 약 6% 수준에서 약 1% 수준으로 거의 쌀눈이 다 떨어지는 것으로 나타나 쉐미율, 동할미를 그리고 배아미의 비율 측면에서 본 공시기의 성능은 그다지 만족스럽지 못하는 것으로 나타났다. 미곡종합처리장의 도정공장에 설치된 다른 국산 연미기에서도 약 1~2%의 쉐미증가율이 발생하였고, 완전미중에서도 금이 간 동할미의 비율도 55% 이상에 달한 곳도 있었으며 배아미의 비율도 8% 수준으로 낮게 나타났다. 그러나 일부 미곡종합처리장에 설치된 일제 연미기에서는 쉐미증가율이 1% 미만으로 낮게 나타났으며 연마후 배아미의 비율도 연마전과 비슷하게 약 6~8%

수준으로 나타났다.

다. 연미기의 성능개선

본 공시기의 성능개선을 위해 가수여부, 출구저항 및 롤러축의 회전수가 쌀 품질에 미치는 영향을 분석하였다.

가) 가수 및 출구저항의 영향

백미에 수분을 가수할 경우(150cc/min)와 안할 경우, 그리고 추위치에 따른 출구저항을 세 수준으로 하였을 경우의 연마실의 최대내부압력, 쌀의 백도 및 쉐미율을 표4에 나타내었다. 실험전 시료의 함수율은 15.7%, 백도는 36.4, 쉐미율은 5.9%(표준편차 : 0.095%), 가수량은 150cc/min이었고, 최대내부압력은 연마실 중앙의 상층부에서 측정하였다. 롤러축의 회전속도는 상용 속도인 950rpm으로 고정하였으며, 내부압력 항목에서 ()안의 숫자는 롤러축의 회전수가 850rpm일 때의 내부압력을 나타낸 것이다.

Table 4 Effect of water spraying and outlet resistance on the polisher performance at 950rpm and 850rpm and 150 cc/min spraying rate of water

Water Spraying	Outlet Resistance (N · cm)	Max. Internal Pressure (N/cm ²)	Whiteness	Broken Rice Ratio (%)	Broken Rice Ratio Increment (%)
Water spraying	13.7	14.7~18.6 (12.7~19.6)	38.7	6.6	0.7 (0.4)
	28.4	22.5~26.5 (22.5~28.4)	37.7	7.7	1.8
	52.9	30.4~33.3 (37.2~39.2)	40.3	10.3	4.4
No spraying	13.7	26.5~30.4 (22.5~26.5)	38.8	6.4	0.3
	28.4	30.4~33.3 (26.5~30.4)	38.2	6.5	0.6
	52.9	33.3~37.2 (37.2~39.2)	39.5	7.5	1.6

Note: 1) () : data at 850rpm

2) Original whiteness of sample: 36.4

연미기에 투입되는 쌀에 가수하지 않았을 경우가 가수한 경우에 비해 연마실내의 내부압력이 약 4.9~9.8N/cm² 크게 나타났으나, 쉐미율은 상대적으로 작게 나타났으며, 백도는 거의 비슷하게 나타났다. 쉐미 증가율은 출구저항이 커짐에 따라 비례해서 높게 나타났으며, 가수의 경우 쉐미증가율이 0.7~4.4%, 비가수의 경우 쉐미증가율이 0.3~1.6%로 나타났

다. 따라서 가수하는 물의 양과 분무방법이 미질에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

나) 롤러축 회전수의 영향

롤러축의 회전수를 상용 회전수인 950rpm에서 850rpm으로 낮추고 가수시 롤러축 회전수 변화가 백도 및 쇄미율 등의 미질과 연마실 내부압력에 미치는 영향을 분석하였다. 3가지 시료에 대하여 3반복 실험한 결과를 표 5에 나타내었으며, 연미기 출구 저항추의 위치가 "0"일 때 즉 출구저항이 가장 적을 때, 연미기 연마실내의 내부압력은 12.7~19.6N/cm²이었고, 백도는 약 2.4가 증가하였으며, 쇄미율은 0.4% 증가하였다. 이때 가수량은 150cc/min이었다.

백도에 있어서는 롤러축의 회전수가 감소함에 따라 원료공급 스크루우에서 백미의 공급량이 감소하여 시간당 처리량이 감소하였으나 백도에는 롤러축 회전수가 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다 롤러축 회전수의 백도에 대한 영향을 평가하는 데는 각 수준에서 투입된 시료의 백도가 달랐으므로 백도의 증가율로 그 영향을 평가하였다. 연미기 롤러축의 상용 회전수 950rpm에서 연미기 통과전 백도계로 백미의 백도를 측정했을 때 36.4, 연미기 통과후 백도는 38.7이었고, 반면에 롤러축의 회전수가 850rpm일 때 연미기 통과전에 34.0, 통과후에 36.4의 백도를 나타내 두조건에서 비슷하게 약 2.3~2.4의 백도가 증가함으로써 롤러축의 회전속도를 감소하여도 백도의 증가율에는 차이가 없음을 보였다.

연마실의 내부압력은 출구저항이 같고 가수하는 동일조건에서 롤러축 회전수가 950rpm일 때 연마실의 평균 최대내부압력이 14.7~18.6N/cm²이었고, 롤러축 회전수가 850rpm일 때에는 연마실의 평균 최대내부압력이 12.7~19.6N/cm²로 나타나 최대내부압력에도 차이가 없었다. 또한 동일조건에서 평균 쇄미율 증가율을 비교분석 했을 때에도 롤러축 회전수가 950rpm의 경우에 쇄미증가율이 0.7%이었고, 롤러축 회전수가 850rpm이었을 때에는 쇄미증가율이 0.4%를 나타내 롤러축의 회전수를 줄임으로써 원주속도를 감소시켜 쇄미발생율을 줄일 수가 있었다. 그러나 롤러축의 회전수가 감소함에 따라 처리량이 줄어들기 때문에 스크루우의 피치 및 홈깊이의 증가 그리고 롤러축의 직경을 증가시킴으로써 감소된 처리량을 증가시킬 수 있다. 따라서 연미기 롤러축의 회전수를 줄이고 스크루우의 처리량과 롤러축의 직경을 크게하여 절대적으로 연미기의 원주속도를 감소시키는 것이 미질을 향상시킬 수 있다고 판단되었다.

Table 5 Performance of the polisher at roller shaft speed of 850rpm,
water spraying rate of 150 cc/min and outlet resistance of 13.7 N · cm

Sample	M.C.(%, w.b.)		Whiteness		Broken ratio(%)		Maximum Internal Pressure
	Before treatment	After treatment	Before treatment	After treatment	Before treatment	After treatment	
Sample 1	14.8	14.9	33.9	36.0	5.0	5.5	12.7 - 19.6 N/cm ² (1.3-2.0 kg/cm ²)
Sample 2	15.2	14.9	34.8	36.7	5.1	5.5	
Sample 3	15.6	15.5	33.4	36.7	4.5	4.9	
Average			34.0	36.4	4.9	5.3	

Note: A pressure sensor was located at the center-upper part of the polishing chamber

4. 요약 및 결론

우리나라의 도정공장에서 많이 사용되고 있는 국내 A사 소형 연미기의 구조특성 및 노즐특성을 분석하였고, 성능실험을 실시하여 출구저항 및 가수량이 연마실내의 내부압력, 쇄미율, 백도 등의 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같았다.

1) 국내 A사에서 제작된 최대용량 1.6ton/h의 소형 연미기의 구조적 특성을 분석하였다.

2) 공시기의 분무노즐에서 분사되는 물 분무량은 125 cc/min, 분무입자 크기는 86~97 μ m 이었고, 일제 연미기의 공기혼합노즐의 분무입자는 30 μ m 이하이어서 본 연미기 노즐의 분무입자는 일제에 비해 크게 나타났다. 또한 공시기 노즐의 분무량이 적어서 150 cc/min 용량의 노즐로 교체하였다. 그리고 일반적으로 국산 연미기에서는 많은 양의 물을 가수해 약 0.1-0.2% 이상의 함유율이 증가되어 쇄미와 동할미의 발생이 염려되므로 가능한 물 분무량을 줄이고 분무입자의 크기도 작게 연무형태로 분사되는 것이 좋을 것으로 사료되었다.

3) 연미기에 투입되는 쌀에 가수하지 않았을 경우가 가수한 경우에 비해 연마실내의 내부압력이 약 4.9~9.8N/cm² 높게 나타났으나, 쇄미율은 상대적으로 적게 나타났으며, 백도는 거의 비슷하게 나타났다. 출구저항에 따라 가수의 경우 쇄미증가율이 0.7~4.4%, 비가수의 경우 쇄미증가율이 0.3~1.6%로 나타났다. 따라서 가수하는 물의 양과 분무방법이 쇄미율에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

4) 분동위치 즉 출구저항에 따라 연미기 연마실내의 내부압력 변화가 2배까지 증가하였다. 출구저항을 최소로 하였을 때 연마실 중앙의 상층부에서의 최대압력은 15.7N/cm²이었고

연마실 중앙의 하층부에서는 최대압력이 $7.9\text{N}/\text{cm}^2$ 으로 나타났다. 출구저항을 최대한로 하여 쌀을 가장 많이 연마할 때에는 연마실 중앙의 상층부에서는 최대압력이 $31.4\text{N}/\text{cm}^2$ 이었고, 연마실 중앙의 하층부에서는 최대압력이 $15.7\text{N}/\text{cm}^2$ 로 나타났다. 또한 모든 실험수준에서 연마실 상층부의 최대 내부압력이 하층부의 최대 내부압력보다 약 1.5배 이상 높게 나타나 연마실 상층부와 하층부에서의 최대 내부압력이 균일하도록 구조개선이 요구되었다.

5) 연마실의 축 방향에 따라 연마실 하층부에 압력센서를 입구, 중앙, 출구에 3개 설치하여 실험을 한 결과 연미기의 쌀 투입구쪽의 압력은 출구쪽 압력과 큰 압력차이를 나타내지 않았다.

6) 가수량 $150\text{ cc}/\text{min}$ 에서 롤러축의 회전수를 950 rpm 에서 850 rpm 으로 감소시켜 롤러의 원주속도를 낮춤으로써 쌀의 백도에 영향을 주지 않고 쉐미증가율은 약 0.3% 감소시킬 수 있었다.

5. 참고 문헌

1. 고헌균외 12인, 1995. 미곡종합처리시설 -이론과 실제-, 문운당
2. 고헌균외 6인, 1990. 농산가공기계학, 향문사
3. Chung, C. J., 1983. Final Report of Post-Production Rice System, College of Agriculture, Seoul National University