

중·소형 연미기의 성능평가 및 성능개선에 관한 연구(I)

-소형 연미기에 대하여-

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

-rice polisher of small size-

정 중 훈*	최 영 수*	권 홍 관*
정회원	정회원	정회원
J. H. Chung	Y. S. Choi	H. K. Kwon

ABSTRACT

Structural characteristic of a rice polisher of small size was analyzed to improve its performance and to utilize such data in developing a rice polisher of large size. Spraying characteristic of nozzles which were used for rice polishing was evaluated by a machine vision system. Internal pressure of the polishing chamber was also measured according to outlet resistance, water spraying, and roller shaft speed. In addition, the performance of the polisher was analyzed based on whiteness and broken ratio according to operating conditions.

주요 용어(Key Words) : 소형연미기(Rice polisher of small size), 노즐 분무특성(Nozzle spraying characteristic) 내부압력(Internal pressure), 백도(Whiteness), 쉐미율(Broken ratio)

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 무조건 연미기를 통과한 쌀들을 청결미로 규정하여 생산, 시판하고 있는 실정이다. 따라서 현재 사용되고 있는 연미기들의 성능 평가와 이들 기계에서 생산되는 쌀들의 품질검사를 토대로 연미기의 성능을 개선시키고 우리 쌀에 적합한 연미기의 국산화가 시급한 실정이다.

* 전남대학교 농과대학 농공학과

최근 미곡종합처리장이나 정부미 도정공장에서는 시간당 3~5톤을 처리할 수 있는 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 광택을 내는 기능을 가져야 하는데, 아직까지 국내 기계들은 많은 양을 가수하고 쇄미를 발생시키는 등 여러가지 문제점을 야기하고 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 1.2ton/h의 처리용량을 갖는 소형 연미기의 구조적 특성, 노즐특성 및 연미성능을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

현재 국내의 입도정공장 등에서 사용되고 있는 국내 B사의 처리용량 1.2ton/h의 소형 연미기를 사용하였다. 시료는 일반계 품종인 동진벼를 사용하였으며, 쌀의 백도는 Kett C-300의 백도계를 사용해 측정하였다. 또한 쌀의 함수율은 Kett 전기저항식 수분계를 사용해 측

정하였다. 완전립율과 동할율은 수작업을 통해 조사하였고 완전립율은 총 백미중 온전한 정상립의 3/4 이상이 되는 미립의 비율로 정의하여 조사하였다. 찻가루 등이 제거된 청결미를 생산하기 위해서 연미공정 후에 자력선별기를 설치하였고, 자외선 형광등의 살균장치를 설치하였다. 연미기의 내부압력은 3.5기압까지 측정할 수 있는 압력센서(50AB/HP, 50PSIA)를 사용하여 측정하였으며 연미기 롤러축의 회전수는 타코미터(G Cussoms, p4743)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 연미기의 구조분석

표1에는 공시기의 구조적 특성을 나타내었다. 공시 연미기 금망의 슬롯방향은 쌀의 진행 방향(순방향: \)으로 되어 있어서 쌀이 연마실내에 머무는 시간을 줄였으나, 일제 대형 연미기의 금망은 이와 반대로 금망의 슬롯 방향들이 쌀의 진행방향과 역방향으로 되어 있어서 쌀이 연마실에 오래 머무르도록 제작되어 있었다.

Table 1 Specification of a 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
Nozzle discharge rate (gal/h)	2.5 ~ 3.0

* : Idling speed

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

나. 국산 소형 연미기의 성능평가

국산 소형 연미기의 성능평가를 위해서 처리능력, 생산된 쌀의 백도, 완전립율, 동할율, 쌀의 수분변화도, 노즐의 시간당 물 분무량, 물 분무 입자의 크기 및 균일성, 연마실내의 내부압력, 롤러축 회전수 등을 실험을 통하여 분석하였다.

1) 노즐의 분무 특성

연미기의 노즐에서 분사되는 물 미립자의 특성을 구명하기 위해서 컴퓨터를 이용한 영상처리 시스템을 개발하였으며, 개발된 영상처리 시스템으로 감수지에 채취된 노즐 분무입자의 크기, 수 및 균일도를 조사하였다. 노즐에 따른 실분무량 및 분무입자의 크기를 조사하기 위하여 분무용량이 각각 7.6, 8.5, 9.5, 11.4, 18.9 l/h인 5개의 노즐을 사용하였으며, 측정된 결과를 표 2에 나타내었다. 물의 분무압력은 노즐 끝 10 cm 지점에서 측정하여 수압을 9기압으로 하였고, 노즐 끝 20cm에서 분무입자들을 일정 조건에서 감수지로 채취하였다.

공시기에 장착된 노즐은 분무 용량이 8.5l/h로서 실제 최대 분무량은 124cc/min으로 제조회사 추천 분무량인 150cc/min에 못미치는 것으로 나타나 분무용량이 9.5l/h인 노즐로 교체하거나 물 분사펌프의 용량을 크게하여 수압을 조금 높이는 것이 필요한 것으로 판단되었다. 일반적으로 쌀이 국산 연미기를 통과한 후 약 0.2% 이상의 수분이 증가하므로 수분증가를 줄이면서 최대의 연미의 효과를 올리기 위해서는 가능한 분무용량이 적고 입자의 크기도 작으면서 연무 형태로 분사되어야 함을 알 수 있었다. 일제 대형 연미기의 공기혼합(air mix) 노즐에서는 그 입자 크기가 30 μ m 이하로 균일하게 아주 미세하였다

Table 2 Spraying characteristic of nozzles

Capacity(l/h)	Actual nozzle discharge rate (cc/min)	Drop size (μ m)	Nozzle discharge rate by indicator (cc/min)
7.6	103	77 ~ 92	105
8.5	124	86 ~ 97	125
9.5	143	82 ~ 112	150
11.4	191	109 ~ 126	190
18.9	284	131 ~ 144	300

2) 연마실 내부 압력

연미기의 내부압력을 측정하기 위해서 압력센서 1개를 금망의 중앙부에 설치해 분동의 위치(4가지 수준)에 따라 내부압력을 조사하였다. 그리고 센서를 금망 중앙부의 상부에 그 다음엔 하부에 설치하여 금망 상단부와 하단부에서의 압력차이를 조사하였다. 또한 그림1과 같이 연미기 축 방향의 위치에 따라 압력차를 조사하기 위해 축 방향에 따라 3개의 압력센서를 설치하였다. 이때 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 곡온 상승에 의한 오차는 염려할 필요가 없었다. 또한 연마실내의 순간적인 압력변화를 정확히 측정하기 위해서 증폭기(Thorn EMI Datatech LTD, SE 1054)와 빛 감각용 오실로그래프를 사용해 내부압력을 측정하였다.

Table 3 Internal pressure of the polisher according to outlet resistance (unit:N/cm²)

Outlet resistance (N · cm)	Sensor position on screen	Max. internal pressure	Mean internal pressure	Remarks
13.7	upper	15.7	5.2	Shaft speed: 950 rpm Rice M.C.:15 %(w.b.) Max. outlet resistance at weight position of 6 Capacity of the polisher :1.2ton/h
	lower	7.9	4.2	
26.8	upper	21.0	7.9	
	lower	10.5	5.2	
39.8	upper	26.2	10.5	
	lower	13.1	6.3	
52.9	upper	31.4	13.1	
	lower	15.7	7.9	

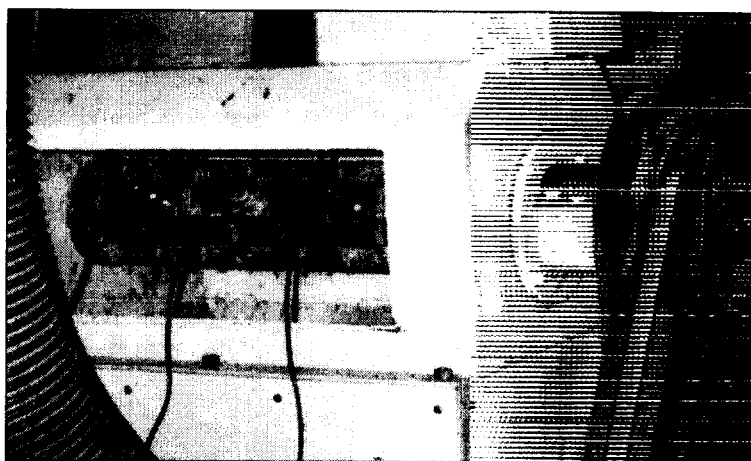


Fig. 1. Pressure sensors on the screen for the internal pressure measurement of the polisher.

표 3에서 나타낸 바와 같이 분동위치에 따라 연미기 연마실내의 내부압력 변화가 2배까지 증가하였다. 분동위치를 '0'(출구저항: 13.7N · cm)으로 하여 연미기 출구부분에서 쌀의 배출을 용이하게 할 때, 연미기 연마실 중앙의 상층부에서의 최대압력은 15.7N/cm² 이었고 하단부에서는 최대압력이 7.9N/cm²으로 나타났고 분동위치가 '6'(출구저항: 52.9N · cm) 즉 연미기에서 출구의 저항을 최대로 높게함으로써 쌀이 가장 많이 가공되게 할 때에는 연마실 중앙 상층부에서는 최대압력이 31.4N/cm²이었고, 하층부에서는 최대압력이 15.7N/cm²로 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 금망쪽으로 붙게끔 하여 내부압력을 줄여주는 반면, 연마실 상층부에서는 미강 흡입팬의 흡입력이 거의 작용하지 않기 때문에 상층부에서는 압력이 상당히 높게

나타났다. 따라서 연마실 상층부에도 하층부에 상응한 흡입력이 작용하도록 흡입장치가 설치되어야 하겠다. 그리고 가능한 한 출구저항을 적게 하여 연미작업을 하는 것이 내부압력을 줄임으로써 쇄미 및 동할미를 줄일 수 있다고 사료된다.

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 $0.98\sim 1.96\text{N/cm}^2$ 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' 상태(출구저항이 제일 적은 상태)에서도 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) 연미성능

가) 가수 및 출구저항의 영향

백미에 수분을 가수할 경우(150cc/min)와 안할 경우, 그리고 추위치에 따른 출구저항을 세 수준으로 하였을 경우 연마실의 내부압력, 백도 및 쇄미율에 미치는 영향들을 분석하였다. 실험전 시료의 함수율은 15.7%, 백도는 36.4, 쇄미율은 5.9%(표준편차 : 0.095%)이었으며 가수량은 150cc/min 이었다. 그 결과는 각 실험 수준에서 시료의 평균치를 구하여 표 4에 나타내었다. 롤러축의 회전속도는 상용 속도인 950rpm 으로 고정하였으며, 내부압력 항목에서 ()안의 숫자는 롤러축의 회전수가 850rpm 일 때의 내부압력을 나타낸 것이다.

Table 4 Effect of water spraying and outlet resistance on the polisher performance at 950rpm and 850rpm

	Outlet resistance (N · cm)	Max. internal pressure (N/cm ²)	Whiteness	Broken ratio (%)	Broken ratio increment (%)
Water spraying	13.7	14.7~18.6 (12.7~19.6)	38.7	6.6	0.7
	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 - () : data at 850rpm

연미기에 투입되는 쌀에 가수하지 않았을 경우가 가수한 경우에 비해 연마실내의 내부압력이 약 $4.9\sim 9.8\text{N/cm}^2$ 높게 나타났으나, 쇄미율은 상대적으로 적게 나타났으며, 백도는 거의 비슷하게 나타났다. 쇄미 증가율은 출구저항이 커짐에 따라 비례해서 높게 나타났으며, 가수의 경우 쇄미증가율이 $0.7\sim 4.4\%$, 비가수의 경우 쇄미증가율이 $0.3\sim 1.6\%$ 로 나타났다. 따라서 가수하는 물의 양과 분무방법이 미질에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

나) 롤러축 회전수의 영향

롤러축의 회전수를 950rpm에서 850rpm으로 낮추고 가수시 롤러축 회전수 변화가 백도 및 쇄미율 등의 미질과 연마실 내부압력에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과를 표 5에 나타내었으며, 연미기 롤러축의 회전수가 850rpm이고 연미기 출구 저항추의 위치가 "0"일 때 즉 출구저항이 가장 적을 때, 연미기 연마실내의 내부압력은 $12.7\sim 19.6\text{N/cm}^2$ 이었고, 백도는 약 2.4가 증가하였으며, 쇄미율은 0.4% 증가하였다. 이때 압력센서는 연마실 중앙 상단부에 설치하여 연마실내의 최고압력을 측정하였다. 압력센서는 금망의 중앙, 상단부에 설치하였으며 가수량은 150cc/min이었다.

연미기의 롤러축의 회전수가 950rpm일 때와 850rpm일 때, 롤러축 회전수 변화가 백도 및 쇄미율 등의 미질과 연마실 내부압력을 비교 분석하였다. 이 분석 결과 롤러축의 회전수가 감소함에 따라 원료공급 스크루우에서 백미의 공급량이 감소하여 시간당 처리량이 감소하였으나 청결미의 백도에는 차이가 없었다. 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 백도에는 차이가 없음을 보였다.

연마실의 내부압력은 출구저항이 같고 가수하는 동일조건에서 롤러축 회전수가 950rpm일 때 연마실의 평균 최대내부압력이 $14.7\sim 18.6\text{N/cm}^2$ 이었고, 롤러축 회전수가 850rpm일 때에는 연마실의 평균 최대내부압력이 $12.7\sim 19.6\text{N/cm}^2$ 을 나타내 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 줄어들므로 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

	Replication	M.C.(%, w.b.)		Whiteness		Broken ratio(%)	
		Before treatment	After treatment	Before treatment	After treatment	Before treatment	After treatment
Sample 1	1	14.9	14.9	34.2	35.7	5.0	5.5
	2	14.8	14.8	33.2	36.3		
	3	14.8	15.1	34.4	36.0		
Sample 2	1	15.0	14.9	34.6	36.5	5.1	5.5
	2	15.1	14.7	35.0	37.2		
	3	15.4	15.1	34.8	36.4		
Sample 3	1	15.6	15.7	33.8	36.9	4.5	4.9
	2	15.5	15.4	33.1	36.5		
	3	15.7	15.4	33.3	36.7		
Average				34.0	36.4	4.9	5.3

4. 요약 및 결론

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

1) 국내 B사에서 제작된 용량 1.2ton/h의 소형 연미기의 구조적 특성을 분석하였다.

2) 분무노즐에서 분사되는 물 분무입자 크기는 86~97 μ m이었으며, 일반적으로 쌀이 국산 연미기 통과한 후 약 0.2% 이상의 수분이 증가하므로 쌀에 발생하는 수분응력을 줄여 쇄미와 동할미의 발생을 최소화하기 위해서는 가능한 물 분무입자의 크기도 작게 연무 형태로 분사돼야 하는 것으로 판단되었다.

3) 분동위치 즉 출구저항에 따라 연미기 연마실내의 내부압력 변화가 2배까지 증가하였다. 출구저항을 최소로 하였을 때 연미기 연마실 중앙의 상층부에서의 최대압력은 15.7N/cm²이었고 연마실 중앙의 하층부에서는 최대압력이 7.9N/cm²로 나타났다. 출구저항을 최대로 하여 쌀을 가장 많이 연마할 때에는 연마실 중앙의 상층부에서는 최대압력이 31.4N/cm²이었고, 연마실 중앙의 하층부에서는 최대압력이 15.7N/cm²로 나타났다. 따라서 가능한 출구저항을 최소로 하여 연미작업을 하는 것이 내부압력을 줄임으로써 쇄미 및 동할미를 줄일 수 있을 것으로 판단되었다.

4) 연마실의 축 방향에 따라 연마실 하층부에 압력센서를 입구, 중앙, 출구에 3개 설치하여 실험을 한 결과 연미기의 쌀 투입구쪽의 압력이 출구쪽 압력보다 약 1.0~2.0N/cm² 높게

나타났으나 큰 압력차이는 나타나지 않았다.

5) 연마실내의 상층부와 하층부의 압력을 조사한 결과 연마실 상층부의 내부압력이 하층부의 내부압력보다 약 1.5배 이상 높게 나타났다. 그리고 출구저항이 최소인 상태에서도 쌀의 수분과 공급율에 따라 연마실의 윗쪽(상층부)의 내부압력이 $20.6 \sim 23.5 \text{ N/cm}^2$ 까지 높게 나타났으며, 이때 역시 연마실의 아랫쪽(하층부)의 압력보다도 약 1.5 배 높게 나타났다.

6) 연마실 내부압력은 롤러회전수보다는 출구저항에 의해 절대적인 영향을 받았다. 따라서 롤러축의 회전수를 감소시킴에 따라 연미기의 처리량이 줄어드나 백미를 깎는 정도도 줄일 수 있었고, 롤러의 원주 속도를 낮춤으로써 쇄미를 줄일 수 있었다. 이에, 기존 연미기의 롤러축의 직경을 약간 크게 하고 백미 공급 스크루우의 직경을 크게하여 공급량을 조절하면서 증가시키면 연미기의 처리량도 훨씬 증가시킬 수 있고 쇄미도 줄일 수 있으리라 사료되었다. 특히, 연미기 연마실내의 높은 내부압력이 쇄미 발생에 절대적으로 영향을 줌으로서 연마실의 내부압력이 약 19.6 N/cm^2 이하가 되도록 출구저항을 줄이고, 롤러의 적정 원주 속도를 위해 롤러축의 적정 회전수와 직경, 롤러 저항돌기와 금망간의 적정 간격(9~10mm), 미립화된 적정 가수량 등이 요구되었다.

5. 참고 문헌

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