

수직형 조합 세라믹스 완패스정미기 개발

Development of One-Pass Rice Whitener with Ceramics Blades Roller

조남홍*	최승묵*	박종률*	차영옥**	조영길*	김유호*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
N.H.Cho	S.M.Choi	J.R.Park	Y.O.Cha	Y.K.Cho	Y.H.Kim

1. 서 론

식량의 증산을 위해서 신품종 개발과 재배기술 못지 않게 중요한 것은 수확후 곡물의 손실을 줄이고, 고품질의 쌀을 생산하기 위한 건조, 저장, 도정, 포장 및 유통 등 수확후 처리 기술의 확립이라 할 수 있다.

고 등(1993)은 도정 공정중에 발생하는 손실은 대부분이 정백과정에서 발생하므로 정백수율, 완전미수율 및 정백 효율을 극대화시키기 위해서는 정미기의 특성을 고려하여 여러가지 형태로 정백 시스템을 구성해야 한다고 하였다. 따라서 도정수율과 품위를 높일 수 있도록 정백시스템을 구성하는 것은 매우 중요하다 하겠다.

정백은 금강석 롤러(Emerystone Roller)의 연삭작용을 이용한 연삭식 정미기와 곡물간의 마찰작용으로 미강을 제거하는 마찰식 정미기에서 이루어지며, 대규모 도정공장과 미곡종합처리장에서는 복합식 정백시스템으로 2~3대의 연삭식 정미기와 2~3대의 분풍마찰식 정미기가 연좌로 설치되어 있다(고 등 1993). 연삭식의 경우 금강사의 입도가 일정치 않아 도정시 얼룩이 생기고 연삭숫돌의 마모로 입도사이에 미강이 끼어 연삭작용이 원활하지 못하며, 수분 함량이 16~17%인 현미를 도정할 경우 미강이 금강사 롤러 표면에 달라붙어 연삭기능이 현저히 떨어져 사용을 기피하고 있는 실정이다(정 등 1997). 또한 연삭식의 금강사 롤러는 금강사 입도가 탄화규소(Carborundom)라는 날카로운 각을 갖는 무수한 입자군으로 되어 있으며, 대상물을 긁어내듯이 깎아내는 것으로 본래 단단한 금속물 가공에 이용되던 것을 곡물에 적용한 것으로 가공할 때 날카로운 입자에 의하여 쌀 표면에 상처가 남아 쌀의 품위를 떨어뜨리고 있는 실정이다. 그러나 연삭식 정미기는 정백실내의 압력이 마찰식에 비해 낮기 때문에 깨지기 쉬운 장립종 도정에 적합하여 계속해서 사용되어 왔으나 이러한 단점 때문에 최근 정 등(1997)은 연삭숫돌 대신 초경날을 이용한 초경날식 절삭형 완패스정미기를 개발하였으며, 외국에서는 세라믹스 칼날을 이용한 정미기를 개발한 바 있다(日本 東洋精米機, 1987).

일부 미곡종합처리장(RPC)에 외국산 완패스 정미기가 설치되었으나, 고가(高價)로써 국산화 개발의 필요성이 요구되어 본 연구에서는 기존 정미기의 문제점을 해소하고 정미롤러의 내구성을 증대시키며 저압으로 가공할 수 있는 수평형 세라믹스정미기와 수직형 마찰식정미기를 조합 완패스 정미기를 개발하여 성능시험을 실시한 후 쌀의 품위를 검토하였다.

* 농촌진흥청 농업기계화연구소 농산가공기계과

** (합)신흥기업사 신흥기술연구소

2. 재료 및 방법

가. 시작기 설계 제작

(1) 완패스 정미기의 구성

정백시스템의 구조를 간단화하고 내구성 증대 및 고품질 쌀가공을 위하여 본 연구에서 개발하여 제작한 완패스 정미기는 연삭식 정미기와 마찰식 정미기를 조합한 정백시스템, 정미기를 제어하는 제어반, 동력부로 구성되어 있으며 연삭식 정미기는 연삭부를 세라믹스 롤러를 사용한 수평형이고, 마찰식 정미기는 분풍마찰식으로 수직형이다. 시작기의 구조를 그림1에 나타냈다.

(2) 수평형 세라믹스 정미기

(가) 롤러용 세라믹스 재질

세라믹스 롤러 소재의 선정을 위하여 구조용 세라믹스의 특성을 조사한 결과 표2에서 알 수 있듯이 지르코니아(ZrO_2)가 알루미나, 질화규소, 탄화규소보다 강도가 높고 내마모성, 내부식성, 내열충격성이 양호하며 특히 파괴인성이 다른 재질에 비해 우수하여 롤러용 소재로 선정하였다.

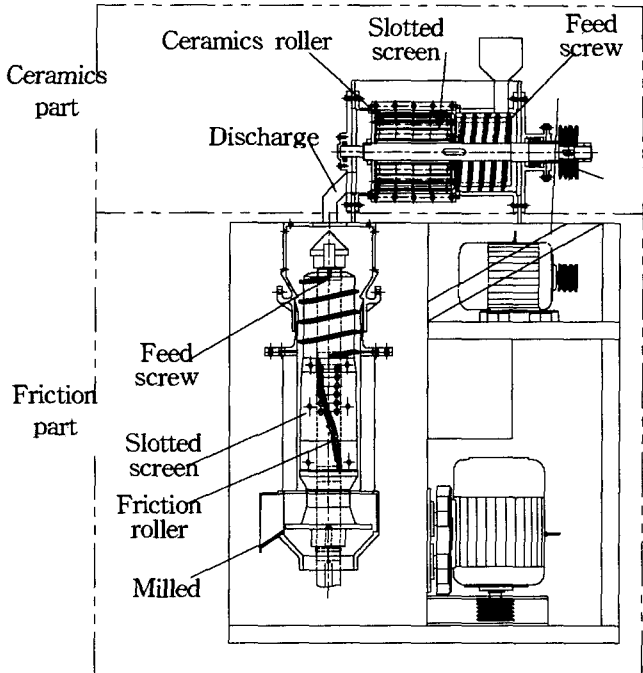


Fig. 1. Schematic diagram of one-pass whitener

Table 2. Physical characteristic of fine ceramics

Items	Al_2O_3	ZrO_2	Si_3N_4	SiC
Strength (MPa)	440	1,020	880	500
Toughness ($MPa \cdot m^{1/2}$)	4.5	8.5	7.0	2.4
Thermal shock Resistance ($into H_2O \Delta T^\circ C$)	200	350	900	370

* 쌍용기술연구소 세라믹스연구실 시험자료

(나) 세라믹스 정미기 구조

세라믹스 정미기는 수평형 연삭식으로 구조는 그림2에서 보는바와 같이, 공급롤러, 세라믹스롤러, 원통형 금망으로 구성되어 있다. 정미기의 세라믹스 롤러는 직경258mm, 길이 276mm인 금속원통롤러 표면에 높이 3mm인 세라믹스날을 1mm씩 돌출 되도록 볼트를 사용해 고정하였다. 롤러를 둘러싸고 있는 금망은 직경이 284mm인 원통형으로 슬롯의 각도를 20° 로 하고, 세라믹스 날과의 간격은 13.0mm가 되도록 제작하였다.

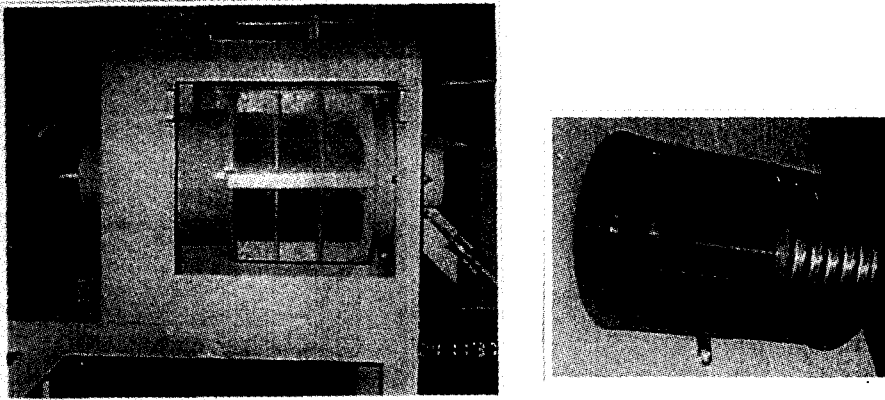


Fig. 2. The shape of the developed ceramic rice whitener and ceramic blades roller

(다) 수직형 마찰식 정미기

수직형 분풍마찰식 정미기는 마찰부의 롤러직경이 209mm, 길이 392mm이며, 금망의 형태는 직경이 229mm인 8각형이다. 롤러를 둘러싸고 있는 금망의 슬롯(Slot)의 각도는 45°로 제작하고, 롤러와 금망과의 간격은 10mm가 되도록 하였다. 롤러 돌기부분에 공기통로를 두어 정백부의 온도상승을 막고 미강이 미립으로부터 잘 분리되도록 하였다

나. 공시재료

시험에 사용된 공시재료는 1998년 10월 충북 음성에서 생산된 충청으로 그 특성 및 품위는 표3 및 표4와 같다.

Table 3. Specifications of the brown rice used for the experiment

Items	Variety	CHUCHONG	
	Brown rice size	Length(mm)	4.94
Width(mm)		2.89	2.85
Thickness(mm)		2.03	2.01
Moisture content(%w.b)		16.0	14.7
Weight of 1,000 grains(g)		21.80	21.25

Table 4. Characteristics of brown rice quality used in the whitening test

Variety	Brown rice(%)					Cracked grain(%)
	Total	Head rice	Unripe grain	Crashed grain	Dead rice	
CHUCHONG	100	91.5	5.5	1.2	1.8	9.56

다. 시험방법

(1) 압력 및 온도측정

세라믹스 정미기의 연삭부와 마찰부의 정백실 압력을 측정하기 위하여 압력센서 케이스를 금망에 수직으로 부착하여, 금망 내부표면과 수평이 되도록 하였다. 정백실 압력은 그림3과 같이 세라믹스 연삭부의 경우 금망의 중앙상부와 중앙하부에, 수직마찰식은 금망의 중앙부에 압력센서를 설치하여 측정하였으며, 온도는 연삭식 정미기와 마찰식 정미기의 배출부에 온도센서를 설치하여 측정하였다. 압력 및 온도측정에는 측정범위 0~50psi(0~3.5kgf/cm²), 정도±0.5%인 압력센서(50AB/HP 50psi)와 pt100Ω의 온도센서를 사용하였다.

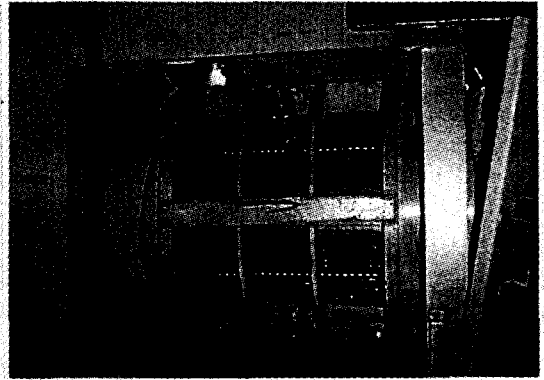


Fig. 3. View of pressure measurement with sensor in the screen

(2) 데이터 수집장치 구성

압력과 온도를 실시간으로 측정하기 위하여 데이터 수집장치를 그림4과 같이 구성하였다. 압력과 온도센서로부터 받은 신호를 증폭기(CALEX社, 160MK kit)로 증폭하여 채널당 4,000개의 데이터 저장이 가능한 DATA logger(한스시스템社, 8채널, HSDL-08A)로 수집한 후 컴퓨터에 전송하여 편집하였다

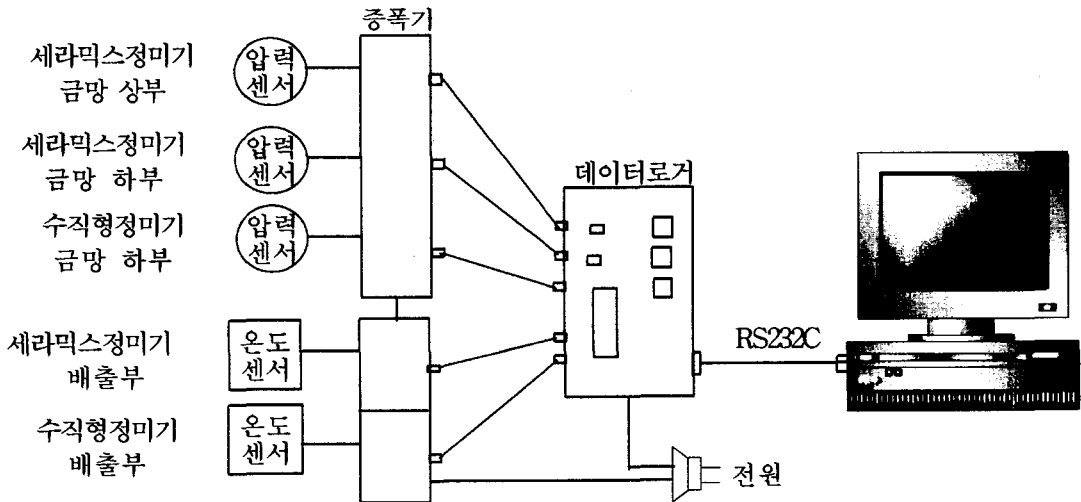


Fig. 4. Data acquisition system for pressure and temperature measurement

(3) 성능시험

개발된 조합형 세라믹스 정미기의 성능시험은 예비시험을 기초로 하여 세라믹스 연삭롤러의 분당회전수는 롤러의 주속도를 고려하여 942, 1056, 1160rpm의 3수준, 정백실 압력별 2수

준(추무게 220g, 330g), 현미 함수율(16%, 14.7%) 2수준을 주변수로 조합하여 실시하였다. 시험은 1회에 200kg씩 3반복 실시하여, 시간당 작업성능, 현백률, 완전미수율, 쇠립률, 백도, 쌀의 온도, 정백효율을 조사하였다. 현미와 쌀의 함수율은 수분측정기(Kett社, K305)를 이용하여 측정하였으며, 현백율은 현미 및 정미 무게를 전자저울로 측정해 산출하였다. 도정도는 시험용 정미기로 도정 후 New M.G. 염색법으로 쌀의 부위별 정색반응으로 도정도를 맞춘 후 시험용을 기준으로 하여 시험하였다. 쌀의 백도는 백도계(Kett社 C-300)를 사용해 측정하였으며, 완전립율과 쇠립률은 농산물 검사규격에 의하여 산출하였다. 정미기의 총 소요동력은 직산전력계를 사용하여 측정하였으며, 정미기의 롤러축 회전수는 타고메타(모델 4743)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 정백실내 압력 및 온도 분포

시작기의 정백실내 압력은 표5와 그림5에서 보는바와 같이 현미 함수율이 16%, 14.7%일 때 세라믹스부에서는 각각 0~0.8psi, 0.2~0.9psi, 마찰부에서는 0.2~0.35psi, 0.2~3.9psi로 분포하여 함수율이 낮을수록 압력이 높게 나타났으며, 또한 마찰부보다 세라믹스부에서 압력이 낮게 나타났고, 기존 정미기의 내부압력 0.2~9.9psi보다도 낮게 나타났다. 쇠립율도 시작기가 4.2%로 기존마찰식 정미기 5.0%보다 낮게 나타났다. 정백실 상하의 압력에서는 수분함량에 상관없이 정백실 상부에서는 압력이 아주 낮게 나타났다.

최근 국내에서 개발된 초경날식 완패스정미기 정백실의 내부압력은 1.76psi로 기존 마찰식 정미기보다 낮게 나타났으며(정 등, 1997), 시작기 세라믹스의 연삭부 정백실 압력은 0~0.9psi로 나타나 초경날식 완패스정미기보다도 낮은 것으로 나타났다. 소요 동력은 세라믹스 정미기가 9.3kW로 낮게 나타났다.

Table 5. Changes of pressure and temperature by brown rice M.C in rice whitening chamber.

Items	Brown rice M.C(w.b)	Power Requirement (kW)	Internal pressure (psi)		Temperature rise in the rice chamber(℃)	Head rice yield (%)	Cracked rice percent (%)
			Ceramic part	Friction part			
Prototype(one-pass rice whitener)	16.0	30.7 (9.3+21.4)	0~0.8	0.2~3.5	Ceramics part : 3 Combined friction part : 5	94.6	4.2
	14.7	33.5 (11.5+22.0)	0.2~0.9	0.2~3.9	Ceramics part : 3.5 Combined friction part : 5.5	93.2	5.9
Vertical Friction-type	16.0	27.5	-	0.2~8.9	10.7	93.9	5.0
	14.7	28.4	-	0.2~9.9	11.1	92.1	6.5

정백실내에서 쌀의 상승온도는 표5와 그림5에서와 같이 세라믹스 정백실에서 초기온도 12℃에서 15℃로 약 3℃ 상승하였고, 마찰식 조합형의 경우도 초기온도 12℃에서 17℃로 약5℃ 상승하였으나, 기존 정미기는 12℃에서 23℃로 약 11℃로 높게 상승한 것으로 나타났다. 이러한 결과를 비추어 볼 때 시작기는 세라믹스날이 회전하면서 현미의 미강을 미세연마 가공하므로 정백실내의 압력과 온도를 줄일 수 있어 고품질 백미를 생산할 수 있는 것으로 판단되었다.

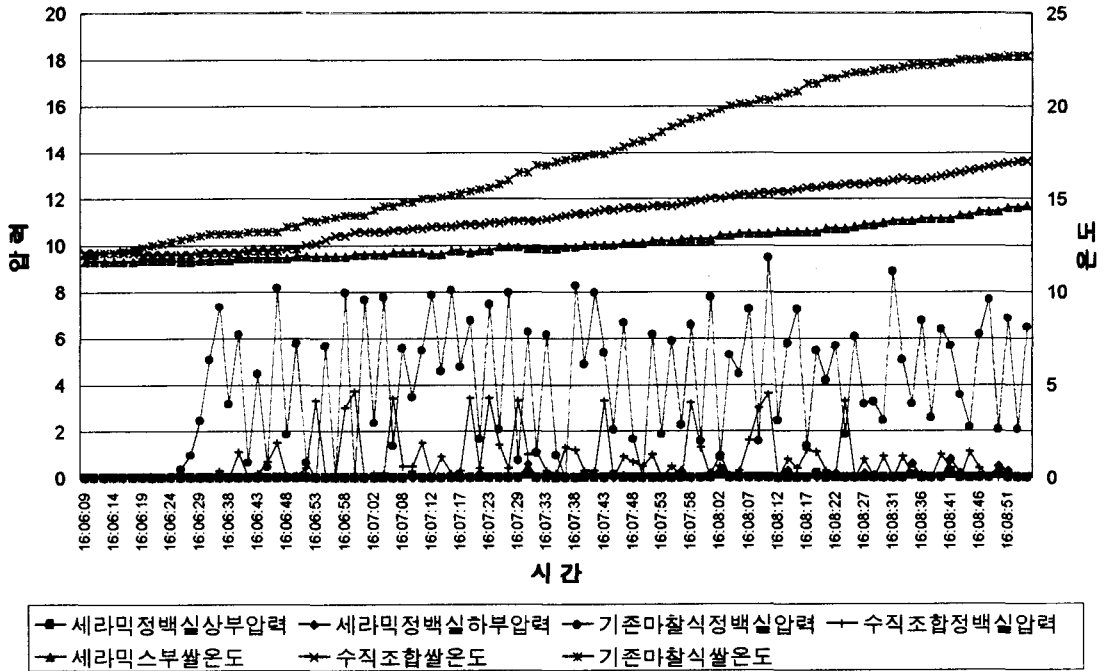


Fig. 5. Changes of pressure and temperature in rice whitening chamber of the fine ceramics rice whitener and the vertical friction type rice whitener

나. 정백성능

시작기의 정백성능시험을 실시한 결과, 표6에서 보는 바와 같이 정백실 압력을 조절하는 추의 무게 220g과 330g인 경우 회전수 942rpm에서 현백률이 각각 89.7%, 89.2%로 나타났고, 회전수 1056rpm에서는 현백률이 각각 90.0%, 89.9%로 나타났으며, 회전수 1160rpm에서 현백률이 88.8%, 88.5%로 나타났다. 따라서 회전수별 현백률은 1056rpm에서 90%로 가장 좋게 나타났으며 기존 마찰식정미기 88.8%에 비해서는 1.2% 높고, 시험용 정미기의 90.1%와 비슷하게 나타났으며, 완전미수율도 94.6%로 시험용정미기 95.0%와 비슷하고, 기존정미기 93.9%보다는 높게 나타났다. 쇠립률은 시작기가 4.2%로 기존 정미기 5.0%보다 약 0.8% 낮게 나타났다. 백도는 35.2로 시험용정미기 35.5, 기존정미기 35.2로 비슷하게 나타났다.

추 무게 220g, 330g에서의 쇠립률은 각각 4.2~5.1%, 4.9~5.3%로 220g에서 약간 낮게 나타났다. 따라서 작업성능 및 작업정도를 종합할 때 시작기의 가장 적합한 운전조건은 회전수

1056rpm, 추무게 220g인 것으로 판단되었으며 이때 작업성능은 3.0톤/시간이었다.

Table 6. Performance of prototype at different treatments (Brown rice M/C 16%w.b)

Items	Adjustable weight (g)	Roller revolution (rpm)	Power Requirement (kW)	Capacity (kg/h)	Milled rice recovery rate (%)	Head rice yield (%)	Cracked rice percent (%)	Whiteness Index
Prototype (one-pass rice whitener)	220	942	9.1+ 21.2	2,954	89.7	94.4	4.9	35.3
		1056	9.3+ 21.4	2,938	90.0	94.6	4.2	35.2
		1160	9.6+ 22.5	3,210	89.1	94.0	5.1	33.5
	330	936	12.9+ 21.0	3,076	89.2	94.1	4.9	35.4
		1048	13.4+ 19.9	2,926	89.9	94.3	4.9	34.7
		1160	13.5+ 21.5	3,105	88.9	93.9	5.6	33.1
Vertical Friction-type	21 (압력눈금)	950	27.5	1,965	88.8	93.9	5.0	35.2
Experiment whitener	5 (압력눈금)	-	-	-	90.1	95.0	4.2	35.5

4. 요약 및 결론

우리나라의 기존정백 시스템은 연삭식정미기(2~3대)와 분품마찰식 정미기(2~3대)가 수평연좌로 설치되어 있어 면적을 많이 차지하고 있으며 구조가 복잡하다. 연삭식의 경우 금강사의 입도가 일정하지 않아 정백시 얼룩이 생기고 쌀 표면에 흠집이 생겨 쌀의 품위를 떨어뜨리고 있다. 따라서 미곡종합처리장 등 대형도정시스템에 적합한 완패스 정미기의 개발이 요구되고 정백시스템의 간단화, 연삭식 정백롤러의 내구성증대 및 미세연마와 균일도정으로 고품질 쌀 생산을 위한 수직형조합 세라믹스 완패스정미기를 개발하여 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 세라믹스 롤러 날의 재질은 인장강도와 인성을 고려하여 지르코니아(ZrO_2)를 선정하였으며 그에 대한 물성은 강도 1,020MPa, 인성 $8.5MPa \cdot m^{1/2}$, 열충격저항성 $350 \text{ into } H_2O \Delta T^\circ C$ 등으로 나타났다.

나. 세라믹스 완패스정미기의 구조는 수평형 세라믹 연삭부와 수직형 분품마찰부로 조합된 정백시스템으로 공급롤러, 세라믹롤러와 수직 분마찰롤러, 가공후 미강이 잘 빠지도록 타공(slot)된 금망부, 정미출구의 저항장치부, 미강을 제거해 주는 흡입팬, 동력부, 완패스정미기를 제어하는 제어반으로 구성하였다.

다. 시작기 성능시험 결과 정백롤러의 적정회전수는 1056rpm이고 정백실 압력조절용 추의 적정 무게는 220g이며 정백능률은 시간당 3ton이었으며, 이때 세라믹스 정미기의 소요동력은 9.2kW로 기존 정미기보다 낮게 나타났다.

라. 시작기의 현백율은 90.0%로 시험용 정미기 90.1%와 비슷하며 기존 마찰식정미기 88.8%보다는 1.2% 높게 나타났다.

마. 완전미수율은 수분함량이 16%일 때 시작기가 94.6%로 기존정미기 93.9%에 비해 높게 나타났으며 설텍율은 시작기가 4.2%로 기존정미기 5.0%보다 낮고, 백도는 35.2로 기존마찰식정미기와 비슷하게 나타났다.

바. 정백실내 압력분포는 시작기의 세라믹스 정백실 상부에서는 아주 낮게 나타났고 정백실 하부에서는 0~0.8psi까지 분포하여 기존 마찰식 0.2~9.9psi보다 훨씬 낮게 나타났다.

사. 정백실에서의 쌀의 상승온도는 세라믹스 정백실의 경우 초기온도 12℃에서 15℃로 약 3℃ 상승하였고, 조합형 마찰식의 경우도 초기온도 12℃에서 17℃로 약 5℃ 상승하였으나, 기존 마찰식 정미기는 12℃에서 23℃로 약 11℃로 높게 상승하였다. 이것은 세라믹스 날이 현미의 표면을 미세하게 깎아 가공하므로 정백실 압력이 낮아 쌀의 온도상승이 적은 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 고택균 외 6인. 1993. 농산가공기계학. 향문사
2. 고택균 외 12인. 1995. 미국종합처리시설. 문운당
3. 국립농산물검사소. 1991. 농산물 검사 수첩. 도서출판 백호문화사
4. 노상하, 고택균. 1985. 벼의 물리적 특성에 따른 정백기의 설계기준 및 작동방법 설정에 관한연구. 한국과학재단보고서
5. 이성범, 정창주, 노상하. 1983. 도정수율과 성능향상을 위한 연구(V). 한국농업기계학회지 8(1): 17~29
6. 이준근(역자)외 10인. 1991. 세라믹스 총론. 반도출판사
7. 정종훈. 1997. 초경날식 절삭형 완패스정미기 개발. 한국농업기계학회지. 22(2) : 199~209
8. 정종훈 외1인. 1995. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 미국 도정공장의 적정설계 및 개발 (1) - 미국도정시스템의 개발 및 성능평가 -. 한국농업기계학회지. 20(1) : 47~57
9. 정창주, 노상하, 최희승, 김삼도, 강영선. 1982. 우리나라 입도정공장의 실태분석. 서울대학교 농과대학: 5-13
10. 한국요업협회, 정밀요업생산자협의회. 1986. 고도기술 세라믹스. 반도출판사
11. 佐竹利彦. 1990. 近代精米技術に関する研究, 製作. 東京大學出版會
12. Arallo E V, D B dePadua and Michael Graham. 1973. Rice postharvest technology-Milling.