한국농업기계학회지 제26권 제2호. pp. 177~188. 2001

수직형 소형정미기의 벼 도정 특성
- 주축회전수, 롤러의 세라믹코팅길이, 이송스크루 피치의 최적 설계조건에 대하여 -

Milling Characteristics of Vertical Small Scale Milling Machine for the Rough Rice
- Optimum design conditions of main spindle speed, ceramic coating length of roller and feed screw pitch -

연광석 정회원 K. S. Yon
한충수 정회원 C. S. Han
조성찬 정회원 S. C. Cho

SUMMARY

This research was carried out to examine the optimum design conditions of a vertical small-scale milling machine where the rough rice is processed directly into the white rice in one pass. Effects of the main spindle speed, feed screw pitch and ceramic coating length of the roller on various milling characteristics such as white rice processing capacity, electric energy consumption, rice temperature increase, broken rice ratio, moisture reduction, outlet force and crack ratio increase were studied.

The results are as follows.

1. The maximum white rice processing capacity and the lowest crack ratio increase, were obtained from a machine with specification: main spindle speed of 970rpm having a feed screw pitch of 19mm.
2. The minimum electric energy consumption was obtained with the main spindle speeds of 900 and 970rpm respectively having a feed screw pitch of 19mm.
3. The rice temperature was increased as the feed screw pitch decreased and the main spindle speed increased.
4. Broken rice ratio was relatively low with the range of 0.8~1.3%.
5. Moisture content loss was very low with the range of 0.05~0.4%.

This study was conducted by the research fund supported by Chungbuk National University and Shin Heung Industry Co. The article was submitted for publication in February 2001, reviewed in March 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in April 2001. The authors are K. S. Yon, Professor, C. S. Han, Professor, and S. C. Cho, Professor, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chungbuk National University. Cheongju, Korea. The corresponding author is K. S. Yon, Professor, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea. Fax: +82-43-271-4413. E-mail: <ksyon@chungbuk.ac.kr>.

6. The highest outlet force was 0.72kgf with 900rpm of the main spindle speed and 19mm of the feed screw pitch and the lowest outlet force was 0.18~0.34kgf with 970rpm of the main spindle speed and 16mm of the feed screw pitch.
7. The optimum design conditions for the vertical small-scale milling machine were obtained at 970rpm of the main spindle speed, 19mm of the feed screw pitch and 20mm of the ceramics coating length.

Keywords : Vertical small-scale milling machine, Main spindle speed, Ceramic coating length, Feed screw pitch, Rice processing capacity.

1. 서 론

쌀은 전통적인 우리의 주식으로 과거에 비해 경제적 비중은 작아졌지만 주요 소득작물 중의 하나이고, 재배면적은 1,066.2천ha로 전체 농경지 면적의 50% 이상을 차지하고 있다(농림부 1998).

과거에 생산된 쌀의 대부분은 농가로부터 가까운 도정공장에서 가공하였으나, 1992년 농업구조개선사업으로 시작된 미곡종합처리장(Rice Processing Complex : RPC로 칭함)의 보급확대는 곡물의 유통체계를 산물형태 및 대형화추세로 변화시키면서 기존 소형 도정공장의 경쟁력을 약화시켜 폐업을 촉진시켰다. 이에 산지 농가는 소형 도정공장의 폐업으로 소량 도정이 어려워짐에 따라 가정용 정미기를 구매하여 사용하기 시작하였고, 1999년도에 약 50,000대 정도가 보급된 것으로 추정하고 있다.

川村(1990)는 함수율과 곡온이 낮을수록 도정효율이 저하되고 소비전력이 증가하는 것으로 보고하였고 반대인 경우 정백후 곡온 상승 및 싸라기가 증가하는 것으로 보고하였다. 조 등(1999)은 수직형 조합 세라믹스 완패스정미기의 적정회전수는 1,056rpm 이고, 현백율 및 완전미수율이 기존 정미기보다 높은 것으로 보고하였다. 연 등(2001)은 정미기의 도정성능은 정백실 내에서 형성되는 압력 및 정백시간과 밀접한 관계가 있고, 이것은 공급스크루의 피치에 의한 원료의 공급량과 주축 회전수, 롤러의 형태에 따른 곡물과 롤러의 마찰력, 배출구에 가해지는 압력 등에 좌우된다고 보고하였다.

한편 국내에 보급되고 있는 가정용 정미기는 외국제품에 비해 부피가 크고 도정성능이 낮으며 분진 및 소음 처리가 미비한 것으로 알려져 있다. 또한 소형 정미기에 대한 연구 자료도 매우 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 수직형 소형 정미기로 벼를 백미로 가공할 때 품질이 양호한 백미로 가공하기 위하여 주요 요소인 주축회전수, 공급스크루 피치, 정백롤러 세라믹 코팅길이 등의 변화에 따른 시간당 가공능력, 소비전력량, 곡온, 싸라기율, 함수율 변화, 배출력, 동할미율 등의 도정 특성을 측정·분석하여 최적설계조건을 구명하였다.

2. 실험장치 및 방법

가. 실험재료

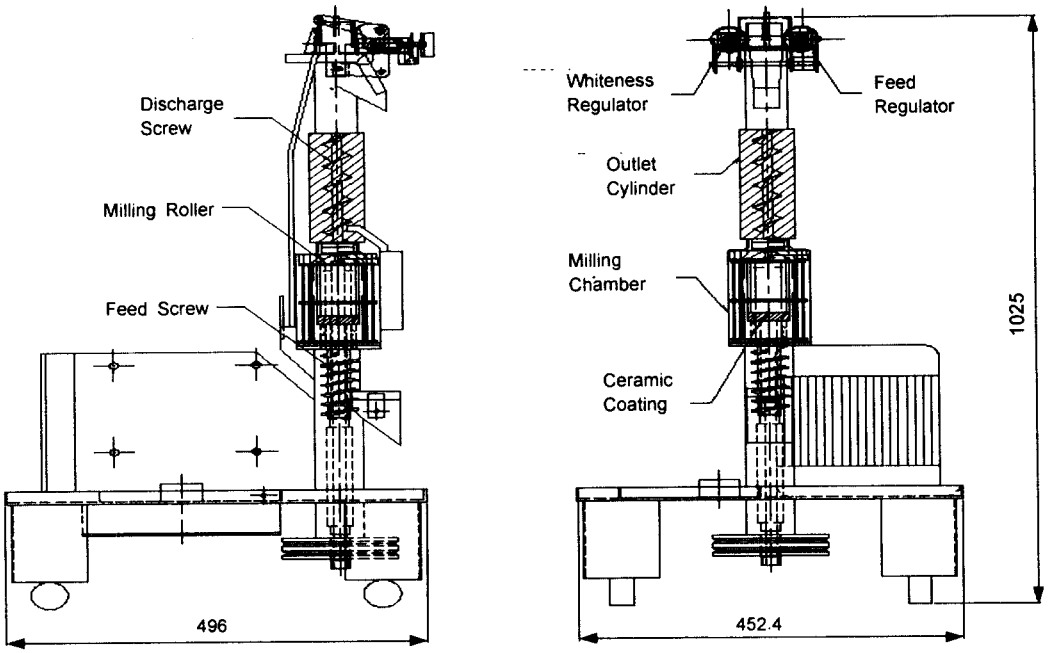
실험재료는 충청북도 증평에서 생산된 1998년산 추청벼를 사용하였고, 원료의 함수율은 14.5±0.5 %w.b(이후 %로만 표시) 이었다.

나. 실험장치

본 실험에 사용한 정미기(SCR-22, 신흥, 한국)의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

정미기는 호퍼와 원료공급스크루, 정백롤러(milling roller), 롤러를 둘러싸고 있는 금망, 배출스크루, 출구저항장치, 겨 흡입장치 등으로 구성되어 있다. 금망에는 슬롯(L:15mm, W:1.5mm)과 안쪽면에 엠보싱(ϕ 5mm)이 되어 있다.

호퍼에 투입된 벼는 공급조절장치로 공급량을 조정하여 공급스크루로 이송되고, 마찰롤러와 금망으로 구성된 정백실에서 백도조절장치에 의해 출구저항 및 정백실 압력을 조정하여 정백과정을 거치게 된다. 정백된 백미는 정백실 상단에 연결된 배출스크루를 통하여 배출된다.



(a) Front view (b) Side view

Fig. 1 Schematic diagram of a milling machine.

다. 실험 방법

1회 도정할 때 시료량은 10kg으로 하였고, 도정수율은 예비실험을 통하여 세로형 정미기에 부착된 배출구 저항장치 및 공급량 조절장치를 조정하여 73±0.5%로 가공하였다.

정백롤러의 세라믹 코팅은 탈부와 연삭효율의 증대 및 정백롤러의 내마모성 등을 고려하여 벼가 가공되기 시작하는 정백롤러 앞부분에 플라즈마 용사법으로 아몰포스 세라믹 코팅을 하였다.

그림 2에 정백롤러 개략도와 세라믹코팅 부분을 나타내었다. 정백롤러의 세라믹코팅 길이는 0, 10, 20, 30mm로 제작하여 도정특성을 분석하고, 최적의 코팅길이를 검토하였다. 공급스크루의 피치는 16mm와 19mm의 2단계로 제작하여 사용하였다. 주축회전수는 기존 소형정미기의 회전수를 조사하고, 예비실험 결과로부터 도정효율 향상과 가공량 증대를 위해 주축 풀리의 크기를 조절하여 900rpm과 970rpm으로 하였고, 정백롤러의 세라믹코팅 길이와 공급스크루 피치별로 조합하여 도정특성 실험을 하였다.

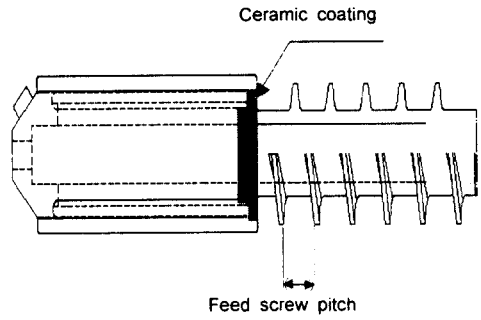


Fig. 2 Schematic diagram of milling roller.

정백롤러 세라믹코팅 길이 변화, 주축회전수와 공급스크루 피치가 도정시 측정항목에 미치는 효과에 대한 유의성은 SAS의 이원배치 일변량 분산분석으로 검정하였다(성, 1997).

라. 측정항목

(1) 시간당 백미 가공능력

백미 가공능력은 10kg의 원료(벼)를 도정한 후 백미무게와 도정 소요시간을 측정한 후, 식 (1)을 이용하여 나타내었다.

$$\text{백미가공량(kg/hr)} = \frac{\text{배출된 백미의 무게}}{\text{가공 총 소요시간(sec)}} \times 3600 \quad \cdots\cdots (1)$$

(2) 소비전력량

소비전력량은 소비전력계(NANOVIP, ELCONTROL, ITALY)를 이용하여 측정하였고, 벼 80kg을 가공할 경우로 환산하여 나타내었다.

(3) 곡 온

도정 전후의 벼와 백미의 곡온은 디지털 온도계(SK-1250MC, SATO, JAPAN)를 이용하여 측정하였고, 도정 전 원료 벼의 곡온은 40kg 포대의 중간 부분에 센서를 삽입하여 측정하였고, 도정 후 백미의 곡온은 투입원료의 1/2정도가 가공된 시점에서 백미탱크 내에 센서를 삽입하여 최대온도로 나타내었다.

(4) 백미 싸라기율

백미 싸라기율은 가공된 백미 중 5kg을 체눈 1.7mm 진동체선별기(25M, 大成, JAPAN)로 5분간 선별하고, 백미 5kg에 대한 무게비로 나타내었다.

(5) 함수율

함수율 측정은 시료 10±0.2g을 5회 채취한 후, 135℃ 오븐(SACO-31, SANCHEON, 한국)에서 24시간 건조 후 시료를 데시케이터에서 30분 정도 식힌 후, 무게를 달아 무게비로 함수율($M_{135℃}$ %)을 나타냈다. 한편 국내의 곡립 표준함수율 측정법은 분쇄한 시료 5g을 105℃에서 5시간 건조하여 측정하기 때문에 135℃에서 측정한 함수율($M_{135℃}$)을 표준함수율 보정식 (2)와 (3)으로 환산하여 나타내었다(山下 1975).

$$M_{P105℃} = 100 - 1.0121(100 - M_{135℃}) \quad \cdots\cdots (2)$$

$$M_{W105℃} = 100 - 1.0133(100 - M_{135℃}) \quad \cdots\cdots (3)$$

여기서 $M_{P105℃}$: 벼의 보정 표준함수율

$M_{W105℃}$: 백미의 보정 표준함수율

(6) 배출력

배출력 측정은 정미기 상단에 연결되어 있는 로터리식 백도 조절장치에서 도정수율 73±0.5%를 맞추기 위해 수직하향으로 걸어준 힘과 가공 중 미곡이 정백실에서 배출스크루로 이송되면서 밀어올리는 힘을 측정하여 그 차로 나타내었다.

측정장치는 로드셀(0~5kg$_f$, 측정간격 : 1g$_f$, CAS, S.N:64AN2006)을 정미기 상단에 고정시키고 신축성이 작고, 중량이 적은 강철선(Ø: 3mm)을 이용하여 로드셀과 백도조절장치 상판에 연결하였다.

백도조절장치가 수직 상하향으로 이동할 때 발생되는 수직력을 전기적인 신호로 측정하고, A/D 컨버터를 통해 컴퓨터 시스템에 입력시켜 분석하였다.

(7) 동할증가율

동할증가율은 벼를 탈부한 현미 동할율에서 도정 후 가공된 백미의 동할율을 측정하여 그 증감분으로 나타내었고, 경동할미와 중동할미를 모두 동할미로 판정하였다. 동할미율은 1회에 완전미 50립을 동할미투시기(RC-50, Kett, JAPAN)를 이용하여 측정하였고, 5회 측정하여 평균값으로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

가. 시간당 백미가공량

그림 3은 정백롤러 세라믹코팅 길이에 따른 주축회전수와 공급스크루 피치별 시간당 백미가공량을 나타낸 것이다.

그림 3에서 보는 바와 같이 시간당 백미가공량은 공급스크루 피치가 클수록, 주축회전수가 빠를수록 높게 나타났다. 세라믹 코팅길이는 길수록 가공량이 감소하는 경향을 나타내었고, 6~10kg/hr의 차이를 나타내었다.

한편 백미가공량이 가장 높은 설계조건은 주축

Table 1 ANOVA results for processing capacity of white rice according to the ceramic coating length of roller

Source	Ceramic coating length	DF	Sum of squares	Mean squares	F value	pr>F
Screw pitches	0	1	2177.29	2177.29	886.15	0.0001
	10	1	1557.24	1557.24	1424.23	0.0001
	20	1	906.19	906.19	106.71	0.0001
	30	1	1578.50	1578.50	154.24	0.0001
Spindle speeds	0	1	9.58	9.58	3.90	0.0840
	10	1	326.98	326.98	36.71	0.0001
	20	1	34.54	34.54	4.07	0.0780
	30	1	357.80	357.80	34.97	0.0001
Interaction of screw pitches* spindle speeds	0	1	90.20	90.20	36.71	0.0003
	10	1	1.320	1.320	1.21	0.3038
	20	1	102.200	102.200	12.04	0.0085
	30	1	28.737	28.737	2.77	0.1348

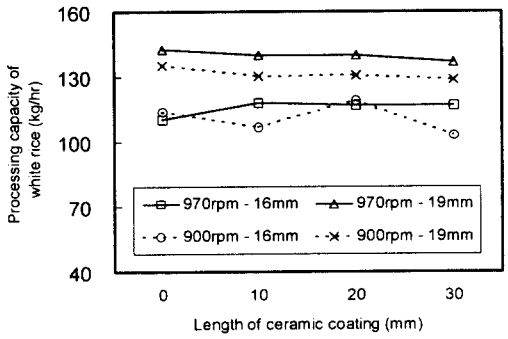


Fig. 3 Processing capacity of white rice with various main spindle speeds and feed screw pitches.

회전수 970rpm, 공급스크루 피치 19mm로 정백롤러 세라믹 코팅길이에 따라서 142.6~136.8kg/hr로 변화되었고, 다음으로는 900rpm, 19mm의 경우로 135.4~129kg/hr, 970rpm, 16mm의 경우가 117.9~110.2kg/hr 순이었으며, 백미가공량이 가장 낮은 조건은 주축회전수 900rpm, 공급스크루 피치 16mm로 세라믹 코팅길이에 따라 113.9~102.9 kg/hr이었다.

시간당 백미가공량은 공급스크루 피치가 19mm인 경우 16mm보다 8.4~32.2% 증가하였다. 한편 공급스크루 피치가 19mm인 경우 주축회전수를 900rpm에서 970rpm으로 증가시켰을 때 백미가공량은 5.4~7.5% 증가하였다.

이와 같이 공급스크루 피치가 클수록 가공량이 증가하는 것은 원료공급량이 증가하기 때문이고, 주축 회전수 증가에 따른 가공량의 증가는 정백롤러 회전수가 증가하여 정백실 내에서의 마찰력 증가 때문으로 판단된다.

표 1에 정백롤러 세라믹 코팅길이에 따른 공급스크루 피치와 주축회전수가 시간당 가공량에 미치는 영향에 대한 일변량 분산분석 결과를 나타내었다.

정백롤러 세라믹 코팅길이에 따라 공급스크루 피치가 시간당 백미 가공량에 미치는 영향은 검정통계량 p-값이 0.0001로 유의수준 0.05보다 매우 작기 때문에 피치 크기 변화에 따른 가공량은 유의한 차이가 있음을 나타내었다. 주축회전수와 시간당 백미 가공량의 유의성은 세라믹 코팅길이

10, 30mm에서만 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

세라믹 코팅길이에 따른 공급스크루 피치와 주축회전수의 교호작용을 검정한 결과는 세라믹 코팅길이 0, 20mm에서만 검정 통계량 p-값이 유의수준 0.05보다 작게 나타나 교호작용이 인정되었다.

나. 소비전력량

그림 4에 정백롤러 세라믹코팅 길이에 따른 주축회전수와 공급스크루 피치별 소비전력량을 나타내었다.

그림 4에서 알 수 있듯이 소비전력량은 공급스크루 피치가 작을수록 주축회전수가 빠를수록 증가하는 것으로 나타났다. 세라믹코팅 길이에 의한 소비전력량 변화는 코팅길이가 길어질수록 증가하는 추세를 나타내었다.

정백롤러 세라믹 코팅길이에 따른 소비전력량은 주축회전수 900rpm, 공급스크루 피치 19mm인 경우 1287.6~1508.6Wh/80kg로 가장 낮게 나타났으며, 다음이 주축회전수 970rpm, 공급스크루 피치 19mm일 때 1405.7~1603.8Wh/80kg, 주축회전수 900rpm 공급스크루 피치 16mm일 때 1580.9~1748.6Wh/80kg의 순으로 나타났으며, 소비전력량이 가장 많은 경우는 주축회전수 970rpm, 공급스크루 피치 16mm의 경우로 1748.6~1880.0Wh/80kg이었다.

소비전력량은 주축회전수가 같은 경우 공급스크루 피치 16mm가 19mm보다 5.5~22.5% 크게 나타났으며, 공급스크루 피치를 같게 하고 주축회전수를 900rpm에서 970rpm으로 증가시켰을 경우에도 소비전력량이 7.2~8.4% 증가하였다.

이와 같이 공급스크루 피치가 작을수록 소비전력량이 크게 나타나는 것은 원료 공급율이 작아 단위 무게당 총가공시간이 증가하고 스크루면과 원료의 마찰면적이 증가하기 때문으로 판단되며, 공급스크루 피치가 같은 조건에서 주축회전수가 증가할수록 소비전력량이 증가하는 것은 정백롤러 회전수가 증가하면 정백실 내에서의 마찰력과 부하가 증가하기 때문으로 판단된다.

정백롤러의 세라믹 코팅길이에 따라 공급스크루 피치와 주축회전수가 소비전력량에 미치는 영향에 대한 분산분석 결과를 표 2에 나타내었다. 세라믹 코팅길이별 공급스크루 피치가 소비전력량에 미치

Table 2. ANOVA results for electric energy consumption according to the ceramic coating length of roller

Source	Ceramic coating length	DF	Sum of squares	Mean squares	F value	pr>F
Screw pitches	0	1	303531	303531	141.61	0.0001
	10	1	130688	130688	510.18	0.0001
	20	1	60620	60620	15.67	0.0042
	30	1	199795	199795	54.34	0.0001
Spindle speeds	0	1	61218	61218	28.56	0.0007
	10	1	45375	45375	177.14	0.0001
	20	1	49421	49421	12.72	0.0073
	30	1	385.56	385.56	10.49	0.0119
Interaction of screw pitches* spindle speeds	0	1	1843	1843	0.86	0.3810
	10	1	11452	11452	44.70	0.0004
	20	1	1759	1759	0.45	0.5200
	30	1	983	983	0.27	0.6190

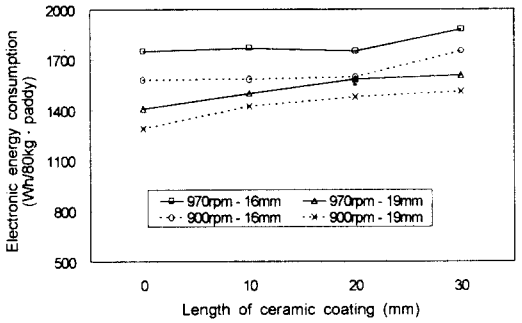


Fig. 4 Electric energy consumption with various main spindle speeds and feed screw pitches.

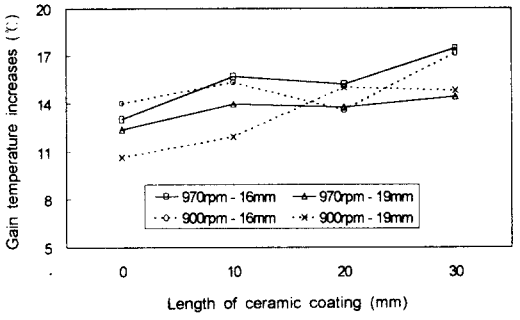


Fig. 5 Temperature increase of white rice with various main spindle speeds and feed screw pitches.

는 영향은 검정통계량의 p-값이 0.0042이하로 유의수준 0.05보다 매우 작기 때문에 피치 변화에 따른 소비전력량의 크기는 유의성이 있는 것으로 나타났다. 주축회전수에 따른 분석 결과도 세라믹 코팅길에 따라서 모두 소비전력량에 유의한 차이가 있음을 나타내었다.

한편 정백롤러의 세라믹 코팅길이 변화에 따른 소비전력량 변화는 주축회전수 900rpm, 공급스크루 피치 19mm인 경우 세라믹 코팅길이 0에서 1,287.6Wh/80kg, 10mm일 때 1,420.9 Wh/80kg, 20mm일 때 1,478.1Wh/80kg, 30mm일 경우는 1,508.6 Wh/80kg로 세라믹 코팅길이가 길어질수록 증가하였다. 이와 같이 세라믹 코팅길이가 길수록 소비전력량이 증가하는 것은 롤러의 코팅 부분이 거칠어 마찰이 증가하기 때문이라 판단된다.

한편 표 2에 나타냈듯이 세라믹 코팅길이별 소비전력량에 대한 공급스크루 피치와 주축회전수의 교호작용은 세라믹 코팅길이 10mm에서만 검정 통계량 p-값이 유의수준 0.05보다 작게 나타나 교호작용이 인정되었다. 따라서 소비전력량은 공급스크루 피치와 주축회전수의 개별 인자에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

다. 곡온 증가

그림 5에 가공 전 벼의 곡온과 가공 후 백미 곡온과의 차를 나타내었다. 곡온의 증가는 정백과정을 통해 발생하는 원료간의 찰리력, 금망과 원료간의 마찰력로 인해 발생한다. 정백 후 곡온상승은 15℃ 이하로 규정되어 있고, 곡온이 너무 높으면 가공 중에 싸라기 발생이 증가하고 함수율이 많이 감소하며, 곡온 상승이 10℃ 이하가 되면 광택이 저하되고 백도가 낮아지는 것으로 알려져 있다(박 등 1994, 고 등 1995).

그림 5에서 보는 바와 같이 세라믹 코팅 길이와 공급스크루 피치, 주축회전수의 변화에 따라 가공 후 곡온은 가공 전보다 10.7~17.5℃ 상승하는 것으로 나타났다. 곡온의 증가 추이는 공급스크루 피치가 작고 주축회전수가 빠를수록 상승폭이 큰 것으로 나타났다. 또한 정백롤러에 세라믹 무코팅한 조건보다 세라믹 코팅한 조건이 곡온 상승폭이 높은 것으로 나타났다.

곡온이 기준범위보다 상승한 조건은 공급스크루 피치가 16mm로 정백롤러 세라믹코팅 길이가 30mm일 때 주축회전수 900rpm과 970rpm에서 곡온 상승이 각각 17.2℃와 17.5℃ 이었다. 세라믹코팅 길이가 10mm와 20mm인 경우는 주축회전수 900rpm, 970rpm에서 곡온 상승이 각각 15.0~15.7℃로 허용범위인 15℃를 약간 상회하여 문제가 없는 것으로 판단된다.

표 3은 정백롤러의 세라믹 코팅길별 공급스크루 피치와 주축회전수가 도정 후 백미 온도 증가에 미치는 영향을 이원배치 일변량 분산분석한 결과이다.

표 3에서와 같이 세라믹 코팅길이에 따른 곡온 증가와 주축회전수간의 유의성은 없는 것으로 나타났고, 공급스크루 피치에 대한 검정 통계량 p-값은 0.0016이하로 세라믹 코팅길이 20mm만 제외하고 유의수준보다 작아 유의성이 있는 것으로 나타났다. 공급스크루 피치와 주축회전수의 교호작

Table 3. ANOVA results for temperature increase of white rice according to the ceramic coating length of roller

Source	Ceramic coating length	DF	Sum of squares	Mean squares	F value	pr>F
Screw pitches	0	1	12.000	12.000	67.92	0.0001
	10	1	20.280	20.280	21.61	0.0016
	20	1	0.0001	0.0001	0.001	1.0000
	30	1	21.87	21.87	21.65	0.0016
Spindle speeds	0	1	0.480	0.480	2.72	0.1379
	10	1	4.320	4.320	4.60	0.0642
	20	1	0.120	0.120	0.39	0.5506
	30	1	0.01	0.01	0.01	0.9114
Interaction of screw pitches* spindle speeds	0	1	5.603	5.603	31.72	0.0005
	10	1	2.083	2.083	2.22	0.1745
	20	1	6.163	6.163	19.94	0.0021
	30	1	0.33	0.33	0.33	0.5814

용에 따른 유의성은 세라믹 코팅길이 0, 20mm에서만 p-값이 0.0021이하로 유의수준보다 작아 유의성이 있는 것으로 검정되었다.

라. 백미 싸라기율

그림 6은 정백롤러 세라믹 코팅길이에 따른 주축회전수와 공급스크루 피치 변화가 백미 싸라기율에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

그림에서 보듯이 본 실험에 사용한 정미기의 설계조건별 싸라기 발생율은 0.8~1.3% 범위로 비교적 낮은 값을 나타냈다. 설계조건에 따른 싸라기 발생율은 주축회전수가 동일한 경우 공급스크루 피치가 작은 16mm가 19mm보다 약 0.2~0.4% 낮아지는 경향을 나타냈다.

백미 싸라기율이 가장 낮은 설계조건은 주축회전수 900rpm, 공급스크루 피치 16mm의 조건으로 세라믹 코팅 길이에 따라서 0.84~0.78%였으며, 다음으로 낮은 조건은 970rpm, 16mm의 경우로 1.02~0.81%, 900rpm에 19mm가 1.21~0.98%, 970rpm에 19mm가 1.34~1.13% 순으로 나타났다.

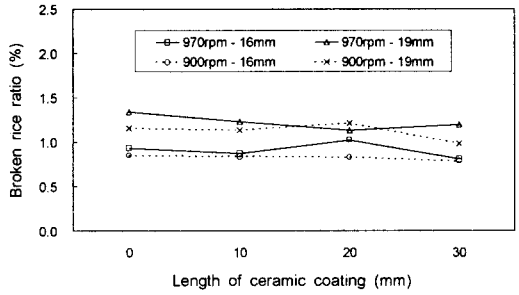


Fig. 6 Broken rice ratio with various main spindle speeds and feed screw pitches.

표 4는 정백롤러 세라믹 코팅길이별 백미 싸라기율에 대한 공급스크루 피치와 주축회전수의 영향을 분산분석한 결과이다.

표에 나타낸 바와 같이 세라믹 코팅길이별 공급스크루 피치에 의한 검정통계량 p-값은 0.0021이하로 유의수준 0.05보다 작기 때문에 공급스크루 피치는 싸라기 발생율과 높은 유의성이 있는 것으로 검정되었다. 주축회전수와 싸라기 발생율의 유

Table 4 ANOVA results for broken rice ratio according to the ceramic coating length of roller

Source	Ceramic coating length	DF	Sum of squares	Mean squares	F value	pr>F
Screw pitches	0	1	0.39600	0.39600	36.17	0.0003
	10	1	0.31687	0.31687	53.56	0.0001
	20	1	0.18253	0.18253	23.86	0.0012
	30	1	0.25813	0.25813	90.05	0.0001
Spindle speeds	0	1	0.05330	0.05330	4.87	0.0584
	10	1	0.01268	0.01268	2.14	0.1814
	20	1	0.00853	0.00853	1.12	0.3217
	30	1	0.04083	0.04083	14.24	0.0054
Interaction of screw pitches* spindle speeds	0	1	0.00750	0.00750	0.68	0.4319
	10	1	0.00301	0.00301	0.51	0.4961
	20	1	0.05880	0.05880	7.69	0.0242
	30	1	0.02430	0.02430	8.48	0.0195

의성은 세라믹 코팅길이 0, 30mm에서만 유의성이 있는 것으로 나타났다.

세라믹 코팅길이에 따라 싸라기 발생율에 대한 공급스크루 피치와 주축회전수의 교호작용은 세라믹 코팅길이 20, 30mm에서만 검정 통계량 p-값이 0.0024이하로 유의수준 0.05보다 작게 나타나 유의성이 있는 것으로 나타났다.

마. 함수율 손실

각각의 설계 조건별 함수율 손실을 그림 7에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 함수율 손실은 공급스크루 피치가 작고, 세라믹 코팅길이가 길어질수록 높아지는 경향을 나타냈다.

정미기의 설계조건에 따른 함수율 손실 범위는 0.05~0.4%로 매우 낮은 값을 나타냈고, 세라믹 코팅길이가 길어짐에 따라서 0.2% 내외의 미세한 감소 경향을 나타냈다. 이것은 공급스크루 피치가 작을수록 미곡 이송 중 마찰 시간이 길어지고, 세라믹 코팅이 길어질수록 마찰 증대로 함수율 손실이 높아지는 것으로 판단된다.

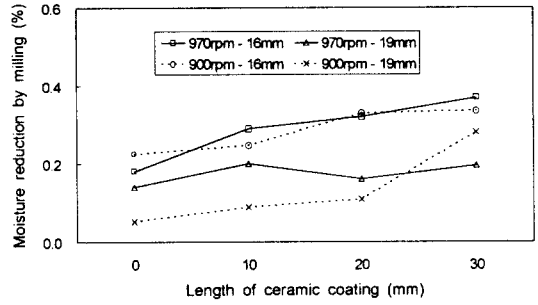


Fig. 7 Moisture content reduction by milling with various main spindle speeds and feed screw pitches.

한편 일반 도정에서 현미의 함수율이 14.0~15.0%인 경우 도정 후 함수율이 0.5~0.8% 손실되는 것으로 알려져 있으며, 이것과 비교하면 양호한 것으로 판단된다(박 등 1994, 川村 1990).

바. 배출력

그림 8은 세라믹코팅 길이에 따른 주축회전수와

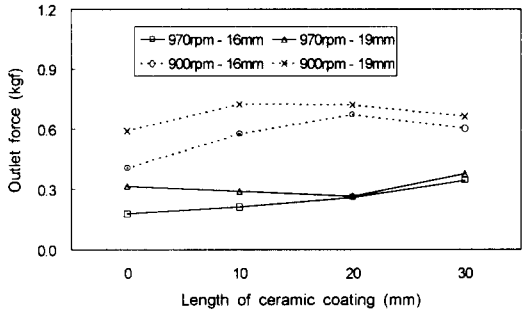


Fig. 8 Outlet force with various spindle speeds and feed screw pitches.

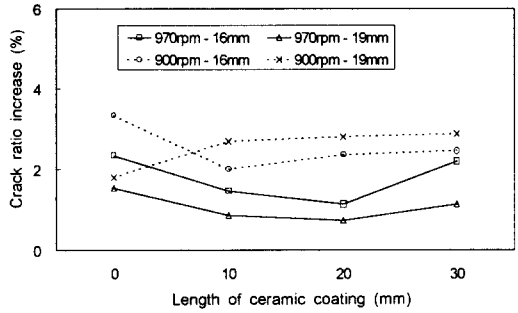


Fig. 9 Crack ratio increase with various spindle speeds and feed screw pitches.

공급스크루 피치별 정백실 배출력을 나타낸 것이다.

정백롤러 세라믹 코팅길이별 배출력 변화 범위는 그림에 나타난 것과 같이 회전수가 작을수록, 같은 회전수에서는 공급스크루 피치가 클수록 높은 값을 나타내었다. 세라믹 코팅길이에 따라서는 0mm보다 세라믹 코팅한 10, 20, 30mm가 높은 경향을 나타내었다.

배출력이 가장 높은 설계조건은 주축회전수 900rpm, 공급스크루 피치 19mm의 조건으로 0.59~0.72kgf이었고, 다음으로 주축회전수 900rpm 공급스크루 피치 16mm가 0.41~0.67kgf. 다음이 970rpm에 19mm 조건으로 0.27~0.38kgf이며, 배출력이 가장 낮은 조건은 주축회전수 970rpm 공급스크루 피치 16mm로 0.18~0.34kgf이었다.

설계조건에 따른 배출력은 주축회전수 970rpm이 900rpm 조건에 대해 22.2~70.8% 감소하였으며 같은 회전수에서는 공급스크루 피치가 16mm일 때가 19mm일 때보다 3.7~43.8% 감소하였다.

이것은 주축회전수가 빠를수록 미곡 배출속도가 빨라서 배출력이 감소하는 것으로 판단되며, 공급스크루 피치가 크면 정백실 내로 이송되는 원료의 공급량이 많아지게 되어 배출력이 큰 것으로 판단된다.

사. 동할 증가율

그림 9에 세라믹코팅 길이에 따른 주축회전수와 공급스크루 피치별 동할증가율을 나타내었다.

그림 9에서 보는 바와 같이 동할 증가율은 주축회전수 970rpm이 900rpm조건보다 낮게 나타났으며, 주축회전수가 같은 경우 공급스크루 피치가 작을수록 증가하는 경향을 나타내었다.

동할증가율이 가장 낮은 설계조건은 주축회전수 970rpm, 공급스크루 피치 19mm의 조건으로 세라믹 코팅길이에 따라서 0.73~1.53%이었고, 다음으로 낮은 조건은 970rpm, 16mm의 경우로 1.13~2.33%, 900rpm에 19mm가 1.80~2.87%, 900rpm에 16mm가 2.00~3.33% 순으로 나타났다. 이 중에서 동할 증가율이 가장 낮은 조건은 주축회전수 970rpm에 공급스크루 피치 19mm, 세라믹 코팅 길이 20, 10mm로 각각 0.73%, 0.86% 이었다.

이것은 주축회전수가 빠르면 미곡이 정백실에서 가공되는 시간이 짧아져 마찰 시간이 짧아지므로 동할율이 낮은 것으로 판단된다.

표 5는 정백롤러 세라믹 코팅길이에 따라 공급스크루 피치와 주축회전수가 백미 동할증가율에 미치는 영향을 분산분석한 것이다.

표에서 알 수 있듯이 세라믹 코팅길이별 동할증가율에 대한 공급스크루 피치의 유의성은 코팅길이 0mm를 제외하고 검정통계량 p-값이 유의수준 0.05보다 크기 때문에 유의성이 없는 것으로 검정되었다. 주축회전수와 동할증가율의 유의성은 세라믹 코팅길이 0mm를 제외하고 모든 코팅 길이에서 유의성이 있는 것으로 나타나, 주축회전수는 동할증가율에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

세라믹 코팅길이에 따라 동할증가율에 대한 공급스크루 피치와 주축회전수의 교호작용은 유의성이 없는 것으로 검정되었다.

Table 5 ANOVA results for crack ratio increase according to the ceramic coating length of roller

Source	Ceramic coating length	DF	Sum of squares	Mean squares	F value	pr>F
Screw pitches	0	1	4.083	4.083	15.12	0.0046
	10	1	0.008	0.008	0.02	0.8850
	20	1	0.002	0.002	0.02	0.9035
	30	1	0.333	0.333	0.71	0.4253
Spindle speeds	0	1	1.203	1.203	4.46	0.0678
	10	1	4.201	4.201	12.48	0.0077
	20	1	8.085	8.085	67.49	0.0001
	30	1	3.000	3.000	6.35	0.0358
Interaction of screw pitches* spindle speeds	0	1	0.403	0.403	1.49	0.2564
	10	1	1.268	1.268	0.02	0.0883
	20	1	0.542	0.542	4.52	0.0661
	30	1	1.613	1.613	3.41	0.1018

4. 요약 및 결론

농촌의 구조개선사업에 따른 환경 변화로 현대식 미곡종합처리장이 대형화, 보편화되면서 기존의 중소형 도정공장은 경쟁력 약화로 폐업하고 있다. 이로 인해 개별 농가에서는 수시로 필요한 소량의 쌀을 도정하기 위하여 가정용정미기를 구입하여 사용하고 있는 실정이다.

그러나 기존의 가정용정미기는 부피가 크고 도정성능이 낮으며 분진 및 소음 처리가 미비할 뿐 아니라 소형 정미기에 대한 연구 자료도 매우 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 탈부공정 없이 벼를 백미로 직접 가공하는 수직형 소형정미기를 이용하여 정백작용의 주요 인자인 주축회전수, 공급스크루 피치, 정백롤러 세라믹 코팅길이 등의 구조변화에 따른 도정특성을 실험 분석하여 정미기의 최적설계조건을 규명하고자 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 시간당 백미가공량은 공급스크루 피치가 크고 주축회전수가 빠른 것이 높게 나타났으며, 세라믹 코팅길이가 길수록 가공량이 감소하는 경향을 나타내었다. 백미가공량이 가장 높은 설계조건은 주축회전수 970rpm, 공급스크루 피치 19mm이었다.

2) 소비전력량은 공급스크루 피치가 작고 주축회전수가 빠를수록 증가하며 세라믹코팅 길이가 길수록 증가하는 추세를 나타내었다. 소비전력량이 가장 낮은 조건은 주축회전수 900rpm과 970 rpm에 공급스크루 피치가 19mm 조건이었다.

3) 곡온의 증가는 공급스크루 피치가 작고 주축회전수가 빠를 수록 상승폭이 크게 나타났으며, 곡온 상승이 기준범위 보다 높은 조건은 주축회전수 970rpm과 900rpm에 공급스크루 피치가 16mm 조건이었다.

4) 싸라기 발생율은 0.8~1.3% 범위로 비교적

낮은 값을 나타냈다.

5) 함수율 손실 범위는 0.05~0.4%로 매우 낮은 값을 나타냈다.

6) 배출력이 가장 높은 설계조건은 주축회전수 900rpm, 공급스크루 피치 19mm의 조건으로 0.59~0.72k_{gf}이었고, 가장 낮은 배출력은 주축회전수 970rpm 공급스크루 피치 16mm로 0.18~0.34k_{gf}의 범위를 나타내었다.

7) 동할증가율은 주축회전수 970rpm, 공급스크루 피치 19mm, 세라믹 코팅길이 20mm 조건이 가장 낮게 나타났다.

8) 수직형 소형 정미기의 기계성능과 도정 후 쌀 품질 평가항목 중 가공능력, 소비전력량, 동할증가율, 싸라기발생율 등을 종합적으로 고려할 때 주요 설계인자로 적합한 조건은 주축회전수 970 rpm에 공급스크루 피치 19mm 조건이 양호한 것으로 나타났고, 정백롤러의 세라믹 코팅길이는 20 mm가 적절한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Cho, N. H., S. M. Choi, J. R. Park, Y. O. Cha, Y. K. Cho and Y. H. Kim. 1999. Development of One-Pass Rice Whitener with Ceramics Blades Roller. Proceedings of the KSAM 1999 Summer Conference 4(2): 191~198. (In Korean)
2. Yon, K. S., S. C. Cho and C. S. Han. 2001. Milling Characteristics of Vertical Type Small Scale Milling Machine. Proceedings of the KSAM 2001 Winter Conference 6(1):207~212. (In Korean)
3. Kawamura, Shuso. 1990. Rice Milling, and Quality and Taste of Milled Rice(Part 2). Milling Characteristics. Memoirs of the Faculty of Agri. Hokkaido University 17(1): 25~49.(In Japan)
4. 고학균외 8인, 1995. '96 농협미곡종합처리장 설계기준.
5. 농림부. 1998. 농림수산통계연보.
6. 朴虎錫外 5人. 1994. 米穀綜合處理場 理論과 實務. 농협전문대학.
7. 성웅현. 1997. 응용 다변량분석 -이론과 SAS활용-. 탐진
8. 山下 律也. 1975. 穀物の含水率測定方法基準についての提案. 日本農業機械學會誌 37(3).