

## 입형정미기를 이용한 청결배아미 제조기 개발

# Development of a Miller Producing Clean White Embryo Rice Using a Vertical Miller

엄천일      정종훈  
정회원      정회원  
T. Y. Yan J. H. Chung

### ABSTRACT

This study was carried out to develop a miller to produce white embryo rice with functional nutrients by improving the conventional vertical miller. The effects of rice moisture content and the shaft revolution speed of the miller on germ(embryo) adherence rate, whiteness, broken rice rate, and cracked rice rate were investigated. Also, the effect of the mesh size of emery stones on the germ adherence rate was investigated. The vertical prototype miller was improved with the increasement of about 42% in producing white embryo rice at proper conditions (shaft revolution speed of 900 rpm, emery stones of mesh #50, processing capacity of 2.3t/h, zero outlet resistance, rice moisture content of 16.2%). The results were as follows:

1. The germ adherence rate of white rice was significantly influenced by the moisture content of brown rice. The germ adherence rate of white rice decreased rapidly with the increase of the moisture content of brown rice. When brown rice with moisture content of 13.2%, 14.5%, 15.2%, 15.4% was milled by the prototype with emery stones of mesh #35 and shaft speed of 900(1,100) rpm, the germ adherence rate of the milled rice was 76.2%(70%), 69.2%(66%), 45.9%(38%), 13.0%(9%), respectively.
2. The whiteness of white rice milled by the prototype with emery stones of mesh #35 and shaft speed of 1,100(900)rpm increased from 27(23) to about 40, respectively, as the moisture content of brown rice increased from 13.2% to 17.2%.
3. The rate of broken rice of white rice milled at 900rpm decreased by 0.6~1.0% compared with that at 1,100rpm when the moisture content of brown rice was less than 15.2%.
4. The germ adherence rate was increased by 10.3% and 11.0%, respectively when brown rice with moisture content of 16.2% and 15.5% was milled by the prototype miller with shaft speed of 900rpm and emery stones of mesh #50 instead of mesh #35.
5. Considering the germ adherence rate, broken rice rate, and whiteness of milled rice, the proper milling conditions of the prototype miller for producing embryo rice were the moisture content of about 15%, the processing capacity of 2.3t/h and minimum outlet resistance of 0N·m with shaft speed of 900rpm and emery stones of mesh #50.

**Keywords :** White embryo rice miller, Moisture content, Shaft revolution speed, Emery stones, Germ adherence rate.

### 1. 서      론

쌀은 우리의 주식으로서 우리나라에서의 쌀 산업은 매우 중요하다. 이에 경쟁력 있고 부가가치가 높은 고

품질의 쌀, 기능성쌀 및 특수미 생산을 위해서는 연구 및 개발이 절대적으로 필요한 실정이다(정 등, 1997; 고, 1998). UR 협상으로 인해 우리의 쌀 의무 수입량은 2004년에는 우리 쌀 생산량의 4%로 늘어나게 되며 쌀

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D Promotion Center. The authors are Jong Hoon Chung, Professor, T.Y. Yan, Graduate Student, Dept. of Biosystems and Agricultural Engineering, Chonnam National University, Gwangju, Korea.

Corresponding author; J.H. Chung, Professor, Dept. of Biosystems and Agricultural Engineering, Inst. of Ag. Sci. and Tech. Chonnam National University, Gwangju, 500-757, Korea; fax: +82-62-530-2156; E-mail : <jhchung@chonnam.ac.kr>.

시장개방이 눈앞에 다가와 있다. 이에 국내에서도 미네랄쌀, 동충하초쌀, 상황버섯쌀, 무세척미(구, 2001), 키토산쌀, 인삼쌀, 영양강화미(Houston, 1972), 혼합곡, 흑미 등의 특수미에 대한 연구가 활발히 진행되어 이미 시장에서 판매되고 있다. 건강증진을 위해서는 백미 대신 현미를 섭취함이 좋다는 것이 널리 알려져 있다. 그러나 현미는 강층의 섬유소 때문에 백미에 비하여 식미가 매우 떨어져 그 선호도가 낮다. 이에 현미의 강층을 제거하고 영양소 많은 배아(Table 1)는 떨어지지 않으며 백미에 가깝게 도정한 청결배아미 생산에 대한 연구개발이 필요하다. 또한 배아미가 현재 시중에 유통되고 있는 바 배아미의 배아부착률, 백도, 싸라기율 등에 대한 품질기준도 필요한 실정이어서, 정(2004)은 배아미의 배아부착률 기준을 50%, 백도는 34 이상으로 권장한 바 있다.

도정시에 쌀의 배아 부착에 영향을 미치는 요인으로 첫째로, 기계적 요인(고 등, 1993; Hosokawa, 1995), 둘째로 쌀의 물성 요인(박 등, 2000)을 들 수가 있다. 현미에는 약 95% 이상 배아가 부착되어 있으나 정미기의 정백공정에서 거의 모든 배아가 떨어져 최종 청결미 상태에서는 보통 약 3% 이하로 붙어 있다. 정백공정에서 일반적으로 수평형 마찰식정미기보다 연삭마찰의 혼합식 입형정미기가 정백실내의 압력이 낮고 균일한 압력이 분포하기 때문에 일반적으로 배아 부착률이 높다(엄과 정, 2002). 특히 정백실내에서 축회전에 따른 순간적인 충격과 마찰에 의해 배아가 쉽게 떨어진다. 따라서 정백실내에 반입속도(반입량)에 따른 내부압력, 축회전속도에 따른 충격력, 마찰과 연삭의 비율, 연삭돌의 입자크기, 회전축과 스크린과의 간격, 정백실 스

크린의 형태, 정백실내의 진공압력, 정백실 출구저항 크기, 정백실의 길이, 그리고 쌀의 함수율과 품종 등이 쌀의 배아 부착에 영향을 미칠 수 있다.

이에 본 연구에서는 쌀 영양분의 대부분을 차지하고 있는 배아를 보존시키고 또한 백미처럼 식미가 좋으며 고부가가치를 창출할 수 있는 청결배아미 제조기를 개발하고자 하였으며, 구체적으로 1) 현미 함수율이 배아 부착률에 미치는 영향을 구명하고, 2) 축 회전속도가 쌀 배아부착 및 품질에 미치는 영향, 3) 연삭돌 금강석 입자 크기가 배아 부착률에 미치는 영향, 4) 시작기의 출구저항 및 처리량이 백미의 배아 부착률에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험설비 및 장치

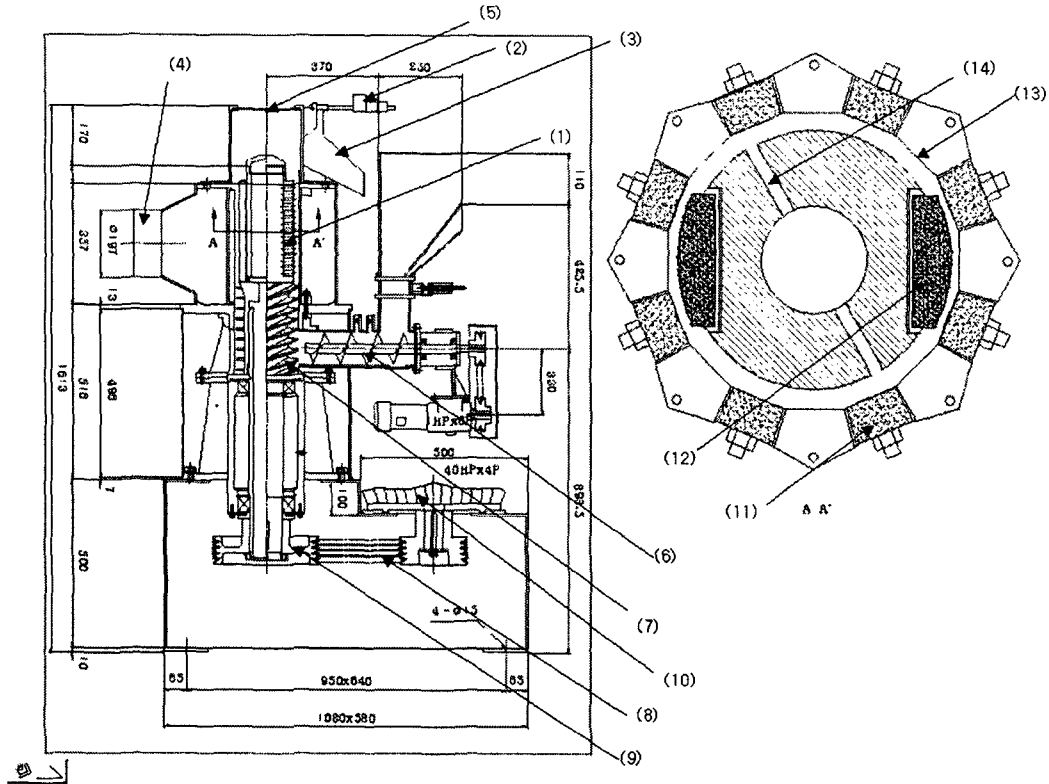
배아 부착률이 높은 배아미를 생산하기 위해 사용된 시작기의 구조는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 모터(50 ps), 원료공급장치, 금망, 연삭돌, 정백실 롤러축, 출구저항 조절장치 등으로 구성되었다. 배아미 표면에 부착된 미세미강 및 먼지를 충분히 제거하기 위해 본 연구에서 사용된 시작기의 흡인공기의 진공도는 약 280mmAq 상태로 설정하였다. 시작기 롤러축에 금강석 2개를 설치하였고, 금망에는 이보다 작은 소형 금강석 8개를 부착하여 연삭과 마찰의 기능을 동시에 갖도록 하였다. 시작기 초기 금강석 입도수는 35목으로 하였다. 시작기 롤러축 회전수의 효과를 구명하기 위해 풀리를 교체하여 1,100rpm과 900rpm에서 함수율에 따른 배아 부착률 등의 품질을 분석하였다. 시작기 적정 축회전수를 결정

Table 1 Nutritional information of white rice and rice embryos(Houston, 1972)

Items	Protein	Lipid	Fiber	Ash	Lysine	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
	%	%	%	%	%	μg/g	μg/g
Rice embryo	14~21	17~21	2.4~3.5	4.8~8.7	6.2~7.2	17~59	1.7~4.3
White rice	6~7	0.3~0.5	0.2~0.5	0.3~0.8	3.4~4.2	0.2~1.1	0.2~0.6

Items	B <sub>6</sub>	Niacine	E	Ca	Phytic acid	Fe
	μg/g	μg/g	μg/g	mg/g	mg/g	mg/g
Rice embryo	13~15	28~83	76	0.2~1.0	7~16	60~130
White rice	0.4~1.2	16~42	trace~3	0.1~0.3	0.3~0.7	2~2.8



(1) emery stone, (2) resistance pendulum, (3) rice exit, (4) rice bran exit, (5) upper cover, (6) screw, (7) shaft roller, (8) belt, (9) pulley, (10) driving motor, (11) emery stone (fixed), (12) emery stone (rotational), (13) screen, (14) air hole

Fig. 1 Schematic diagram of the prototype vertical rice miller for producing white embryo rice.

Table 2 The equipments used in this study

Equipments	Manufacturer	Model	Specification
Vertical miller	Hyundai Machine, Korea	HRW-4	Capacity: 4ton/h
Whiteness meter	Kett Electric Lab., Japan	C-300-3	Range: 5~70
Crack analyzer	静岡制機株式会社, Japan	DC-50	50 kernels
Electronic balance	Oretling, UK	GC-62	Resolution: 0.001g
Moisture meter	Kett, Japan	K305	Resolution: 0.1

한 후, 금강석의 입도 크기가 백미의 배아 부착률에 미치는 영향을 분석하기 위하여 입도 크기를 35목에서 50목으로 바꾸어 연삭돌을 제조, 사용하였다. 쌀의 배아 부착정도를 나타내는 배아 부착률은 육안으로 관찰하여 분석하였다. 본 연구에서 사용된 실험장치 및 분석장치는 Table 2와 같다.

#### 나. 실험방법

##### 1) 함수율과 축회전속도가 배아부착률 및 품질에 미치는 영향

함수율 및 축회전속도가 배아 부착률에 미치는 영향에 관한 실험은 2001년 수행하였다. 사용된 공시시료는 전남 장성의 한 농협에서 2001년 10월에 수확한 일미벼를 구입하여 사용하였으며, 실험은 전남대학교 미곡

종합처리장에서 실시하였다. 본 연구에서 시료로 13.2%, 14.4%, 15.2%, 15.4%, 16.2%, 17.0% 및 17.2% 등의 함수율을 가진 현미를 이용하였는데, 소요되는 시료의 양이 많고 시료 확보에 어려움이 많아 함수율을 일정 간격으로 하지 못하였다. 각 처리당 현미시료의 양은 160 kg(현미 40 kg × 4포)이었으며, 시료는 실험 1~2전에 제현되어 상온에서 보관되었다.

쌀의 배아 부착률에 영향을 미치는 요인들은 매우 많으나 다른 요인들은 고정시키고, 가장 중요하다고 생각되는 현미의 함수율과 시작기 축회전속도를 주 요인으로 하여 도정실험을 실시하였다. 예비실험을 통해 시작기의 작업조건으로 시간당 처리량은 2.3t/h, 출구저항은 분동이 없는 최저상태로 고정하였으며, 이때 연삭물의 입도수는 35목 이었다. 시작기의 축회전속도를 상용회전속도인 1,100rpm과 충격감소를 위한 상대적 저속도인 900rpm 두 수준에서 함수율을 별로 실험을 실시한 후, 처리당 시료 약 500g을 채취하였다. 이 채취시료로 배아 부착률과 싸라기를 분석을 위해 1회 시료로서 100g씩 사용하였고, 동할율은 50립씩, 백도는 각각 처리에서 3반복 측정하여 분석하였다. 회전속도 900rpm 이하는 처리량 감소로 인하여 본 연구에서는 고려하지 않았다.

2) 연삭물 입도크기가 배아 부착률에 미치는 영향

함수율과 축회전속도가 배아부착률 등의 품질에 미치는 영향을 구명한 후, 900rpm이 1,100rpm 보다 더 나은 결과를 나타냄에 따라 시작기의 축회전속도를 900rpm으로 고정하였고, 시작기에서 금강석 입도 크기의 효과를 구명하고자 하였다. 이를 위해 시료로 2002년 10월 전남 장성군에서 수확한 일미벼를 사용하였다. 2001년의 연구에서는 함수율이 낮은 현미를 이용하여 배아미를 생산하면 배아 부착률이 비교적 높지만 식미저하를 초래하고 함수율이 15% 이상이면 배아가 정미기에서 거의 탈락하였다. 이에 본 실험에서는 배아가 쉽게 탈락하나 밥맛이 좋은 함수율 15.5%와 배아가 거의 탈락하는 함수율 16.2%에서 시작기의 처리효과를 배아부착률 측면에서 분석하고자 하였다. 이때에도 각 처리당 현미시료의 양은 160kg 이었으며, 시료는 실험 1~2전에 제현되어 상온에서 보관되었다.

우선적으로 35목인 금강석 연삭돌이 설치된 시작기

에서 15.5%와 16.2%의 두 함수율 수준, 다섯 수준의 시간당 처리량 그리고 세 수준의 출구저항에 따라 배아 부착률을 분석하였고, 그 다음엔 35목의 연삭돌들을 50목으로 교체하여 같은 처리조건에서 실험을 실시하였다(Table 3). 예비실험에서 처리량 약 2.3t/h 이상에서는 정백실내 압력 증가로 말미암아 배아 부착률이 감소하였기 때문에, 시작기의 시간당 처리량을 1.5, 1.7, 1.9, 2.1, 2.3 t/h의 5 수준에서 배아 부착률의 변화를 조사하였다. 출구저항은 시작기 출구에 설치된 분동으로 조절하였으며, 그 출구저항치는 출구부의 힌지로부터의 분동에 의한 토오크로 나타내었다. 출구저항은 분동이 없는 최소저항(0N·m), 분동을 중간점에 설치한 중간저항(0.3N·m), 분동을 맨 끝지점에 설치한 최대저항(0.6N·m)으로 구분하였다.

함수율 15.5% 및 16.2%의 시료를 이용하여 시작기의 금강석 입도수, 처리량 및 출구저항이 배아 부착률에 미치는 영향을 구명하였다. 그리고 구명된 적정 작업조건에서 시작기와 기존 입형정미기의 배아 부착률을 시료 함수율 13.2~17.2%의 범위에서 서로 비교하였다.

Table 3 Experiments to investigate the change of the germ adherence rate according to moisture content, processing capacity and outlet resistance

Mesh no. of emery stones	Moisture content %(w.b.)	Processing capacity(t/h)	Outlet resistance (N·m)
#35	15.5	1.5, 1.7, 1.9, 2.1, 2.3	0, 0.3, 0.6
	16.2		
#50	15.5	1.5, 1.7, 1.9, 2.1, 2.3	0, 0.3, 0.6
	16.2		

3. 결과 및 고찰

가. 함수율과 축회전속도가 백미 품질에 미치는 영향

1) 함수율과 축회전속도에 따른 배아부착률

35목의 연삭돌이 설치된 시작기로 도정할 때, 2.3 t/h 처리량과 최소출구저항 조건하에 축회전속도 1,100rpm과 900rpm에서 함수율에 따른 백미의 평균 배아 부착률은 Fig. 2와 같이 나타났다. 배아 부착률은 절대적으

로 함수율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 축회전속도 1,100(900)rpm에서 쌀의 배아 부착률은 함수율 13.2%에서는 약 70%(76%)이었고, 함수율 13.4~14.5%에서 약 66%(69%), 함수율 15.2%에서 약 38%(46%), 함수율 15.4~16.2%에서는 약 9%(13%), 함수율 16.7%에서는 배아가 약 0.1%(0.1%)로 거의 다 떨어졌다. 배아 부착률은 함수율 14.5% 이상에서 급격히 감소하기 때문에 함수율 15.4% 이상에서도 배아 부착률이 높은 배아미 제조기의 개발이 요구되었다. 축회전속도 900rpm일 때의 배아 부착률이 1,100rpm일 때의 배아 부착률보다 함수율 13.2~15.2% 범위에서 약 2~8% 높은 것을 알 수 있었다.

축회전속도 1,100rpm와 900rpm 모두 함수율이 13.2%부터 14.5%까지는 배아 부착률은 큰 변화가 없었지만, 함수율 14.5%부터 15.4%까지는 배아 부착률이 급격히 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 두 수준의 축회전속도에서 함수율 16.2% 이상에서는 배아는 거의 부착되지 않았다. 이처럼 함수율 13.2%부터 16.2%까지는 축회전속도가 낮은 900rpm일 때의 쌀 배아 부착률이 1,100rpm일 때보다 높은 것을 알 수 있었다. 시작기 축회전속도의 감소가 정백실내의 축 원주속도를 줄임으로써 쌀에 주는 충격을 떨어뜨려 배아 부착률이 증가하였고 사료되었다. 물론 지나친 축회전속도의 감소는 시간당 처리량을 감소시킬 수 있으나, 축 회전속도 900rpm에서는 본 기계의 최대 처리량은 약 3t/h이었다.

따라서 식미를 고려하고 높은 배아 부착률을 갖기 위해서는 함수율 약 15.2% 이내에서 도정하는 것이 좋을 것으로 사료되었으며, 시작기 축회전속도의 감소로 함수율 15.2% 이하에서는 쌀의 배아 부착률을 약 2~8%까지 높일 수 있었다. 축회전속도 및 함수율이 배아 부착률에 미치는 영향을 통계적으로 분석한 결과 Table 4와 같이 나타났다. 축회전속도는 5% 유의수준에서 배

아 부착률에 영향을 주었고, 또한 함수율은 1% 유의수준에서 배아 부착률에 고도로 영향을 미쳤다.

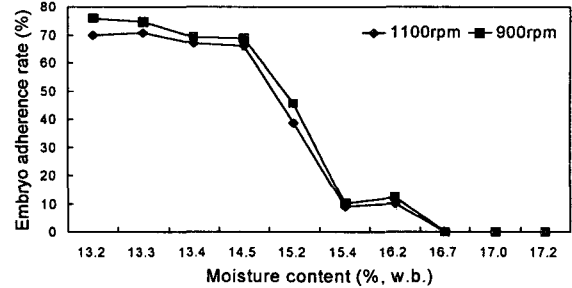


Fig. 2 Percentage of white embryo rice versus moisture contents of brown rice using a prototype miller at two different shaft revolution speeds.

### 2) 함수율과 축회전속도에 따른 배아미의 백도

두 수준의 축회전속도에서 현미를 도정한 후 함수율에 따르는 백도를 측정된 결과는 Fig. 3과 같았다. 축회전속도 1,100rpm와 900rpm 모두에서 쌀의 백도는 함수율이 증가함에 따라 높아지는 경향을 보였다. 즉, 두 수준의 축회전속도에서 현미의 함수율 증가에 따라 쌀의 백도는 약 23에서 40까지 점차 증가하는 경향을 보였으며, 특히 함수율 약 15.2% 이상에서는 급격히 약 40까지 증가하였다. 함수율 13.2~15.4%에서 축회전속도 1,100rpm에서의 백도가 900rpm일 때 보다 약 1.3~4.0정도 약간 높게 나타났으나, 함수율 약 16.7% 이상에서는 그 차이는 거의 없었다. 즉 쌀의 백도는 동일조건에서 함수율에 의해 결정적인 영향을 받음을 알 수 있었다. 축회전속도 및 함수율이 배아미의 백도에 미치는 영향을 규명하기 위하여 통계분석한 결과는 Table 5와 같이 나타났다. 축회전속도는 5% 유의수준에서 배아미의 백도에 영향을 주었고, 함수율은 1% 유의수준에서 백도에 높은 영향을 미쳤다.

Table 4 The two-way ANOVA table of the significance of shaft speed and rice moisture content on the germ adherence rate

Source	SS	DF	MS	Fs	F(0.05)	F(0.01)
Shaft speed	37.54	1	37.54	9.49*	5.12	10.6
Moisture content	19948.29	9	2216.48	560.16**	3.18	5.35
Error	35.61	9	3.96			
Total	20021.44	19				

\* : significant level of 5%, \*\* : significant level of 1%.

Table 5 The two-way ANOVA table of significance of shaft speed and rice moisture content on the whiteness of white embryo rice

Source	SS	DF	MS	Fs	F(0.05)	F(0.01)
Shaft speed	9.25	1	9.25	6.74*	5.12	10.6
Moisture content	731.21	9	81.25	59.23**	3.18	5.35
Error	12.34	9	1.37			
Total	752.80	19				

\* : significant level of 5%, \*\* : significant level of 1%.

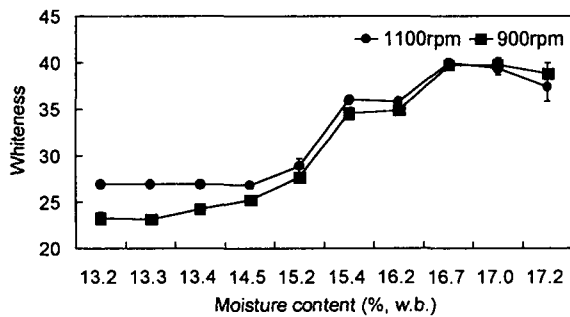


Fig. 3 The change of rice whiteness versus moisture content of brown rice using a prototype miller at two different shaft revolution speeds.

3) 함수율과 축회전속도에 따른 싼라기율

입형정미기의 축회전속도를 1,100rpm 및 900rpm로 설정하여 현미를 도정한 후 함수율에 따른 싼라기율을 분석한 결과 Fig. 4와 같았다. 현미의 함수율 13.4%에서 16.7% 범위에서는 두 축회전속도에서 같은 경향으로 싼라기율이 약 3.5%에서 약 1%까지 점차로 감소하였다. 그러나 함수율 16.7% 이상에서 함수율 증가에 따라 싼라기율이 증가하였다. 즉, 함수율 15.4% 이상에서는 싼라기율이 함수율에 따라 증가하는 경향을 보였다. 또한,

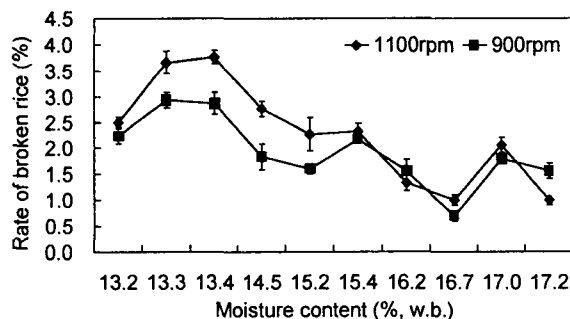


Fig. 4 Rate of broken rice versus moisture content using a prototype miller at two different shaft revolution speeds.

함수율 약 15.2%까지는 축회전속도 900rpm에서는 싼라기율을 1,100rpm일 때 보다 약 0.6%~1.0% 줄일 수 있었다.

4) 함수율과 축회전속도에 따른 동할율

1,100rpm과 900rpm의 축회전속도에서 함수율에 따른 동할율을 측정된 결과는 Fig. 5와 같았다. 두 축회전속도에서 함수율 13.2%부터 16.2%까지는 함수율에 따라 배아미의 동할율은 약 9% 이하로 일정하였다. 또한, 함수율 13.2%~14.5% 사이와 17% 이상에서는 1,100rpm에서의 동할율이 900rpm일 때 보다 약간 높게 나타났다. 그리고 두 축회전속도에서 함수율 16.7%에서는 동할율이 약 10%, 함수율 약 17%에서는 동할율이 약 20%까지 급격히 증가하였다.

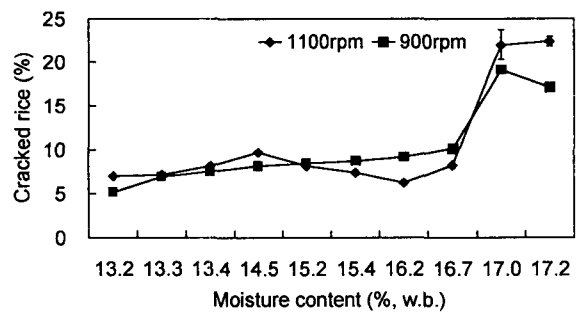


Fig. 5 Percentage of cracked rice versus moisture content using a prototype miller at two different shaft revolution speeds.

나. 금강석 입도 크기가 배아 부착률에 미치는 영향

1) 금강석 입도가 35목인 경우

가) 처리량에 따른 배아 부착률 변화

시작기 축회전속도가 900rpm이고, 35목인 금강석이 설치된 시작기에서 시간당 처리량이 배아 부착률에 미치는 영향을 분석하기 위해 함수율 15.5%와 16.2%의

시료를 가지고 백미의 배아 부착률의 변화를 조사하였다(Fig. 6). 두 함수율 모두에서 출구저항이 최소이고, 처리량이 많을수록 백미의 배아 부착률이 높게 나타났다. 최소 출구저항 0N·m, 처리량 2.3t/h에서 두 시료의 백미 배아 부착률이 약 45%(함수율 15.5%)와 약 43%(함수율 16.2%)를 나타내 높은 배아 부착률을 보였다. 출구저항 0.3N·m과 0.6N·m에서도 처리량을 1.5t/h부터 2.3t/h로 높였을 때 백미의 배아 부착률이 역시 점점 증가하였다. 출구저항 0.6N·m, 처리량 1.5t/h에서 백미 배아 부착률이 18.0%(함수율 15.5%)와 15.4%(함수율 16.2%)로 낮게 나타났다.

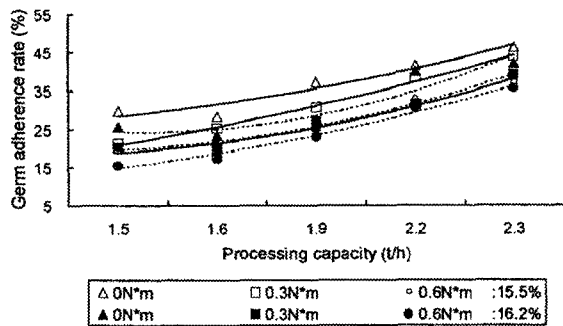


Fig. 6 The change of germ adherence rate according to the processing capacity and outlet resistance of a prototype miller with emery stones of mesh #35 and shaft speed of 900rpm.

나) 출구저항에 따른 배아 부착률 변화

시작기에서 함수율이 15.5%와 16.2%인 두 시료로 출구저항에 따른 백미 배아 부착률을 분석하였다(Fig. 7). 출구저항이 클수록 배아 부착률은 두 함수율 모두에서 급격히 감소하였고, 출구저항 최소상태에서 공통적으로 배아 부착률은 가장 높게 나타났다. 같은 처리량에서 함수율 15.5%에서 도정한 백미의 배아 부착률이 16.2%에서 백미의 배아 부착률보다 약 4~12% 높았다. 출구저항이 없고 처리량 2.3t/h 일 때, 함수율 15.5%에서 백미의 배아 부착률이 최대치 47.3%로 나타났으며, 함수율 16.2%에서도 배아 부착률은 약 45.0%로 높게 나타났다.

2) 금강석 입도가 50목인 경우

가) 처리량에 따른 배아 부착률 변화

입도가 50목인 금강석을 설치한 시작기에서 함수율

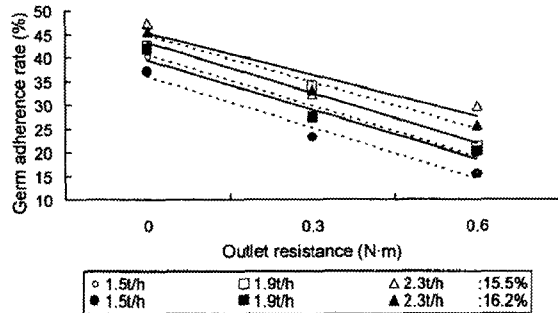


Fig. 7 The change of germ adherence rate according to the outlet resistance of a prototype miller with emery stones of mesh #35 and shaft speed of 900rpm.

이 15.5%와 16.2%인 시료로 처리량이 배아 부착률에 미치는 영향을 분석하였다(Fig. 8). 출구저항에 관계없이 처리량이 클수록 백미의 배아 부착률이 점점 높아졌다. 이처럼 처리량 2.3t/h의 이내에서는 처리량이 작을수록 정백실내에 머무는 시간이 길어 배아 부착률이 떨어지는 것을 알 수 있었다. 처리량이 2.3t/h이고 출구저항이 최소인 상태에서 백미의 배아 부착률이 함수율 15.5%에서는 58.3%, 함수율 16.2%에서는 55.2%로 가장 높게 나타났다. 그러나 동일조건에서 금강석 입도가 35인 경우에는 함수율 15.5%에서 배아 부착률 47.3%와 함수율 16.2%에서 배아 부착률 45.0%로 가장 높았던 바, 금강석 입도가 50목인 경우에 약 10% 정도 배아 부착률을 높일 수 있었다. 또한, 처리량 1.5t/h, 출구저항 0.6N·m에서도 함수율 15.5% 일 때 백미의 배아 부착률이 36.4%로 높게 나타났으나, 금강석 입도가 35인 경우에는 동일조건에서 배아 부착률이 약 18%로 나타나 약 18%의 배아 부착률 증가 효과가 있었다.

함수율 16.2%에서 처리량에 따른 배아 부착률을 보면, 출구저항 0N·m에서 처리량이 2.3t/h일 때의 배아 부착률이 1.5t/h일 때보다 약 9% 높았고, 출구저항 0.3N·m에서 처리량이 2.3t/h일 때 배아 부착률이 1.5t/h일 때에 비해 약 14% 높게 나타났으며, 출구저항 0.6N·m에서는 처리량이 2.3t/h일 때의 배아 부착률이 1.5t/h 일 때에 비해 대략 15% 높은 것으로 나타났다. 함수율 16.2%, 처리량 2.3t/h, 출구저항이 높은 0.6N·m에서도 백미의 배아 부착률이 48.6%로 높게 나타났다. 따라서 시작기를 이용하여 배아가 쉽게 탈락하는 16.2%의 현미를 가

공했을 때 백미의 배아 부착률을 기존 입형정미기에 비해 약 42% 높일 수 있었다.

시간당 처리량 2.3t/h의 범위내에서는 처리량이 증가하면 백미의 배아 부착률이 향상하였으나 2.3t/h의 일정 수준 이상에서는 정백실내의 압력이 증가하여 배아 부착률이 다시 감소한다는 것을 예비실험에서 알 수 있었다. 본 연구에서 처리량이 클수록 백미의 백도는 약간씩 낮게 나타났다. 그 원인은 첫째로, 배아가 많이 부착될수록 백도는 저하되게 마련이고, 둘째로, 시료가 정백실에 머무르는 시간이 짧기 때문에 그만큼 연삭효과가 저하되었기 때문이라고 사료되었다. 같은 시료를 가공할 경우 처리량이 2.3t/h일 때의 배아미의 백도는 처리량이 1.9t/h 및 1.5t/h일 때의 배아미의 백도 보다 약 2.0 및 3.6 정도 각각 낮게 나타났다.

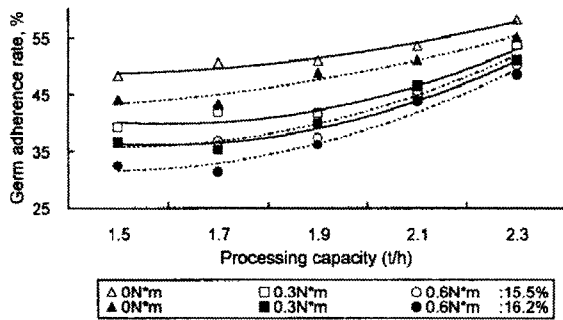


Fig. 8 The change of germ adherence rate according to the processing capacity of a prototype miller with emery stones of mesh # 50 and shaft speed of 900rpm.

나) 출구저항에 따른 배아부착률 변화

세 수준의 시간당 처리량에서 출구저항이 백미의 배아 부착률에 미치는 영향을 분석하였다(Fig. 9). 함수율에 관계없이 각 처리량에서 출구저항이 커짐에 따라 배아 부착률이 크게 감소했다. 처리량이 작을수록 출구저항 증가에 따른 배아 탈락이 심한 것을 확인할 수 있었다. 처리량이 1.9t/h 일 때 출구저항이 높은 0.6N·m에서의 배아 부착률이 출구저항이 0N·m 일 때보다 약 15% 작았다. 처리량이 2.3t/h일 때, 출구저항에 따라 백미의 배아 부착률이 감소하는 정도가 비교적 낮았으며 최소 출구저항에서 높은 배아 부착률 58.3%를 나타냈다.

함수율이 16.2%일 때, 처리량 1.5, 1.9, 2.3 t/h에서 각각 출구저항 0N·m부터 0.6N·m로 높였을 때 백미의 배아 부착률이 약 12%, 12%, 7%씩 감소하였다. 전체적으로 출구저항을 높였을 때 백미의 배아 탈락이 심하였다. 이처럼 출구저항이 커질수록 두 수준의 함수율과 3 수준의 처리량에서 공통적으로 배아 부착률이 급격하게 감소함을 알 수 있었다.

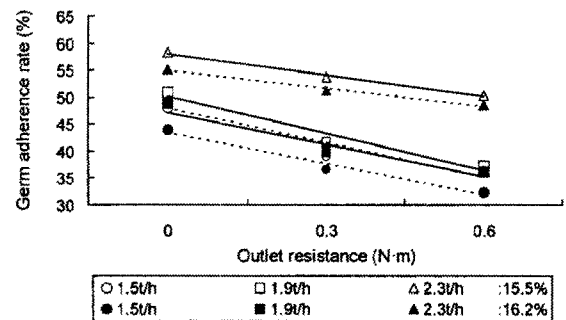


Fig. 9 The change of germ adherence rate according to the outlet resistance of a prototype miller with emery stones of mesh #50 and shaft speed of 900rpm.

3) 금강석 입도크기의 배아부착률 효과

출구저항 및 처리속도에 관계없이 50목인 연삭돌을 사용한 경우가 35목 연삭돌을 사용했을 때 보다 백미의 배아 부착률이 크게 향상되었다. 900rpm의 축회전속도, 2.3t/h 처리량, 최소 출구저항의 시작기에서 함수율이 16.2%인 경우 배아 부착률이 약 10.3%, 함수율이 15.5%의 경우 약 11.0%, 함수율이 14.3%의 경우 약 3.5% 각각 증가하였다. 함수율이 낮은 공시 시료를 이용하여 배아미를 제조할수록 금강석 표면의 거친 정도가 배아 부착률에 미치는 영향이 작고 반면에 함수율이 높은 시료를 가공 및 처리할 때 금강석 연삭돌 표면이 매끄러우면 배아 탈락을 억제시킬 수 있으므로 배아 부착률을 향상시킬 수 있다. 결과적으로 입도크기가 작고 균일한 50목 연삭돌을 사용한 경우 시료 함수율이 높을 때 배아 부착률이 크게 향상한 것으로 나타났다. 통계분석 결과, 각각의 함수율을 가진 현미를 가공할 때 35목보다 50목 금강석을 이용하면 배아 부착률을 향상시킬 수 있다는 것이 1% 유의수준에서 인정되었다(함수율 14.3%



의 경우: Prob=0.0044<0.05; 함수율 15.5%의 경우: Prob=0.005 < 0.05; 함수율 16.2%의 경우: Prob=0.0004 < 0.05).

**다. 시작기와 기존 정미기의 배아부착률 비교**

50목의 연삭돌이 설치된 시작기에서 적정 작업조건으로 구멍된 출구저항 0N·m, 처리량 2.3t/h에서의 배아 부착률을 시료 함수율에 따라 조사하였다. 함수율 13.2%~17.0%의 시료를 시작기를 이용하여 가공한 후 배아부착률 변화를 기존 입형정미기에서 동일 작업조건(출구저항과 처리량)의 배아 부착률과 비교하였다(Fig. 10). 함수율이 증가함에 따라 배아 부착률은 두 경우 모두 감소하는 추세를 보였다. 기존 입형정미기에서는 함수율 16.2%에서 배아 부착률은 약 13%이었고, 16.7%에서 거의 다 떨어졌다. 그러나, 개발한 시작기에서 50목의 연삭돌을 설치한 경우 함수율 16.2%에서 최대 55.2%의 매우 높은 배아 부착률을 나타냈다(Fig. 9). 개발한 시작기로 16.2%의 높은 함수율에서도 기존 정미기에 비해 백미의 배아 부착률을 최대 약 42%까지 높일 수 있었다. 특히, 연삭돌의 금강사 입도를 작게 한 것이 쌀에 충격을 덜 주어 백미의 배아 부착률을 향상시킬 수 있었다. 그 효과는 특히 시료 함수율이 14.5% 보다 높은 15.5%~17.0%에서 현저하게 나타났다.

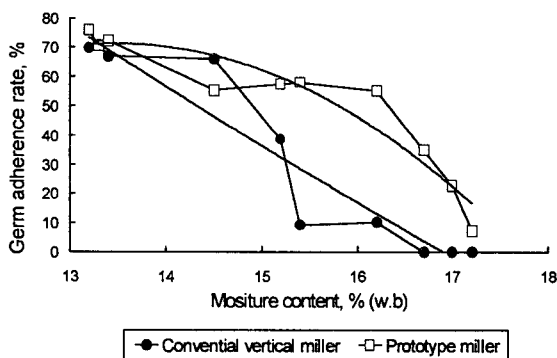


Fig. 10 The comparison of germ adherence rates according to rice moisture content between a vertical miller and the prototype miller with emery stones of mesh #50 and shaft speed of 900rpm at the processing capacity of 2.3t/h and minimum outlet resistance.

기존 입형정미기에서 백미의 배아 부착률과 함수율과의 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있었다.

$$y = 0.3972x^2 - 31.788x + 423.89(R^2 = 0.90) \quad (1)$$

50목의 연삭돌이 설치된 시작기를 사용했을 때 배아 부착률과 함수율과의 관계식은 다음과 같았다.

$$y = -3.9575x^2 + 106.76x - 648.64(R^2 = 0.90) \quad (2)$$

여기서, y : 배아부착률(%), x : 함수율(% , w.b)

**4. 요약 및 결론**

청결배아미 제조시스템을 개발하기 위하여 입형정미기를 이용하여 함수율에 따른 배아 부착률을 분석하였고, 축회전속도가 쌀 배아부착률, 싸라기율, 백도, 동할율 등에 미치는 영향을 구명하였다. 또한, 시작기의 연삭돌을 교체하여 연삭돌 입도 크기가 배아 부착률에 미치는 영향을 출구저항, 처리량, 함수율에 따라 분석하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같았다.

1) 함수율은 시작기 축회전속도에 관계없이 배아 부착률에 큰 영향을 주었다. 35목의 금강사가 설치된 시작기에서 축회전속도 900(1,100)rpm에서 쌀의 배아 부착률은 함수율 13.2%에서 약 76%(70%), 함수율 13.4~14.5%에서 약 69%(66%), 함수율 15.2%에서 약 46%(38%), 함수율 15.4%에서는 약 13%(9%), 함수율 16.7%에서는 약 0.1%(0.1%)로서, 함수율이 증가함에 따라 배아 부착률은 함수율 14.5%에서 급격히 감소하였다.

2) 35목의 금강사가 설치된 시작기에서 축회전속도 900rpm일 때의 배아 부착률이 1,100rpm일 때 보다 함수율 13.2%~15.2% 범위에서 약 2~8% 높은 것을 알 수 있었다. 높은 배아 부착률을 갖기 위해서는 함수율 약 15.2% 이하에서 도정하는 것이 좋은 것으로 사료되었으며, 정미기 축회전속도를 감소시킴으로써 함수율 15.2% 이하에서는 쌀의 배아 부착률을 약 8%까지 높일 수 있었다.

3) 35목의 금강사가 설치된 시작기에서, 축회전속도가 1,100(900)rpm일 때 함수율 증가에 따라 쌀의 백도는 약 27(23)에서 40까지 점차 증가하는 경향을 보였으며, 특히 함수율 약 15.2% 이상에서는 급격히 약 40까지 증가하였다. 함수율 13.2%~15.4%에서 축회전속도

1,100rpm에서의 백도가 900rpm일 때 보다 약 1.3~4.0정도 약간 높게 나타났으나, 함수율 약 16.7% 이상에서는 그 차이는 거의 없었다. 즉 쌀의 백도는 함수율에 의해 결정적인 영향을 받음을 알 수 있었다.

4) 35목의 금강사가 설치된 시작기에서, 함수율이 정백공정중 싸라기율에 커다란 영향을 미침을 알 수 있었다. 현미의 함수율이 13.4%에서 16.7%로 증가함에 따라 두 축회전속도에서 공통적으로 싸라기율이 약 3.5%에서 약 1%까지 점차로 감소하였다. 그러나 함수율이 16.7% 이상일때부터 싸라기율이 다시 증가하였다. 또한, 함수율 약 15.2%까지는 축회전속도 900rpm에서 싸라기율을 1,100rpm일 때 보다 약 0.6%~1.0% 줄일 수 있었다.

5) 35목의 금강사가 설치된 시작기에서, 함수율 13.2%부터 16.2%까지는 함수율에 따라 배아미의 동할율은 거의 약 9% 이하로 일정하였다. 그리고 축회전속도에 관계없이 함수율 16.7%에서는 동할율이 약 10%, 함수율 약 17%에서는 동할율이 약 20%까지 급격히 증가하였다.

6) 35목 금강석보다 50목의 금강석을 시작기에 장착했을 때 모든 출구저항, 처리량에서 배아 부착률이 향상되었다. 축회전속도 900rpm, 처리량 2.3t/h와 최소 출구저항의 조건하에 함수율 16.7%, 16.2%, 15.5%, 14.3%에서 50목의 연삭돌을 사용한 경우 배아 부착률은 각각 35.0%, 55.2%, 58.3%, 61.3%를 나타냈고, 35목의 연삭돌을 사용할 때보다 각각 약 35%, 10.3%, 11.0%, 3.5% 높일 수 있었다.

7) 출구저항에 관계없이 시작기에서 시간당 처리량이 2.3t/h까지 증가할수록 배아 부착률은 높게 나타났다. 배아부착률, 백도, 싸라기율 등을 고려할 때 본 시작기에서는 2.3t/h의 시료 처리량이 적합하다고 사료되었다.

8) 축회전속도 및 금강석 입도 크기에 관계없이 시작기의 출구저항이 높을수록 백미의 배아 부착률이 감소하였다. 배아부착률 및 배아미의 백도 그리고 함수율을 고려했을 때 출구저항이 없는 상태(0N·m)에서 배아 부착률이 높으면서 청결한 배아미를 생산할 수 있었다.

9) 기존 입형정미기에서는 함수율 16.2%에서 배아 부

착률은 약 13%이었고, 16.7%에서는 0.1% 이하로 거의 다 떨어졌으나, 개발한 시작기에 50목의 연삭돌을 설치하고, 900rpm의 축회전속도, 2.3t/h의 처리량과 최소 출구저항 조건하에 함수율 16.2%에서 55.2%, 16.7%에서는 약 35%로 높은 배아 부착률을 나타냈다. 즉, 개발한 시작기로 적정 작업조건하에 16.2%의 함수율에서 백미의 배아 부착률을 최대 약 42%까지 높게 개선시킬 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 고훈균 외 6명. 1993. 농산가공기계학. 향문사.
2. 고훈균. 1998. 쌀의 품질과 수확후 처리공정. 한국산업식품공학회 1998년 심포지엄.
3. 구득실. 2001. 씻어 나온 쌀 개발. 월간식품. 1(2):120-123.
4. 정종훈, 2004. 청결배아미 제조기술, RPC 기술과 경영. 제3호, 한국RPC연구회.
5. Chung, J. H., S. N. Yoo, Y. B. Lee, Y. S. Choi and K. B. Kim. 1997. Development of Rice Mill Machinery for the Production of the Clean and Enriched Rice. Ministry of Agriculture and Forestry.
6. Hosokawa, A. 1995. Rice Post-Harvest Technology. The Food Agency, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan.
7. Houston, D. F. 1972. Rice Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, INC., Minnesota.
8. Park, K. K., D. H. Hong, H. J. Kim, K. D. Nah, S. H. Seo and Y. S. Ha. 2002. Optimum moisture content of paddy for milling process(I) - on the desorption process of paddy -. Proc. of the KSAM 2000 Summer Conference. Vol. 5(2):170-177.
9. Yan, T. Y. and J. H. Chung. 2002. Effects of milling conditions on tyhe adherence of rice germs. Proc. of the KSAM 2002 Winter Conference. Vol. 7(1):289-296.