도정조건이 쌀의 배아부착에 미치는 영향

Effects of Milling Conditions on the Adherence of Rice Germs

정 종 훈* 엄 천 일*
정회원 정회원
J. H. Chung T. Y. Yan

1. 서론

쌀은 우리의 주식으로서 우리나라에서의 쌀산업은 매우 중요하다. 이에 경쟁력 있고 부가가치가 높은 고품질의 쌀, 기능성쌀 및 특수미 생산을 위해서는 연구 및 개발이 절대적으로 필요한 실정이다. UR협상으로 인해 우리의 쌀 의무 수입량은 2004년이 되면 우리 쌀생산량의 4%로 늘어나게 된다. 그리고 국내에서 생산한 쌀의 값이 미국산에 비해 4~5배 높고 중국산, 동남아산과 비교해서도 고가이기에 국제 경쟁력은 없다고 볼 수 있다(구득실, 2000). 이것이 바로 21세기 한국 쌀산업이 직면한 가장 큰 문제라고 할 수 있다. 이를 극복하기 위해서는 경쟁력이 있는 기능성쌀 및 고품질의 특수미를 개발해야 한다. 이에 국내에서도 미네랄쌀, 동충하초쌀, 상황버섯쌀, 무세척미, 키토산쌀, 인삼쌀, 영양강화미, 혼합곡, 흑미 등의 특수미에 대한 연구가 활발히 진행되어 이미 시장에서 판매되고 있다. 그러나 아직 기능성쌀 및 특수미의 수요는 많치 않치만 점차 늘고 있는 추세이다. 이러한 특수미들의 공통점은 첫째, 사람의 건강 증진에 그 목표를 두고 있다는 점과, 둘째, 특수미 생산에 많은 시설과 노동력을 필요로 해 그 생산 단가가 매우 높다는 점이다. 예를 들어, 일부에서는 무세척미 생산에 관한 연구를 진행시켜 생산하고 있지만, 널리 보급되지 못하고 있다. 그 원인은 무세척미 생산에 제조장치 및 폐수처리장치 등의 고가의 설비가 필요하며, 또한 세척과정, 탈수과정 및 건조과정에서 쌀에 동할이 많이 발생하고 처리능력이 떨어지기 때문이다.

이에 우선 소비자들이 쉽게 사먹을 수 있는 값싼 고품질의 특수미를 선호하리라 생각된다. 이러한 쌀로 영양가 많은 쌀눈이 많이 부착된 배아미를 생각할 수 있다. 건강증진을 위해서는 백미 대신 현미를 섭취함이 좋다는 것이 널리 알려져 있다. 현미는 강층과 배아에 단백질, 지질, 섬유소, 무기질, 비타민 B_1, 비타민 E 등을 많이 포함하고 있어, 비만증, 당뇨, 고혈압, 위장병 등의 성인병 예방에 좋다고 알려져 있으며, 필수 아미노산인 라이신, 필수지방산 등이 있어 영양식으로도 알려져 있다. 그러나 현미는 강층의 섬유소 때문에 백미에 비하여 질기고 식미가 매우 떨어져 그 선호도가 낮다. 이에 현미의 강층을 제거하고 영양소 많은 배아는 떨어지지 않도록 도정한 청결배아미 생산에 대한 연구개발이 필요하다.

도정시에 쌀의 배아 부착에 영향을 미치는 요인으로 첫째, 기계적 요인, 둘째 쌀의 물성

* 전남대학교 농과대학 농공학과

요인을 들 수가 있다. 현미에는 약 95% 이상 배아가 부착되어 있으나 정미기의 정백공정에서 거의 모든 배아가 떨어져 최종 청결미 상태에서는 보통 약 3% 만이 붙어 있다. 정백공정에서 일반적으로 수평형 마찰식정미기보다 연삭마찰의 혼합식 입형정미기가 정백실내의 압력이 낮고 균일한 압력이 분포하기 때문에 일반적으로 배아 부착률이 높다. 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 스크린의 형태, 정백실내의 진공압력, 정백실 출구저항 크기, 정백실의 길이, 그리고 쌀의 함수율과 품종 등이 쌀의 배아 부착에 영향을 미칠 수 있다. 이에 본 연구에서는 상용되고 있는 혼합식 입형정미기를 선정한 후 반입속도와 출구저항 그리고 정백실 진공압력의 요인들은 예비실험에서 얻어진 적정상태로 고정시키고, 단지 축회전속도와 쌀 함수율을 주요인으로하여 배아부착에 미치는 영향을 구명하고자 하였다. 물론 추후 연구에서 연삭과 마찰의 비율, 연삭돌의 입자크기 등의 다른 요인에 대해서도 구명하고자 한다.

본 연구에서는 쌀 영양분의 대부분을 차지하고 있는 배아를 보존시키고 또한 백미처럼 식미가 좋으며 고부가가치를 창출할 수 있는 청결배아미 제조기술을 개발하고자 한다. 이 연구는 배아미제조기 개발의 기초연구로서 그 주 목적은 1) 현미의 함수율이 배아미의 배아부착률, 백도, 싸래기율 및 동할율에 미치는 영향을 구명하고, 2) 입형정미기 축 회전속도가 배아부착에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

전남 장성군 진원면 진원농협에서 2001년 10월에 추수한 일미벼(현미상태)를 구입하여 사용하였으며, 실험은 전남대학교 미곡종합처리장에서 실시하였다. 본 연구에서는 13.2% 13.3% 14.4% 15.2% 15.4% 16.2% 17.0% 17.2% 등의 함수율을 가진 현미를 이용하였다. 이때 시료의 양이 많고 시료 확보의 어려움으로 함수율이 일정 간격으로 되지 않았다.

나. 실험방법

쌀의 배아부착률에 영향을 미치는 요인들은 매우 많으나, 다른 요인들은 고정시키고, 그중 중요하다고 사료되는 현미의 함수율과 정미기 축회전속도를 주 요인으로 하여 도정실험을 실시하였다. 본 입형정미기에서 시간당 처리량(반입속도)과 출구저항의 적정 조건은 예비실험을 통해 얻어졌으며, 이때 미강 흡입부 진공압력은 202mmAq 이었다. 입형정미기의 축회전속도를 1100rpm와 900rpm 두 수준에서 함수율 별로 실험을 실시한 후, 배아부착률, 백도, 싸래기율, 동할율 등을 각 처리에서 3반복 측정하여 분석하였다. 함수율별 1회의 시료량은 약 500kg 이었다. 현미의 함수율은 Kett Electric Laboratory사의 전기저항식 함수율 측정기를 이용하여 3반복하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 함수율과 축회전속도에 따른 배아부착률

축회전속도 1100rpm과 900rpm에서 현미를 도정한후 함수율에 따른 백미의 배아부착률은 표 1과 같고 함수율에 따른 배아부착률(축 회전속도의 두 수준에 대응한 배아부착률의 평균치)의 변화는 그림 1과 같이 나타났다. 일반적으로 배아부착률은 함수율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

쌀의 배아부착률은 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%에서는 약 9~10%로서, 함수율이 증가함에 따라 배아부착률은 함수율 15.4%에서 급격히 감소하였다. 또한, 축회전속도가 900rpm일 때의 배아부착률이 1100rpm일 때의 배아부착률보다 함수율 13.2%~15.2% 범위에서 약 2~8% 높은 것을 알 수 있었다.

축회전속도가 1100rpm일 때에는 함수율이 13.2%부터 14.5%까지는 배아부착률은 큰 변화가 없었지만, 함수율 14.5%부터 15.4%까지는 배아부착률이 급격히 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 축회전속도 900rpm일 때도 마찬가지로 함수율이 13.2%부터 14.5%까지 배아부착률은 큰 변화가 없었고 함수율 14.5% 이상에서는 배아부착률이 감소하는 경향을 보였다. 두 가지 축회전속도에서 함수율 16.2% 이상에서는 배아가 거의 부착되지 않았다. 이처럼 함수율 13.2%부터 16.2%까지는 축 회전속도가 낮은 900rpm일 때의 배아부착률이 1100rpm일 때보다 높은 것을 알 수 있었다. 정미기 축회전속도의 감소가 정백실내의 축 원주속도를 줄임으로써 쌀에 주는 충격을 떨어뜨려 배아 부착률을 높일 수 있다고 사료되었다. 물론 지나친 축회전속도의 감소는 시간당 처리량을 감소시킬 수 있으나, 본 기계의 최대 처리량이 4톤/시간인 점을 감안할 때 별 문제는 되지 않았다.

Table 1. Percentage of rice with germs vs moisture content at different shaft RPM

구 분		함수율과 축회전속도에 따른 배아부착률									
함 수 율(%)		13.2	13.3	13.4	14.5	15.2	15.4	16.2	16.7	17	17.2
배아부착율(%)	1100rpm	69.8	70.8	67.0	66.6	38.6	9.1	10.2	0	0	0
		68.8	71.1	66.7	65.0	36.8	9.0	10.3	0.1	0	0
		68.5	71.6	66.5	67.9	39.1	9.4	10.1	0	0	0
	평균	69.0	71.2	66.7	66.5	38.2	9.2	10.2	0.0	0	0
	표준편차	0.7	0.4	0.3	1.5	1.2	0.2	0.1	0.1	0	0
	900rpm	75.8	74.8	69.2	68.8	45.5	10.2	12.2	0	0	0
		76.2	74.0	71.0	68.5	47.0	11.5	11.5	0.1	0	0
		76.5	76.4	68.6	70.2	45.1	9.8	11.8	0.1	0	0
	평균	76.2	75.1	69.6	69.2	45.9	10.5	11.8	0.1	0	0
	표준편차	0.4	1.2	1.2	0.9	1.0	0.9	0.4	0.1	0	0

따라서 식미를 고려하고 높은 배아부착률을 갖기 위해서는 함수율 약 15%에서 도정하는 것이 좋은 것으로 사료되었으며, 정미기 축회전속도의 감소로 함수율 15.2% 이하에서는 쌀의 배아부착률을 약 8%까지 높일 수 있었다.

일정한 정백공정 조건에서 축회전속도가 1100rpm과 900rpm일 때 현미의 함수율에 따른 배아부착률은 다음과 같이 2차 다항식으로 나타낼 수 있었다. 1100rpm일 때의 2차 다항식은 $y = 0.2629x^2 - 13.54x + 99.997$ 이고 900rpm일 때의 2차 다항식은 $y = 0.2792x^2 - 13.107x + 94.502$ 이다. 각각의 R^2(결정계수)은 각각 0.8963과 0.8862이었다.

축회전속도 및 함수율이 배아부착률에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 통계분석을 실시하였는데, 그 결과는 표 2와 같이 나타났다. 축회전속도와 대응한 F_s는 $F_{0.05(1,9)}$보다 크기 때문에 회전속도가 배아부착률에 유의하게 영향을 미친다고 판단할 수 있다. 또한 함수율에 대응한 F_s는 $F_{0.05(9,9)}$보다 클뿐만 아니라 $F_{0.01(9,9)}$보다도 크기 때문에 배아부착률에 고도로 유의하게 영향을 미치다고 판단할 수 있다.

Table 2. The two-way ANOVA table (significance level:0.05 and 0.01)

요 인	제곱합	자유도	제곱평균	F_s	F(0.05)	F(0.01)
회전속도	37.54	1	37.54	9.49*	5.12	10.6
함수율	19948.29	9	2216.48	560.16**	3.18	5.35
잔차	35.61	9	3.96			
계	20021.44	19				

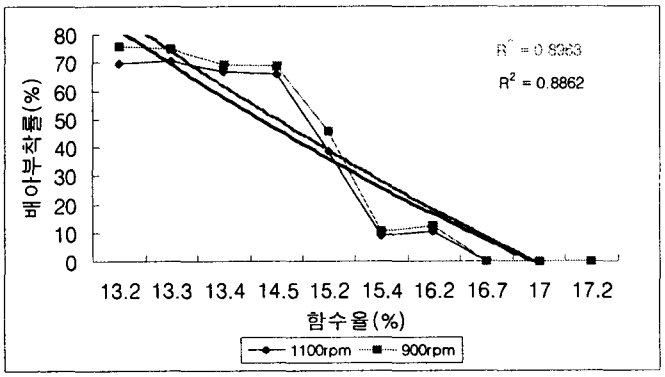

Fig. 1. Percentage of rice with germs vs moisture contents of brown rice

나. 함수율과 축회전속도에 따른 배아미의 백도

두가지 축회전속도에서 현미를 도정한 후 함수율에 따르는 백도를 측정한 결과는 표 3 및 그림 2와 같다. 축 회전속도 1100rpm와 900rpm 모두에서 쌀의 백도는 함수율이 증가함에

따라 높아지는 경향을 보였다. 즉, 축회전속도에 관계없이 현미의 함수율 증가에 쌀의 백도는 약 23에서 40까지 점차 증가하는 경향을 보였으며, 특히 함수율 약 15.2% 이상에서는 약 40까지 급격히 증가하였다. 함수율 13.2%~15.4%에서 축회전속도 1100rpm에서의 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 따라 결정적인 영향을 받음을 알 수 있었다.

축회전속도가 1100rpm과 900rpm일 때 현미의 함수율과 백도과의 관계를 2차 함수식으로 나타낼 수 있며 1100rpm일 때는$y = 0.0141x^2 + 1.5448x + 23.482$이고 900rpm일 때는 $y = 0.0192x^2 + 2.0261x + 19.264$이다. R^2(결정계수)은 각각 0.8243과 0.9136 이었다.

축회전속도 및 함수율이 배아미의 백도에 미치는 영향을 규명하기 위하여 통계분석을 실행하였다. 그 결과는 표 4와 같이 나타났다. 축회전속도 요인과 대응한 F_s는 $F_{0.05(1,9)}$보다 크기 때문에 회전속도가 배아미의 백도에 유의하게 영향을 미친다고 판단할 수 있다. 또한 함수율에 대응한 F_s는 $F_{0.05(9,9)}$보다 클뿐만 아니라 $F_{0.01(9,9)}$보다도 크기 때문에 함수율이 배아미의 백도에 고도로 유의하게 영향을 미치다고 판단할 수 있다.

Table 3. Whiteness of rice vs moisture content at different shaft RPM

구 분		함수율과 축회전속도에 따른 백도									
함 수 율(%)		13.2	13.3	13.4	14.5	15.2	15.4	16.2	16.7	17.0	17.2
백도	1100rpm	26.7	26.7	27.8	27.1	28.1	36.3	36.1	40.1	39.1	40.2
		26.8	27.2	26.7	26.5	29.7	36.1	35.8	39.9	38.9	32
		26.9	27.1	27.2	26.8	28.8	35.8	35.7	40.0	40.2	39.9
	평균	26.8	27.0	26.9	26.8	28.9	36.1	35.9	40.0	39.4	37.4
	표준편차	0.10	0.26	0.26	0.30	0.80	0.25	0.21	0.10	0.74	4.65
	900rpm	23.9	23.2	24.1	25.5	27.7	35.3	34.7	39.7	38.9	35.0
		22.8	23.1	24.5	25.1	28.0	34.2	35.1	39.5	40.1	40.5
		23.2	23.2	24.2	25.0	27.5	34.3	34.9	39.9	40.3	41.0
	평균	23.3	23.2	24.3	25.2	27.7	34.6	34.9	39.7	39.8	38.8
	표준편차	0.56	0.06	0.21	0.26	0.25	0.61	0.20	0.20	0.76	3.33

Table 4. The two-way ANOVA table (significance level:0.05 and 0.01)

요 인	제곱합	자유도	제곱평균	F_s	F(0.05)	F(0.01)
회전속도	9.25	1	9.25	6.74*	5.12	10.6
함수율	731.21	9	81.25	59.23**	3.18	5.35
잔차	12.34	9	1.37			
계	752.80	19				

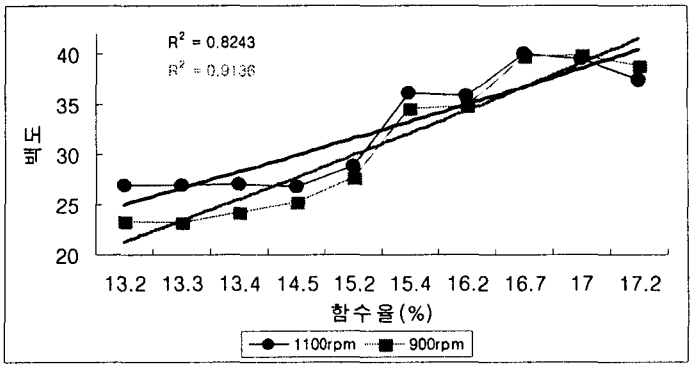

Fig. 2. Rice whiteness vs moisture content of brown rice

다. 함수율과 축회전속도에 따른 싸래기율

입형정미기의 축회전속도를 1100rpm 및 900rpm로 설정하여 현미를 도정한 후 함수율에 따른 싸래기율을 분석한 결과 표 5와 같다. 현미의 함수율 13.4%에서 16.7% 범위에서는 두 축회전속도에서 같은 경향으로 싸래기율이 약 3.5%에서 약 1%까지 점차로 감소하였다. 그러나 함수율 16.7% 이상에서 함수율 증가에따라 싸래기율이 증가하였다. 즉, 함수율이 아주 높을 때에는 싸래기율이 함수율에 따라 증가하는 경향을 보였다. 또한, 함수율 약 15.2%까지는 축회전속도 1100rpm에서의 싸래기율이 900rpm일 때 보다 약 0.6%~1.0% 높게 나타났다.

Table 5. Percentage of broken rice vs moisture content at different shaft RPM

구 분		함수율과 축회전속도에 따른 싸래기 비율									
함 수 율(%)		13.2	13.3	13.4	14.5	15.2	15.4	16.2	16.7	17.0	17.2
싸래기 비율 (%)	1100rpm	2.5	3.9	3.7	2.6	1.9	2.5	1.3	0.9	2.2	1.1
		2.4	3.6	3.7	2.9	2.4	2.3	1.2	1.0	2.1	1.0
		2.6	3.5	3.9	2.8	2.5	2.2	1.5	1.1	1.9	0.9
	평균	2.5	3.7	3.8	2.8	2.3	2.3	1.3	1.0	2.1	1.0
	표준편차	0.10	0.21	0.12	0.15	0.32	0.15	0.15	0.10	0.15	0.10
	900rpm	2.1	2.9	2.8	1.8	1.5	2.2	1.5	0.7	1.8	1.4
		2.4	3.1	2.7	2.1	1.6	2.2	1.4	0.6	1.9	1.7
		2.2	2.8	3.1	1.6	1.7	2.1	1.8	0.8	1.7	1.6
	평균	2.2	2.9	2.9	1.8	1.6	2.2	1.6	0.7	1.8	1.6
	900rpm	0.15	0.15	0.21	0.25	0.10	0.06	0.21	0.10	0.10	0.15

라. 함수율과 축회전속도에 따른 동할율

1100rpm과 900rpm의 축 회전속도에서 함수율에 따른 동할율을 측정한 결과는 표 6과 같

다. 함수율 13.2%부터 16.2%까지는 함수율에 따라 배아미의 동할율은 약 9% 이하로 일정하였다. 또한, 함수율 13.2%~14.5% 사이와 17%이상에서는 1100rpm에서의 동할율이 900rpm일 때 보다 약간 높게 나타났다. 그리고 축회전속도에 관계없이 함수율 16.7%에서는 동할율이 약 10%, 함수율 약 17%에서는 동할율이 약 20%까지 급격히 증가하였다.

Table 8. Percentage of cracked rice vs moisture content at different shaft RPM

구 분		함수율과 축회전속도에 따른 동할율									
함 수 율(%)		13.2	13.3	13.4	14.5	15.2	15.4	16.2	16.7	17.0	17.2
동할율(%)	1100rpm	6.8	7.0	8.0	9.6	8.0	7.3	6.0	8.0	24.0	22.0
		7.1	7.3	8.2	9.8	8.2	7.5	6.5	8.2	21.0	23.1
		7.0	7.2	8.3	9.7	8.3	7.3	6.2	8.4	21.1	22.3
	평균	7.0	7.2	8.2	9.7	8.2	7.4	6.2	8.2	22.0	22.5
	표준편차	0.15	0.15	0.15	0.1	0.15	0.12	0.25	0.2	1.7	0.57
	900rpm	5.3	7.1	7.6	8.2	8.5	8.8	9.0	10.1	19.2	17.0
		5.0	6.9	7.4	8.0	8.5	8.5	9.3	10.0	19.0	17.3
		5.2	6.8	7.7	8.3	8.4	8.7	9.1	10.3	19.1	17.1
	평균	5.2	6.9	7.6	8.2	8.5	8.7	9.1	10.1	19.1	17.1
	표준편차	0.15	0.15	0.15	0.15	0.06	0.15	0.15	0.15	0.10	0.15

4. 요약 및 결론

배아부착률이 높은 배아미를 생산하기 위한 기초 연구로서, 현미의 함수율과 입형정미기 축회전속도가 쌀 배아부착률, 싸래기율, 백도, 동할율 등에 미치는 영향을 구명하고자 하였다. 본 연구에서 분석된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 축회전속도에 관계없이 현미의 함수율이 배아부착률에 큰 영향을 줌을 알 수 있었다. 쌀의 배아부착률은 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%에서는 약 9~10%로서, 함수율이 증가함에 따라 배아부착률은 함수율 15.4%에서 급격히 감소하였다. 또한, 축회전속도 900rpm일 때의 배아부착률이 1100rpm일 때의 배아부착률보다 함수율 13.2%~15.2% 범위에서 약 2~8% 높은 것을 알 수 있었다. 식미를 고려하고 높은 배아부착률을 갖기 위해서는 약 함수율 15.2% 이하에서 도정하는 것이 좋은 것으로 사료되었으며, 정미기 축회전속도의 감소로 함수율 15.2% 이하에서는 쌀의 배아부착률을 약 8%까지 높일 수 있었다.

2. 축회전속도에 관계없이 현미의 함수율 증가에 쌀의 백도는 약 23에서 40까지 점차 증가하는 경향을 보였으며, 특히 함수율 약 15.2% 이상에서는 약 40까지 급격히 증가하였다. 함수율 13.2%~15.4%에서 축회전속도 1100rpm에서의 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 따라 결정적인 영향을 받음을 알 수 있었다.

3. 함수율이 정백공정중 싸래기율에 커다란 영향을 미침을 알 수 있었다. 현미의 함수율 13.4%에서 16.7% 범위에서는 두 축회전속도에서 같은 경향으로 싸래기율이 약 3.5%에서 약 1%까지 점차로 감소하였다. 그러나 함수율이 16.7% 이상일때부터 싸래기율이 증가하였다. 또한, 함수율 약 15.2%까지는 축회전속도 1100rpm에서의 싸래기율이 900rpm일 때 보다 약 0.6%~1.0% 높게 나타났다.

4. 함수율 13.2%부터 16.2%까지는 함수율에 따라 배아미의 동할율은 거의 약 9% 이하로 일정하였다. 또한, 함수율 13.2%~14.5% 사이와 17%이상에서는 1100rpm에서의 동할율이 900rpm일 때 보다 더 높게 나타났다. 그리고 축회전속도에 관계없이 함수율 16.7%에서는 동할율이 약 10%, 함수율 약 17%에서는 동할율이 약 20%까지 급격히 증가하였다.

결론적으로, 함수율이 쌀의 배아부착률, 백도, 싸래기율, 동할율에 결정적인 영향을 주고 있으며, 다음으로 입형정미기 축회전속도 역시 배아부착률, 백도, 싸래기율, 동할율 등의 물성에 영향을 미침을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. 고학균 외 6명. 1993. 농산가공기계학, 향문사
2. 고학균. 1998. 쌀의 품질과 수확후 처리공정, 한국산업식품공학회 1998년 심포지엄
3. 구득실. 2001. 씻어나온 쌀 개발, 월간식품. 1(2):120-123
4. 이병영. 1998. 쌀밥의 냄새 성분, 한국산업식품공학회 1998년 심포지엄
5. 박경규 외 6명. 2000. 벼의 함수율에 따르는 도정수율의 변화, 한국농업기계학회 2000년 하계 학술대회 논문집. 5(2):170-177
6. 정종훈 외 5명. 1995. 청결영양미 생산을 위한 미곡 도정기계의 개발, 농림수산부
7. Donald B. Brooker, Fred W. Bakker-Arkema, Carl W. Hall. 1992. Drying and Storage of Grains and Oilseeds, An Avi Book Pub. by Van N. Reinhold New York.
8. Akira Hosokawa. 1995. RICE POST-HARVEST TECHNOLOGY, THE FOOD AGENCY, MINISTRY OF AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERIES, JAPAN