

절삭식 정미기의 절삭롤러 통풍구 수와 송풍속도에 따른 정백특성

조병호 · 강신형¹ · 원진호 · 이희숙² · 강태환³ · 이동일 · 한충수*

충북대학교 바이오시스템공학과, ¹함양군청, ²충북대학교 소비자학과, ³공주대학교 생물산업기계공학전공

The Milling Characteristics of Cutting Type Rice Milling Machine Depending on the Number of a Cutting Roller's Air Vent and Blowing Velocity

Byeong Hyo Cho, Sin Hyeong Kang¹, Jin Ho Won, Hee Sook Lee²,
Tae Hwan Kang³, Dong Il Lee, and Chung Su Han*

Department of Biosystems Engineering, Chungbuk National University

¹Major in Bio-Industry Mechanical Engineering, Kongju National University

²Department of Consumer Studies, Chungbuk National University

³Hamyang County Office

Abstract

This study aimed to identify milling characteristics depending on the number of a cutting roller's air vent and blowing velocity to remove rice bran by the cutting type milling machine which can minimize the conventional milling process. The level of whiteness was found to be 38 ± 0.5 in all the conditions, showing consistent whiteness levels during milling. The rice temperatures turned out to be 15.4 and 14.6°C which were rather low-level under the conditions of the cutting roller with 3 vents and blowing velocities of 35 and 40 m/s respectively. Cracked rice ratio was 2.13% under the conditions of the cutting roller with 3 vents and a blowing velocity of 35 m/s. Broken rice ratio showed the range of 0.762-0.869%, reflecting a low level. Turbidity after milling was decreased, as blowing velocity became faster. Energy consumption for milled rice production was decreased, as blowing velocity became faster. The optimum milling condition for cutting type milling machine depending on air vent number of cutting roller and blowing velocity was found to be 3 vents and 35 m/s.

Key words: milling, cutting type milling machine, brown rice, broken rice ratio, cracked rice ratio

서 론

우리나라는 지난 20년간 쌀 관세화를 유예한 대가로 연간 408,700 ton의 쌀을 의무적으로 수입하고 있는 실정이다. 이와 같은 상황은 국내 쌀 시장에 위협적인 요소이며, 국내 쌀 시장에 큰 위협요소가 될 것으로 예상된다.

쌀 시장 개방에 대응하기 위한 정부 정책은 고품질 쌀 생산체제로 전환되었고(Lee et al., 2013), 최근 미곡종합처리장을 중심으로 안전한 고품질 쌀 생산, 생산비용절감 및 브랜드 파워 확대를 통한 경쟁력 강화를 목적으로 고품질 쌀 유통 활성화 사업이 진행되고 있다(Kang et al., 2015).

미곡종합처리장은 1991년부터 보급되기 시작하였으며, 수확 후 처리 비용 및 노동력 절감, 품질향상, 유통개선

등을 목적으로 설치된 농촌의 농업기반 및 쌀 유통의 중심 시설이다(Yoon, 2007). 기존 미곡종합처리장에서 사용되는 정백시스템은 연삭식 정미기, 마찰식 정미기, 연미기로 구성되어 있기 때문에 에너지소비량이 많이 소요된다. 따라서 국내산 쌀의 경쟁력 강화를 위한 생산단가 절감 방안으로 정백시스템의 단위기계를 최소화하여 시설비용과 에너지소비량을 절감할 필요가 있다. 또한 정백 중 곡은 상승을 방지하여 도정수율 및 품질을 향상시킬 수 있는 새로운 정미기 개발이 필요하다.

정미기에 관한 연구개발은 초경날식 절삭형 완패스정미기의 개발(Chung, 1997), 입형 배아미 생산시스템 개발에 관한 연구(Yan & Chung, 2004; Lim et al., 2014), 정백과정 중 연삭공정이 쌀 품질에 미치는 영향(Kang et al., 2010), 마찰과 연삭 도정배분의 따른 성능평가(Kim et al., 2009) 등을 수행하였으나, 절삭력을 이용한 정미기에 관한 연구는 미진한 실정이다.

한편, 절삭력을 이용한 정미기는 비교적 낮은 정백압력에서 현미의 호분층 제거가 가능하기 때문에 정백 시 에너

*Corresponding author: Chung Su Han, Department of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea
Tel: +82-43-261-2580; Fax: +82-43-271-4413
E-mail: hansu@cbnu.ac.kr
Received December 26, 2016; revised January 20, 2017; accepted February 16, 2017

지소비량이 절감되고, 곡은 상승 및 싸라기율이 낮아 고품질 백미 생산이 가능할 것으로 판단된다(Keum, 2008).

따라서 본 연구에서는 절삭식 정미기의 정백실 내부 흡인 송풍량에 영향을 미치는 절삭롤러 통풍구 수와 현미 가공 중 발생하는 미강 제거에 필요한 송풍속도가 정백특성에 미치는 영향을 구명하여, 기존의 정백시스템을 대체할 수 있는 절삭식 정미기 개발의 기초자료를 제시하고자 한다.

재료 및 방법

절삭식 정미기

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 절삭식 정미기의 개략도를 나타낸 것이다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 절삭식 정미기는 가로×세로 높이가 1,255×772×1,625 mm이며, 구성요소로는 절삭롤러, 금망, 이송스크루, 주축 등으로 이루어져 있다. 현미 투입부에서 공급된 현미는 이송스크루를 통해서 정백실로 이송된다. 또한 정백실은 주축에 절삭날 및 통풍간극링을 조립한 절삭롤러와 금망으로 이루어져 있고, 정백 중 발생하는 미강을 흡인 팬에 의하여 제거한다.

통풍 간극링

통풍 간극링은 절삭식 정미기 주축으로부터 흡인된 공기를 정백실로 공급하는 장치로 재질은 SS400강으로 제작하였고, 레이저 가공 후 침탄 열처리를 통하여 내마모성을

증대시켰다. 본 연구에서는 정미기 주축으로부터 흡인된 공기를 정백실 내부로 공급할 경우 적정 송풍량을 선정하기 위해 통풍 간극링의 통풍구 수를 2, 3, 4구로 나누어 제작하였다.

통풍구 2구는 180° 간격으로, 통풍구 3구와 4구의 경우 각각 120°, 90° 간격으로 제작하였다.

실험방법

절삭식 정미기의 정백특성을 분석하기 위한 공시재료는 충청북도 청주시 청원구 내수읍에서 생산된 2014년산 추청 현미를 사용하였다. 1회 시료량은 500 kg이었으며, 절삭롤러 길이는 570 mm, 축 직경 150 mm, 주축 회전속도는 1,000 rpm으로 하였다. 또한 시간당 생산량은 2 ton, 백도는 38±0.5로 조절한 후 절삭롤러 통풍구 수 2, 3, 4구 및 송풍속도 30, 35, 40 m/s 조건에서 정백특성을 분석하였다.

백도

현미 및 백미의 백도는 백도계(C300-3, Kett, Tokyo, Japan)를 이용하여 5회 측정 후 평균값으로 나타내었다.

곡은

곡은은 디지털 온도계(TES-1300, TES, Taipei, Taiwan)를 이용하여 측정하였다. 정백 전 원료 현미의 곡은은 정미기의 현미투입구에 온도계를 설치하여 측정하였고, 정백 후 백미의 곡은은 백미 배출구에 온도계를 설치하여 측정 한 최대온도로 나타내었다.

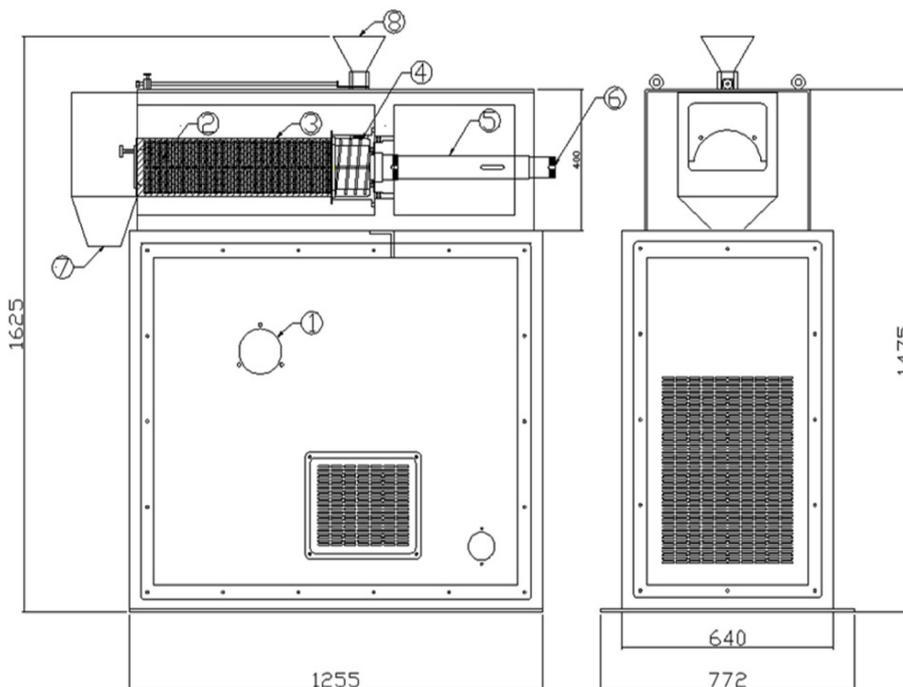


Fig. 1. Schematic diagram of the cutting type rice milling machine. ① rice bran outlet, ② cutting roller ③ metallic mesh, ④ transfer screw, ⑤ main shaft, ⑥ air inlet, ⑦ milled rice outlet, ⑧ brown rice inlet.

동할미율

동할미율은 원료 현미의 동할미율과 정백 후 가공된 백미의 동할미율을 측정하여 정백 전후 동할미율 차로 나타내었다. 동할미율은 1회에 완전미 50립을 동할미투시기(RC-50, Kett, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였고, 10회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

싸라기율

싸라기율은 강선 지름 0.5 mm, 10 mesh의 진동선별기(HS-6000, Hwasan, Gyeongsan, Korea)로 선별한 싸라기율과 가공된 백미 중 1 kg을 체눈 1.7 mm 진동체선별기(25M, Ooya, Tokyo, Japan)로 5분간 선별한 싸라기를 백미 1 kg에 대한 무게비로 산출한 싸라기율과 합산하여 나타내었다.

탁도

백미의 탁도는 백미 5 g 및 수온 20°C의 정수 400 mL를 비커에 넣고, 교반기(KA11-98, Kastech, Seoul, Korea)를 이용하여 30초간 진탕(진폭 40 mm, 1분 150회)한 용액을 수질측정기(90-FLT, TPS, Los Angeles, CA, U.S.A)로 3회 측정 후 평균값으로 나타내었다(KFRI, 2010).

에너지 소비량

절삭식 정미기의 정백 중 에너지 소비량은 적산전력계(CW240, Yokogawa, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였고, 백미 1 ton을 생산하기 위한 에너지 소비량으로 환산하여 나타내었다.

송풍속도

절삭식 정미기의 송풍 속도는 풍속계(9565A, TSI, Shoreview, MN, U.S.A.)를 이용하여 송풍 덕트에 센서를 삽입하여 측정하였다.

회전속도

정미기 주축 회전 속도는 회전계(DT-207LR, SHIMPO, Taipei, Taiwan)를 이용하여 측정하였다.

유의성

유의성 검증은 windows용 SPSS 통계 프로그램(version 12.0K, SPSS Inc., IL, USA)의 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 방법을 이용하였고, 정백조건에 따라 유의수준은 5% 이내에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

백도

Fig. 2는 절삭식 정미기의 절삭롤러 간극링의 통풍구 수와 송풍속도 변화에 따른 정백 후 백도를 비교하여 나타낸

것이다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 백도는 모든 조건에서 38±0.5로 측정되어 정백 중 백도조절이 일정한 것으로 나타났다. 정백 후 백미의 백도는 절삭롤러 통풍구 수에 따라 2구의 경우 송풍속도 30, 35, 40 m/s 조건에서 각각 38.23, 38.38, 38.22로 나타났다. 또한 3구에서는 송풍속도 30 m/s에서 38.13, 35 m/s는 38.05, 40 m/s에서는 38.11로 나타났다. 또한 4구 조건의 경우 송풍속도 30, 35, 40 m/s에 따라 각각 38.29, 38.26 및 38.10의 백도 값을 나타내었다.

이와 같이 정백 후 백도 값이 큰 차이가 없는 것은 정백 중 정백실 내의 압력이 일정하여 정백이 균일하게 이루어졌기 때문으로 판단된다.

곡온

Fig. 3에 절삭식 정미기의 절삭롤러에 장착된 통풍 간극

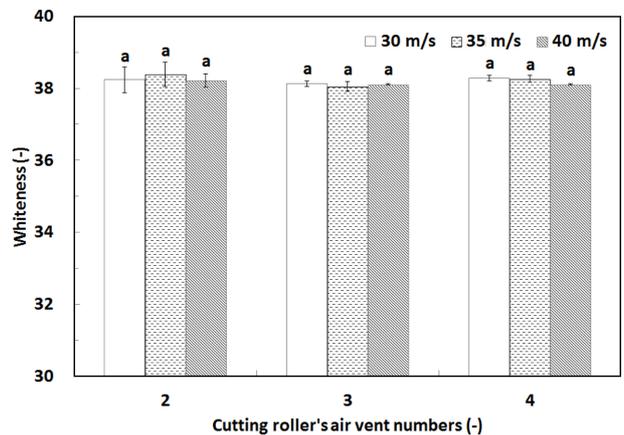


Fig. 2. Comparison of whiteness depending on the number of a cutting roller's air vent and blowing velocity. Values are mean±SD. Means with different letters "a" above the bars are significantly different by Duncan's multiple range test ($p<0.5$).

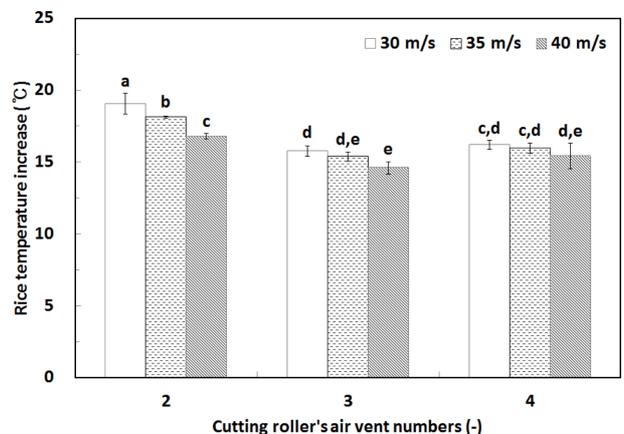


Fig. 3. Comparison of rice temperature increase depending on the number of a cutting roller's air vent and blowing velocity. Values are mean±SD. Means with different letters "a-e" above the bars are significantly different by Duncan's multiple range test ($p<0.5$).

링의 통풍구 수와 송풍속도 변화에 따른 정백 후 곡은 상승을 나타내었다.

일반적으로 정백 후 곡은 상승 범위는 정백 전보다 15°C 이상 상승되지 않는 것이 바람직하다고 보고되고 있다. 또한 곡은 상승이 높아지면 찌라기와 동할미율이 증가하고 수분손실이 많아져 품질이 저하된다(Keum, 2008).

Fig. 3에서 나타냈듯이 정백 후 곡은 상승은 절삭롤러 통풍 간극링의 통풍구 수 2구의 경우 송풍속도 30, 35, 40 m/s 조건에서 각각 19.1, 18.1, 16.8°C로 나타났다. 또한 3구에서는 송풍속도 30 m/s에서 15.8°C, 35 m/s는 15.4°C, 40 m/s에서는 14.6°C로 나타났다. 4구의 조건에서는 송풍속도 30, 35, 40 m/s에 따라 각각 16.2, 16.0, 15.4°C로 나타났다.

이와 같이 정백 후 백미의 곡은 상승은 송풍속도가 증가할수록 낮아지는 경향을 보였으며, 절삭롤러 통풍구 수 3구, 송풍속도 35, 40 m/s 조건에서 곡은 상승이 다른 조건과 비교하여 약간 낮은 경향을 나타내었다. 또한 절삭롤러 통풍구 수 4구 조건이 3구 조건과 비교하여 곡은 상승이 약간 높은 이유는 4구의 경우 정백실로 공급되는 송풍량이 많아 정백 중 압력이 감소하여 백미의 백도를 높이기 위해 압력판의 압력을 가하였기 때문으로 판단된다.

한편, 정백 중 백미의 곡은 상승은 외기온도의 영향을 많이 받으며, 실험 중 외기온도가 29-32°C 정도로 높았던 것을 감안하면 통풍구 수 3구 및 4구 조건은 적정 곡은 상승 범위인 15°C와 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 사료된다.

동할미율

Fig. 4에 절삭식 정미기의 절삭롤러 통풍 간극링의 통풍구 수와 송풍속도에 따른 정백 전후 동할미율 차를 나타내

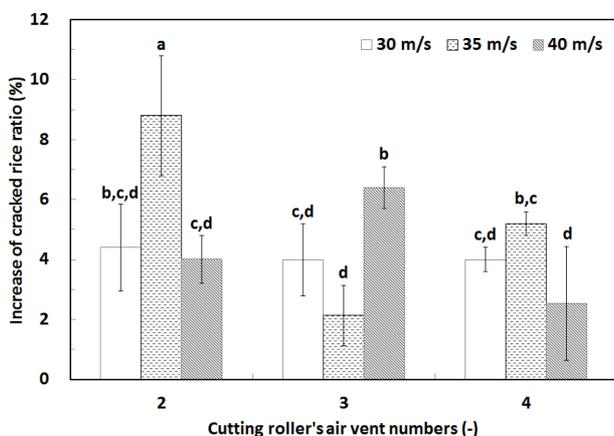


Fig. 4. Comparison of increase of cracked rice ratio depending on the number of a cutting roller's air vent and blowing velocity. Values are mean±SD. Means with different letters "a-d" above the bars are significantly different by Duncan's multiple range test ($p<0.5$).

었다.

Fig. 4에서 알 수 있듯이 동할미율은 절삭롤러 통풍구 수 2구의 경우 송풍속도 30, 35, 40 m/s 조건일 때 각각 4.4, 8.8, 4.0%로 나타났다. 또한 3구에서는 송풍속도 30 m/s에서 4.0%이었으며, 35 m/s는 2.1%, 40 m/s에서는 6.4%로 나타났다. 4구 조건의 경우 동할미율은 송풍속도 30, 35, 40 m/s에 따라 각각 4.0, 5.2, 2.5%로 나타나, 동할미율이 가장 낮은 조건은 절삭롤러 통풍구 수 3구의 송풍속도 35 m/s 조건과 통풍구 수 4구의 송풍속도 40 m/s 조건에서 각각 2.1, 2.5%로 나타났다.

이와 같이 통풍구 수 3, 4구 조건이 2구 조건과 비교하여 동할미율이 낮은 것은 2구에 비해 정백실로 이동되는 송풍량이 많아 마찰열이 감소하여 정백 중 곡은 상승이 낮았기 때문으로 판단된다. 또한 통풍구 수 3구와 4구간에 동할미율 차이가 크지 않은 이유는 전술한 바와 같이 정백 중 곡은 상승이 비슷하였기 때문에 동할미 발생을 또한 차이가 적은 것으로 판단된다.

찌라기율

Fig. 5는 절삭식 정미기의 절삭롤러 통풍구 수와 송풍속도에 따른 정백 후 찌라기율 변화를 분석한 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 5에 나타냈듯이 찌라기율은 절삭롤러 통풍구 수 2구의 경우 송풍속도 30, 35, 40 m/s 조건에서 각각 0.796, 0.806, 0.762%로 나타났다. 또한 통풍구 수 3구와 4구인 경우 송풍속도에 따른 찌라기율 발생 범위는 각각 0.796-0.869%, 0.809-0.847%로 찌라기율은 절삭롤러 통풍구 수 2구 송풍속도 40 m/s에서 0.762%로 약간 낮게 측정되었다.

본 연구에 사용된 절삭식 정미기의 찌라기율은 모든 조건에서 0.762-0.869%로 낮은 범위를 나타내었으며, 통계분석 결과 P 값이 0.05 이상으로 나타나 절삭롤러 통풍구 수

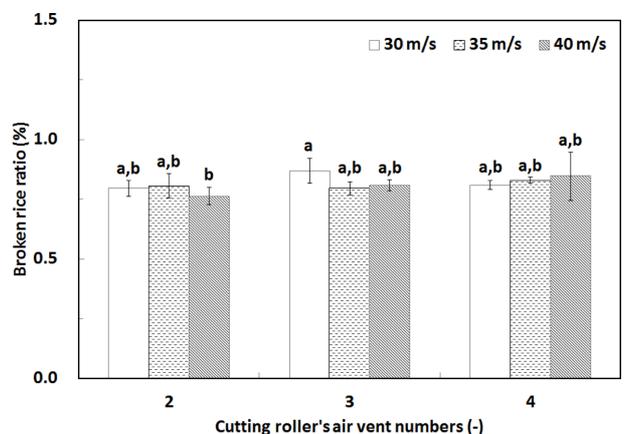


Fig. 5. Comparison of broken rice ratio depending on the number of a cutting roller's air vent and blowing velocity. Values are mean±SD. Means with different letters "a-b" above the bars are significantly different by Duncan's multiple range test ($p<0.5$).

와 송풍속도에 따른 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 현재 국내의 쌀 등급 기준 중 싸라기율은 3% 이하를 1 등급으로 분류하고 있으며, 모든 실험조건에서 1 등급 기준을 충족하는 것으로 나타났다.

한편, 마찰식 정미기의 싸라기율은 일반적으로 3-5% 정도이기 때문에 절삭식 정미기를 이용할 경우 도정수율 측면에서 경제성이 높을 것으로 판단된다(Keum, 2008).

이와 같이 절삭식 정미기를 이용하여 현미를 가공할 경우 싸라기율이 낮은 이유는 기존 마찰력과 찰리력을 이용하여 백미를 가공하는 마찰식 정미기에 비해 절삭력을 이용하여 비교적 낮은 압력에서 백미를 가공하기 때문에 싸라기율이 낮은 것으로 판단된다.

탁도

절삭식 정미기의 절삭롤러 통풍구 수와 송풍속도에 따른 탁도 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 탁도는 백미를 씻을 때 백미 표면에 붙어있는 미세한 쌀겨 및 성분 일부가 물에 씻겨 나오는 과정에서 발생하는 쌀뜨물의 탁한 정도이며, 일반적으로 백미의 탁도는 60-70 ppm 정도이다(KFRI, 2010).

Fig. 6에서 알 수 있듯이 모든 조건에서 송풍속도가 증가할수록 탁도는 감소하는 경향을 보였다.

정백 후 백미의 탁도는 절삭롤러 통풍구 수 2구의 경우 송풍속도 30, 35, 40 m/s에서 각각 68.0, 65.5 및 54.4 ppm으로 나타났다. 또한 3구에서는 송풍속도 30 m/s 조건이 71.4 ppm, 송풍속도 35 m/s는 64.8 ppm, 40 m/s에서는 55.5 ppm으로 나타났다. 4구 조건의 경우 탁도는 송풍속도 30, 35, 40 m/s에 따라 각각 72.2, 63.3, 54.2 ppm으로 측정되었다.

이와 같이 송풍속도가 빠를수록 탁도가 낮은 이유는 절삭날에 의해 제거된 호분층이 강한 송풍에 의해 백미 표면으로부터 분리가 원활하게 이루어졌기 때문으로 판단된다.

에너지 소비량

Fig. 7은 절삭식 정미기의 절삭롤러에 장착된 통풍 간극링의 통풍구 수와 송풍속도에 따른 백미 1 ton을 생산하기 위한 에너지 소비량을 나타낸 것이다.

Fig. 7에 나타냈듯이 정백 중 에너지 소비량은 절삭롤러 통풍구 수 2구, 송풍속도 30, 35, 40 m/s의 조건에서 각각 10.96, 10.42, 9.60 kWh/ton으로 측정되었고, 30 m/s 조건보다 35 및 40 m/s 조건이 각각 4.9, 12.4% 정도 에너지 소비량이 절감되는 것으로 나타났다. 또한 통풍 간극링의 통풍구 수 3구에서 에너지 소비량은 송풍속도 30, 35, 40 m/s에 따라 각각 10.60, 9.84 및 9.65 kWh/ton으로 측정되었으며, 4구 조건의 경우 송풍속도 30, 35, 40 m/s 조건에 따라 각각 11.31, 10.31 및 10.01 kWh/ton으로 나타났다.

한편, 통풍구 수에 따른 에너지 소비량은 3구 조건이 비

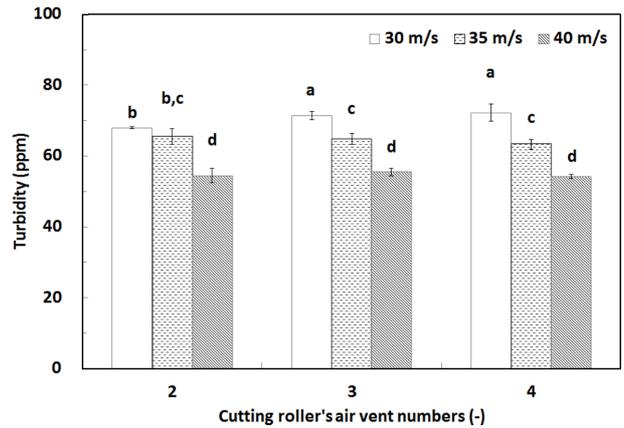


Fig. 6. Comparison of turbidity depending on the number of a cutting roller's air vent and blowing velocity. Values are mean±SD. Means with different letters "a-d" above the bars are significantly different by Duncan's multiple range test ($p<0.5$).

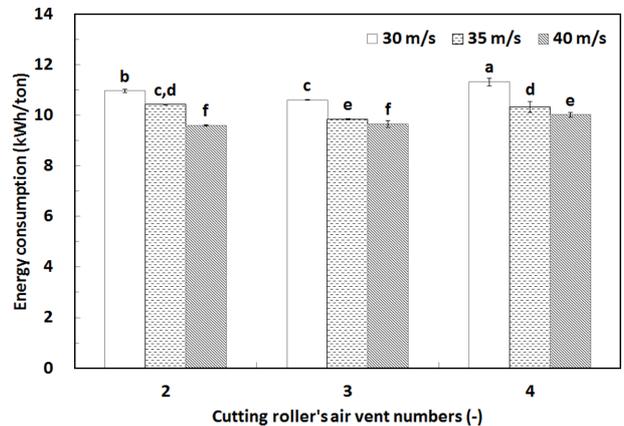


Fig. 7. Comparison of energy consumption depending on the number of a cutting roller's air vent and blowing velocity. Values are mean±SD. Means with different letters "a-f" above the bars are significantly different by Duncan's multiple range test ($p<0.5$).

교적 적은 것으로 나타났으며, 송풍속도가 증가할수록 에너지 소비량이 감소하는 경향을 보였다.

이와 같이 송풍속도가 빠른 조건에서 에너지 소비량이 적은 이유는 강한 송풍작용으로 인하여 가공 중 정백실 내에 부하가 적게 걸렸기 때문으로 판단된다. 또한 통풍구 수 3구 조건이 4구 조건과 비교하여 에너지 소비량이 적게 측정된 것은 전술한 바와 같이 4구 조건의 경우 정백실로 투입되는 송풍량이 많아 정백 중 배출 속도가 빨라지면서 정백 압력이 감소한다. 이로 인하여 백도가 저하되므로 백도 저하 방지를 위해 배출구 압력판에 가압을 하면 정백 부하가 커지면서 에너지 소비량이 증가하기 때문이다.

요 약

본 연구에서는 절삭식 정미기의 절삭롤러에 장착된 통풍

간극링의 통풍구 수와 정백 중 발생하는 미강제거에 필요한 흡인 송풍속도가 정백특성에 미치는 영향을 구명하여 절삭식 정미기 개발의 기초자료를 제시하고자 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

백도는 모든 조건에서 38 ± 0.5 로 측정되어 균일하게 정백된 것으로 나타났다. 정백 후 곡은 상승은 송풍속도가 증가할수록 곡은 상승이 낮아지는 경향을 보였고, 절삭롤러 통풍구 수 3구, 송풍속도 35, 40 m/s 조건에서 각각 15.4°C, 14.6°C로 나타났다. 동할미율은 절삭롤러 통풍구 수 3구, 송풍속도 35 m/s 조건에서 2.13%로 가장 낮게 측정되었다. 싸라기율은 모든 조건에서 0.762-0.869%로 낮은 범위를 보였다. 백미 1 ton을 생산하기 위한 에너지 소비량은 송풍속도가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

따라서 절삭식 정미기의 절삭롤러 통풍구 수와 미강제거를 위한 흡인 송풍속도에 따른 적정 정백조건은 곡은, 동할미율, 싸라기율의 품질적인 측면과 에너지 소비량 등을 고려할 경우 절삭롤러 통풍구 수 3구, 송풍속도 35 m/s 조건이 적절한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국책기술개발사업(PJ011689)의 연구비 지원으로 수행되었음.

References

- Chung JH. 1997. Development of one-pass whitener with cutting blades of hard metal. *J. Biosystems Eng.* 22: 199-209.
- Kang TH, Ning XF, Han CS, Cho SC. 2010. Effect of abrasive processing in the milling process on the quality of rice. *J. Biosystems Eng.* 35: 169-174.
- Kang TH, Kang SH, Won JH, Cho BH, Kye HB, Kim HJ, Ahn HH, Han CS. 2015. Milling characteristics of high-efficient cutting type rice milling machine. pp. 245-246. In: *Proceeding of KSAM 2015 Autumn Conference*. October 29-30, Byeonsan, Korea.
- Keum DH. 2008. *Post-harvest Process Engineering*. CIR, Seoul, Korea.
- KFRI. 2010. Development of the quality standard and related system for clean rice. Final Report of MAFRA, 11-1541000-000512-01.
- Kim H, Kim DC, Lee SE, Kim OW. 2009. Milling characteristics of milled rice according to milled ratio of friction and abrasive milling. *J. Biosystems Eng.* 34: 439-445.
- Lee HJ, Kim OW, Kim H, Kim BS, Han JW, Han CS, Jung JY. 2013. Development of ubiquitous rice intake management systems for rice processing complex. *J. Soc. e-Bus Stu.* 18: 175-189.
- Lim KT, Kim JH, Chung JH. 2014. Development of a vertical embryo-retaining rice producing system with abrasive and friction rollers. *J. Korean Soc. Food Sci. Eng.* 18: 242-247.
- Yan TY, Chung JH. 2004. Development of miller producing clean white embryo rice using a vertical miller. *J. Biosystems Eng.* 29: 121-130.
- Yoon DH. 2007. Uniformity of milled rice and automatic. PhD thesis, Sugkyukwan University, Suwon, Korea.