

세라믹 롤러와 금속 롤러의 쌀 분쇄 생성물특성 분석

An Analysis for Particulate Characteristics in Rice Milling using Ceramic and Metal Rollers

강위수*	강화석*	양승기*	목효균*	이해익**
정회원	정회원	정회원	정회원	
W.S.Kang	W.S.Kang	S.K.Yang	H.K.Mok	H.I.Rhee

1. 서 론

국내 방앗간은 대부분 롤러밀을 이용하여 섬유질이 많거나, 단단하며 전분이 많이 함유된 것, 또는 젖은 재료 등을 분쇄하는 다용도 분쇄기를 사용하고 있다. 그러나 이 롤러밀은 분쇄 공정 상에서 두 롤 간의 접촉압력과 회전 속도차에 의해 발생하는 전단력으로 접촉부위에 마찰열이 발생되어 마찰 부분이 용착을 일으켜 그 필립이 제거되고, 다시 새로운 접촉면이 나타나게 되는 압착분리 현상이 반복적으로 일어나게 되어 롤의 마모가 발생하게 된다. 일반적으로 우리 나라에서 사용하고 있는 롤의 금속성분은 3.0~3.6wt.%C, 4.5~4.8wt.%Si, 0.3~0.7wt.% Mn, 0.03~0.1wt.%P, 0.02~0.09wt.%S인 금속 성분을 가진 회주철 금속소재로 생산되고 있다.⁽²⁾ 이런 금속성분비를 가진 롤의 표면은 생산시 냉각속도에 의해서 경도가 50HRC 이상이 되는 경질상인 백주철 조직을 갖게 되나, 표면에서 깊이 2mm 이상 들어가면 경도가 10HRC인 연질상의 회주철 금속 조직을 갖게 된다.⁽⁷⁾ 이러한 조직을 가진 롤러밀을 사용함으로써 단단한 재료를 분쇄시 연성을 가진 롤 표면이 마모되면서 분쇄생성물에 섯가루의 혼입이 초래된다. 금속 조직면에서는 롤의 표면 경도가 높더라도 유리 페라이트가 혼재되어 있기 때문에 마모가 쉽게 일어나게 되어 분쇄생성물에 혼입이 될 수 있다. 이와 같은 현상으로 회주철 소재로 된 롤러밀은 분쇄시 분쇄생성물에 섯가루가 항상 소량이 혼입되는 원인이 될 것이다.

그러므로 국민 보건 증진 차원에서 다용도 식품 분쇄기로써 사용 할 수 있는 이상적인 롤 소재는 다음과 같은 성질을 만족하여야 할 것이다;

- 물성이 단단하거나, 섬유질 함유량이 많거나, 수분 함량이 많은 재료를 분쇄시 마모에 의한 섯가루가 분쇄생성물에 혼입되지 않는 내마모성 롤 소재로 구성되어야 하고,
- 물이나 화학약품에 부식되지 않는 내부식성 성질을 갖고 있어야 하며,
- 분쇄효율의 향상을 위하여 롤은 충격, 압축, 전단, 마찰에 강한 소재로 구성되어야 하고,

+ 본연구는 농림기술개발연구비 및 태광식품기계의 참여기업연구비로 수행되었음

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업공학부 농업기계전공

** 강원대학교 농업생명과학대학 식품생물공학부 생명공학전공

- 롤은 표면에 적절한 마찰력을 가짐으로서 재료의 미끄러짐을 방지할 수 있도록 표면의 거칠기 $R_z : \approx 10 \mu\text{m}$ 로 구성되어야 하고,
- 식품의 성분 및 색상은 분쇄시 마찰열에 의해서 변질되지 않도록 열전달 계수가 낮은 소재로 구성되어야 한다.

본 연구의 목적은 세라믹 롤러와 금속 롤러의 분쇄 생성물의 물리적 특성 및 화학적 성분 조성을 분석하기 위하여 두 롤의 간격, 속도, 롤 통과횟수의 3가지 변수로서 실험을 하여, 식품가공에 적합한 분쇄생성물의 특성을 규명하고, 세라믹 롤러밀의 소재와 생산기술의 설계 및 제작의 기초연구에 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구는 1차 실험으로 1997년 강원도 철원産 오대 품종으로, 춘천농협에서 도정된 백미(품질 인증미)를 공시재료로 택하여 상온(24℃)에서 저장하여 사용하였다.

2.2 실험장치

분쇄생성물의 특성을 조사하기 위하여 태광 식품기계에서 제작한 소요동력 3마력의 분쇄기에 세라믹 롤과 금속 롤을 교체하여 실험하였으며, 실험재료의 일정한 투입을 위하여 롤 상부에 Vibrator를 설치하였고, 롤의 속도 변화를 0~102rpm/min까지 조절할 수 있도록 속도변환기(Inverter)를 설치하였다. 그리고 분쇄생성물의 입도분포를 측정하기 위하여 Ro-tap(홍진정밀, HJ-215)을 이용하였다.⁽³⁾

2.3 실험방법

실험용 세라믹 롤러밀과 금속 롤러밀을 설계 및 제작하여 분쇄조건(두 롤러 사이의 간격, 속도, 통과횟수 증가)을 변화 시켰을 때 분쇄생성물에 미치는 영향을 측정하기 위하여 아래와 같은 조건에서 실험을 하였고, 공시재료인 쌀은 상온에서 1시간 수침 시킨 후, 수포로 쌀 표면의 물기를 제거한 후 실험에 이용하였다.

표 1은 분쇄생성물의 특성을 조사하기 위한 분쇄조건을 나타낸다.

Table 1. Grinding conditions for measurement of particulate characteristic in rice milling using ceramic and metal rollers

	Roller mill gap (mm)	Roller speed ($R_f : R_s$)	Number of milling treatment
Level	0.05	47.5 : 23.7 rpm 101.6 : 50.8 rpm	1
	0.13		2
	0.25		3
	0.50		

3. 결과 및 고찰

본 연구의 수행을 위하여 제작된 실험용 세라믹과 금속의 두 종류의 롤러밀을 이용하여 두 롤러의 간격, 분쇄속도, 롤 통과횟수 등의 분쇄조건에 따른 분쇄생성물의 특성을 측정하였으며, 그 결과는 표3~표5와 같이 분석되었다.

3.1 두 롤러 사이의 간격, 속도, 롤 통과횟수 증가가 분쇄소요에너지에 미치는 영향

표2, 3, 4는 두 롤러 사이의 간격증가, 속도증가, 롤 통과횟수 증가가 분쇄소요에너지에 미치는 영향에 대하여 분석한 결과치이다.

Table 2. Effect for increase of gap between rollers on particle size reduction in rice milling using ceramic and metal rollers

Ceramic roller mill		Metal roller mill	
Roller mill gap (mm)	Avg. of particle (μm)	Roller mill gap (mm)	Avg. of particle (μm)
0.05	274 b	0.05	272 c
0.13	295 b	0.13	362 b
0.25	274 b	0.25	357 b
0.50	425 a	0.50	449 a

† Means with same letters are not significant by Duncan's multiple range tests, at the 5% level

Table 3. Effect for increase of roller speed on particle size reduction in rice milling using ceramic and metal rollers

Ceramic roller mill		Metal roller mill	
Roller speed ($R_f : R_s$)	Avg. of particle (μm)	Roller speed ($R_f : R_s$)	Avg. of particle (μm)
47.4 : 23.7 rpm	299 a	47.4 : 23.7 rpm	375 a
101.6 : 50.8 rpm	327 a	101.6 : 50.8 rpm	368 a

* R_f = Fast roller, R_s = Slow roller

† Means with same letters are not significant by Duncan's multiple range tests, at the 5% level

Table 4. Effect for the number of milling treatment on particle size reduction in rice milling using ceramic and metal rollers

Ceramic roller mill		Metal roller mill	
Number of milling treatment	Avg. of particle (μm)	Number of milling treatment	Avg. of particle (μm)
1	402 a	1	424 a
2	312 b	2	349 b
3	248 c	3	307 c

† Means with same letters are not significant by Duncan's multiple range tests, at the 5% level

표 2에서 롤의 간격이 0.05, 0.50mm에서는 세라믹 롤러밀과 금속 롤러밀간에는 분쇄생성물의 평균입도가 큰 유의차를 보이지 않았으며, 0.13, 0.25mm경우는 세라믹 롤러밀이 금속 롤러밀보다 각각 67, 83 μm 정도 더 미분쇄 되는 것으로 분석되었다. 표 3에서 분쇄속도가 47.4, 101.6rpm의 경우 세라믹 롤러밀이 금속 롤러밀보다 각각 77, 40 μm 정도 더 미분쇄 되는 것으로 분석되었다. 표 4에서는 분쇄물이 두 종류의 롤을 1·2회 통과시 분쇄생성물의 평균 입도는 유의차를 나타내지 않았으나, 3회 통과시에는 세라믹 롤러밀이 금속 롤러밀보다 60 μm 정도 더 미분쇄 되는 것으로 분석되었다.

3.2 세라믹 롤러밀과 금속 롤러밀의 분쇄생성물의 입도분포

표 5는 본 연구에서 설계 제작한 세라믹 롤러밀과 금속 롤러밀을 이용하여 분쇄한 쌀가루의 분쇄생성물의 입도 분포를 분석한 결과치이다.

Table 5. Comparison for particle size reduction in rice milling using ceramic and metal rollers

	Roller mill gap (mm)	M. C (%)	Sieve size (μm , g)						Avg. of particle (μm)
			1190 ~590	590 ~297	297 ~210	210 ~149	149 ~74	74 ~53	
Ceramic Roller mill	0.05	25.8	8.0	19.0	21.1	17.4	31.2	3.3	162
	0.13	25.8	14.9	26.8	20.8	11.8	20.3	5.4	177
	0.25	25.8	4.8	22.5	25.4	20.0	25.8	1.5	170
	0.50	25.8	63.6	19.1	7.0	4.8	5.5	0	436
Metal Roller mill	0.05	25.8	0.3	36.5	26.9	15.2	20.0	1.3	187
	0.13	25.8	7.7	56.0	16.1	19.5	0.8	0	288
	0.25	25.8	14.1	56.2	11.4	16.2	2.0	0	308
	0.50	25.8	44.7	27.3	11.2	6.9	9.9	0	319

표 5는 세라믹 롤러밀과 금속 롤러밀을 이용하여 함수율(26%, w.b.), 롤러 간격(0.05mm), 분쇄속도(101.6rpm), 롤 통과횟수(2회)가 모두 동일한 분쇄조건에서 실험한 쌀가루의 평균 입도를 비교하면 아래와 같다.

- ① 세라믹 롤러밀의 분쇄생성물은 297 μ m 이하가 27%, 297~149 μ m가 38.5%, 149 μ m 이상이 34.5%의 입도로 나타났고, 평균 입도는 162 μ m로 분석되었다.
- ② 금속 롤러밀의 분쇄생성물은 297 μ m 이하가 39.5%, 297~149 μ m가 42.1%, 149 μ m 이상이 21.3%의 입도로 나타났고, 평균 입도는 187 μ m로 분석되었다.

이상과 같은 분쇄효율을 비교하면 세라믹 롤러밀이 금속 롤러밀보다 평균 입도가 더 미분쇄 되었고, 149 μ m 이상인 경우 미분쇄 효율은 13%정도 높게 분석됨으로서 세라믹 롤러밀이 금속 롤러밀보다 분쇄생성물의 분쇄효율이 우수하게 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 식품 가공에 범용으로 사용 할 수 있는 세라믹 롤러밀을 양산화 하기 위하여 1차적으로 실험용 롤러밀을 설계하였고, 실제 실험용 세라믹 롤러밀과 금속 롤러밀을 제작하여 분쇄에 중요한 요인인 두 롤러의 간격, 분쇄속도, 분쇄물의 롤 통과 횟수 등의 분쇄 조건을 변화시키면서 분쇄 소요 에너지와 분쇄 생성물 특성을 쌀 분쇄 실험을 통하여 분쇄 조건을 분석하였으며, 연구의 주요내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 분쇄시 세라믹 롤러밀의 분쇄생성물의 평균입자 크기는 300 μ m이고, 금속 롤러를 사용한 경우는 780 μ m이므로, 세라믹 롤러밀이 평균입자 크기가 2배이상 작게 나타나 분쇄 효율이 향상되는 것으로 나타났다.
- 2) 현재 국내에서 일반적으로 사용하는 롤의 속도가 $R_f : R_s = 47.4 : 23.7\text{rpm}$ 인 경우 평균입자 크기는 1차 분쇄시 0.35mm, 2차 분쇄 후 0.30mm로 측정되었고, 롤의 속도를 $R_f : R_s = 101.6 : 50.8$ 로 증가시킨 경우 평균입자 크기는 1차 분쇄 후 0.37~0.41mm, 2차 분쇄 후 0.21~0.26mm로 측정되었다. 즉, 종래의 분쇄회전 속도를 2배 증가시켜도 입자의 평균 크기는 오히려 0.5mm 작아짐으로써 분쇄효율이 향상됨이 분석되었다.
- 3) 세라믹 롤러밀을 이용하여 분쇄한 분쇄생성물(쌀가루)은 297 μ m 이하가 27%, 297~149 μ m가 38.5%, 149 μ m 이상이 34.5%의 입도 분포로 구성되었고, 평균 입도는 162 μ m로 분석되었다.
- 4) 금속 롤러밀을 이용하여 분쇄한 분쇄생성물(쌀가루)은 297 μ m 이하가 39.5%, 297~149 μ m가 42.1%, 149 μ m 이상이 21.3%의 입도 분포로 구성되었고, 평균 입도는 187 μ m로 분석되었다.
- 5) 100mesh 이상인 경우 미분쇄 효율은 13%정도 높게 분석됨으로서 세라믹 롤러밀이 금속 롤러밀보다 분쇄생성물의 분쇄효율이 우수하게 나타났다.

이상의 실험 결과, 실험용으로 설계 제작한 세라믹 롤러밀과 금속 롤러밀의 분쇄효율을 비교하면 세라믹 롤러밀이 금속 롤러 보다 분쇄 입도가 2배정도 더 미분쇄 되는 것으로 분석되어 분쇄효율이 우수한 것으로 분석되었다.

5. 참고문헌

- 1) 강석호, 1995. 분체공학. 회중당.
- 2) 고춧가루 분쇄기의 표준화에 관한 연구보고서(1996, 12). 국립기술품질원.
- 3) 강위수, 1999. 세라믹 롤러와 금속 롤러의 쌀 분쇄소요에너지. 강원대학교.
- 4) 한국식품개발 연구원, 1998. 쌀가루의 기능성 변형기법 개발. 과학기술처.
- 5) 한국식품개발 연구원, 1994. 용도별 쌀가루의 특성규명 및 제조방법에 관한 연구.
- 6) ASAE Standards, 33rd Ed. 1985. S319.1.St Joseph, MI : ASAE
- 7) Metals Handbooks(1987). in properties and selection iron and steel. Vol.1, American Society for metals