

**세라믹과 회주철 치형롤 분쇄기를 이용하여 고추분쇄시
전단력 증가가 분쇄 생성물에 미치는 영향 분석**
**Effect of the Increment of Shear Stress on Particulate
Characteristic in Red-Pepper Milling Using Ceramic and
Gray-iron Grooved Rollers**

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

1. 서 론

우리 나라의 식품가공은 대부분 재래식 식품분쇄업체에서 평롤과 치형롤을 이용하여 쌀가루, 고춧가루, 콩가루 등을 분쇄하는데 사용하고 있다. 우리 나라 경우 김치류, 고추장 등의 전통발효식품의 숙성을 위하여 고춧가루의 수축 복원력을 향상시킬 수 있는 압축력과 전단력을 동시에 이용하여 분쇄하는 압축식 치형 분쇄 롤을 사용하고 있다.⁽²⁾

현재 식품가공 분야에서 사용하고 있는 롤 분쇄기는 주로 중간 미분쇄용으로서 분쇄 생성물 입자의 크기와 형태에 따라 롤의 표면에 치형이 있는 치형롤과 치형이 없는 평롤로 구별하여 사용하고 있다. 제분 가공 공정에서는 치형롤을 이용하여 조분쇄시킨 후 평롤을 이용하여 미분쇄하고 있다. 섬유질이 많이 포함된 고추를 고춧가루로 분쇄하기 위하여 종래 사용되던 절구의 충격분쇄방법을 이용하여 뺀 방식에서 생산성을 향상시키기 위해 1960년대 중반부터 치형롤이 사용되었으며, 롤의 치형 간격은 5~10mm, V형 치형의 크기 3~5mm, 치형의 각도는 8~25° 등 국내 특유의 압축식 롤 밀 형태의 분쇄기를 각 분쇄기회사들이 독자적인 유형으로 제조하였으나, 지금까지 전체적인 구조는 크게 변화가 없었다.⁽⁶⁾

경제적인 분쇄공정을 얻을 수 있는 방안은 롤의 크기 및 형상에 좌우될 것이다. 기존의 방앗간에서 사용하는 분쇄기의 롤은 분쇄생성물의 특성(분쇄생성물의 크기, 색도 등)을 고려하지 않고 대부분 중소기업의 롤을 사용하다보니 롤의 크기나 형상이 일정하거나, 아니면 적경이나 길이에서 그 차이가 조금 있을 뿐이다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 분쇄물의 특성에 맞는 롤의 개발이 시급하지만 아직까지는 실험이 미비한 상태여서 차후에 여기

+ 본 연구는 농림기술개발연구비 및 태광식품기계의 참여기업연구비로 수행되었음.

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업공학부 농업기계공학과

** 강원대학교 농업생명과학대학 식품생물공학부 생명공학전공

에 대한 실험이 연구되어야 할 것이다.

고추 같이 섬유질을 많이 포함한 식품들은, 압축력이나 충격력(impact force)에 의하여 쉽게 분쇄되지 않으므로, 절단이나 전단력을 이용하면 효과적이다. 롤러밀은 두 롤을 기어를 이용하여 회전비를 자유자재로 조절할 수 있어 햄더밀이나 핀밀 등의 분쇄기에 비해 전단력의 실험이 용이하다. 하지만 아직까지 분쇄기의 전단력에 관한 연구가 미비한 상태이므로, 본 실험은 전단력의 증가에 따른 분쇄생성물의 특성을 분석하고자 하였다.

본 실험의 목적은 기존의 두 롤의 회전비 1:2의 문제점을 보완하기 위하여 두 롤의 회전비를 1:3~1:5로 증가시키고 또한 분쇄물의 롤 처리횟수를 1~8차까지 두어, 두 롤의 회전비 증가와 분쇄물의 롤 처리횟수, 롤 속도간 분쇄생성물에 미치는 영향을 분석하여 특성 규명, 세라믹 롤러밀의 소재와 생산기술 설계 및 개발에 이용하도록 최적의 설계조건을 찾는 데 그 목적이 있고, 차후에는 롤의 길이와 직경에 대한 분쇄생성물의 특성에 관한 실험이 이루어져야 할 것이다.

2. 재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구는 1차 실험으로 98년산 홍천산 태양초(다복)를 공시재료로 택하여 저온(-2℃)에서 저장하여 사용하였다. 공시재료 구입시 1차적으로 고추씨 제거기로 고추씨의 양을 약 80%정도 제거를 하고, 2차적으로 고추의 표면을 수포로 닦아낸 후, 3등분하여 또 한번 고추씨를 제거하여 전체적으로 90%이상 고추씨를 제거하여 실험에 이용하였다.

2. 실험방법

실험용 세라믹과 회주철 치형분쇄기를 설계 및 제작하여 분쇄조건(두 롤의 회전비별, 속도별, 통과횟수 증가별)을 변화 시켰을 때 분쇄생성물특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 아래와 같은 조건에서 실험을 하였다.

표 1은 분쇄생성물의 특성을 조사하기 위한 분쇄조건이다.

Table 1. Grinding conditions for measurement of grinding-energy in Red-Pepper milling using ceramic and gray cast iron grooved rollers

	Ratio of rollers	Milling velocity ($R_f : R_s$)	Number of milling treatment
Level	1 : 2		1 ~ 8
	1 : 3	40.2 : 20.1 rpm	
	1 : 4	80.2 : 40.1 rpm	
	1 : 5		

분쇄물인 건고추는 두 롤의 간격이 조금이라도 떨어져 있으면 분쇄효율이 떨어지므로 본 실험에서는 두 롤의 간격을 밀착시켜 실험을 하였고, 분쇄시 두 롤러의 분쇄속도비는 R_f (고속 roll) : R_s (저속 roll) = 2 : 1로 하였고, 분쇄속도를 $R_f : R_s = 40.2 : 20.1$, $R_f : R_s = 80.2\text{rpm} : 40.1\text{rpm}$ 의 2 수준으로, 롤 회전비는 1:2~1:5로 하여 분쇄속도와 회전비 증가가 분쇄생성물에 미치는 영향을 분석하였다. 분쇄속도를 최대 40.2, 80.2rpm으로 선정한 것은 일반적으로 우리 나라에서 고추분쇄시 사용되는 롤의 속도는 40rpm 정도이므로, 본 실험에서도 롤의 속도를 기존보다 2배 증가시켰을 때 분쇄처리량과 분쇄효율에 미치는 영향을 비교분석 하였다. 그리고 현행 우리 나라 대부분의 방앗간에서 건고추 분쇄시 8차분쇄까지 이루어지고 있는 실정이어서 본 실험에서도 그것과 같은 수준인 8차분쇄까지 롤을 통과시켜 비교 실험을 하였다.

3. 실험장치 설계 및 제작

각 식품 분쇄물의 물리적 성질 때문에 두 roller의 회전비가 식품 분쇄생성물의 특성에 영향을 준다. 본 연구에서는 두 roller의 회전비 변화에 따른 식품 분쇄생성물의 특성을 분석하기 위하여 두 roller의 회전비를 조정할 수 있는 실험용 Ceramic roller mill을 설계하였다.

분쇄기의 동력은 3HP인 Motor를 설치하여, 입력축 회전속도를 1750rpm/min으로 하였고, Pulley 및 gear를 이용하여 $R_f : R_s = 40.2 : 20.1$, $R_f : R_s = 80.2\text{rpm} : 40.1\text{rpm}$ 의 속도비로 조정할 수 있도록 각각 설계하였다($R_f = \text{fast roller}$, $R_s = \text{slow roller}$). 공시재료의 일정량을 roll에 투입하기 위하여 Vibrator(SMF-01S, 신창 Vibrator)를 roll 상부에 설치하였으며, 각 식품 분쇄물의 물리적 성질에 따른 분쇄생성물의 특성에 미치는 영향을 분석하고자 속도변환기(Inverter:SV015iG-2, LG)를 장착하여 roller의 회전속도를 0~102rpm/min까지 조정할 수 있도록 설계 및 제작하였다. 또한 롤 사이에 간격 조절을 위한 spring을 삽입하여, 볼트로 된 핸들(handle)을 이용하여 간격을 일정하게 조절할 수 있도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구의 수행을 위하여 제작된 실험용 세라믹과 회주철 치형롤을 이용하여 롤러분쇄기의 3가지 분쇄요인인 두 롤의 회전비별, 롤의 회전속도별 및 분쇄물의 롤 통과횟수별 등의 증가가 분쇄생성물에 미치는 영향을 분석하기 위하여 분쇄 입도 크기, 시간당 분쇄 능력 등을 측정하였고, 분쇄시 분쇄요인에 의한 롤러의 마모로 발생하는 쇳가루 혼입량을 조사하기 위하여 철(Fe) 성분을 측정하였으며 그 결과값은 다음과 같이 분석되었다.

표 2는 분쇄속도 80rpm일 때 롤의 회전비 및 분쇄처리횟수 증가가 분쇄생성물에 미치는 영향에 대하여 나타낸 것이다. 분쇄생성물 d50 구간의 입도를 분석해 보면, 회주철치형롤 회전비 1:2에서 분쇄처리 1차 후 2,185 μm 로 조파쇄의 구간 영역, 2~3차분쇄 후 1,685~1,120 μm 로 중간조파쇄 영역, 4~8차분쇄 처리 후 946~576 μm 로 중간미분쇄의 영역으로

구분되었고, 5차 이상 분쇄 처리 후에는 고춧가루 미분쇄효율의 증가폭이 낮았다. 물의 회전비 1:5 경우 분쇄생성물 d50구간의 입도는 1~3차 분쇄처리까지 978~717 μm 로 중간미분쇄 영역이고, 4~8차 분쇄처리까지 609~511 μm 로 분석되었다. 4차 이상 분쇄처리 후부터는 중간미분쇄에서 미분쇄 구간으로 분쇄생성물의 미분화가 되었으나, d50 입자크기의 변화 폭은 작게 분석되었고, 분쇄 처리 2차 분쇄처리 후 굵은 고춧가루를 생산할 수 있었고, 4차 분쇄처리 후 <825 μm 를 60%이상 통과하였으나, <425 μm 고춧가루 입자는 8차 분쇄처리 후에도 30%만 통과됨으로써 보통고춧가루를 생산할 수 없었다. 6회 이상 분쇄처리 후에는 고춧가루 미분쇄능의 증가폭의 변화가 작아짐으로서 임계 분쇄 처리 횟수는 6차임을 분석할 수 있었다.

Table 2. Effects of the milling velocity, ratio of rollers and the number of treatment on particulate characteristic in red pepper milling using ceramic and gray-cast-iron grooved roller

		Ratio of rollers of gray-cast-iron grooved roller (1:2), μm							
Number of treatment		1	2	3	4	5	6	7	8
d60		2315	1837	1315	1065	880	794	739	696
d50		2185	1685	1120	946	761	652	587	576
		Ratio of rollers of gray-cast-iron grooved roller (1:5), μm							
Number of treatment		1	2	3	4	5	6	7	8
d60		1120	1011	859	739	728	620	587	565
d50		978	880	717	609	598	544	533	511
		Ratio of rollers of ceramic grooved roller (1:2), μm							
Number of treatment		1	2	3	4	5	6	7	8
d60		2294	1294	1185	1033	837	772	696	652
d50		2120	1533	1011	924	696	630	587	565
		Ratio of rollers of ceramic grooved roller (1:5), μm							
Number of treatment		1	2	3	4	5	6	7	8
d60		1163	902	696	587	522	467	446	391
d50		1011	772	576	522	467	413	380	326

† d60 : 60% pass

d50 : 50% pass

세라믹치형물 물 회전비 1:2경우 분쇄생성물의 d50 구간의 입도를 비교해 보면 1차분쇄는 2,120 μm 로 조파쇄, 2~3차분쇄는 1,533~1,011 μm 로 중간조파쇄, 4~8차 분쇄처리과정에서는 924~565 μm 로 중간미분쇄 영역으로 구별되었다.

4차 분쇄처리 후 굵은 고춧가루를 생산할 수 있는 구간에 속하게 되었고, 6차 분쇄처리 후 <math><825\mu\text{m}</math> 입자크기 60%이상을 분쇄 할 수 있었다. 5차 이상 분쇄처리 후부터 고춧가루의 입자크기 미분쇄 변화폭이 작아져 임계 분쇄처리 횟수가 5차임을 분석 할 수 있었다. 물의 회전비 1:5경우 분쇄생성물의 d50구간의 입도를 비교해 보면 1차 분쇄과정에서 1,011 μm 로 중간조파쇄, 2~3차분쇄 처리 과정에서 609~511 μm 로 중간미분쇄, 4~8차 분쇄처리 과정에서는 467~326 μm 로 미분쇄 영역으로 나타났고, 2차분쇄 처리 후 <math><825\mu\text{m}</math>이 55%정도 분쇄되었고(굵은 고춧가루 기준 : 45%), 4차분쇄 처리 후 <math><825\mu\text{m}</math>이 80%정도, <math><425\mu\text{m}</math>가 20% 정도 분쇄되었다. 5차 분쇄처리 후 <math><825\mu\text{m}</math>가 90%, <math><425\mu\text{m}</math>가 40% 이상이 분쇄됨으로서 5차분쇄에서 보통고춧가루를 생산할 수 있는 것으로 분석되었다. 6차 분쇄처리 과정까지 미분쇄량이 증가되는 경향이였으며, 7차 이상 분쇄처리 과정에서부터 미분쇄량의 증가폭이 미세함으로서 임계 분쇄 처리횟수가 7차임을 분석 할 수 있었다.

Table 3. Analysis of Fe content in milled red pepper using ceramic and gray-cast iron grooved rollers

	Milling velocity (rpm)	Ratio of rollers	Fe content (mg/kg)
Control			21.77
Gray-cast iron grooved roller	40	1 : 2	88.76
		1 : 3	332.94
		1 : 4	283.91
		1 : 5	139.28
Ceramic grooved rollers	40	1 : 2	25.36
		1 : 3	24.47
		1 : 4	24.25
		1 : 5	34.60

표 3은 세라믹과 회주철치형롤을 이용하여 고추분쇄시 분쇄생성물에 포함되어 있는 철분 함량을 조사한 것이다. 공시재료의 철분함유량은 21.77mg/kg으로 분석되었고, 회주철 치형롤 40rpm 분쇄속도에서 회전비 1:2 경우 고춧가루 분쇄처리과정에서 회주철의 마모에 의하여 철함량이 공시재료보다 4배이상 상승한 89mg/kg로 분석되었고, 회전비 1:3과 1:4 경우 13~15배정도로 철함량이 상승하였고, 1:5 경우 6배정도로 증가하였다. 세라믹 치형롤에서의 쇳가루 발생량은 공시재료의 철 함량과 비슷하게 1.2~1.6배정도로 8차 분쇄처리 후 고춧가루 분쇄생성물에서 분석되었고, 세라믹 치형롤을 이용하여 고추분쇄시 롤의 분쇄속도, 회전비차등인 분쇄조건이 쇳가루 발생에 영향을 주지 않음을 분석할 수 있었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 치형롤러밀을 이용하여 고춧가루 생산시, 분쇄기의 전단력 증가에 따른 분쇄생성물의 특성을 분석하여 규명하고, 세라믹 롤러밀의 소재와 생산기술 설계 및 개발에 이용하도록 최적의 설계조건을 찾기 위하여 수행하였고, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 세라믹, 회주철치형롤을 이용하여 고추분쇄시 물의 회전비 증가에 따라 굵은고춧가루 생산횟수를 2회 정도 단축시킬 수 있는 것으로 분석되었다.
- 2) 본 연구에서 개발한 세라믹치형롤의 경우 분쇄속도 80rpm, 물 회전비 1:5 경우, 기존의 회주철치형롤의 분쇄속도 40rpm, 물 회전비 1:2보다 굵은고춧가루 생산횟수를 6회 단축할 수 있는 것으로 분석되었다.
- 3) 세라믹치형롤을 이용하여 고추분쇄시 기존의 회주철치형롤에서는 생산할 수 없었던 보통고춧가루를 5차분쇄에서 생산할 수 있어 세라믹치형롤을 사용하면 미분쇄능을 향상할 수 있을 것으로 분석되었다.
- 4) 공시재료의 철분함량은 21.77mg/kg로 분석되었고, 회주철 치형롤을 이용하여 고추분쇄시 물의 마모에 의하여 고춧가루 생성물에 혼입된 Fe는 분쇄속도 40rpm일 때, 회전비 1:2 경우 88.76mg/kg으로 공시재료보다 408%가 증가되었고, 물 회전비 1:3, 1:4 경우 1,529%, 1,304%만큼 철함량이 증가되었고, 회전비 1:5에서는 640%정도 증가하였다. 세라믹 치형롤에서는 분쇄속도와 물 회전비에 영향을 받지 않고 철분함량이 24.25~43.30mg/kg으로 고춧가루에 쇳가루가 제거된 청결식품을 제공할 수 있음이 분석되었다.

5. 참고문헌

- 1) 강석호, 1995. 분체공학. 회중당.
- 2) 강위수, 양승기, 목효균, 1999. 치형 세라믹 롤러와 금속 롤러의 고추 분쇄생성물 특성 분석. 한국농업기계학회지 1999년 하계학술대회, vol.4(2), p234~239
- 3) 김창은, 이홍립, 이형직, 이형복 공역, 세라믹 분체 재료학, 1994. 반도출판사.
- 4) 오건웅, 정영춘, 김동식, 함재호, 권영문, 1996. 고춧가루 분쇄기의 표준화에 관한 연구보고서. 한국기기유화시험연구원.
- 5) 한응수, 홍성희, 배민정, 고경육, 박지현, 1995. 고추와 고춧가루의 품질관리체계연구개발. 농협대학 농산물가공기술연구소.
- 6) 한응수, 홍성희, 배민정, 고경육, 박지현, 1996. 고추와 고춧가루의 품질관리체계연구개발. 농협대학 농산물가공기술연구소.
- 7) ASAE Standards, 33rd Ed. 1985. S319.1. St Joseph, MI : ASAE
- 8) Grinding Methods : Their Impact on Rice Flour Properties. K.D.NISHITA and M.M.BEAN, Western Regional Research Center, Agricultural Research Service, USDA, Berkeley, CA 94710.