

치형 세라믹 롤러와 금속 롤러의 고추 분쇄생성물 특성분석

An Analysis for Particulate Characteristic in Red Pepper Milling Using Ceramic and Metal Corrugation Rollers

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

1. 서 론

고추는 대부분 건고추를 곱은 고춧가루, 보통 고춧가루, 고운 고춧가루로 분쇄하여 김치류, 고추장 등의 발효식품과 양념류에 주로 사용되고 있으며, 국민 일인당 연간 소비량은 고춧가루를 기준으로 2.5Kg, 건고추를 기준으로 3.5Kg에 이르고 있다⁽¹⁾.

건고추를 가루로 분쇄하는 방법은 종래 절구로 찧어 뺀 방법에서 생산성을 높이기 위하여 1960년대 중반부터 국내 특유의 압축식 롤 밀(Roll Mill)형태의 분쇄방법으로 전환되었으며, 구미의 햄머 밀이나 디스크 밀에 의한 분쇄방법과는 차이가 있다. 이것은 소비형태에 의한 차이로서 우리는 발효식품의 숙성을 위하여 고춧가루의 수축복원력을 향상시키는 방법으로 고추과피의 섬유질을 압축력과 전단력을 이용하여 분쇄하는 형태인 반면에, 구미에서는 고춧가루를 단순히 조미향신료의 첨가제로 사용하는 차이점 때문이다⁽²⁾.

국내의 고춧가루 분쇄기는 분쇄 공정상에서 분쇄시 주철 롤러밀간의 마찰접촉에 의하여 접촉부위가 마모가 되어, 고춧가루에 혼입된 섯가루의 잔존문제가 여론화되면서 이를 최소화하기 위한 방안들이 제기되었고, 근본적으로 섯가루 혼입을 최소화하기 위하여 내마모성이 강한 롤러 소재 개발이 고춧가루 분쇄기의 표준화에 관한 연구보고서에 제안되고 있는 실정이다⁽³⁾.

고추분말의 가공기술개발에 관한 연구에 의하여 이물질이 제거된 청결 고춧가루를 생산하는 방법이 개발되어 고춧가루 생산성 증대와 품질향상에 기여하였으나, 분쇄시 분쇄물에 금속의 혼입을 막기 위하여 영구자석 선별기로 3차에 걸쳐 섯가루를 제거하여야 하고, 섯가루를 제거하기 위해서는 수분함량 14~15%에서 11%이하의 안전 함수율까지 건조하여야 한다^(3,5). 또한 금속 롤러 표면에 Ti를 코팅하여 분쇄시 섯가루 발생을 억제 하고자 하였으나, Ti 금속 소재의 미끄러지는 성질에 의하여 분쇄시 고추와 Ti재료사이의 마찰로 인하여

+ 본연구는 농림기술개발연구비 및 태광식품기계의 참여기업연구비로 수행되었음

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업공학부 농업기계전공

** 강원대학교 농업생명과학대학 식품생물공학부 생명공학전공

마찰열을 발생시켜 비타민을 파괴시키는 주요 원인이 되었고, 고운가루 분쇄에는 주철재 롤러가 우수한 것으로 분석되었다⁽⁴⁾. 그러나 국내소비 고춧가루의 90% 이상이 재래시장의 소형 방앗간에서 생산되고 있으므로 고춧가루에 혼입된 이물의 제거와 근본적으로 쇳가루 혼입을 억제 할 수 있는 대책이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구는 건고추 또는 조파쇄한 고춧가루를 분쇄할 때 발생할 수 있는 쇳가루 발생을 최소화하기 위한 방안을 연구하기 위하여 세라믹 롤러밀의 소재와 생산 기술의 설계 및 제작에 연구의 중점을 두었으며, 두 롤의 간격, 속도, 분쇄물의 롤 통과횟수의 3가지 변수가 분쇄 생성물에 미치는 영향을 분석하여, 고춧가루 원료에 적합한 분쇄생성물의 특성을 규명하고, 세라믹 롤러밀의 소재와 생산기술의 설계 및 제작의 기초연구에 이용하도록 최적의 설계조건을 찾는 데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구는 1차 실험으로 98년산 홍천산 태양초와 화천산 화건초를 공시재료로 택하여 저온(-2℃)에서 저장하여 사용하였다. 태양초와 화건초의 평균함수율은 각각 12.795%와 13.466%였으며, 고추의 표면은 수포로 닦아낸 후, 가위로 3등분하여 씨를 90%이상 제거하여 실험에 이용하였다.

2.2 실험장치

(1) 분쇄기

본 실험에 사용된 분쇄기는 태광식품기계(주)에서 제작한 소요동력 3마력(model KMi03HK1)의 롤러밀을 사용하였다. 롤의 재질은 세라믹과 주철 치형롤을 사용하였고, 두 롤의 직경과 길이를 같게 하여 교체하여 사용할 수 있게 하였다. 두 롤의 속도비는 헬리컬 기어(helical gear)를 사용하여 조절하도록 제작하였으며, 본 실험에서는 두 롤의 속도비율을 1:2로서 실험하였다.

(2) 고추의 공급장치

분쇄기에 공급되는 고추의 양을 일정한 속도로 분쇄기에 공급하는 것도 분쇄시 중요한 요인 중의 하나이므로, 이를 위하여 Vibrator(SMF-01S, 신창)를 롤 상부에 설치하여 공급속도를 1~10단계까지 일정량을 공급할 수 있도록 하였다. 본 실험에서는 투입량을 시간당 135~144Kg까지 투입할 수 있도록 하였다.

(3) 속도 변환기

식품 분쇄시 물리적 성질(전단력)에 따른 분쇄생성물의 특성에 미치는 영향을 분석하고자 속도 변환기(Inverter ; SV015iG-2, LG)를 장착하여 롤의 회전속도를 0~110rpm/min(0.97%)까지 조절할 수 있도록 하였다. 본 실험에서는 분쇄시 전단력이 분쇄생성물에 미치는 영향을 분석하기 위해서 두 롤의 회전비를 1:2로 하였다.

(4) 입도 분포 조사장치

분쇄생성물의 입도 분포는, Ro-tap(홍진정밀, HJ-215)으로 10분간 진탕한 후 각 Sieve에 잔류된 고춧가루의 양을 전기저울(AND FA300KV, JAPAN)로 소수점 3자리(0.001g)까지 칭량한 후, 다시 5분 정도 진탕하여 무게의 변동이 0.2%이내일 때 입도 분포를 분석하였다.

수분 측정은 105℃에서 3~5시간 건조한 후, 데시케이터에 넣어 실온에서 방치 냉각시킨 다음 무게를 측정하고 다시 1~2시간 건조하여 항량이 될 때까지 같은 조작을 반복한 후 수분함량을 측정하였다(한국산업규격 H-2157).

2.3 실험방법

실험용 세라믹 롤러밀과 금속 롤러밀을 설계 및 제작하여 분쇄조건(두 롤러 사이의 간격, 속도, 통과횟수 증가)을 변화시켰을 때 분쇄생성물에 미치는 영향을 측정하기 위하여 아래와 같은 조건에서 실험을 하였다.

표 1은 분쇄생성물의 특성을 조사하기 위한 분쇄조건을 나타낸다.

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

	Roller mill gap (mm)	Roller speed ($R_f : R_s$)	Number of milling treatment
Level	0 0.13	40.2 : 20.1 rpm 80.2 : 40.1 rpm	1
			2
			3
			4
			5

3. 결과 및 고찰

3.1 분쇄기 롤의 종류, 속도, 간격, 통과횟수에 대한 분산분석

본 연구의 수행을 위하여 제작된 실험용 세라믹과 주철 두 종류의 치형 롤러밀을 이용하여 분쇄생성물의 특성을 측정하기 위하여 평균 및 분산은 SAS(Statistical Analysis System)를 이용하여 구하였고, 롤러의 간격, 분쇄속도, 통과횟수 및 고추의 품종 등의 분쇄조건이 분쇄생성물에 어떤 영향을 미치는가를 구명하기 위하여 80개의 데이터를 가지고 분산분석을 하였다. 분산분석 결과는 표 2에 나타난 바와 같이 분쇄생성물의 평균입도에 미치는 영향은 분쇄물의 롤 통과횟수, 두 롤의 간격, 롤의 재질의 순이고, 롤의 속도는 분쇄생성물의 평균입도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었고, 또한 이들 변수간의 상호작용도 모두 통계적인 유의차가 있는 것으로 분석되었다.

Table 2. Analysis of Variance Procedure

Source	DF	SS	MS	F Value	Pr > F
Model	39	56.15681080	1.43991823	36.57	0.0001
ROLL	1	0.85449780	0.85449780	21.70	0.0001
RPM	1	0.07236045	0.07236045	1.84	0.1828
ROLL*RPM	1	0.01255005	0.01255005	0.32	0.5755
GAP	1	9.32568245	9.32568245	236.82	0.0001
ROLL*GAP	1	0.09261605	0.09261605	2.35	0.1330
RPM*GAP	1	0.78487220	0.78487220	19.93	0.0001
ROLL*RPM*GAP	1	0.36072980	0.36072980	9.16	0.0043
PASS	4	43.35675305	10.83918826	275.25	0.0001
ROLL*PASS	4	0.08851945	0.02212986	0.56	0.6916
RPM*PASS	4	0.14821705	0.03705426	0.94	0.4503
ROLL*RPM*PASS	4	0.15734095	0.03933524	1.00	0.4159
GAP*PASS	4	0.76692105	0.19173026	4.87	0.0027
ROLL*GAP*PASS	4	0.07748695	0.01937174	0.49	0.7416
RPM*GAP*PASS	4	0.01699255	0.00424814	0.11	0.9791
ROLL*RPM*GAP*PASS	4	0.04127095	0.01031774	0.26	0.9006
Error	40	1.57516300	0.03937908		
Corrected Total	79	57.73197380			

※ GAP : Roller mill gap Roll : Ceramic and Metal Corrugation Rollers
 Pass : Number of milling treatment rpm : Roller speed

3.2 분쇄기 롤의 종류별, 속도별, 간극별, 통과횟수별에 대한 입도분석

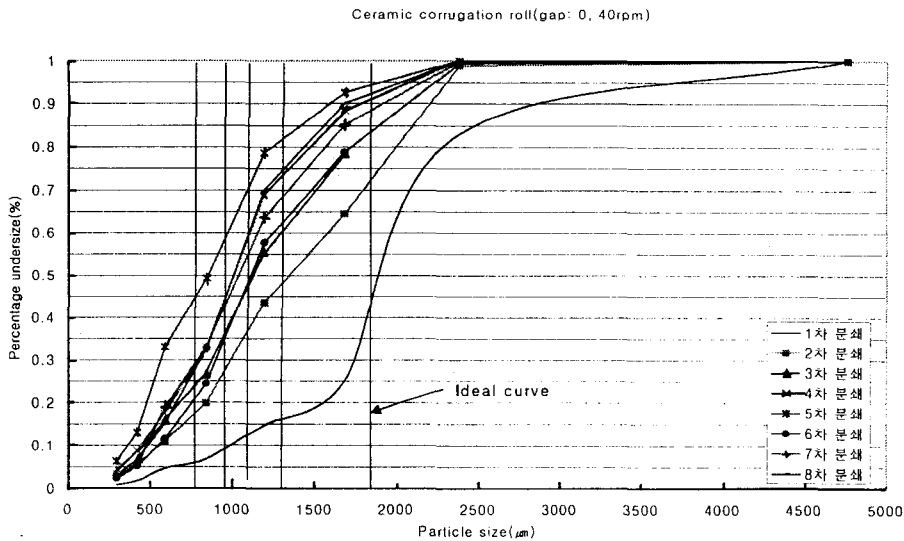


Fig 1. Effect for increase of number of milling treatment particle size reduction in red pepper using ceramic rolls

Table 3. Comparison for particle size reduction in Red Pepper milling using ceramic and metal rollers

	Gap (mm)	Percentage undersize(%)	number of milling treatment (μm)					
			3	4	5	6	7	8
Metal Roller	0	d ₉₅	2286	2143	2238	2262	1881	1667
		d ₇₅	1952	1405	1762	1833	1179	1143
		d ₆₀	1691	1119	1429	1512	1012	1000
		d ₅₅	1571	1048	1333	1429	952	952
		d ₂₅	1000	595	857	904	548	595
		d _{75/25}	1.95	2.36	2.06	2.50	3.43	2.80
		평균	1.896	1.372	1.679	1.755	1.227	1.217
Ceramic Roller	0	d ₉₅	2282	2258	1994	1441	1417	1191
		d ₇₅	1777	1681	1273	1048	1000	964
		d ₆₀	1465	1321	1057	905	833	810
		d ₅₅	1345	1177	1009	857	762	750
		d ₂₅	865	793	600	536	488	452
		d _{75/25}	2.05	2.12	2.12	2.69	2.17	2.63
		평균	1.705	1.609	1.329	1.093	1.031	0.968

그림 1과 표 3은 분쇄생성물의 입도분포를 분석한 것이다. $\gamma = D_{75}/D_{25}$ 에서 D_{75} 는 부분분리효율이 75%에 대응하는 입경이고, D_{25} 는 부분분리효율이 25%에 대응하는 입경을 나타내는 것으로 γ 가 1.4이하이면 매우 양호한 분급이고, 1.4~2.0이면 양호, 2.0이상이면 불량 판정의 지표가 된다.

한국산업규격(H-2157)에 의하면 굵은 고춧가루(김치제조용)는 표준체 850 μm 위에 55%이상 남는 것을 말하고, 보통 고춧가루(식품의 양념)는 표준체 850 μm 를 60%이상 통과하고, 표준체 450 μm 위에 60%이상 남는 것을 말하며, 고운 고춧가루(고추장제조용)는 표준체 425 μm 를 95%이상 통과하는 것을 말하고 있다. 물의 속도 40, 80rpm에서 세라믹 치형롤은 6차분쇄후 굵은 고춧가루가 생성되는 반면, 주철 치형롤은 40rpm에서 8차분쇄후 굵은 고춧가루가 생성되어, 세라믹 치형롤을 이용하면 분쇄횟수를 2회 정도 줄일 수 있어 분쇄효율을 향상시킬 수 있는 것으로 판단된다. 두 롤의 간극에 따른 분쇄생성물의 특성을 살펴보면 세라믹 치형롤이나 주철 치형롤 모두 롤이 밀착이 되지 않았을 경우(간극 0.13mm) 8차 분쇄후에도 굵은 고춧가루의 형상에 접근을 할 수 없어, 고추분쇄시 롤의 간격이 밀착이 되지 않는다면 분쇄효율이 상당히 저하된다고 판단된다. 또한 두 롤의 속도별 분쇄생성물의 특성을 살펴보면 세라믹 치형롤이 40, 80rpm에서 평균입도가 주철 치형롤보다 미세하게 분석되어졌고, 40rpm보다는 80rpm에서 평균입도가 미세하게 분포되는 것으로 분석되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 식품 가공에 범용으로 사용할 수 있는 세라믹 롤러밀을 양산화 하기 위하

여 1차적으로 실험용 치형 롤러밀을 설계하였고, 실제 실험용 세라믹 치형 롤러밀과 금속 치형 롤러밀을 제작하여 분쇄에 중요한 요인인 두 롤러의 간격, 분쇄속도, 분쇄물의 롤 통과 횟수 등의 분쇄조건을 변화시키면서 분쇄생성물 특성을 고추 분쇄 실험을 통하여 분쇄조건을 분석하였으며, 그 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 현재 국내에서 일반적으로 사용하는 롤의 속도가 $R_f : R_s = 40.2 : 20.1\text{rpm}$ 인 경우와 $R_f : R_s = 80.2 : 40.1\text{rpm}$ 인 경우 평균입자 크기는 금속 치형롤의 경우 3.687~1.659mm였고, 세라믹 치형롤의 경우는 3.465~1.351mm로 분쇄생성물의 평균입도에는 큰 유의차는 없었으나, 롤의 속도 80rpm인 경우 공시재료의 롤의 투입량이 40rpm보다 약 10Kg정도 더 분쇄할 수 있는 것으로 분석되었다.
- 2) 세라믹 치형 롤러밀의 경우 6차 분쇄만으로 굵은 고춧가루를 얻을 수 있는 반면에, 주철 치형 롤러밀은 8차 분쇄후에 굵은 고춧가루를 얻을 수 있어, 세라믹 치형 롤러밀을 이용한다면 분쇄횟수를 2회정도 줄일 수 있어 분쇄효율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 두 롤의 간극에 따른 분쇄생성물의 특성을 살펴보면 세라믹 치형롤이나 주철 치형롤 모두 롤 간극 0.13mm에서 8차 분쇄 후에도 굵은 고춧가루의 형상에 접근을 할 수 없어, 고추분쇄시 롤의 간격이 밀착이 되지 않는다면 분쇄효율이 상당히 저하된다고 판단된다.
- 4) 두 롤의 속도별 분쇄생성물의 특성을 살펴보면 세라믹 치형롤이 40, 80rpm에서 평균입도가 주철 치형롤보다 미세하게 분석되어졌고, 40rpm보다는 80rpm에서 평균입도가 미세하게 분포되는 것으로 분석되었다.

5. 참고문헌

- 1) 한응수, 홍성희, 배민정, 고경육, 박지현. 1995.12.27. 고추와 고춧가루의 품질관리체계 연구개발. 농협대학 농산물가공기술연구소
- 2) 한응수, 홍성희, 배민정, 고경육, 박지현. 1996.11.30. 고추와 고춧가루의 품질관리체계 연구개발. 농협대학 농산물가공기술연구소
- 3) 오건웅, 정영춘, 김동식, 함재호, 권영문. 1996. 12. 고춧가루분쇄기의 표준화에 관한 연구보고서. 한국기기유화시험연구원
- 4) 박희만, 정성근, 최희석, 이선호, 홍성기, 정종훈. 1999. 고춧가루 분쇄기 개발. 한국농업기계학회 1999년 동계 학술대회 논문집. p546~553.
- 5) 박재복, 1991. 고추분말의 가공기술개발에 관한 연구(2차연도). 한국식품개발연구원
- 6) ASAE Standards, 33rd Ed. 1985. S319.1.St Joseph, MI : ASAE