

# 고추분쇄시 회전비 증가에 따른 치형롤 분쇄기의 분쇄소요에너지 분석

## An Analysis for Grinding Energy in Red-Pepper Milling by the Speed Ratio between Two Rollers

강위수*	이귀현*	양승기*	목효균*	박인근*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
W.S.Kang	G.H.Lee	S.K.Yang	H.K.Mok	R.K.Park

### 1. 서 론

식품산업분야에서 곡물분쇄는 일반적으로 중간 미분쇄기인 해머밀과 롤러밀이 대부분 사용되고 있다. 분쇄는 비교적 큰 동력이 소요되는 작업으로서 소요동력의 크기는 분쇄할 원료와 분쇄생성물의 크기 및 처리량, 분쇄방식, 분쇄기의 종류, 원료의 물리적 특성 등 여러 가지 성질에 의하여 크게 좌우된다. Crushing이나 Grinding 구분 없이 분쇄조작에서 가장 중요한 것은 동력비이다. 이 동력비를 줄이는 요인을 찾아서 제어하는 것이 분쇄에서 가장 중요하다. 분쇄를 표면적이 증가하는 현상이라고 설명한다면, 주어진 일정량의 미분말을 분쇄하여 훨씬 더 큰 총 표면적을 얻을 수 있는 반면, 같은 양의 큰 덩어리를 분쇄할 때에는 표면적 증가를 크게 기대할 수 없으므로, 미분쇄를 할수록 훨씬 더 많은 동력이 필요하게 된다.<sup>(7)</sup> 에너지 유용도의 관점에서 볼 때 분쇄조작은 매우 비효율적인 공정인데, 실제로 분쇄장치에 공급되는 에너지의 0.1~2.0% 정도만이 분쇄물의 표면에너지를 증가시키는 데 기여하고 98% 이상이 열로 낭비된다.<sup>(1)</sup> 분쇄공정의 효율은 장치에 가해지는 힘의 부하가 작용하는 방법과 부하 크기에 따라서도 영향을 받는다. 작용하는 부하가, 예를 들어 주로 압축력인가 전단력인가 또는 충격력인가에 따라서 분쇄효율은 달라진다.

우리 나라 식품분쇄업체에서 대부분 사용하고 있는 롤러밀은 압축력과 전단력을 이용함으로써 분쇄소요에너지가 적고, 분쇄시 열이 30℃로 적게 발생되어 식품의 영양분 파괴를 적게 할 수 있으나 섬유질이 많은 원료를 분쇄시 분쇄효율이 낮다. 기존의 식품분쇄업체에서 사용하는 분쇄기의 롤은 분쇄생성물의 특성(분쇄물의 크기, 색도 등)을 고려하지 않고 대부분 중소기업의 롤을 사용하다보니 롤의 크기나 형상이 일정하거나, 아니면 직경이나 길이에 그 차이가 조금 있을 뿐이다. 이러한 롤을 이용하여 여러 가지 분쇄물을 분쇄하다보니 자연 기계에 무리가 오고 동력손실 또한 크게 발생하며, 분쇄효율이 저하되는 요인이 발생한다.

+ 본 연구는 농림기술개발연구비 및 태광식품기계의 참여기업연구비로 수행되었음.

\* 강원대학교 농업생명과학대학 농업공학부 농업기계공학과

이러한 문제점을 보완하기 위해서는 분쇄물의 특성에 맞는 롤의 개발이 시급하나 이에 관한 연구가 미비한 실정이다. 분쇄 원료물질의 물리적 성질을 정확하게 파악한다면 적절한 분쇄기 선택으로서 분쇄효율을 향상시킬 수 있을 것이다. 즉, 대부분의 식품은 섬유조직을 갖고 있으며, 압축력이나 충격력(impact force)에 의하여 쉽게 분쇄되지 않으므로, 전단이나 전단력을 이용하면 효과적일 것이다. 그러나 실제 식품 분쇄시에는 압축, 마모, 충격, 전단 등에도 영향을 받는 동시에 식품재료의 굴절(bending)과 비틀림(torsion)등에도 영향을 받으나 이에 대한 연구는 아직 미비한 상태이므로, 본 연구에서는 분쇄시 회전비 편차에 의한 전단력 증가에 따른 분쇄소요에너지를 측정하여 최적의 설계조건을 찾고자, 치형롤분쇄기의 설계 및 제작에 관한 기초 연구를 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 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.

### 2.2 실험방법

실험용 세라믹 치형롤분쇄기와 회주철 치형분쇄기를 설계 및 제작하여 분쇄조건(두 롤의 회전비별, 속도별, 통과횟수 증가별)을 변화 시켰을 때 분쇄소요에너지와 분쇄생성물특성에 미치는 영향을 측정하기 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	40.2 : 20.1 rpm 80.2 : 40.1 rpm	1 ~ 8
	1 : 3		
	1 : 4		
	1 : 5		

### 2.3 소요동력 측정

본 실험에서 분쇄시 소요되는 에너지 및 소요동력을 측정하기 위하여 소요동력측정기, 스트레인 증폭기 등을 사용하였다. 소요동력측정기(KYOWA, TP-10KM CB, Japan)의 정격용

량은 10kgf·m이고, 입력전압은 교류 2Volt를 이용하였다. 소요동력측정기에서 읽혀지는 Data값은 입력토크 값으로 이 값들은 Voltage로 나타나며, Voltage로 읽혀진 Data값들은 스트레인 증폭기를 (YOKOGAWA 3134-01)를 사용하여 토크값으로 나타내었다. 출력전압은 교류 2Volt로 설정하였고, 토크 측정을 위한 Strain Range는  $5000 \times 10^{-6}$  스트레인으로 설정하였으며, 내장된 Lowpass filter의 Band Limit 설정은 100Hz로 설정하였다. 또한 스트레인 증폭기의 최대감도는  $0.5V/10 \times 10^{-6}$  스트레인으로 하였다.

소요동력측정기와 스트레인 증폭기로부터 받아들여진 Data값의 수집은 자료수집장치 (Daqbook/100)를 사용하였으며, 자료수집장치의 분해능은 12bits이고, Range 설정은 Bipolar Mode의 -5~5Volt로 설정하였고 소수점 3자리(0.001g)까지 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구의 수행을 위하여 제작된 실험용 세라믹과 회주철 두 종류의 치형롤러밀을 이용하여 분쇄속도, 두 롤의 회전비, 분쇄물의 롤 통과횟수 등의 분쇄조건에 따른 분쇄 소요 에너지의 특성을 측정하였으며, 그 결과는 표 2, 3과 그림 1과 같이 분석되었다.

Table 2. Effect of the milling velocity, ratio of rollers and number of treatment on torque requirement in red-pepper milling using ceramic and gray-cast iron grooved rollers

	Milling velocity (rpm)	Ratio of rollers, Torque (N-m)			
		1 : 2	1 : 3	1 : 4	1 : 5
Gray cast iron grooved roller	40	10.564 b	22.774 a	21.222 a	20.911 a
	80	9.093 b	9.528 b	12.162 a	11.808 a
Ceramic grooved roller	40	13.001 b	18.176 a	12.164 b	18.104 a
	80	11.312 a	11.955 a	11.379 a	11.338 a

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

표 2는 분쇄소요에너지 평균치에 대한 Duncan의 다중검정결과를 나타낸 것으로 회주철치형롤의 경우 기존의 분쇄속도 40rpm, 회전비 1:2일 때는 소요동력이 10.564N-m로 비교적 적게 소모되었고, 회전비 1:3~1:5의 경우는 소요동력의 효과차이가 없는 것으로 분석되었으나 회전비 1:2에 비하여 소요동력이 증가된 것으로 분석되었다. 분쇄속도 80rpm의 경우 회전비 1:2와 1:3은 소요동력이 9.093~9.528N-m로 효과차이가 없는 것으로 나타났고, 회전비 1:4~1:5는 12.162~11.808N-m로 효과차이가 없는 것으로 분석되었다. 세라믹치형롤의 경우

분쇄속도 40rpm일 때, 회전비 1:2와 1:4는 효과차이가 없었고, 회전비 1:3과 1:5도 효과차이가 없는 것으로 나타났다. 분쇄속도 80rpm의 경우는 롤의 회전비에 상관없이 1:2~1:5에서 효과차이가 없이 일정한 소요동력값을 나타낸 것으로 분석되었다.

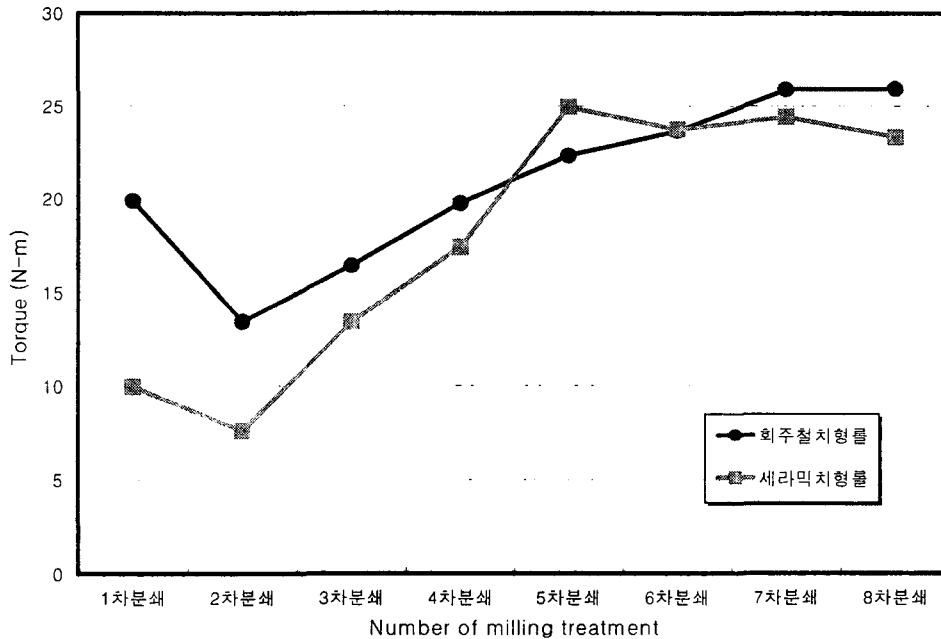


Fig 1. Effect of the milling velocity, ratio of rollers and number of treatment on torque requirement in red-pepper milling using ceramic and gray-cast iron grooved rollers

그림 1은 분쇄속도 40rpm, 두 롤의 회전비 1:5일 때 분쇄물의 롤 통과횟수에 따른 평균 분쇄소요에너지를 나타낸 것이다. 회주철치형롤이나 세라믹치형롤 모두 1차분쇄보다 2차 분쇄시 소요동력이 감소하고 3차분쇄부터 다시 소요동력이 증가하다 5차분쇄 이후부터 소요동력이 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있는데, 이는 분쇄물이 1차 분쇄시는 원시료(고추)를 조파쇄 하는 동안 소요동력이 많이 소모되었기 때문으로 분석되었고, 2차 분쇄시는 1차에서 조파쇄 된 것을 중간조파쇄 시킴으로서 소요동력이 감소한 것으로 판단되며, 3차분쇄부터는 분쇄물이 미분쇄화되는 구간으로 소요동력이 점차적으로 증가하였고, 세라믹치형롤의 경우 5차분쇄부터 소요동력이 비교적 일정하게 나타난 것은 5차분쇄 이후에는 더 이상의 미분화가 생성되지 않기 때문인 것으로 분석되었다. 그리고 분쇄처리횟수가 증가할수록 미분화된 분쇄물의 롤 투입량 증가로 인하여 소요동력이 증가된 것으로 판단된다.

Table 3. Effect of the milling velocity, ratio of rollers and number of treatment on the grinding power requirement and specific grinding power in red-pepper milling using ceramic and gray-cast iron grooved rollers

Number of treatment	Gray-cast iron grooved rollers				Ceramic grooved rollers			
	Ratio of rollers							
	1 : 2		1 : 5		1 : 2		1 : 5	
	소요 동력 (kw)	비분쇄 동력 (kwh/ton)	소요 동력 (kw)	비분쇄 동력 (kwh/ton)	소요 동력 (kw)	비분쇄 동력 (kwh/ton)	소요 동력 (kw)	비분쇄 동력 (kwh/ton)
1	0.082	0.803	0.117	0.979	0.075	0.617	0.060	0.411
2	0.075	0.806	0.097	1.042	0.072	0.618	0.059	0.359
3	0.077	0.578	0.098	0.471	0.118	0.766	0.077	0.325
4	0.075	0.540	0.096	0.402	0.084	0.472	0.090	0.339
5	0.075	0.517	0.097	0.393	0.109	0.607	0.090	0.308
6	0.077	0.451	0.098	0.335	0.085	0.465	0.110	0.374
7	0.076	0.436	0.095	0.296	0.098	0.491	0.120	0.403
8	0.072	0.357	0.093	0.282	0.117	0.550	0.153	0.504

회주철치형롤 회전비 1:2의 경우 조분쇄 영역인 1차분쇄에서는 소요동력이 0.082kw였고, 중간조과쇄 영역인 2~3차 분쇄에서는 소요동력이 0.075~0.077kw로 나타났으며, 중간미분쇄 영역인 4~8차 분쇄에서는 0.075~0.072kw로 분석되어, 조과쇄 영역에서만 소요동력 값이 증가한 것으로 나타났고, 비분쇄동력은 분쇄처리횟수가 증가할수록 0.803~0.357kwh/ton으로 감소하였으며, 굵은고춧가루(8차분쇄) 1ton을 생산하는데는 0.309kw의 소요동력과 4.586kwh/ton의 비분쇄동력이 소요된 것으로 나타났다. 회전비 1:5의 경우 1~8차 분쇄까지 중간미분쇄 영역으로 소요동력은 0.117~0.093kw로, 비분쇄동력은 굵은 고춧가루가 생산되는 2차분쇄에서 증가하다가 3차분쇄부터 감소하는 것으로 나타났고, 회전비가 증가할수록 감소하는 경향을 보여, 회전비 1:5의 경우 소요동력과 비분쇄동력이 1:2경우보다 고춧가루를 1톤 생산하는데 2~3배정도 분쇄소요에너지를 절약할 수 있었다. 그리고 굵은 고춧가루(2차분쇄) 1ton을 생산하는데는 1~2차 분쇄까지 전체 0.214kw의 소요동력과 2.021kwh/ton의 비분쇄동력이 소요되었다.

세라믹치형롤 회전비 1:2경우 1차분쇄에서는 소요동력이 0.075kw였고, 중간조과쇄 영역인 2~3차 분쇄에서는 소요동력이 0.072~0.118kw, 중간미분쇄 영역인 4~8차 분쇄에서는 0.084~0.117kw로 나타나, 분쇄생성물이 미분쇄 되어감에 따라 소요동력이 증가하는 것으로 분석되었고, 비분쇄동력은 4차분쇄에서 일시적으로 감소하다 5차분쇄에서 증가하여 8차분쇄까지 0.607~0.550kwh/ton으로 일정한 경향을 보였다. 회전비 1:5의 경우 중간미분쇄 영역인

1~3차 분쇄에서 소요동력은 0.060~0.077kw로 약 0.065kw 정도 동력이 손실되어 동력의 소모가 적게 들었고, 미분쇄 영역인 4~8차 분쇄에서는 0.090~0.153kw로, 0.096kw로, 미분쇄 영역인 4~8차 분쇄에서는 중간미분쇄 영역보다 약 68%정도 소요동력이 더 소모된 것은 미분쇄시 에너지가 더 많이 요구됨을 분석할 수 있었다. 그리고 세라믹치형롤 80rpm의 경우 회전비 1:5에서 소요동력이 감소하여 분쇄효율이 향상되었고, 비분쇄동력도 1:2보다 0.196kwh/ton(약 65%)정도 적게 소요되는 것으로 분석되었다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 분쇄원리 중 전단력을 이용한 방법으로 전단력(회전비)의 증가가 분쇄소요에너지에 미치는 영향에 대하여 조사를 하였고, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 회주철, 세라믹치형롤 모두 회전비가 증가할수록 소요동력이 증가하는 경향을 보였고, 회전비 1:3의 경우 비교적 많은 동력이 소요되었고, 분쇄속도 80rpm보다 40rpm일 때 소요동력이 증가하여 기존의 분쇄속도를 높여서 사용할 경우 동력손실을 줄일 수 있을 것으로 분석되었고, 회주철치형롤보다 세라믹치형롤이 분쇄소요동력이 상당히 감소하는 것을 알 수 있었다.
- 2) 회주철치형롤은 5차 분쇄이후에도 소요동력이 조금씩 증가하는 것으로 나타났고, 세라믹치형롤은 5차 분쇄이후부터는 더 이상의 미분화가 이루어지지 않아 소요동력이 일정한 것으로 나타났다.
- 3) 세라믹치형롤 80rpm의 경우 회전비 1:5에서 소요동력이 감소하여 분쇄효율이 향상되었고, 비분쇄동력도 1:2보다 0.196kwh/ton(약 65%)정도 적게 소요되는 것으로 분석되었다.

#### 5. 참고문헌

- 1) 강석호, 1995. 분체공학. 희중당.
- 2) 고춧가루 분쇄기의 표준화에 관한 연구보고서(1996, 12). 국립기술품질원.
- 3) 高學均, 琴東赫, 金滿水, 盧祥夏, 文城弘, 朴京圭, 張東日, 1996. 農産加工機械學. 郷文社.
- 4) 김창은, 이홍립, 이형직, 이형복 공역, 세라믹 분체 재료학, 1994. 반도출판사.
- 5) 박재복, 1991. 고추분말의 가공기술개발에 관한 연구(2차 연도). 한국식품개발연구원.
- 6) 박희만, 정성근, 최희석, 이선호, 홍성기, 정중훈, 1999. 고춧가루 분쇄기 개발.
- 7) 송재철, 박현정 공저, 1997. 최신식품가공학. 유림문화사
- 8) Metals Handbooks(1987). in properties and selection iron and steel. Vol.1, American Society for metals.