

분쇄방법에 따른 감초 분쇄생성물의 특성 분석

Analysis of Particulate Characteristics in Licorice Milling with Different Grinding Methods

강위수* 최상근*
정회원 정회원
W. S. Kang S. G. Choi

1. 서 론

최근 가공 재료의 표면적 증가로 유효한 성분추출, 용해능력 및 혼합능력 향상을 통한 가공효율을 극대화하기 위하여 분쇄입자의 크기를 1 μ m까지 요구되고 있는 실정이나 국내의 분쇄가공 산업은 오랜 역사에도 불구하고 다른 산업에 비해 연구 개발의 진전도가 뒤떨어진 분야이기도 하다. 현재 국내 식품가공공장에서 사용되고 있는 분쇄기는 Hammer mill, Roll mill, Pin mill 등이 주로 사용되고 있으나 가공시설은 매우 낙후되어 있고, 특히 분쇄가 쉽지 않은 섬유질 또는 고지방 원료 분쇄시 분쇄능 및 분쇄효율이 매우 낮아 수차례 반복 분쇄하는 과정에서 분쇄 열로 인하여 재료의 물리적·화학적 성질이 변화되기 때문에 식품재료의 고유한 영양성분, 향, 색 등을 최대한 잘 보존 할 수 있도록 가공하였는가가 최종제품의 품질과 고부가가치 여부를 결정하는 핵심요소가 되고 있다(강위수 등, 1999).

섬유질을 많이 포함하고 점탄성 성질을 갖은 식품원료 및 약용작물을 분쇄 할 경우 취성 재료인 세라믹, 광석 보다 소성 변형이 커서 연속적인 파괴가 일어나지 않고, 또한 마찰에 의한 열이 더 많이 발생되어 고섬유를 포함한 원료의 분쇄특성에 따른 분쇄 메커니즘을 확립한다는 것이 매우 어려울 뿐만 아니라 실제 사용하고 있는 각종 분쇄기의 분쇄능을 향상시키기 위해서는 분쇄기의 분쇄조건을 확립하여야 한다. 그러므로 우리나라의 식품 원료가공 및 약용가공 업체에서는 곡물, 특히 섬유질이 많은 식품과 약용작물인 감초, 인삼, 당귀 등 식품 및 약용 작물의 유효 영양 성분, 향, 색을 그대로 보존하면서 분쇄입자의 크기를 초미분쇄영역까지 분쇄가 가능하고, 한 대의 분쇄기로 조분쇄부터 초미분쇄까지 입도조절이 가능한 분쇄기가 필요한 실정이다.

박용곤(1988)은 분쇄기 종류를 달리하여 제조한 쌀가루의 이화학적 특성을 조사하였다. 쌀가루 입자는 Blade, Hammer, Roller, Micro mill의 순으로 점차 미세하였으며, 입자가 미세하여 짐에 따라 색의 밝기를 나타내는 L값은 증가한 반면 a값(적색도) 및 b값(황색도)은 감소하였다고 보고한바 있다.

본 연구에서는 고섬유질을 다량 함유하고 있는 감초를 이용하여 기존 분쇄공정에서 사용하는 Hammer mill, Pin mill과 시제작한 Turbo mill로 분쇄한 감초분쇄생성물의 분쇄방법에

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과

따른 분쇄특성을 분석하고자 입도분석기를 이용한 입도 분포, 비표면적, 입자크기분포, 색도, SEM을 이용한 파괴특성 등을 비교 검토하였다. 더 나아가 한 대의 분쇄기로 입도 제어가 가능할 수 있는 Turbo mill 개발을 위한 기초자료를 제시하는데 궁극적인 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 연구에서 사용한 공시재료는 2001년 중국산 감초(평균길이 : 55.3mm, 평균폭 : 13.2mm, 평균두께 : 3mm)를 4℃에서 보관하면서 사용하였고, 이때 함수율은 원적외선 건조기(씨릭, CD-H1)로 105℃의 온도에서 항량(恒量)될 때까지 건조한 결과 함수율은 13.1%로 측정되었다. 재료의 양은 분쇄기 종류마다 3kg의 양을 사용하였다.

나. 분쇄장치

분쇄장치는 시제작한 Turbo mill과 분쇄가공공정에서 사용되고 있는 Hammer Mill(대가기계, DH-200), Pin Mill(경창기계제작소, SC-1B)을 이용하여 분쇄하였다.

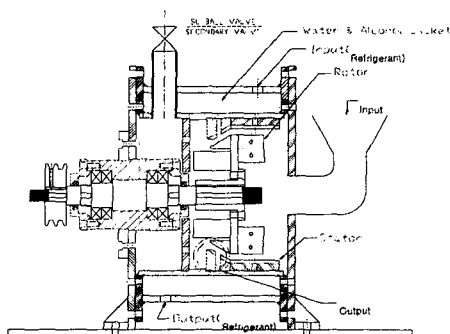


그림 1. Turbo mill의 구조.

Turbo mill의 분쇄장치는 투입부, 분쇄영역, 배출부 3부분으로 구성되어 있다. 분쇄원료를 정량으로 공급하기 위하여 vibrator(신창, SMF-01S)를 설치하였고, 진동트랩(Trap)에 의해 이동된 분쇄원료는 중력에 의해 자유 낙하되어 공급호퍼에 분쇄원료와 공기가 동시에 공급될 수 있도록 구성하였다. 분쇄영역은 Rotor와 Stator로 분류할 수 있고, 분쇄실에 투입된 분쇄원료는 1차, 2차 Mill-plate를 통과하면서 분쇄가 행해진다. 분쇄된 분쇄물은 배출구에 설치되어 있는 백 필터(bag filter)에 의해 공기와 분쇄입자를 분리하는 방식으로 구성하였다(그림 1).

다. 실험방법

본 연구에서는 분쇄기 종류에 따른 감초분쇄생성물의 분쇄특성을 분석하기 위해 표 1과 같은 방법으로 실험을 설계하였다.

표 1. 감초와 콩의 미분쇄능 향상에 관한 실험설계

연구내용	분쇄조건			분쇄생성물의 특성분석
	분쇄기	분쇄속도	분쇄처리횟수	
분쇄기 종류에 따른 분쇄생성물의 분쇄특성	Hammer mill	40m/s	1, 2, 3회	입도, Span(입자크기분포), 비표면적, SEM
	Pin mill	120m/s	1, 2, 3회	
	Turbo mill	50m/s	1, 2, 3회	

라. 입도 분석

분쇄생성물의 입도분포는 Particle Size Analyzer(Malvern Ins. Ltd, Mastersizer-2000, U. K)를 이용하여 $2000\mu\text{m}$ 입도를 분석하였다. 공시재료의 분산제(分散劑)는 증류수를 사용하였고, 분쇄물은 샘플 약 2g를 취하여 분산제에 넣은 후 1분간 분산시킨 후 3회 반복하여 입자를 측정하였다.

본 연구에서는 분쇄생성물의 분쇄영역별 입자크기에 따른 조분말은 $2000\mu\text{m}$ 통과(10mesh), 중간미분말은 $420\mu\text{m}$(40mesh), 미분말은 $74\mu\text{m}$(200mesh), 초미분말은 $1\sim 50\mu\text{m}$를 통과분으로 분류하여 분석하였다.

마. 색도 측정

분쇄생성물의 색도측정은 색도계(CR-200, Minolta, Japan)를 사용하여 L, a, b를 측정하였고, 색도차는 1차분쇄생성물의 색도에 대한 분쇄과정별 측정된 색도의 차를 다음의 식에 의해 계산하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

바. 분쇄생성물의 특성 관찰

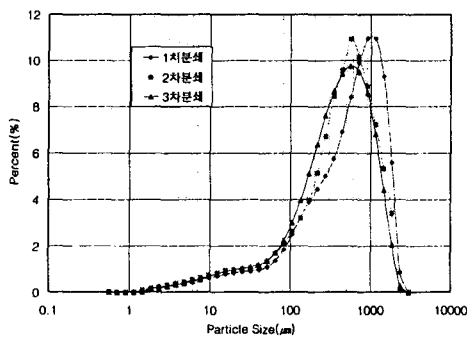
Hammer mill, Pin mill, Turbo mill에서 분쇄된 분쇄생성물의 파괴 특성을 관찰하기 위하여 분쇄된 공시재료에 gold ion coating 한 후 24시간동안 진공 건조하여 gas를 제거하였고, Scanning Electron Microscope(JSM-5410, JEOL Ltd, Japan)를 사용하여 20kV의 가속전압에서 1000배로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

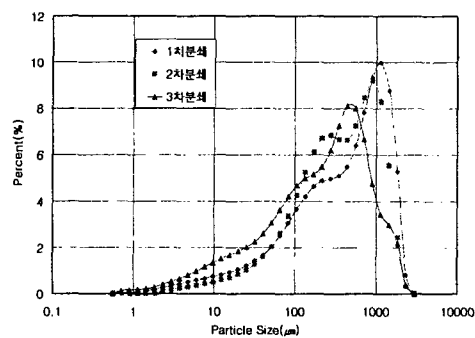
가. 분쇄기 종류에 따른 감초 분쇄생성물의 분쇄특성

분쇄기 종류에 따른 감초 분쇄시 $2000\mu\text{m}$인 분쇄생성물은 Hammer mill의 경우 26.2%, Pin mill의 경우 28.6%로 감초의 섬유질을 분쇄할 수 없었으나, Turbo mill의 경우 2.0%로 기존의 Hammer mill이나 Pin mill보다 미분쇄능이 우수함이 조사됨으로서 충격력이 주 분쇄메커니즘인 Hammer mill과 Pin mill 보다 전단력이 주 분쇄메커니즘인 Turbo mill이 섬유질을 미분화하는데 우수함을 분석할 수 있었다. $2000\mu\text{m}$인 분쇄생성물을 Particle Sizer

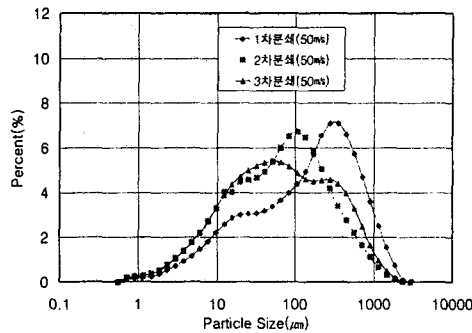
Analyzer로 분석한 결과 그림 2-a에서 보듯이 Hammer mill은 분쇄처리횟수 1~3차 구간의 <math><420\mu\text{m}</math>인 중간미분쇄영역을 통과한 분말량은 42~57%로 분석되었고, 미분쇄영역을 통과한 분말량은 11~12%로 분쇄처리횟수가 증가하여도 분쇄능이 향상되지 않는 Unimodal 경향인 입도 분포 곡선으로 분쇄되는 것으로 분석되었다. 초미분쇄영역 역시 분쇄처리횟수 1~3차 구간의 분말량은 10%로 변화가 거의 없음을 알 수 있었다. 입자의 분포도를 살펴보면 분쇄처리횟수가 증가할수록 Hammer mill은 2.390~2.712로 좁게 분포됨으로써 중간미분쇄기입을 분석할 수 있었다(표 2).



(a) Hammer mill



(b) Pin mill



(c) Turbo mill

그림 2. 분쇄기 종류별 감초 분쇄시 분쇄처리횟수에 따른 분쇄생성물의 입도 분포도.

Pin mill의 경우 분쇄처리횟수 1~3차 구간의 중간미분쇄영역을 통과한 분말량은 52~71%로 분석되었고, 미분쇄영역은 13~28%, 초미분쇄영역에서는 10~22%의 초미분말이 생성되는 Bimodal 경향인 입도분포 곡선으로 분쇄되는 것으로 분석되었다(그림 2-b). 입자의 분포도는 3.057~3.183으로 Hammer mill보다 조금 넓게 분포되는 것으로 분석되었다(표 2).

Turbo mill의 경우 분쇄처리횟수 1~3차 구간의 중간미분쇄영역을 통과한 분말량은 75~95%로 분석되었고, 미분쇄영역은 35~55%, 초미분쇄영역에서는 30~50%의 초미분말이 생성되는 Bimodal 경향인 입도분포 곡선으로 분쇄되는 것으로 분석되었다(그림 2-c). 입자의

분포도는 4.415~7.558로 입자가 넓게 분포하는 것으로 분석되었다(표 2).

분쇄영역별로 분석한 결과 Hammer mill의 경우 분쇄처리횟수를 2회 이상 증가하여도 분쇄능은 향상되지 않는 것으로 분석되었고, 그 이유는 분쇄임계처리횟수에 도달했기 때문으로 사료된다. 그러나 Pin mill의 경우 분쇄처리횟수를 증가함에 따라 초미분말량의 변화는 약간 있을 것으로 예측되지만 분쇄능의 향상에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

표 2. 감초 분쇄시 분쇄기 종류에 따른 분쇄생성물의 잔류 입도 분포 및 Span값

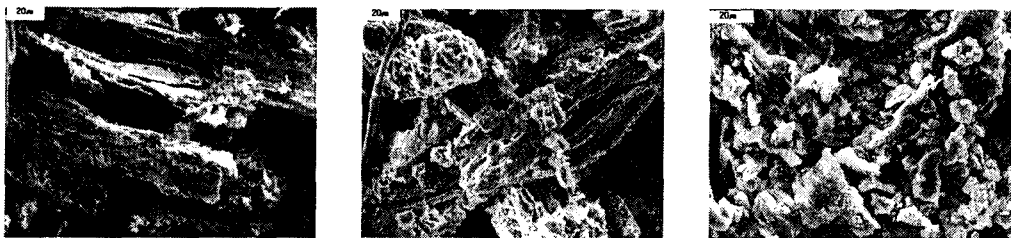
감초	Hammer mill			Pin mill			Turbo mill		
	1차분쇄	2차분쇄	3차분쇄	1차분쇄	2차분쇄	3차분쇄	1차분쇄	2차분쇄	3차분쇄
Span	2.390±0.541	2.637±0.063	2.712±0.247	3.057±0.227	3.183±0.395	3.865±0.362	4.415±0.452	5.347±0.116	7.558±0.616
비표면적 (m ² /g)	0.207±0.049	0.210±0.031	0.269±0.03	0.270±0.007	0.266±0.019	0.324±0.006	0.245±0.008	0.358±0.013	0.370±0.001

나. 색도측정

모든 분쇄방법에 있어서 입자의 크기가 미세해질수록 L값과 a값은 증가함을 보였고 b값은 감소함을 보였다. 감초입자의 크기가 작아짐에 따라서 색상이 밝게 나타나는 경향을 보여 입자크기와 밀접한 관계가 있음을 분석할 수 있었고, 터보 분쇄기로 분쇄한 감초분쇄생물의 L값은 Pin mill이나 Hammer mill 보다 상대적으로 밝게 측정되었고 이는 그만큼 입자의 크기가 미세하게 분쇄되었다는 것을 보여주고 있다.

다. 파괴특성

그림 3은 분쇄기별 감초 3차 분쇄생성물의 미세구조를 주사전자현미경으로 관찰한 결과이다. 감초입자의 크기가 비교적 큰 Hammer mill은 대략 500 μ m로 보이고, Pin mill의 경우 250 μ m, Turbo mill은 수십 μ m의 크기로 분쇄된 것으로 관찰할 수 있었다.



(a) Hammer mill

(b) Pin mill

(c) Turbo mill

그림 3. 분쇄기 종류가 감초 분쇄생성물에 미치는 영향을 관찰한 SEM 사진($\times 1000$).

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 분쇄방법에 따른 감초 분쇄생성물의 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. Hammer mill의 경우 $d_{80}=750\mu\text{m}$ 로 중간미분쇄의 입도범위를 가지며 비표면적은 $0.269\text{m}^2/\text{g}$ 로 분석되었고, Pin mill의 경우 $d_{80}=600\mu\text{m}$ 로 Hammer mill보다 입자크기는 조금 작으나 중간미분쇄영역의 입도범위를 가지며 비표면적은 $0.324\text{m}^2/\text{g}$ 로 분석되었고, Turbo mill은 $d_{80}=250\mu\text{m}$ 와 비표면적은 $0.370\text{m}^2/\text{g}$ 로 입자의 크기가 가장 작아 다른 분쇄기보다 분쇄능이 가장 우수한 것으로 분석되었다.

2. Hammer mill의 분쇄메커니즘은 대부분 충격, 일부 전단과 마찰에 의해 분쇄가 행해지고, Pin mill은 핀 사이에서의 전단, 충격, 마찰에 의해 분쇄된다. 즉 충격과 마찰에 의한 분쇄는 전단력에 의한 분쇄메커니즘보다 분쇄능이나 분쇄효율이 상대적으로 낮은 것을 알 수 있었으며 주로 전단력과 충격, 반발력에 의해 분쇄가 이루어지는 Turbo mill의 분쇄능 및 분쇄효율이 우수함을 알 수 있었다.

본 연구에 의해서 감초와 같이 섬유질을 많이 함유하고 있는 원료를 분쇄할 경우 분쇄메커니즘이 전단력인 분쇄기가 가장 적합하고, 분쇄중 소요되는 동력 면에서도 기존 분쇄기보다 우수한 Turbo mill의 분쇄조건을 확립해야 한다고 사료된다.

5. 참고문헌

1. 강석호. 1995. 분쇄공학. 회중당 p 153~195.
2. 강위수, 최상근. 2001. 식품가공용 기류식 분쇄기의 익형이 풍압에 미치는 영향. 한국농업기계학회 2001년 동계 학술대회 논문집 5(1):245~250.
3. 금준석, 이상효, 이현우, 김길환, 김영인. 1993. 제분방법이 쌀가루의 입자크기에 미치는 영향. 한국식품과학회지. 25(5) : 541~545.
4. 박용곤, 석호문, 남영중, 신동화. 1998. 제분방법별 쌀가루의 이화학적 특성. 한국식품과학회지 20(4) : 504~510.
5. 신현경. 1998. 약초주의 제조 및 효능에 관한 연구. 농림부 기술관리 센터 pp 46~47.
6. 이정해. 1992. 最新 粉體技術 핸드북. 대신기술 pp 531~543.
7. 장광진, 이승택, 박철호. 2000. 약·특작 생산기술. 도서출판 진술 pp 109~115.
8. C. L. Prasher, 1987, Crushing and grinding Process Handbook, John Wiley & Sons Limited, pp74~76.
9. 林 恒美. 1996. 粉體技術ポケットブック 工業調査會 pp 245~251.
10. 粉體工學會. 1998. 粉體工學便覽. 日刊工業新聞社.