

터보밀을 이용하여 감초 분쇄시 분쇄조건에 따라 분쇄 능에 미치는 영향

Effect of the Grindability on Grinding Condition in Liquorice Milling Using Turbo Mill

강위수* 최상근*

정회원 정회원

W.S.Kang S.G.Choi

1. 서론

분쇄의 목적은 고체의 단위부피당 표면적을 증가시켜서 연소반응 등의 화학반응속도를 높이고, 건조나 추출의 속도를 증가시키며, 입자의 크기를 작게 함으로써 고체의 혼합을 용이하게 한다(강석호, 1995).

현재 국내에서 사용되고 있는 식품가공용 hammer, pin 분쇄기는 분쇄기의 특성상 마찰에 의한 분쇄 열이 60~120℃까지 발생되기 때문에 원료의 색, 향, 풍미의 변화는 물론 영양성분의 파괴를 초래하고 있고, 롤 분쇄기는 마모에 의하여 분쇄생성물에 쇳가루 혼입(混入) 등이 발생되어 분쇄공정의 개선이 시급한 실정에 있다(강위수, 1999, 2000).

일반적으로 고체의 분쇄 입자 크기 요구에 따라 조분쇄→중분쇄→초미분쇄의 공정 순으로 행해지기 때문에 조 분쇄기, 중간 미분쇄기, 미 분쇄기, 초미 분쇄기 등 여러대의 분쇄기가 필요하다. 그러나 최근 식품 분쇄가공 공정에서는 한 대의 분쇄기로 조분쇄에서 초미분쇄까지 분쇄입자의 크기를 제어하면서 분쇄공정에서 분쇄열을 적게 발생시켜 식품 재료의 고유 성분을 보존하고, 색, 향기 등의 변형을 방지하면서 유효한 성분의 추출을 용이하게 하고, 고체 비 표면적을 증가시켜 용해능력을 향상시키고, 좀더 혼합능력을 향상시켜 다양하게 가공하기 위해서 분쇄 입자의 크기를 1~50 μm 정도 초미분쇄 할 수 있는 분쇄기가 일본, 미국, 유럽 등에서 개발되어 상용화되고 있다. 국내의 분쇄가공분야에서도 초미분쇄 시킬 수 있는 분쇄기가 요구되고 있으나, 분쇄 가공 기계 분야가 낙후되어 고가인 외국산 기계에 의존하고 실정이며 그에 따르는 부대비용이 클 뿐만 아니라, 고품질을 생산할 수 있는 분쇄 가공 기술이 타산업체에 비해 낙후되어 있는 상태이며, 이를 위한 학술적인 연구 단계도 초보단계이다(分體工學使覽, 1998. 분체기술 핸드북, 1996. powder technology pocket book, 1996.) 본 연구에서는 고섬유질이 다량 함유된 한약재인 감초 재료의 분쇄가공이 어렵기 때문에 감초 재료를 선택하여 조분쇄, 중간미분쇄, 미분쇄, 초미분쇄 등 다양하게 분쇄 입도 조절이 가능하도록 분쇄속도와 분쇄처리횟수 등인 분쇄조건이 분쇄능에 미치는 영향을 분석하여 터보 밀의 설계 및 제작에 필요한 기초자료로 제공하고자 하였다.

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업공학부 농업기계전공

2. 재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구에서 사용한 공시재료는 한약재료로 널리 사용되고 있는 감초를 사용하였고, 함수율은 8.897(% , wb)이었다.

2. 실험장치

본 연구에서 설계 및 제작한 분쇄장치는 투입부, 분쇄영역, 배출부로 3부분으로 구성되어 있다. 분쇄물을 정량으로 공급하기 위하여 vibrator(신창 SMF-01S)를 설치하였고, 진동트랩(trap)에 의해 이동된 분쇄원료는 중력에 의해 자유 낙하되어 터보 분쇄기의 공급호퍼에 분쇄원료와 공기가 동시에 공급될 수 있도록 설계하였다.

분쇄영역은 rotor와 stator로 분류할 수 있고, 분쇄실에 투입된 분쇄원료는 1차, 2차 grinding track을 통과하면서 분쇄가 행해진다. 분쇄된 분쇄물은 배출구에 설치되어 있는 백필터에 의해 공기와 분쇄입자를 분리하는 방식으로 구성하였다.

3. 실험방법

1) 분쇄속도와 분쇄처리횟수

감초의 시료를 일정한 회전속도에서 분쇄처리횟수가 분쇄능에 미치는 영향과 Stator Profile의 형상에 따른 분쇄특성을 평가하기 위하여 표 2-1과 같은 조건으로 실험하였다. 분쇄처리횟수와 profile의 형상이 분쇄능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 선행적으로 분쇄속도(30m/s, 50m/s)에서 분쇄처리횟수에 따른 분쇄능 측정 결과를 분석하여 표1과 같이 분쇄조건을 결정하였다.

표 1. 터보 밀을 이용하여 감초 분쇄시 Stator Profile의 형상에 따른 분쇄조건

실험조건	형상	분쇄속도(m/s)	분쇄처리횟수
분쇄속도와 분쇄처리횟수	U	30	3
		50	3
Stator Profile의 형상	U, V, V I	30	1
		50	1
		70	2

4. 입도 분석

분쇄물의 입도는 Particle Size Analyzer(Malvern Ins. Ltd, Mastersiser -2000, U. K)를 이용하여 분석하였다. 공시재료의 분산제(分散劑)는 증류수를 사용하였고 분쇄물은 분산제에 넣은 후 1분간 분산시킨 후 3회 반복하여 입자를 측정하였다.

공시재료의 입자 분석은 체적(volume)의 크기에 따른 누적입도분포도, 비표면적, 입도분포도(Span), 부피기준 평균입도의 값도 측정하였고, Span의 값으로 입자의 분포도를 분석할 수 있었으며 Span의 식은 다음과 같다.

Span의 값이 크면 입자의 분포가 넓음을 알 수 있고, 수치가 작으면 입자의 분포 범위가 좁음을 분석할 수 있으며, Span의 식은 다음과 같다.

$$\text{Span} = \frac{D(V, 0.9) - D(V, 0.1)}{D(V, 0.5)}$$

D[V, 0.9] : test한 sample의 volume이 90%일 때의 size

D[V, 0.1] : test한 sample의 volume이 10%일 때의 size

D[V, 0.5] : medium size(중간값)

5. 풍속, 풍압, 유량의 측정

터보 밀의 투입구와 배출구의 풍속, 풍압, 유량의 측정은 Digital풍속계(TSI 8386(A))를 사용하였다. 풍속계에서 읽혀진 Data값은 VELOCICALC PLUS의 메모리에 저장되고 저장된 Data값은 자료수집 장치인 TSI Data Download Software를 사용하였다. 표 2-2는 본 연구진이 개발한 터보 밀의 회전수 증가에 따른 투입구와 배출구에서의 유속, 유량, 압력을 측정값이다.

표 2-2. 터보 밀의 속도에 따른 투입구와 배출구에서의 유속, 유량, 압력의 측정값

회전속도(m/s)	위 치	유 속(m/s)	유 량(m ³ /h)	압 력(pa)
10	투입구	3.74	361	-18
	배출구	4.71	545	7
20	투입구	6.8	805	-57
	배출구	7.1	1070	40
30	투입구	7.9	1125	-118
	배출구	14.6	1560	97
40	투입구	13.1	1430	-235
	배출구	17.7	2200	180
50	투입구	16	1850	-405
	배출구	24.8	2880	300
60	투입구	18.2	2300	-432
	배출구	31	3450	410
70	투입구	22.6	2740	-659
	배출구	34.7	3990	553

3. 결과 및 고찰

1. 분쇄속도에 따른 분쇄처리횟수가 분쇄능에 미치는 영향

표 3-1은 분쇄생성물의 분포도와 비표면적을 나타낸 것이고, 분쇄속도에 따른 분쇄처리횟수가 분쇄능에 미치는 상관관계를 분석하기 위하여 평균 및 분산은 SAS(Statistical Analysis System)를 이용하여 분석하였고, 결과치는 표 3-2와 같다.

표 3-1. 감초분쇄시 분쇄생성물의 분포도와 비표면적 측정결과

	분쇄속도(m/s)	1차분쇄	2차분쇄	3차분쇄
분포도 (Span)	30	2.899	3.273	3.854
	50	4.415	5.347	7.558
비표면적 (g/m ³)	30	0.145	0.168	0.211
	50	0.253	0.371	0.370

분쇄속도 30m/s에서는 비표면적이 1차분쇄에서 0.145g/m², 2차분쇄에서 0.168g/m², 3차분쇄에서 0.211g/m²로 분석되었다. 그러나 50m/s로 분쇄시 1차분쇄에서는 0.253g/m², 2차분쇄에서 0.371g/m², 3차분쇄에서 0.370g/m²로 분석되어 30m/s에서 분쇄한 것보다 분쇄능이 우수한 것으로 분석되었다.

표 2는 분쇄속도와 분쇄처리횟수의 변수간의 상호작용을 Duncan의 다중검증결과를 나타낸 것으로 분포도를 보면 1차분쇄와 2차분쇄는 각각 3.8613, 4.2310으로 분쇄능의 효과차이가 없는 것으로 분석되었고, 3차분쇄에서는 5.6273으로 분포도가 증가한 것으로 분석되었다. 비표면적의 경우 1차분쇄에서는 0.196750g/m²으로 분석되었고 2차분쇄와 3차분쇄에서는 0.268750~0.283000g/m²으로 효과 차이가 없는 것으로 분석되었다. 따라서 분쇄처리횟수는 증가하여도 분쇄속도가 30m/s, 50m/s에서는 각각 더 이상의 미분화는 진행되지 않는 것으로 분석되었다.

표 3-2. Duncan검증에 의한 분포도와 비표면적의 다중검증결과

	1차분쇄	2차분쇄	3차분쇄
분포도 (Span)	3.8613 B	4.2310 B	5.6273 A
비표면적 (g/m ²)	0.196750 B	0.268750 A	0.283000 A

표 3-3. 통계처리에 의한 분포도와 비표면적의 유의성 분석

	Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
분포도 (Span)	Vel	1	20.71389633	20.71389633	308.29	0.0001
	Treatment	2	6.93998017	3.46999008	51.64	0.0002
	Vel*Treatment	2	3.19026617	1.59513308	23.74	0.0014
비표면적	Vel	1	0.06750000	0.06750000	350.04	0.0001
	Treatment	2	0.01710150	0.0855075	44.34	0.0003
	Vel*Treatment	2	0.00430850	0.00215425	11.17	0.0095

† Vel : 분쇄속도, Treatment : 분쇄처리횟수

표 3-3은 통계처리에 의한 분포도와 비표면적의 유의성 분석한 것으로 분쇄속도, 분쇄처리 횟수, 분쇄속도와 분쇄처리횟수의 유의성을 분석한 결과 유의성은 모두 있는 것으로 분석되었다.

그림 3-1은 감초의 분쇄속도에 따른 분쇄처리횟수의 누적입도 분석을 나타낸 그림이다. 그림 a의 30m/s에서 보면 50%통과 분의 누적입도를 보면 1차분쇄에서는 350 μ m, 2차분쇄는 200 μ m, 3차분쇄는 150 μ m로 분석되어 분쇄처리횟수가 증가하여도 더 이상 분쇄능은 향상되지 않는 것으로 분석되었다. b의 50m/s에서는 1차분쇄에서는 150 μ m, 2차분쇄는 60 μ m, 3차분쇄는 60 μ m로 분석되어 1차분쇄와 2차분쇄에서는 분쇄능 향상이 있었으나 2차분쇄에서 3차분쇄로 한번 더 분쇄하여도 분쇄능의 증가는 미미한 것으로 분석되었다. 따라서 30m/s에서는 분쇄처리횟수가 증가하여도 분쇄능의 향상은 없었으며, 50m/s에서는 30m/s보다는 분쇄능이 매우 증가하였으나 분쇄처리횟수가 2차, 3차로 증가하여도 분쇄능의 향상은 보이지 않는 것으로 분석되었다.

그림 3-2에서 보면 U-type의 profile 형상에서 d₅₀의 누적입도분포는 1차분쇄시 300 μ m, 2차분쇄는 170 μ m, 3차분쇄는 90 μ m, 4차분쇄는 40 μ m로 분석되었으며, 분쇄속도가 증가할수록 분쇄능은 우수한 것으로 분석되었다.

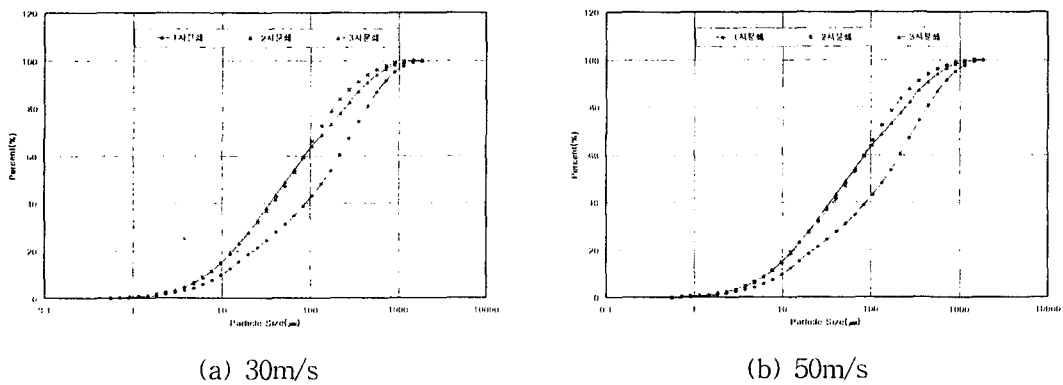


그림 3-1. 분쇄속도에 따른 누적입도분포

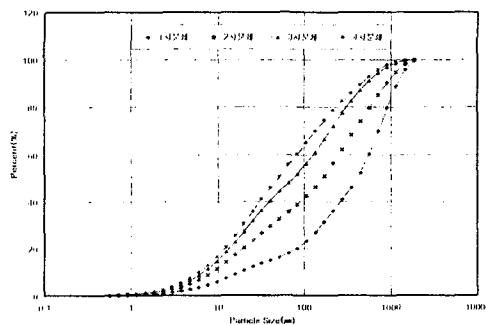


그림 3-2. U-type의 profile의 형상에서 분쇄처리횟수에 따른 누적입도분포
 † 1차분쇄 : 30m/s, 2차분쇄 50m/s, 3차분쇄 70m/s, 4차분쇄 70m/s

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 본 연구진들에 의해서 개발한 turbo-분쇄기를 이용하여 감초 분쇄시 분쇄조건인 분쇄속도와 분쇄처리횟수가 분쇄능에 미치는 영향을 분석한 결과는 다음과 같다:

1. 공시재료인 감초 직경 ϕ 20 ~ 50mm인 공시재료를

①분쇄속도 30%로 분쇄한 경우 분쇄 생성물의 d_{50} 가 1차에서 3차 분쇄처리후 350 μ m에서 150 μ m로 미분화되었고, 평균 비표면적은 0.15에서 0.21g/m²로 향상되었다.

②분쇄속도 50%로 분쇄한 경우 분쇄 생성물의 d_{50} 가 1차에서 3차 분쇄처리후 150 μ m에서 60 μ m로 미분화되었고, 평균 비표면적은 0.25에서 0.37g/m²로 향상되었다.

③Duncan 검중에 의해서 분쇄 생성물의 평균 비표면적은 분쇄처리 1차와 2차에서는 유의성이 있으므로 미분쇄화 되었고, 2차와 3차에서는 유의성이 없으므로 연속적으로 미분쇄화가 되지 않았음을 분석 할 수 있었다.

④ ①-③항의 결과로 분쇄속도가 미분화에 큰 영향을 미쳤음을 분석 할 수 있었다.

2. 분쇄 속도를 증가시켰을 경우 d_{50} 의 누적입도분포는 30%로 1차분쇄시 300 μ m, 50%로 2차분쇄시 170 μ m, 70%로 3차분쇄시 90 μ m, 70%로 4차분쇄시 40 μ m로 측정됨으로서 분쇄속도가 증가할수록 분쇄능은 향상됨이 분석되었다.

본 연구에 의해서 turbo 분쇄기의 분쇄속도를 제어하여 조분쇄부터 초미분쇄가 가능함을 알 수 있었고, 초미분쇄하기 위해서는 분쇄속도를 70m/s이상으로 증가해야만 더 미세분말화가 가능할 것으로 분석되었다. 앞으로 turbo 분쇄기를 이용하여 고섬유, 고지방, 고전분이 포함된 식품 재료를 조분쇄에서 초미분쇄 할 수 있는 분쇄기술 확립을 위한 연구가 지속적으로 수행되어야 한다고 사료된다.

5. 참고문헌

1. 강위수, 최상근. 2001. 식품가공용 기류식분쇄기의 익형이 풍압에 미치는 영향. 한국농업기계학회 2001년 동계 학술대회 논문집. vol.5(1):pp245~250
2. 강위수, 양승기, 목효균, 최상근, 이해익. 2000. 세라믹과 회주철 치형롤 분쇄기를 이용하여 고추분쇄시 전단력 증가가 분쇄 생성물에 미치는 영향 분석, 한국농업기계학회 2000년 동계학술대회 논문집, vol.5(1):pp266~271
3. 강석호. 1995. 분쇄공학. 회중당
4. 日本粉體工業技術協會. 1995. 粉體分級技術메뉴얼. 대신기술