

고추 분쇄용 세라믹 롤 분쇄기의 분쇄효율 향상

Improvement of Grinding Efficiency in Red-Pepper Milling Using Ceramic Roller mill

강위수*
정회원
W. S. Kang

목효균*
정회원
H. K. Mok

1. 서 론

대부분의 식품은 섬유질을 갖고 있으며, 압축력이나 충격력(impact force)에 의하여 쉽게 분쇄되지 않으므로, 전단이나 전단력을 이용하면 효과적일 것이다.

롤러밀은 기어를 이용하여 두 롤의 회전비를 자유자재로 조절할 수 있어 햄머밀이나 편밀 등의 분쇄기에 비해 전단력의 실험이 용이하다. 하지만 아직까지 분쇄기의 전단력에 관한 연구가 미비한 상태여서, 본 연구에서는 이러한 전단력의 실험을 통하여 전단력의 증가가 분쇄소요동력과 분쇄생성물에 미치는 영향에 대하여 실험하고자 기존의 두 롤의 회전비 2:1의 문제점을 보완하기 위하여 롤의 회전비를 3:1~5:1로 증가시키고 또한 분쇄물의 롤 처리 횟수를 1~8차까지 두어, 두 롤의 회전비와 분쇄물의 롤 통과횟수, 분쇄속도간 분쇄소요에너지와 분쇄생성물에 미치는 영향을 분석하여, 세라믹 롤 분쇄기의 생산기술 및 분쇄효율에 향상에 이용하기 위하여 기초연구를 수행하였고, 본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 섬유질을 많이 포함한 고추분쇄시 치형롤의 분쇄효율 향상에 대한 설계를 위하여 기존의 분쇄 속도 40rpm(0.352 π /s)을 분쇄처리량 향상을 위하여 80rpm(0.704 π /s)으로 증가시켜 경제적인 분쇄공정을 얻고,

2. 기존의 롤 회전비 2:1을 5:1까지 증가시켜 전단력 향상에 따른 분쇄특성을 분석하며, 분쇄처리 횟수를 1~8차까지 두어 적절한 분쇄 임계처리점을 찾아 분쇄공정을 단축하여 분쇄효율을 향상시키기 위한 것이다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

98년산 강원도 홍천산 태양초(다복품종)를 공시재료로 택하여본 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 건포로 닦아낸 후, 다시 3등분하여 전체적으로 90%이상 고추씨를 제거하여 실험에 이용하였다.

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과

나. 롤 분쇄기 설계 및 제작

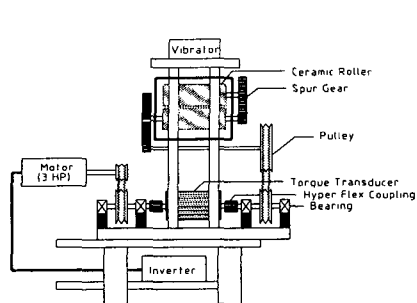


Fig 1. Design of grooved roller mill

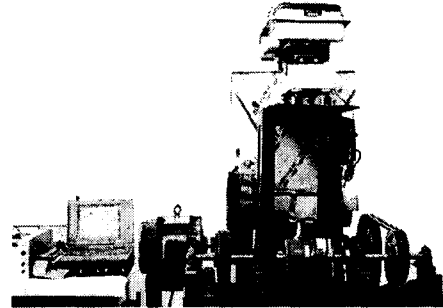


Fig 2. View of the grooved roller mill

분쇄기 롤러의 회전속도는 1,750rpm, 동력은 3HP motor를 설치하였고, pulley 및 gear를 이용하여 $R_{fast} : R_{slow}$ 를 2:1~5:1까지 속도비를 조정할 수 있도록 설계하였으며, 각 식품 분쇄물의 물리적 성질에 따른 롤러의 회전속도 변화비가 식품 분쇄생성물의 특성에 미치는 영향을 분석하고자 속도 변환기(Inverter : SV015iG-2 [LG회사])를 장착하여 롤러의 회전속도를 0~110rpm까지 조정할 수 있도록 설계 및 제작하였다. 소요동력을 측정하기 위하여 Torque transducer(KYOWA : TP-10kgf·m)를 양 축단 가운데에 설치하였으며, 각각 Hyper flex coupling(NS24, 대유)으로 연결하도록 설계 및 제작을 하였다(그림 1, 2).

다. 실험방법

실험용 세라믹치형롤 분쇄기를 이용하여 분쇄시 두 롤의 회전비 R_{fast} (고속 roll) : R_{slow} (저속 roll) = 2 : 1에서 5 : 1까지 자유롭게 조절할 수 있도록 하였고, 분쇄 속도 $R_{fast} = 40\text{rpm}(0.352\text{m/s})$ 에 대하여 $R_{slow} = 20\text{rpm}(0.176\text{m/s})$, $13.3\text{rpm}(0.117\text{m/s})$, $10\text{rpm}(0.088\text{m/s})$, $8\text{rpm}(0.070\text{m/s})$ 의 네 수준으로, $R_{fast} = 80\text{rpm}(0.704\text{m/s})$ 에 대하여 $R_{slow} = 40\text{rpm}(0.352\text{m/s})$, $26.6\text{rpm}(0.234\text{m/s})$, $20\text{rpm}(0.176\text{m/s})$, $16\text{rpm}(0.141\text{m/s})$ 의 네 수준으로 변수를 구성하였고, 각각의 분쇄생성물은 8차까지 분쇄하여 요인분석을 위한 비교 실험을 하였다. 분쇄속도를 최대 40rpm, 80rpm으로 선정한 것은 일반적으로 우리나라에서 사용하고 있는 롤의 속도는 40rpm 정도에서 고추 분쇄를 하고 있기 때문에, 본 실험용으로 제작한 세라믹치형롤에서도 그와 동일하게 40rpm에서 분쇄처리량이 분쇄효율에 미치는 영향과 분쇄속도를 80rpm으로 증가시켰을 때의 분쇄효율에 대하여 비교분석 하였다.

동일 분쇄조건에서 두 롤의 회전비 변화를 2:1~5:1까지의 변화로 한 것은, 고추와 같이 섬유질이 많고 경질의 식품은 압축력으로는 미분화가 어렵기 때문에, 전단력의 증가가 분쇄물(건고추)의 분쇄능과 분쇄효율에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 알아보려고 실험을 하였고, 롤 통과횟수를 8차까지 두어 분쇄생성물의 특성 실험을 한 것은, 분쇄물은 어느 일정

한 입계점에 다다르면 더 이상 분쇄가 되지 않는데, 이러한 입계처리횟수의 기준을 찾아 불필요한 공정을 단축하여 분쇄효율을 향상시키기 위함이었다.

표 1은 분쇄생성물의 특성을 조사하기 위한 분쇄조건이다.

Table 1. Grinding conditions for improvement of efficiency in Red-pepper milling using ceramic rollers

| | Material of grooved roller | Ratio of rollers | Milling velocity | Number of milling treatment |
|-------|----------------------------|------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Level | Ceramics | 2 : 1 | 40rpm(0.352m/s), 80rpm(0.704m/s) | 1 ~ 8 |
| | | 3 : 1 | | |
| | | 4 : 1 | | |
| | | 5 : 1 | | |

3. 결과 및 고찰

본 연구의 수행을 위하여 제작된 실험용 세라믹치형롤을 이용하여 두 롤의 회전비별, 롤의 회전속도별, 분쇄물의 롤 통과횟수 증가가 분쇄생성물에 미치는 영향을 분석하기 위하여 분쇄 입도 크기, 분쇄효율을 조사하였으며 그 결과값은 다음과 같이 분석되었다.

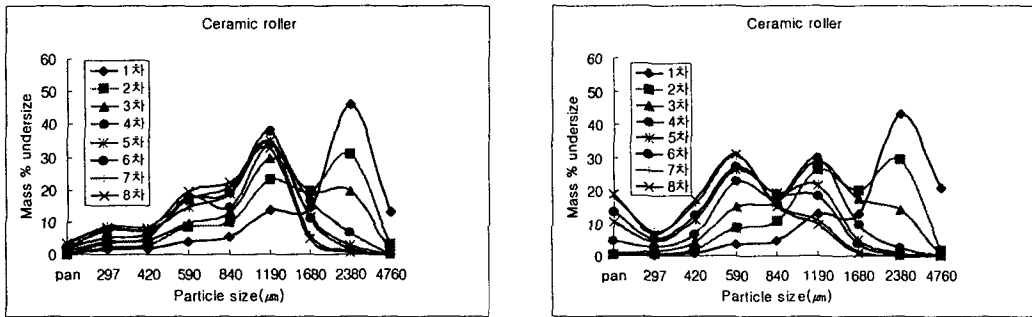
그림 3-(a)는 치형 세라믹 롤 분쇄기를 이용하여 고추분쇄시 국내에서 일반적으로 사용하고 있는 분쇄조건인 롤의 회전비 $R_{fast} : R_{slow} = 2 : 1$ (40rpm : 20rpm)에서 분쇄처리 횟수 1차에서 8차까지 분쇄처리 별 고추 가루 입도 분포를 측정된 결과치이다. 분쇄 처리 1~2차 후 고추 가루 분쇄 생성물의 크기 $2,380\mu\text{m}$ 가 46.2%, 31%인 최대빈도인 bimodal 분포로 분쇄되었고, 3차 처리 후에는 $1,190\mu\text{m}$ 가 29.5%인 최대빈도인 trimodal 분포로 분쇄되었고, 4~8차 분쇄처리 과정에서 $1,190\mu\text{m}$ 가 33~37%, $590\mu\text{m}$ 가 15~18% 빈도를 가진 bimodal로 미분쇄능 향상에 큰 영향을 주지 않았음을 알 수 있었다.

두 롤의 회전비 $R_{fast} : R_{slow} = 5 : 1$ (40rpm : 8rpm) 경우 그림 3-(b)와 같이 1차 분쇄 처리 후 $2,380\mu\text{m}$ 가 43%인 최대빈도에서 2차 분쇄처리 후 $2,380\mu\text{m}$ 가 29.4%, $1,190\mu\text{m}$ 가 26.3%로 증가되는 bimodal 분포로 분쇄되었고, 3차 분쇄 처리 후 $1,190\mu\text{m}$ 가 29%, $590\mu\text{m}$ 가 15.2%로 증가하는 trimodal 분포로 변화되었고, 4~8차 분쇄 처리 과정에서 $590\mu\text{m}$ 가 23%에서 31%까지 bimodal 분포로 분쇄능이 향상되었다.

그림 4-(a)는 롤의 분쇄속도를 종래의 40rpm(0.352m/s)에서 80rpm(0.704m/s)으로 증가 시켜 두 롤의 회전비 $R_{fast} : R_{slow} = 2 : 1$ (80rpm : 40rpm)에서 분쇄처리 횟수 1차에서 8차까지 고춧가루 입도분포를 측정된 결과이다. 그림 4-(a)와 같이 분쇄처리 1차 후 $2,380\mu\text{m}$ 가 52% 최대 빈도인 unimodal 분포에서 2차 분쇄과정시 bimodal로 변화되었고, 3차 분쇄과정에서 $1,190\mu\text{m}$ 가 29.5% 최대빈도인 trimodal 분포로 분쇄됨으로서 분쇄 변화점에 도달하였음을 알 수 있었다. 4~8차 분쇄처리 과정에서 $1,190\mu\text{m}$ 가 32~35%, $590\mu\text{m}$ 가 17~25% 빈도로 미분쇄

능이 향상되지 않는 bimodal 분포로 분쇄되었다.

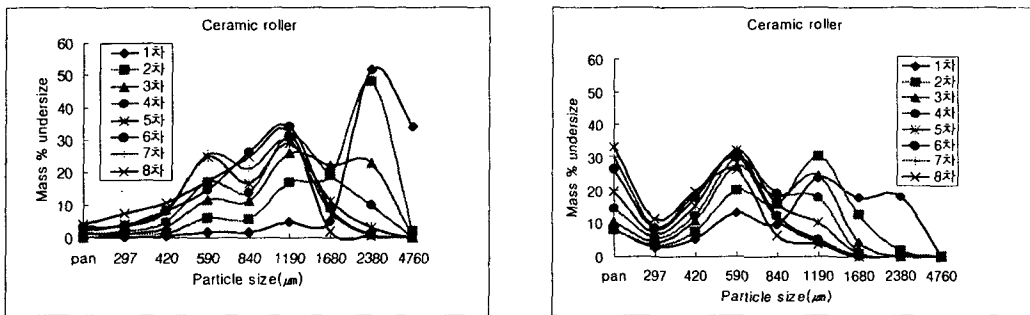
두 롤의 회전비 $R_{fast} : R_{slow} = 5 : 1$ (80rpm : 16rpm) 경우 그림 11-(d)와 같이 분쇄처리 1차 후 $1,190\mu\text{m}$ 가 23.6% 최대 빈도인 trimodal 분포로 분쇄됨으로서 분쇄 변환점에 도달하였음을 분석할 수 있었다. 분쇄처리 2차 과정에서 $1,190\mu\text{m}$ 가 30.3%인 최대 빈도인 bimodal 분포로 중간 미분쇄 되었다. 분쇄처리 3~4차 과정에서 $590\mu\text{m}$ 가 27~30% 정도면서 $<297\mu\text{m}$ 가 10~15% 미분쇄 되었다. 분쇄처리 5~7차 과정에서 $590\mu\text{m}$ 가 30% 정도이고, $<297\mu\text{m}$ 가 20%에서 30%로 증가되었고, 8차 분쇄 처리 후 $<297\mu\text{m}$ 가 33% 최대빈도로 미분쇄능이 향상되었다.



(a) Ratio of rollers(2:1)

(b) Ratio of rollers(5:1)

Fig 3. Comparison for increase of ratio of rollers particle size reduction in Red-Pepper using ceramic grooved rolls(Milling velocity at 40rpm)



(a) Ratio of rollers(2:1)

(b) Ratio of rollers(5:1)

Fig 4. Comparison for increase of ratio of rollers particle size reduction in Red-Pepper using ceramic grooved rolls(Milling velocity at 80rpm)

분쇄물의 롤 통과횟수에 따른 분쇄생성물의 Duncan 평균치 검정결과, 분쇄속도 40rpm(0.352%)일 때, 1차 분쇄, 2차 분쇄, 3차 분쇄에서 입자의 변화에 유의차가 있으나, 4차~8차 분쇄까지 입자의 미분화 현상이 유의차를 나타내지 않음이 분석되었고, 분쇄속도

80rpm(0.704m/s)에서는 1, 2차 분쇄에서는 입자의 크기가 유의차가 있으나, 3차 분쇄 이후로는 큰 유의차를 나타내지 않아 분쇄물의 임계처리 횟수가 3~4회 임을 분석할 수 있었다(표 2.)

Table 2. Effect for the number of milling treatment on particle size reduction in Red-pepper milling using ceramic grooved rollers (Ratio of rollers at 2:1)

| Milling velocity | Number of milling treatment, (μm) | | | | | | | |
|------------------|--|-------|--------|--------|--------|-------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 40rpm(0.352m/s) | 2266a | 1672b | 1328c | 1119d | 1009de | 968de | 904de | 891e |
| 80rpm(0.704m/s) | 1995a | 1459b | 1189bc | 1073cd | 961cd | 909cd | 864cd | 815d |

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

Table 3. Comparison of grinding efficiency at the milling velocity, ratio of rollers and the number of treatment in red-pepper milling using ceramic grooved roller

| Milling velocity | A kind of powder red-pepper | Analysis contents | Ratio of rollers | | | |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|-----|-----|-----|
| | | | 2:1 | 3:1 | 4:1 | 5:1 |
| 40rpm (0.352m/s) | Thick powder red-pepper | Number of treatment | 5 | 3 | 3 | 4 |
| | | Pass <850 μm (%) | 50 | 50 | 47 | 55 |
| | Regular powder red-pepper | Number of treatment | - | - | - | 7 |
| | | Pass <425 μm (%) | - | - | - | 42 |
| 80rpm (0.704m/s) | Thick powder red-pepper | Number of treatment | 5 | 3 | 3 | 3 |
| | | Pass <850 μm (%) | 60 | 45 | 47 | 52 |
| | Regular powder red-pepper | Number of treatment | - | - | - | 5 |
| | | Pass <425 μm (%) | - | - | - | 42 |

표 3은 세라믹 치형롤 분쇄조건에 따른 고추 분쇄효율을 비교한 것이다. 롤의 분쇄속도 40rpm(0.352m/s)에서 롤 회전비 2:1 경우 5차후에, 3:1, 4:1에서는 3차후에, 롤 회전비 5:1에서는 4차 분쇄후에 굵은 고춧가루를 생산하였고, 분쇄속도 80rpm(0.704m/s)에서도 분쇄속도 40rpm(0.352m/s)에서와 비슷하게 롤 회전비 2:1, 3:1, 4:1에서는 5차, 3차, 3차후에 굵은 고춧가루가 생산되었고, 롤 회전비 5:1에서는 분쇄속도 40rpm(0.352m/s)보다 분쇄처리횟수를 1회정도 단축하는 것으로 분석되었다.

보통 고춧가루를 생산하는데 분쇄속도 40rpm(0.352m/s), 80rpm(0.704m/s), 두 롤의 회전비 2:1, 3:1, 4:1하에서는 생산되지 않았으나, 롤 회전비 5:1에서는 분쇄속도 40rpm(0.352m/s)일 경우 7차 분쇄후에, 분쇄속도 80rpm(0.704m/s)일 경우 5차분쇄후에 생성되어 분쇄처리횟수가 2회정도 단축되어 전단력 증가로 인하여 분쇄능이 향상된 것으로 분석되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 고추분쇄용 세라믹 롤 분쇄기를 이용하여 고춧가루 생산시, 분쇄효율을 향상시키고자 기존의 롤 분쇄속도 40rpm(0.352%)에서 80rpm(0.704%)으로 증가시키고, 기존의 롤 회전비 2:1에서 5:1로 증가시켜 고추분쇄시 전단력 증가로 분쇄능을 향상시켰고, 연구 내용의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 세라믹치형롤 분쇄속도 40rpm(0.352%)에서는 롤 회전비 2:1에서 1,190 μ m 입자가 32.7%, 590 μ m 입자가 19.7%였고, 롤 회전비를 5:1로 증가시 590 μ m 입자가 30.9%, 420 μ m 입자가 17.2%로 중간 미분쇄 영역의 분포가 증가하여 미분쇄 효율이 향상됨을 알 수 있었다.
2. 분쇄물의 롤 통과횟수에 따른 분쇄능은 세라믹치형롤 모두 분쇄속도 80rpm(0.704%)에서 분쇄물의 미분쇄능이 향상되었고, 분쇄생성물의 입계처리 횟수가 3~4차임을 분석할 수 있었다.
3. 보통 고춧가루를 생산하는데 분쇄속도 40rpm(0.352ms), 80rpm(0.704ms), 두 롤의 회전비 2:1, 3:1, 4:1하에서는 생산되지 않았으나, 롤 회전비 5:1에서는 분쇄속도 40rpm(0.352ms)일 경우 7차 분쇄후에, 분쇄속도 80rpm(0.704ms)일 경우 5차분쇄후에 생성되어 분쇄처리횟수가 2회정도 단축되어 전단력 증가로 인하여 분쇄능이 향상된 것으로 분석되었다.
4. 기존의 고춧가루 분쇄조건인 분쇄속도 40rpm(0.352%), 롤 회전비 2:1보다 본 연구에서 개발한 분쇄속도 80rpm(0.704%), 롤 회전비 5:1인 분쇄조건이, 분쇄처리 횟수 단축 등이 분석됨으로서 섬유질이 많이 포함된 고춧가루 등의 재료가공 분쇄기술이 향상된 것으로 분석되었다.

5. 참고문헌

- 1) 강석호, 1995. 분체공학. 회중당
- 2) 강위수, 양승기, 목효균, 1999. 치형 세라믹 롤러와 금속 롤러의 고추분쇄생성물 특성분석. 한국농업기계학회지 1999년 하계학술대회, vol.4(2), p234~239.
- 3) 강위수, 양승기, 목효균, 최상근, 이해익, 2000. 세라믹과 회주철 치형롤 분쇄기를 이용하여 고추분쇄시 전단력 증가가 분쇄생성물에 미치는 영향 분석, 한국농업기계학회지 2000년 동계학술대회, vol.5(2), p266~271.
- 4) 고춧가루 분쇄기의 표준화에 관한 연구보고서(1996, 12). 국립기술품질원.
- 5) 한응수, 홍성희, 배민정, 고경욱, 박지현, 1995. 고추와 고춧가루의 품질관리체계연구개발. 농협대학 농산물가공기술연구소.
- 6) 한응수, 홍성희, 배민정, 고경욱, 박지현, 1996. 고추와 고춧가루의 품질관리체계연구개발. 농협대학 농산물가공기술연구소.
- 7) ASAE Standards, 33rd Ed. 1985. S319.1.St Joseph, MI : ASAE