

분쇄롤러 간격 자동조절식 고춧가루 분쇄기 개발

박희만 · 정성근 · 정종훈*

농업기계화연구소, *전남대학교 생물산업공학과

Development of Red Pepper Miller with Automatic Roller Interval Adjusting System

H.M. Park, S.G. Jeong, J.H. Chung*

National Agricultural Mechanization Research Institute

*Dept. of Biosystems and Agricultural Engineering, Inst. of Ag. Sci. and Tech., Chonnam National University

Abstract

Red pepper powder is produced from dried red peppers through milling process with a roll crusher. A traditional roll crusher is convenient for crushing wax and fiber parts of red peppers. However, some metallics are produced by the friction of two rollers when these operate without feeding of red peppers. In order to reduce the metallic problems created by roll crushers in the process of red peppers, a new automatic roll crusher which enables two roller to apart when red peppers are not fed between two rollers, was developed. The adjustment of clearance between two rollers could be conducted by the current difference between idling and crushing process. Two types of roller surface (groove and flat) and two different roller (cast iron and Ti coating) were tested and compared in this experiment. The results of the experiment could be summarized as follows; 1) An automatic roll crusher consisted of a distant adjusting rod, an electric current sensor, an indicator and a cam that can adjust the clearance between two rollers. 2) More metallics were produced in the groove roller than in the flat roller. 3) Less Fe particles were produced from a Ti coating roller than an iron roller by 13mg per kg of red pepper powder. 4) At the differential ratios in roller revolution of 56.6, 48.0 and 41.7%, the Fe particle amounts of cast iron and Ti rollers were, respectively, 67.6, 65.0, 63.5mg/kg and 54.9, 52.5, 50.1mg/kg, which indicated that the more Fe particles were created at the higher differential ratio. 5) At the differential ratios in roller revolution of 56.6, 48.0 and 41.7%, the amount of red pepper powder of the cast iron and the Ti rollers passing sieve no. 20 (0.85 mm) were, respectively, 68.3, 63.3, 59.1% and 65.5, 61.6, 56.9%. It showed that the cast iron roller was better than the Ti roller in producing red pepper powder of high quality.

Key words: red pepper, automatic roll crusher, cast iron, Ti coating, Fe metallics

서 론

고추는 우리 식생활에 있어서 없어서는 안될 필수 양념채소로 연간 재배면적이 8~9만 ha에 이르고 생산량은 190~220천톤으로 단일 작목으로서 농업 총생산의 4.5%, 채소류 생산액의 30%를 차지하는 중요 소득작목이다(농림통계연보). 고추의 소비량은

건고추 기준으로 국민 1인당 연간 2.2 kg 정도로 세계 최대이며, 풋고추 상태로 소비되기도 하지만 대부분은 고춧가루로 가공하여 김치, 고추장, 각종 음식의 양념으로 이용되고 있다(박상기, 1977).

국내에서 생산되고 있는 고춧가루의 대부분은 영세한 소규모 공장에서 일정한 회전차율을 갖는 주철재의 홈롤러 및 평롤러식 분쇄기를 이용하여 가공하고 있는 실정으로 롤러 소재의 마모도가 크고, 특히 분쇄공정에서 고추가 공급되지 않을 때에는 롤러끼리의 마찰에 의해 쇳가루가 발생하여 문제점이 있는 것으로 지적되어 왔다(오건웅, 1995).

이러한 문제를 해결하기 위해 근래에는 고춧가루

Corresponding author: Jong Hoon Chung, Professor, Dept. of Biosystems and Agricultural Engineering, Inst. of Ag. Sci. and Tech., Chonnam National University, 300 Yongbong-Dong, Buk-Gu, Gwangju, 500-757, Republic of Korea.
Phone: +82-62-530-2156, Fax: +82-62-530-2156
E-mail: cjh2156@hanmail.net

분쇄기의 후 공정에 전자석을 부착하여 쇳가루를 제거하는 방법이 일부 기종에 도입되어 이용되고 있지만, 박재복 등(1990)에 따르면 이동식 자석봉 형태의 자석선별기를 설치하여 실험한 결과 금속성 이물질의 제거효율이 낮아 장치를 통과한 후에도 200~250 ppm의 금속성 이물질을 함유하고 있어 이에 관한 연구가 시급하다고 보고된 바 있다. 특히 자석선별기의 경우 자성을 갖지 않는 금속에 대해서는 현실적으로 제거가 곤란하기 때문에 분쇄공정에서 근본적으로 금속성 이물질 발생량을 줄이는 방안이 요구되고 있다. 분쇄공정중 롤러의 마모를 줄이기 위한 방법으로 오건용 등(1995)은 분쇄롤러간의 직접접촉을 피할 수 있게 분쇄롤러 사이에 가공될 재료가 항상 삽입되어 있도록 하거나 분쇄롤러끼리의 공회전 접촉을 최소화하여야 한다고 제시하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 분쇄중에 쇳가루의 발생을 최소화하기 위해 공회전시 롤러가 부하전류에 따라 자동으로 일정 간격 떨어지는 고춧가루분쇄기를 개발하여 그 성능을 평가하고자 기존에 사용하는 주철재와 내마모성이 입증되어 기계 절삭공구등에 코팅되어 사용되는 Ti를 코팅한 롤러를 각각 장착하여 실험하였다.

재료 및 방법

실험장치 구성 및 제작

실험장치의 구조는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 호퍼, 한쌍의 분쇄롤러, 분쇄압력조절레버, 전동기, 프레임 등으로 구성 제작하였으며, 특히 가공과정에

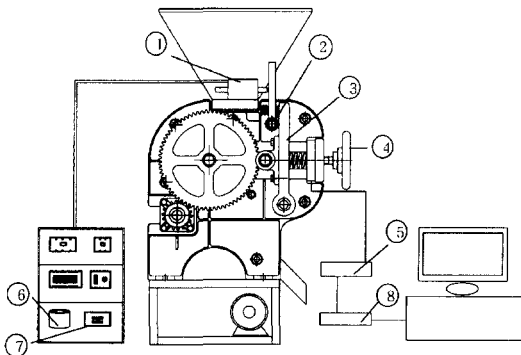


Fig. 1. Schematic diagram of experimental equipment.
 ① Solenoid ② Cam ③ Fixing frame of low speed roller
 ④ Pressure regulator ⑤ Amplifier ⑥ Electric sensor ⑦ Indicator ⑧ A/D converter

Table 1. Specification of experimental equipment

Item	Dimension
Body (LxWxH, mm)	70x80x1300
Roller Diameter (Ø, mm)	195
Roller Lenth (mm)	260
Roller Revolution (rpm)	High speed 40, Low speed 20
Motor	3Ø220 V, 3 kW

서 고춧가루가 투입되지 않을 때 공회전으로 롤러간의 마찰에 의해 쇳가루가 발생하는 것을 방지할 수 있도록 소비전류를 측정하여 공회전시 롤러의 간격을 자동으로 일정 간격 이격 되도록 하였다. 또한 분쇄 압력을 조절할 수 있도록 저속롤러를 힌지로된 지지대에 고정하고, 압축스프링과 레버를 부착하였으며, 회전차율은 기어를 교환함으로써 조절이 가능하도록 하였다. 주요 제원은 Table 1에서 보는 바와 같다.

분쇄롤러 간격조절 장치

롤러 간격제어는 분쇄중일 때 보다 공회전시 소비되는 전류량이 적은 점에 착안하여 간격조절장치를 Fig. 2와 같이 전류센서, 지시계, 솔레노이드, 마크넷스위치, 컨트롤러 등으로 구성 제작하였으며, 공회전시 소비전류가 지시계의 설정된 값 보다 낮을때 솔레노이드가 작동되어 간격 조절봉을 밀어 저속롤러 프레임에 후퇴시킴으로써 고정되어 있는 고속분쇄롤러와 저속분쇄롤러 사이를 이격 시키도록 하였다.

분쇄 압력조절장치

분쇄압력조절장치는 Fig. 3과 같이 압력조절기 (pressure regulator)를 조이거나 풀어줌으로써 저속롤러(①)의 축을 고속롤러 쪽으로 밀어 강·약을 조절할 수 있도록 제작하였다. 초기 분쇄압력 설정을

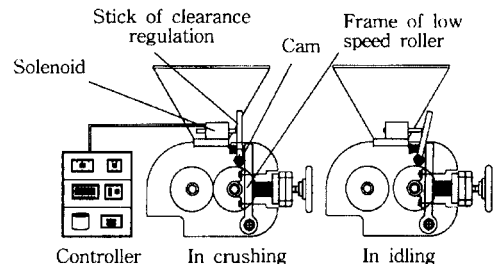


Fig. 2. Difference in clearance control part between crushing and idling work.

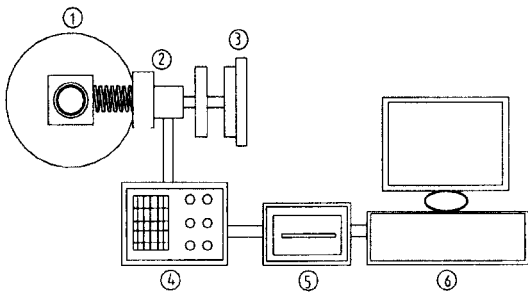


Fig. 3. Schematic diagram of a part setting the initial crushing pressure.

① Crushing roller ② Load cell ③ Pressure regulator ④ Amplifier ⑤ A/D Converter ⑥ PC

정확히 하기 위하여 ①과 ③사이에는 로드셀(load cell, 용량 1.96 kN/cm²)을 장착하여 로드셀로부터 나오는 신호를 증폭시켜 분해능 12bit Analog/Digital 변환기로 변환하여 모니터에 출력되도록 하였다.

분쇄 롤러

분쇄롤러는 기존의 주철재 롤러와 내마모성이 우수하여 드릴날, 선반척, 양수기 임펠라 등에 코팅하여 사용하는 티타늄(Ti)을 표면에 코팅한 티타늄 코팅롤러를 사용하였으며, 주철재 분쇄롤러는 홈롤러로 하여 직경 196 mm로 제작하고 티타늄 코팅롤러는 주철재 홈롤러에 이온프라스마 저온(500°C)법으로 두께 0.6 μm로 티타늄을 코팅하여 제작하였다. Table 2는 주철재 롤러의 화학적 조성비율을 나타낸 것이며, Table 3은 주철재 롤러와 티타늄 코팅롤러의 경도를 나타낸 것이다.

공시재료

본 시험에 사용된 건조고추는 품종이 다복이며 '98년도에 충남 서산에서 재배된 것으로 평균 길이 110.5 mm, 직경 18.5 mm, 무게 3.11 g, 함수율 13.4% (w.b)인 것을 사용하였고, 부위별 Hunter value (Chroma meter: Minolta Co. model CR-200)는 Table 4와 같다.

실험방법

분쇄를 위한 초기 설정 압력이 높으면 분쇄성능

Table 3. Roughness of a roller surface

Item	Hardness (Knoop kN/cm ²)
Cast iron roller	1.95
Ti coating roller	11.15

Table 4. Hunter value of a red-pepper

Item	Hunter value		
	L	a	b
Pericarp (exterior)	36.82	18.77	7.03
Pericarp (interior)	38.09	16.79	9.26
Placenta	57.32	27.66	34.18
Seed	64.05	10.23	32.17

은 높지만 롤러 마모증대가 예상되므로 분쇄를 위한 초기 설정 압력을 가능한 최소로 하였다. 초기 압력은 압력조절기로써 강·약을 조절하여 설정하였다.

고추는 표면이 왁스층으로 이루어져 미끄럽고 조직이 섬유질로 되어있어 질긴 특성이 있기 때문에 다른 농산물에 비해 분쇄가 용이하지 않다. 따라서 압축력과 전단력이 복합적으로 동시에 작용하며 분쇄효율을 높일 수 있는 회전차율을 찾기 위하여 경험적으로 사용되고 있는 회전비 2:1을 고려하여 4수준(27.2, 41.7, 48.0, 56.6%)으로 분쇄한 후 섯가루 발생량과 고춧가루의 입도를 분석하여 비교하였다. 분쇄횟수는 고춧가루 방앗간에서 보통고춧가루의 평균 분쇄횟수를 고려하여 7회로 하였다. 분쇄정도는 KS규격인 20번체(0.85 mm)를 60%이상 통과해야하는 보통고춧가루를 기준하고, 입도측정은 체가름기계(RO-tap)와 KS표준체 20번(0.85 mm)을 사용하여 100 g의 시료를 10분간 체가름을 한 후 5분간씩 체가름을 더하여 체위에 남은 양을 1/1000 g 저울로 측정을 하였다.

본 실험은 수준별 3반복으로 하였고 처리당 공급량은 각각 3 kg으로 하였다. 분석용 샘플은 공급이 1/2정도 되었을 때 배출구에서 150 g을 취하였다. 섯가루 발생량을 측정하기 위하여 원료고추와 고춧가루를 분석하였다. Fe 발생량 분석은 식물체중 중금속 분석방법에 따라 시료 3 g을 취하여 250 ml 삼각 후라스크에 넣고 분해액(Ternary solution, HNO₃;

Table 2. Chemical composition of a cast iron roller

Item	Chemical composition (%)								
	Fe	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Pb
Iron roller	93.05	3.30	1.89	0.34	0.016	0.015	0.01	0.02	0.015

H₂SO₄:HClO₄)을 30 ml 가한 다음 Hot plate에서 가열 분해하여 분해액이 백색이 되면 여과지 No. 6로 여과한 후 100 ml 메스후라스크에서 섞고, 여과액을 적당량 희석하여 유도 화합 프라즈마 발광 분석장치(Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer)로 측정 분석하였다.

결과 및 고찰

롤러형태 및 분쇄압력 결정

기존 분쇄기에서 표면에 흠이 있는 롤러와 표면이 매끈한 평롤러를 각각 이용하여 Fe의 발생량을 조사한 결과 평롤러에서 63.83 mg/kg인 반면 흠롤러에서 291.36 mg/kg으로 약 4.6배가 더 발생되어 분쇄 공정에서 흠롤러가 쇳가루 발생의 주원인인 것으로 나타났다. 따라서 쇳가루 발생량이 많은 흠롤러를 시작기 롤러로 하였다. 분쇄압력이 크면 분쇄는 잘될 수 있지만 롤러 마모를 촉진하기 때문에 적정 분쇄입도(KS규격인 20번체를 60%이상 통과)를 만족하는 최소의 분쇄압력을 찾고자 압력별로 분쇄입도를 조사한 결과, 압력 490N/cm²에서 이를 충족하였다. 따라서 Table 5에서 보는 바와 같이 모든 실험에 있어서 분쇄압력은 490N/cm²로 고정하였다.

쇳가루 발생량: 기존 분쇄기

주철재 흠롤러에 자동 간격조절장치가 없는 기존의 분쇄기를 이용하여 분쇄후의 고춧가루에 포함되어 있는 Fe 발생량을 조사한 결과, Table 6에서와 같이 1회 분쇄시 86.2 mg/kg 였으나 분쇄회수가 늘어날수록 계속 증가하여 7회 분쇄시에는 237.9 mg/kg으로 높게 나타났으며, 분쇄회수가 증가함에 따라

Table 5. Portion of particles passed through the # 20 sieve at different crushing pressure

Crushing pressure (N/cm ²)	196	294	392	490
Portion of particles (%)	53.01	55.91	58.52	62.85

Notes: Differential ratio in peripheral to differential ratio in peripheral velocity : 48%

Table 6. The amount of Fe according and particle size to various crushing number in a conventional mill

Number of crushing	1	2	3	4	5	6	7
Amount of Fe (mg/kg)	86.2	147.1	169.0	189.5	203.0	215.2	237.9
Particle size	6.42	25.41	35.98	44.09	52.59	57.71	65.64

Notes: 1) Particle size: under size of sieve 20

2) Differential ratio in peripheral to differential ratio in peripheral velocity: 48%

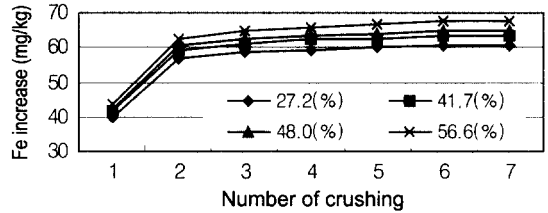


Fig. 4. The increasement of Fe according to differential ratio in peripheral velocity at a cast iron roller.

Fe 발생량의 증가폭은 감소하였다. 분쇄입도는 분쇄회수가 증가될수록 20번체를 통과 비율이 증가하여 7회에서 65.64%로 60%이상으로 나타났다.

쇳가루 발생량: 자동간격조절 분쇄기(시작기)

롤러의 자동간격조절이 가능하도록 제작된 시작기에 주철재 흠롤러를 장착하여 Fe 발생량을 조사한 결과, Fig. 4와 같이 분쇄회수가 증가할수록 많았지만 증가폭은 감소하는 경향을 나타내었다. 분쇄회수 7회 기준에서 회전차율 27.2, 42.7, 48.0, 56.6%일 때 각각 60.6, 63.5, 65.0, 67.6 mg/kg으로 발생되어 회전차율이 증가할수록 쇳가루 발생량이 증가하였다. 또한 기존 분쇄기와 비교하면, 기존 분쇄기의 쇳가루 함량이 237.9 mg/kg 인데 비하여 시작기의 회전차율별로 각각 74.5, 73.3, 72.7, 71.6% 쇳가루가 감소하는 것으로 나타났다. Fe 발생량은 분쇄초기에 많고 분쇄회수가 증가할 수록 발생량의 증가폭이 감소하는 것은 원료고추의 입자가 크면 입자와 입자 사이의 공극이 크기 때문에 분쇄롤러 간의 직접 접촉 면적이 넓어지고 고추의 입자가 적으면 입자와 입자 사이의 공극이 적어 직접접촉 면적이 적어 직접 마찰이 줄어들기 때문인 것으로 판단된다.

티타늄 코팅 롤러의 Fe 발생량도 Fig. 5에서 나타난 것과 같이 회전차율 27.2, 41.7, 48.0, 56.6%에서 47.85, 50.12, 52.48, 54.91 mg/kg으로 회전차율 27.2%에서 가장 적었으며 회전차율이 증가할수록 Fe 발생량이 많았다. Fe 발생량의 감소율을 기존 분

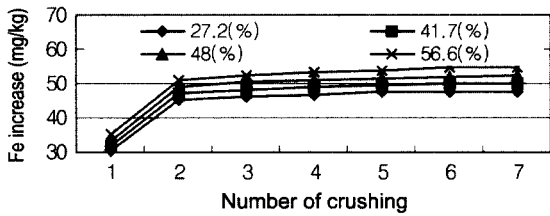


Fig. 5. The increase of Fe according to differential ratio in peripheral velocity at Ti a coating roller.

Table 7. The amount of Ti in red-pepper powder according to differential ratio in peripheral velocity at a cast iron roller and at a Ti coating roller

Roller materials	Differential ratio in peripheral velocity (%)	Ti amount (mg/kg)
Cast iron	27.2	1.8
	41.7	2.0
	48.0	2.1
	56.6	2.2
Ti coating	27.2	6.7
	41.7	8.8
	48.0	10.9
	56.6	12.9

쇄기와 비교하여 보면 회전차율별로 각각 79.9, 78.9, 77.9, 76.9% 감소하는 것으로 나타나 분쇄롤러의 재질에 관계없이 회전차율이 증가할수록 Fe 발생량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 회전차율이 클수록 롤러간의 주속도차가 커져 마찰력 증가한 것으로 생각된다. 또한 주철재 롤러보다 티타늄 코팅롤러에서 Fe 발생량이 적은 것은 티타늄 코팅을 함으로써 경도가 크게 증가하여 내마모성이 향상된 것으로 판단된다.

한편 Table 7에서 보는 바와 같이 티타늄 발생은 회전차율 27.2, 41.7, 48.0, 56.6%에서 주철재 롤러는 각각 1.8, 2.0, 2.1, 2.2 mg/kg이었으나 티타늄 코팅롤러는 각각 6.7, 8.8, 10.9, 12.9 mg/kg으로 주철재 롤러보다 많아 코팅된 티타늄이 마모되는 것으로 나타나 코팅 효과가 지속되지 못해 고춧가루를 분쇄하는 가공공장과 방앗간처럼 장시간 사용하는 곳에는 주철재 롤러가 적당할 것으로 판단되었다.

고춧가루 입도

고춧가루가 20번체(0.85 mm)를 통과한 비율은 분쇄롤러의 회전차율이 27.2, 41.7, 48, 56.6%일 때 주철재 롤러와 티타늄 코팅롤러에서 각각 55.0, 59.1,

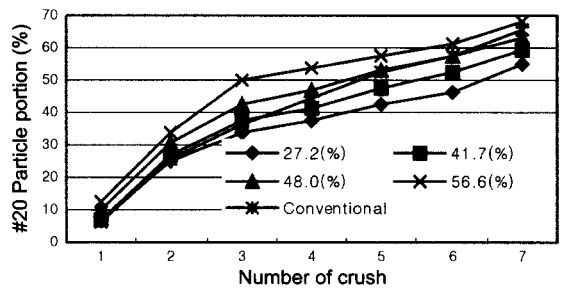


Fig. 6. The particle portions according to differential ratio in peripheral velocity and crushing numbert at cast iron roller.

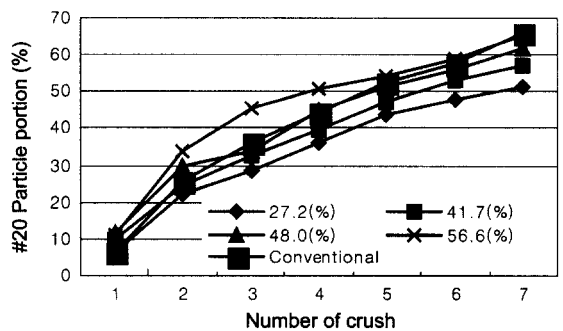


Fig. 7. The particle portions according to differential ratio in peripheral velocity and crushing number at Ti coating roller.

63.3, 68.1%와, 51.3, 56.9, 61.6, 65.5%로 나타나 주철재 롤러가 티타늄 코팅롤러 보다 분쇄가 잘되는 것으로 나타났으며, 20번체를 60%이상 통과 한 고춧가루의 입도를 적정 입도로 볼 때 분쇄롤러의 적정 회전차율은 48%이상이 되어야 하는 것으로 나타났다. 티타늄 코팅롤러가 주철재 롤러보다 분쇄가 떨어지는 것은 롤러 표면의 경도가 높아서 롤러 사이에 끼인 고춧가루에 미끄러짐이 생기기 때문인 것으로 판단된다.

작업 처리능력

선정된 주철재 홈롤러를 장착한 시작기의 회전차율 48%, 분쇄횟수 7회에서 작업성능은 64.2 kg/hr로 기존 분쇄기 57.1 kg/hr 보다 11.1% 더 능률적인 것으로 나타났다.

요 약

개발한 시작기는 고춧가루 분쇄시 발생하는 Fe를 줄이기 위한 것으로 공회전시 분쇄롤러의 간격을

자동으로 띠우도록 고춧가루 분쇄기의 구조를 설계 제작하여 분쇄롤러의 재질별로 회전차율에 따라서 고춧가루에 혼입되는 Fe 양과 고춧가루 입도를 측정하였다.

1. 기존분쇄기에서 홈롤러로 고춧가루 분쇄시 Fe 발생량은 분쇄회수 1회시 86.2 mg/kg에서 7회 분쇄시 237.9 mg/kg까지 증가하였다.

2. 주철재 롤러와 티타늄 코팅롤러의 회전차율별 Fe 발생량은 7회 분쇄 기준으로 회전차율이 41.7, 48.0, 56.6%에서 주철재 롤러가 각각 63.5, 65.0, 67.6 mg/kg으로 티타늄 코팅롤러 50.1, 52.5, 54.9 mg/kg 보다 많았으며, 회전차율이 클수록 높게 나타났다.

3. 주철재 롤러 및 티타늄 코팅롤러의 티타늄 발생량은 회전차율 41.7, 48.0, 56.6%에서 주철재 롤러는 각각 2.0, 2.1, 2.2 mg/kg이었으나, 티타늄 코팅롤러는 각각 8.8, 10.9, 12.9 mg/kg으로 주철재 롤러 보다 많아 코팅된 티타늄이 마모되는 것으로 나타났다.

4. 분쇄입도는 건조추를 7회 분쇄했을 때 고춧가루가 20번체(0.85 mm)를 통과한 비율로 분쇄롤러의 회전차율이 56.6%, 48.0%일 경우 주철재 롤러와 티

타늄 코팅롤러에서 각각 68.1%, 63.3%와 65.5%, 61.6%로 나타나 주철재 롤러가 Ti 코팅롤러보다 분쇄가 잘되는 것으로 나타났다.

5. 20번체를 60%이상 통과한 고춧가루의 입도와 Fe 발생량을 고려한 시작기의 분쇄롤러 재질 및 적정 회전차율은 주철재 롤러의 회전차율 48%가 최적으로 판단되었다.

6. 주철재 롤러시작기로 회전차율 48.0%에서 7회 분쇄한 고춧가루 1 kg에 함유된 Fe양은 65.0 mg/kg으로 기존 분쇄기 보다 약 72%가 감소되었으며, 분쇄 처리능력은 64.2 kg/hr로 11.1% 더 능률적인 것으로 나타났다.

문 헌

- 농림수산통계연보. 각년도. 농림부
박재복. 1990. 고추분말의 가공기술개발에 관한 연구(1, 2차연도). 연구보고서, 한국식품개발연구원
박상기. 1977. 한국인의 고추식생활에 관한 조사연구. 한국농화학회지 **20**(1): 95-100
오건용. 1995. 고춧가루 분쇄기의 표준화에 관한 연구 보고서. 국립기술품질원