

공기분사 및 회전 롤러를 이용한 옥수수 포엽 제거장치의 시험

박희만 조광환 홍성기 이선호

Evaluation of an Air-jet and Roller Type Corn-husker

H. M. Park K. H. Cho S. K. Hong S. H. Lee

Abstract

With income growth and “well-being” trends, sales of corn has been increased recently. Corns are processed at processing facilities on the main production site. Corn processing steps include removing bract, steaming, vacuum packing, and storing. To replace manual corn bract removing, some bract removing machines were imported and used. However, the machines were abandoned shortly, because of high damaging ratio of corns. In this research, factors of successful bract removing was studied with rotating rollers and air-injection nozzles to develop corn bract removing system. The test device was composed of a cylindrical roller, an air spray nozzle, a regulator, and a motor. Designing factors were roller type, diameter of air spraying nozzle, spraying angle, and spraying pressure. The measured factors were bract removing rate and damaging rate. It was found that optimum cylindrical roller surface shape was cylindrical roller and linear groove roller. This roller shape produced lowest damaging rate. Test results of the efficacy of preprocessing showed that the air spraying after preprocessing produced highest performance. The rotational speed and inclination of the roller didn't affect the bract removing performance. Optimum injection angle of the air jet nozzle was 70°. To increase bract removing rate and to reduce corn damage, required injection pressure and injection nozzle diameter were decided to less than 0.4 MPa and 2.5 mm, respectively. More than 3 times of nozzle passing produced good bract removing performance and there were no significant difference between the number of passing times.

Keywords : Air-jet, Nozzle, Roller, Corn, Husker

1. 서론

옥수수는 전통적 기호식품으로 식용되어 왔으며 최근 소득 증가 및 웰빙이라는 사회적 트렌드에 따라 소비가 확대되고 있고 특히 길거리 식품이나 어린이 선호 식품으로 2차 및 3차 가공 농식품으로 개발 가능성이 높은 농산물 중 하나로써 수요가 증가될 것으로 생각된다. 식용 옥수수의 수입액은 2,000년 29백만 달러(31천톤)에서 2005년 34백만 달러(36천톤)으로 17%가 증가하였으며 특히 최근 국제 곡물가 상승 및 환율 상승으로 수입액은 더욱 늘어날 전망이다. 중국에서 식용 옥수수를 가공 처리하여 45%의 저유관세율로 도입이

되고 있어 저가 공세로 인한 국내 식용 찰옥수수 생산에 미치는 영향은 점점 증가할 것으로 전망됨에 따라 국내 생산 식용옥수수의 경쟁력 향상을 위해 일부 주산지 생산자는 인력으로 찰옥수수 포엽을 제거 후에 찢 상태로 진공포장하여 냉동저장하면서 주문판매를 하고 있는 실정이다. 지금까지 옥수수 포엽 제거 기계화에 대한 학문적 연구보다는 실용화를 위한 편이 기구나 기계장치에 대한 산업재산권 출원이 옥수수를 많이 이용하는 나라를 중심으로 이루어지고 있었다. 미국에서는 1800년대 말부터 돌기가 부착된 장갑형태의 기구(Ludwig, 1886)를 이용하였으며, 1900년대 중반에는 원통형 회전롤러 2개를 한 쌍으로 맞닿아 인쪽 방향으로 회전하

는 방식의 기계를 이용하기 시작하였다. 1960년대 이후에는 포장에서 예취, 탈곡, 포엽 제거, 탈립까지 일관적으로 작업이 가능한 대형 수확기가 사용되고 있다(Hadley and Moines, 1962). 캐나다와 미국에서 포장에서 옥수수의 수확 및 수확 후 일관작업이 가능한 것은 곡립이 충실히 익은 후에 작업을 하기 때문이다. 최근 우리나라에서도 포엽제거 기계화를 위해 특허출원한 사례로, 회전테이블에 옥수수를 개체단위로 공급하여 자루부분을 절단하고 회전형 브러시롤러로 포엽을 제거하는 방식(Park, 2006a), 수염부위와 포엽 부착부위 상단까지 절단한 후에 원통회전롤러를 이용하는 방식(Park, 2006b) 등이 있으나 산업화까지는 이루어지지 못하고 있다. 최근 국내 최대 주산지에서 미국으로부터 옥수수 포엽 제거기를 수입 설치하여 식용 풋옥수수 포엽 제거에 적용하였지만 옥수수의 물성이 약해 작업량의 70~80%가 손상되어 사용이 곤란한 실정이며, 옥수수의 산지처리 유통에 대한 경쟁력 향상을 위해서는 손상율이 낮은 포엽 제거 기계화 기술의 개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 손상율이 낮은 포엽 제거 기계화 기술을 개

발하기 위한 기초자료로 획득하고자 회전롤러와 공기분사노즐을 이용하여 포엽 제거 요인구명 시험을 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 옥수수 포엽 제거 요인시험장치 제작

그림 1은 옥수수의 포엽 제거 요인시험을 위한 장치로서 원통형의 롤러, 직사공기분사노즐, 레귤레이터 및 모터로 구성하였다. 원통형 롤러는 2개가 평행으로 맞닿아 상호 안쪽 방향으로 회전(Go, 1993) 하면서 옥수수 포엽을 두 롤러 사이에 물려 제거한다. 시험 중에 옥수수가 롤러 밖으로 떨어지지 않도록 롤러 2 개중 1개를 시험장치 측면에서 보았을 때 약간 높게(25°) 설치하였고 높이가 낮은 롤러 외측면에 왕복 운동하는 가이드판을 부착, 옥수수가 롤러 밖으로 벗어나지 못하도록 하였다. 롤러의 회전수는 인버터로 모터의 전류 세기를 조절하여서 조정하였다. 공기분사노즐은 롤러 상부의 프레임에 설치한 노즐 지지대에 방향조절이 가능하도록 부착하여 공기 분사각을 임의로 조절 가능하도록 하였다.

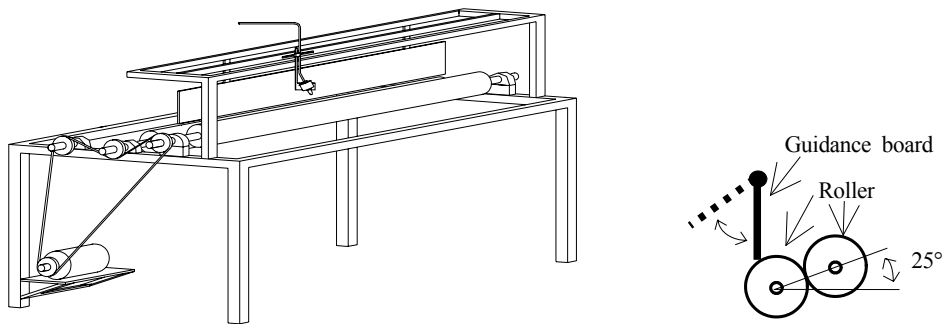


Fig. 1 Experimental apparatus for the corn bract removal factor determination.

Table 1 Specification of the corn bract removal tester

Item		Size	
Total (mm)		1,000 (L) × 500 (W) × 700 (H)	
Cylindrical Roller	Plain type	Material	Synthetic rubber
		Diameter (mm)	60
		Length (mm)	800
		Install No. (ea)	2
	Spiral groove type	Material	Synthetic rubber
		Diameter (mm)	60
		Length (mm)	800
		Install No. (ea)	2
	Linear groove type	Pitch (mm)	325
		Material	Synthetic rubber
		Diameter (mm)	60
		Length (mm)	800
		Install No. (ea)	2
	Pitch of groove (mm)		18
Width of groove (mm)		4	
Power (Hp)		1 (0.75 kW, Reduction gear ratio 5 : 1)	

나. 옥수수 포엽 제거 시험 방법

1) 롤러 표면 형상별 포엽 제거시험

시험에 사용한 롤러는 표면 형상에 따라 일반적인 평롤러, 나선형의 홈이 있는 나선 홈 롤러, 축 방향으로 홈이 있는 직선 홈 롤러로 3종류이다. 시험은 롤러 2개를 한 쌍으로 하여 그림 2에서 보는바와 같이 평 롤러+평 롤러, 평 롤러+나선 홈 롤러, 평 롤러+직선 홈 롤러 및 나선 홈 롤러+나선 홈 롤러로 4가지 조합으로 실시하여 포엽제거율과 손상율을 조사하였다. 시험 시 롤러의 원주속도는 0.7 m/s, 투입 개체당 작업시간은 30초, 반복회수는 4회(반복당 17개)로 하였다.

2) 시료의 상태별 포엽제거 시험

시료의 상태별 포엽제거 시험은 롤러 표면 형상별 포엽 제거시험에서 구멍된 형상의 롤러와 공기 분사 노즐 직경이 2.5 mm인 직사노즐(공기분사압력 0.3 MPa, 공기 분사각 70°)를 이용하여 옥수수의 자루부분과 수염부분을 잘라 낸 상태 즉 전처리 유무별로 실시하였고, 포엽 제거율과 손상율을 조사하였다.

3) 롤러의 원주속도 및 경사별 포엽제거 시험

롤러의 원주속도 및 경사별 요인구명시험의 시험조건은 롤러 표면 형상별 포엽 제거시험에서 구멍된 최적 형상의 롤러를 이용하여 공기분사 직사노즐 직경 2.5 mm, 공기분사 압력 0.3 MPa, 수평면 기준 노즐의 공기 분사각 70° 및 시료의 노즐 통과 회수 1회로 하고 롤러의 원주속도, 0.7 m/s, 0.9 m/s, 1.1 m/s와 롤러의 경사도 6°, 8°, 10°, 12°를 상호 조합하여 시험하였으며 포엽 제거율과 손상율을 조사하여 포엽 제거율에 대하여 최소유의차검정으로 유의성을 분석하였다.

4) 노즐의 공기 분사각도별 포엽 제거율 시험

본 시험은 선행 시험에서 구멍된 롤러형식으로 제작한 시험장치를 이용하여 공기분사압력 0.4 MPa, 노즐직경 2.5 mm 및 전처리한 옥수수 통과회수 1회의 조건으로 실시하였다. 시험요인은 수평면을 기준으로 한 노즐의 공기분사각 45°, 70°, 90°로 하였으며 조사내용은 포엽 제거율로 하였다.

5) 노즐의 직경 및 공기분사 압력별 포엽 제거율 시험

노즐의 직경 및 공기분사압력의 포엽 제거 요인구명시험은 선행 시험에서 구멍된 롤러 형상, 분사각 및 옥수수가 노즐을 1회 통과하는 조건에서 시험하고 포엽 제거율을 조사하였다. 시험요인은 노즐의 직경 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm 및 3.0 mm와 공기분사압력 0.3 MPa, 0.4 MPa, 0.5 MPa 및 0.6 MPa를 상호 조합하였다.

6) 노즐 통과 회수별 포엽 제거율 시험

옥수수의 노즐 통과회수별 포엽제거율 요인 구명시험은 기 구멍한 롤러의 형상, 공기분사 조건 등 선행 구멍조건을 적용하여 옥수수가 노즐을 통과한 회수별(1~4회)로 실시하여, 포엽 제거율을 조사하고 손상율은 최종회수(4회)에서 조사하였다.

다. 조사방법

옥수수 포엽 제거 요인구명을 위한 각 인자별 요인에 따라 조사한 포엽 제거율은 투입한 옥수수 개체수로 포엽이 제거된 개체수를 나누어 백분율로 하였으며 손상율은 투입한 개체수로 손상된 개체수를 나누어 백분율로 하였다. 포엽 제거 여부는 포엽이 완전히 제거된 상태를 기준으로 판단하였고 손상은 옥수수 개체 내에 알갱이 하나 이상의 손상이 있으면 손상개체로 판단하였다.

$$RR = \frac{P - O}{P} \times 100 \tag{1}$$

RR : Ratio of corn-husk removal (%)

P : Number of Input samples

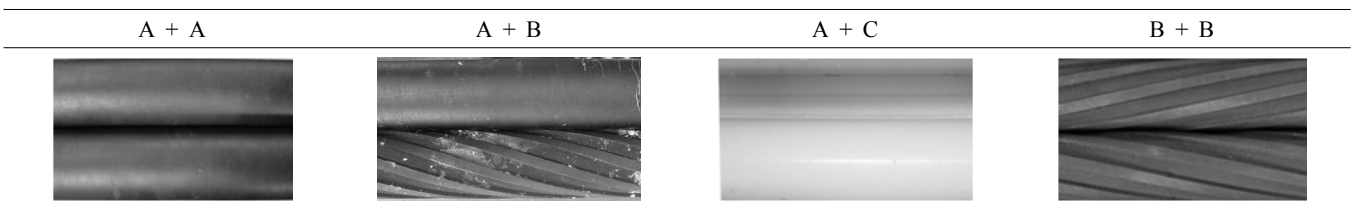
O : Number of corn-husk unremoved samples

$$RD = \frac{I}{P} \times 100 \tag{2}$$

RD : Ratio of damage (%)

P : Number of Input samples

I : Number of damaged samples



※ A : Plain roller, B : Spiral groove roller, C : Linear groove roller

Fig. 2 The shape of roller surfaces.

3. 결과 및 고찰

가. 롤러 표면 형상별 포엽 제거시험

표 2는 롤러 형상별 조합을 4종류로 달리한 옥수수 포엽 제거 장치에서 포엽 제거율과 손상율을 조사한 결과이다. 롤러 형상이 평 롤러+평 롤러(A+A), 평 롤러+나선 홈 롤러(A+B), 평 롤러+직선 홈 롤러(A+C), 나선 홈 롤러+나선 홈 롤러(B+B)에서 포엽 제거율이 각각 48%, 76%, 52%, 100%였으며, 손상율은 각각 2%, 34%, 4%, 100%로 나타났다. 나선 홈롤러가 포함된 시험조건에서 포엽 제거율과 손상율이 그렇지 않은 롤러 조합보다 높게 나타났다. 나선 롤러는 회전시 나선의 모서리와 옥수수가 접촉 하면서 발생하는 전단력으로 포엽 제거가 잘되지만 동시에 손상도 많이 발생하는 것으로 생각되었으며 평 롤러와 직선 홈 롤러 조합은 롤러와 옥수수가 접촉면이 넓어 단위면적당 전단력이 그만큼 감소되는 효과가 있어 제거율 및 손상율이 낮은 것으로 생각된다. 롤러 표면 형상별 포엽 제거 시험 목적이 손상율이 낮으면서 포엽을 제거 할 수 있는 요인을 구명하기 위함이었기 때문에 손상율이 낮은 평 롤러+평 롤러 및 평 롤러+직선 홈 롤러 중에서 포엽 제거율이 높은 평 롤러+직선 홈 롤러를 선정하여 다음에 이어지는 시험에 적용하였다.

Table 2 Results of performance of corn bract removal test by the combination of roller types

Item	A + A	A + B	A + C	B + B
RR (%)	48	76	52	100
RD (%)	2	34	4	100

※ A : Plain roller, B: Spiral groove roller, C : linear groove roller, RR : Ratio of corn-husk removal, RD : Ratio of damage

Table 3 Results of removal test of corn bracts by the sample preprocess

Item	Experiment condition					
	Preprocessed sample		Untreated sample			
	Air sprayed	Air unsprayed	Air sprayed		Air unsprayed	
			Corn silk	Un-silk	Corn silk	Un-silk
RR	50	24	72	34	68	28
RD	2	0	32	2	28	2

※ Number of passing through the nozzle : once, Pressure of spraying : 0.3 MPa, Roller : Plain roller+Linear groove roller, Diameter of nozzle : 2.5 mm, Angle of spraying : 70°, RR : Ratio of corn-husk removal, RD : Ratio of damage

Table 4 Results of removal ratio of corn bract by the circumferential velocity and the angle of roller

Circumferential velocity (m/s)	Angle of roller (°)			
	6	8	10	12
0.7	46	48	40	44
0.9	52	48	48	44
1.1	50	54	44	42

※ Number of passing through the nozzle : once, Pressure of spraying : 0.3 MPa, Diameter of nozzle : 2.5 mm, Angle of spraying : 70°

나. 시료의 상태별 포엽제거 시험

표 3은 평 롤러+직선 홈 롤러를 이용하여 옥수수 자루 및 수염부분을 제거한 시료와 미제거한 시료에 대하여 공기분사 유무에 따라 포엽 제거율과 손상율을 조사한 결과이다. 포엽 제거율은 무처리 시료내 비교에서 수염이 있을 때가 없을 때보다 높게 나타났으며, 전처리 시료나 무처리 모두 공기를 분사 할 때가 공기를 분사하지 않을 때보다 높았다. 무처리 시료에서 옥수수의 수염이 있을 경우가 없을 경우보다 포엽 제거율이 더 높은 것은 수염이 회전하는 롤러 사이에 물려 들어가면서 포엽이 옥수수에서 들뜨게 하여 쉽게 롤러 사이에 들어가게 하는 효과가 있는 것으로 생각되었으며, 공기분사가 미분사 경우보다 포엽 제거율이 높은 것은 분사된 공기가 옥수수에서 포엽을 들뜨게 하여 쉽게 롤러에 물려 들게 하는 것으로 생각된다. 또한 끝부분이 절단되어 있는 전처리 시료가 전처리하지 않은 무수염 시료보다 공기를 분사하였을 경우에 포엽 제거율이 높은 것도 같은 현상이 발생하기 때문으로 생각된다. 손상율은 수염이 있을 때가 수염이 없을 때보다 높게 나타났으며 전처리 시료 및 무처리 무수염 시료의 처리 간 비교에서는 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 수염이 있는 시료는 회전하는 롤러가 수염을 순식간에 물고 들어가면서 끌어당기기 때문에 옥수수 끝부분이 롤러 사이에 깊이 물리면서 손상이 많이 되는 것으로 생각되었다. 옥수수 시료의 상태 및 공기분사 유무에 대한 포엽 제거율과 손상율을 종합적으로 고려하였을 때 전처리 후에 공기를 분사하는 조건이 가장 양호한 요인으로 판단되었다.

다. 롤러의 원주속도 및 경사별 포엽제거 시험

표 4는 선행시험에서 구명된 롤러(평 롤러+직선 홈 롤러)

Table 5 Results of ANOVA analysis of removal ratio of corn bract by the circumferential velocity and the angle of roller

Item	Degree of freedom	SS	MS	F	Pr>F
Circumferential velocity	2	1.43	0.72	0.40	0.67
Angle	3	5.47	1.82	1.02	0.39
Circumferential velocity×Slope	6	2.43	0.41	0.23	0.97
Error	48	86.00	1.79		
Total	59	95.33			

를 이용하여 롤러의 원주속도와 경사도별 포엽 제거율을 조사한 결과이다. 표 5는 표 4의 결과를 분산분석하여 롤러의 원주속도(0.7 m/s, 0.9 m/s, 1.1 m/s) 및 경사도 (6°, 8°, 10°, 12°)가 포엽 제거율에 미치는 영향을 조사한 결과로서 시험 요인별 및 시험요인 상호간 교호작용에 의한 영향은 없는 것으로 나타났다.

라. 노즐의 공기 분사각도별 포엽 제거율

표 6은 회전 롤러(평 롤러+직선 홈 롤러) 방식으로 공기 분사각도별로 포엽제거율과 손상율을 조사한 결과이다. 노즐에서 분사한 공기가 옥수수 포엽과 부딪치는 순간 옥수수로부터 포엽을 들뜨게 하여 회전 롤러 사이로 유입하는데 가장 효과적인 분사각은 LSD(5%) 검정 결과 70°로 나타났다. 분사각 70°가 가장 효과적인 것은 그림 3처럼 분사한 공기가 전처리한 옥수수 포엽에 부딪치면서 측면이나 옥수수 속으로 분산되지 않고 옥수수 절단면 포엽 부분에 집중적으로 부딪치기 때문으로 생각되었다. 90°로 분사된 공기는 대부분이

옥수수 윗부분에 충돌되므로 절단면 측면과 아래 부분에서는 효과가 떨어지는 것으로 판단된다. 45°로 분사한 공기는 옥수수에 부딪치면서 롤러와 인접한 아래 부분 포엽에 집중되어야 하지만 일부가 옥수수와 포엽 사이로 스며들고 일부는 측면에 있는 포엽에 분산되는 것으로 판단된다.

마. 노즐의 직경 및 공기분사 압력별 포엽 제거율

표 7은 선행 시험에서 선정된 롤러를 이용하여 노즐의 직경 및 공기분사 압력별 포엽 제거율을 조사한 결과이다. 포엽 제거율은 최소유의차 검정(LSD 5%)결과 분사압력이 높을수록 높게 나타났으나 노즐 직경에 따라서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 손상율은 공기분사압력 0.4 MPa에서 노즐직경 3.0 mm 이상일 때와 공기분사압력 0.5 MPa에서 노즐 직경 2.5 mm 이상일 때 6% 이상 값을 보여 적합하지 않은 요인으로 판단되었으며 이외에 조건에 대해서는 추가 시험이 필요한 것으로 생각되었다.

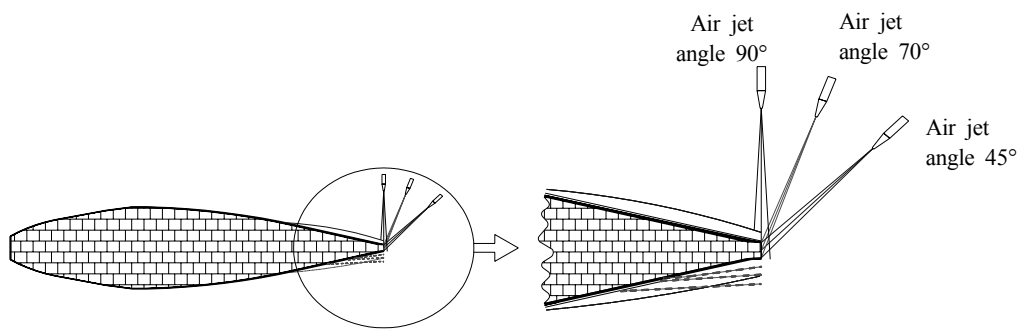


Fig. 3 The effect of spraying angle of the air to the corn bract.

Table 6 The ratio of bract removal by the spraying angle of nozzle

Item	The angle of spraying (°)			L.S.D. (5%)
	45 ^a	70 ^b	90 ^a	
RR (%)	54	66	56	0.75
RD (%)	4.0	4.0	6.0	

※ Number of passing through the nozzle : once, Pressure of spraying : 0.4 MPa, Diameter of nozzle : 2.5 mm, RR : Ratio of corn-husk removal, RD : Ratio of damage

Table 7 The ratio of bract removal by the diameter of nozzle and spraying pressure of the air

The pressure of spraying (MPa)	The diameter of nozzle (mm)				Note
	1.5 ^a	2.0 ^a	2.5 ^a	3.0 ^a	
0.3 ^a	38	48	52	62	
0.4 ^{ab}	50	56	64	66	RD exceeded 6% for dia > 3.0 mm
0.5 ^b	54	60	66	68	RD exceeded 6% for dia > 2.5 mm

※ Number of passing through the nozzle : once, Angle of spraying : 70°, RD : Ratio of damage

Table 8 The remove ratio of corn bract by the number of pass through the nozzle

The number of pass through the nozzle	1	2	3	4
Ratio of bract removal (%)	66	74	82	84

※ Pressure of spraying : 0.4 MPa, Diameter of nozzle : 2.5 mm

바. 노즐 통과 회수별 포엽 제거율

표 8은 선행 시험에서 구명된 회전롤러 및 공기분사각 상태에서 옥수수가 공기 분사 노즐을 통과한 횟수를 달리하였을 때 포엽 제거율을 조사한 결과이다. 포엽 제거율은 공기분사노즐을 통과한 횟수가 증가할수록 높았으나 3회 이상에서는 차이가 없는 것으로 나타나 전처리한 옥수수의 포엽 제거를 위한 노즐의 설치 개수는 3개가 최적으로 생각되었다.

4. 요약 및 결론

손상율이 낮은 옥수수 포엽 제거기 개발에 기초자료로 사용하고자 공기분사 및 회전롤러를 이용한 포엽 제거장치를 고안제작하고 적정 롤러 형식, 공기분사노즐의 구경, 분사각, 분사압력 등에 대한 요인 구명 시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

- (1) 롤러 표면 형상별 포엽 제거 요인을 구명하기 위해 회전원통롤러의 표면형상별 시험결과 평 롤러+직선 홈 롤러에서 손상율이 가장 적게 나타났다.
- (2) 시료의 상태별 포엽제거 요인을 구명하기 위해 전처리 및 무처리 시료에 대하여 노즐을 이용하여 공기분사 유무에 따라 포엽제거 요인 구명시험을 한 결과 전처리를 하여 공기를 분사하는 조건이 가장 양호한 요인으로 나타났다.
- (3) 롤러의 원주속도 및 경사별 포엽 제거 요인을 구명하기 위해 원주속도는 0.7 m/s, 0.9 m/s, 1.1 m/s, 경사도는 6°, 8°, 10°, 12°로 하여 시험한 결과 원주속도와 경사도는 포엽 제거율에 미치는 영향은 없었다.

- (4) 노즐의 공기 분사각도별 포엽 제거 요인을 구명하기 위해 공기 분사각 45°, 70°, 90°에서 시험한 결과 포엽 제거율과 손상율이 분사각 70°에서 가장 양호하게 나타났다.
- (5) 노즐의 직경 및 공기분사 압력별 포엽 제거율을 구명하기 위해 노즐직경 및 공기분사압력에 따라 시험하였다. 포엽 제거율 및 손상율을 고려한 분사압력은 0.4 MPa 이하로 하고 노즐직경은 2.5 mm 이하로 하여야 양호한 것으로 나타났다.
- (6) 노즐 통과 회수별 포엽 제거율을 구명하기 위해 시험한 결과 3회 이상 통과하였을 때는 차이가 없어 시작기 제작시 노즐 설치 개수는 3개가 적정한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Go, H. G. 1993. Agricultural Product Processing Machinery. pp. 164-169. (In Korea)
2. Hadley, H. C. and Moines. 1962. Corn Husker. United States Patent Office. No. 3049127.
3. Ludwig, T. I. 1886. Corn Husker. United State Patent Office. No. 348528.
4. Park, J. R. 2006a. A method and apparatus for removing a corn husk. Korean Intellectual Property Office. No. 10-2006-0035071. (In Korea)
5. Park, J. R. 2006b. A apparatus for removing a corn husker. Korean Intellectual Property Office. No. 10-2006-0098871. (In Korea)