

靜電特性을 利用한 玄米 分離機의 開發에 관한 基礎 研究*
— 벼의 靜電特性에 관하여 —

Development of Brown Rice Separator Using Electrostatic Properties of Rice
— Electrostatic Properties of Rice —

盧祥夏**

S. H. Noh

尹汝吉**

Y. K. Yoon

李宗桓**

J. W. Lee

Summary

As a preliminary step toward the development of a multipurpose electrostatic separator for agricultural use, this study investigated the effect of moisture level, geometrical characteristics and the electric field strength of a charging device on the electrostatic charging of brown rice, unhulled paddy, small stones and broken rice that are produced during the milling process. The results are summarized as follows.

1. Average electrostatic charge per unit mass of paddy is greater than that of brown rice.
2. Charge per unit mass of rice kernel increases linearly with moisture content and electric field strength of the charging device, presenting no correlations with length or thickness of rice kernel.
3. Frequency distributions in electrostatic charge per unit mass of paddy and brown rice kernels indicated that the portion, not overlapped, ranged from 10 to 29% with Japonica rice and from 32 to 49% with Indica rice.
4. The difference in moisture content between paddy and brown rice must be over 6%, if they are to be electrostatically separated to over 95%.
5. Theoretical portions of brown rice to be separated from a mixture primarily by the electrostatic charge and secondarily by the length or by the thickness were 95~100% and 27~76%, respectively.
6. Frequency distribution of electrostatic charge for broken kernels overlapped that of paddy and brown rice, which the small stones didn't.

1. 서 론

벼의 도정작업 체계는 정선과정, 텔부과정, 현미 분리과정, 정백과정 및 백미 등급과정으로 구분될 수 있는데 그중 현미 분리과정은 텔부과정

과 정백과정 중간에 있는 중요한 과정이다.

우리나라에서는 비중과 표면 거칠기에 따라 벼와 현미를 분리해내는 요동식 선별기가 널리 이용되고 있는데, 품종에 따른 성능의 차이가 크고 선별 효율도 낮으므로 새로운 원리를 이용한

* 본 연구는 한국과학재단의 지원에 의해 이루어진 것임.

** 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

선별기의 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 이미 오래 전부터 광물질 선별용으로 개발되었으며 곡류이외의 종자의 선별에 응용되고 있는 정전선별기를 제현과정에서 생산되는 혼합물로부터 미탈부된 벼를 분리시키는데 응용하기 위한 기초적인 단계로써 벼와 현미의 정전특성을 조사하였다. 그리고 벼와 현미이외에 들이나 쇠미 등, 도정과정중에 여러가지 기계적인 방법에 의해 분리되는 산물에 대해서도 정전특성을 조사하였다.

본 연구에서는 벼와 현미, 쇠미, 잔돌 등의 정전기적 특성을 구명하고 곡물의 정전기적 선별의 가능성을 평가하고자 하며 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 벼, 현미, 쇠미, 잔돌 등 각 개체의 대전량을 측정하고 대전특성과 관련되는 인자를 구명한다.
2. 벼와 현미의 대전량의 차이를 유발시킬 수 있는 처리방법을 검토한다.

2. 연구사

농산물의 정전특성을 이용한 선별에 관한 몇 가지 연구결과를 적으면 다음과 같다.

Nelson과 Burr⁶⁾는 곡립의 양단 사이의 전위를 측정하여 종자내에도 전기 기전력에 의한 등전위면이 존재함을 밝혔다. Harmond²⁾는 벨트식 정전 선별기를 보다 많은 종자에 이용하기 위해서 여러가지 인자들을 바꾸어 가면서 실험하였는데, 종자의 수분 함량이 3% 이상 감소하게 되면 분리효율이 크게 저하되고, 선별과정 중에 고압 전극 사이를 통과 하여도 종자의 발아율에는 향상이 없다고 발표하였다. Krishnan⁴⁾등은 양과의 꽂과 씨앗을 분리하기 위해서 벨트식 분리기를 사용하였고 분리 효율을 높이기에 적합한 주위의 습도와 온도는 40%, 24 °C이며 전압, 전극의 위치, 벨트의 속도는 각각 17 kV, (x, y, rotation)=(51mm, 45mm, 198°), 0.20m/sec이라고

발표하였다. Matthes⁵⁾는 알팔파(alfalfa)를 대상으로 고전압처리가 발아율에 미치는 영향에 대하여 조사하였는데, 전기력에 의하여 접지 원통에 붙어서 뒤쪽으로 떨어지거나 그대로 자유낙하한 종자들이 정전기장에 의하여 앞으로 들린 것들 보다 발아율이 향상 되었으며, 각 구간의 수분 함량을 측정한 결과 전기장에 의해서 앞쪽으로 들려 떨어진 것이 접지 원통을 타고 뒷쪽으로 떨어진 것보다 더 높은 수분을 함유하고 있었다고 발표하였다. Edward¹⁾는 고리형 전극을 통과하는 곡물 입자의 표면 전하에 의해서 발생하는 전하의 이동, 즉 유도전류를 측정하여 곡물의 대전량을 측정하는 방법의 가능성을 조사하였고 이때 그는 곡물 대신에 균일하게 대전된 물방울을 사용하였다.

한편 농산물과 식품에 대한 대전량의 측정 실태가 적고 측정하는 방법에도 뚜렷한 기준이 없다.

일본의 京都大學⁷⁾에서는 정미 완전립과 쇠미에 대한 대전량의 측정 예를 발표하였다. 이들은 평행판 전극을 사용하여 대상 곡물을 대전시키고 페러네이 컵(Faraday cup)으로 단위 질량당 대전량을 측정 하였는데 전계강도 100~200kV/m의 범위에서 단위 질량당 대전량은 $10^{-9} \sim 10^{-8}$ pC인 것으로 나타났다. Hendricks와 Yeung³⁾은 원통형 검출기를 사용하여 대전입자가 원통을 통과할 때에 이 원통에 유도되는 전압으로 개별 입자의 대전량을 측정 하였다.

3. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 연구에 사용된 벼는 통일계 품종인 화성과 일반계 품종인 용주이었으며, 표 1은 그들의 물리적인 특성과 함수율을 나타낸 것이다.

나. 측정장치

곡립의 대전량은 곡립의 화학적 조성, 수분 함

Table 1. Specifications of rice samples.

Variety		Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	Mass (mg)	Moisture Content (% ,wb)
Yong -Joo	Paddy	7.4	3.3	2.3	26.6	18.1
	Brown rice	5.2	2.9	2.1	22.1	14.2 11.4
Wha -Sung	Paddy	8.0	3.2	2.2	27.5	18.1
	Brown rice	5.7	2.8	2.0	21.7	15.5 12.6

량, 기하학적 특성 등의 영향을 받으며, 이러한 요인들은 동일한 품종 내에서도 각 개체에 따라 변이를 나타내므로 벼와 현미의 대전 특성의 차 이를 규명하기 위해서는 벼와 현미의 평균 대전량 보다는 날알 각각의 대전량을 측정할 필요가 있다.

본 연구에서는 벼와 현미의 개체당 대전량을 측정하기 위하여 평행판 전극으로 구성된 대전장치와 폐리데이 케이지(Faraday cage)의 원리를 이용하여 측정장치를 구성하였다.

1) 대전장치

이질적인 물체가 접촉하였다가 분리되며 접촉 전위(contact potential)에 의해서 전하를 띄게 된다. 벼의 경우 이 접촉 전위 즉 마찰에 의한 대전은 작을 것으로 예상 되었으므로 고압전원을 이용한 별도의 대전장치를 이용하였다. 이온 대전법은 방전이 일어날 때 고주파의 잡음을 수반하므로 측정시에 발생하는 잡음을 제거하기가 어려우므로 본 연구에서는 정전유도를 이용한 평행판 대전법을 이용하였다.

본 실험에 사용한 전극판은 180mm × 180mm의 알루미늄이고, 윗판은 고압전원에 연결하였고 아랫판은 접지하였다. 그리고 두 평행전극판 사이의 간격은 36mm로 고정하였다. 여기에 사용된 고압전원은 실리콘 정류기로 반파정류한 전원으로, 0~60 kV까지 조정이 가능하다. 측정 대상이 되는 곡물은 투입장치(chute)를 통하여 경사진 대전판에 공급되어, 접지판 위를 미끄러져 내려가면서 전하를 띄게되고, 다시 안내관(guiding chute)을 통하여 측정장치 속으로 투입된다. 그

림 1은 측정 장치의 개략도를 나타낸 것이다.

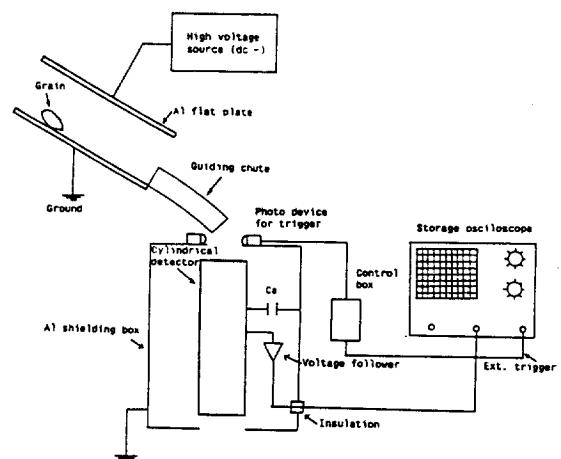


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus for the measurement of electrostatic charge on grain.

2) 대전량 측정장치

(가) 측정원리

대전된 물체를 절연된 금속 폐곡면으로 둘러싸면(그림 2) 이 폐곡면의 내측표면 및 외측표면에 각각 대전물체와 동량, 역극성의 전하 및 동량 동극성의 전하가 정전유도되므로 금속 폐곡면의 외측전하를 측정함으로써 물체의 전전하를 알 수 있다. 이때 대전 물체의 전하 Q 와 동등한 금속 폐곡면의 외측전하는 금속 폐곡면의 전위를 V , 대지 정전용량을 C 라고 할 때 $Q=CV$ 로 계산할 수 있다. 실험에 사용된 대전량 측정기에 금속 폐곡면 대신 적당한 길이의 구리 원통을

사용하였다.

(나) 대전량 측정기의 구성

본 실험에서 제작된 대전량 측정장치(그림

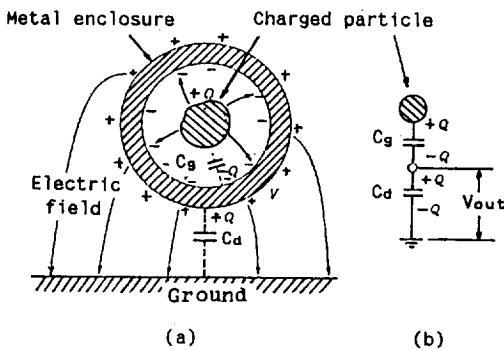
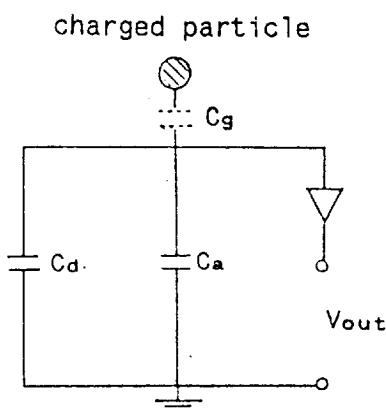


Fig. 2. Principles for the measurement of electrostatic charge on a particle.

- (a) Isolation of electrostatic charge by induction.
- (b) Equivalent circuit.



C_g : Capacitance between the particle and inner surface of the cylinder.

C_d : Capacitance between the outer surface of the cylinder and the earth.

C_a : Add-in capacitance.

Fig. 3. Equivalent circuit for the measurement of electrostatic charge on grain.

1)는 대전장치에 의해 대전된 입자가 띠고있는 전하를 감지하는 구리원통, 대전량을 적당한 전압으로 변환시키는 콘덴서, 전압을 측정하기 위한 완충기(voltage follower) 및 오실로스코프 등으로 구성되어있다. 대전입자가 포우토 디바이스(photo device) 사이를 통과하는 순간 이것에 의해 발생되는 트리거(trigger) 신호에 의해 오실로스코프가 작동되며, 입자가 구리원통을 지나는 동안 발생되는 전압파형이 오실로스코프에 저장된다. 본 측정장치의 등가회로는 그림 3과 같으며 각 부의 설계내용은 다음과 같다.

(1) 원통형 검출기

검출기로는 도전율(conductivity)이 $5.8 \times 10^7 \Omega/m$ 로서 은($6.17 \times 10^7 \Omega/m$) 다음으로 높은 구리원통을 사용하였고 원통의 지름은 벼의 낙하궤적이 고르지 못한 것을 고려하여 39mm 정도로 큰 것을 택하였다. 그림 4와 같이 원통 위 아래의 개구부를 통하여 대전입자의 전속(electric flux)을 방지하기 위하여 원통의 길이는 최소한 원통 직경의 두 배 이상이 되어야 한다. 따라서 원통의 길이는 200mm로 여유있게 정하였다.

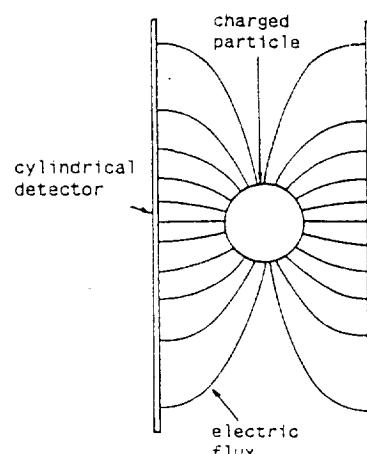


Fig. 4. Complete termination of electric flux on the wall of a cylindrical detector.

(2) 앰프

그림 1에서 원통표면과 접지 사이의 대전량을 측정하기 위해 원통형 검출기에 직접 오실로스 코프를 연결하면 검출기에 유도된 전하의 상당한 부분이 오실로스코프를 통해서 유출되어 측정 전위가 낮아지므로 정확한 값을 측정할 수 없다. 이러한 로-딩 효과(loader effect)를 줄이기 위하여 완충기를 사용하였다. 완충기로 사용되는 앰프는 충분히 높은 입력 임피던스(input impedance)를 갖는 것이어야 한다. 대전량 측정기의 입력용량이 C_{in} (그림 3에서 $C_d\%C_a$)이고 입력 임피던스가 R_{in} 일 때 시간상수(time constant) T_{in} 은 측정기에 유도된 전하가 방출(discharge)되기까지 걸리는 시간을 말한다. 대전입자가 원통형 검출기를 통과하는데 걸리는 시간을 t_2 라고 할 때 발생전압을 정확하게 측정하려면 T_{in} 이 t_2 보다 충분히 커야한다. T_{in} 이 t_2 보다 작게되면, 미처 입자가 원통을 통과하기도 전에 측정기에 유도된 전하가 모두 방출되어 버리므로 실제 값을 얻을 수 없다.

본 실험에서는 이러한 목적을 달성하기 위하여 LM310을 사용하였다. LM310은 입력 임피던스가 $10000 M\Omega$ 이며 입력용량은 $1.5 pF$ 이다. 예를들어 대전량 측정기의 입력용량을 $45 pF$ 이라고 할 때 시간상수 T_{in} 을 계산하면 $T_{in} = 10^{10} \cdot (45 \times 10^{-12}) = 0.45$ 초이다. 오실로스코프로 전압파형을 측정한 결과 곡립이 원통을 통과하여 지나가는 시간은 0.1초 정도였다. 따라서 입력 임피던스는 충분한 것으로 생각되었다.

고 입력 임피던스 회로는 외부의 전기장에 의해 잡음을 일으키기 쉬우므로 검출기와 완충기를 알루미늄 상자안에 설치하였고 외부로 이어지는 신호선은 동축 케이블을 사용하였다.

(다) 입력용량의 추정

곡립의 대전량 Q 를 계산하기 위해서는 검출기와 접지 사이의 용량(C_d), 추가로 설치된 용량(C_a), 리이드선의 용량, 앰프의 입력용량 등 측정기의 총 입력 용량 C_{in} 을 알아야 하는데 C_{in} 을 직접 측정하는 것은 어려우며 정확도에도 문제 가 있으므로 본 연구에서는 간접적인 방법으로

입력용량의 개략치를 얻었다.

그림 3의 대전된 입자에 대응하는 전하를 발생시키기 위하여 그림 5와 같이 기지의 C_g 를 설치하고 입력전압 V_{in} 을 가한다음 오실로스코프로 V_1 을 측정하면 다음의 관계에 의해서 C_{in} 의 값을 계산 할 수 있다.

$$Q = C_g(V_{in} - V_1) = C_{in} V_1$$

앰프의 이득이 1이므로

$$V_1 = V_{out}$$

$$C_{in} = \frac{C_g(V_{in} - V_{out})}{V_{out}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

여기서,

V_{in} : 입력 전압

V_1 : 앰프 입력 전압

V_{out} : 앰프 출력 전압

C_{in} : 측정기의 총 입력 용량

C_g : 기지의 용량

C_a : 앰프의 출력 전압을 낮추기 위한 용량

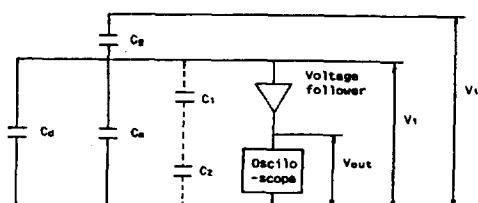


Fig. 5. Circuit diagram for the estimation of total input capacitance of detecting device.

주어진 V_{in} (DC 20 V)에 대해서 C_g 를 $10 pF$ 부터 $180 pF$ 까지 변화시키면서 V_{out} 을 측정하여 식 (1)로 입력용량을 계산한 결과는 그림 6과 같다. 이 그림에서 C_a 를 $30 pF$ 으로 하였을 때의 C_{in} 의 값 $45 pF$ 을 측정기의 입력용량으로 정하였다. 결과적으로 곡립의 대전량은 $Q = C_{in} \times V_{out}$ 의 관계식을 이용하여 구할 수 있었다.

다. 실험방법

본 연구에서는 곡립의 수분함량 및 기하학적

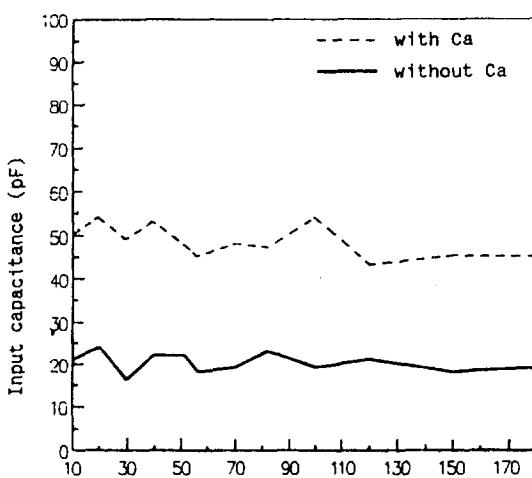


Fig. 6. Variation of input capacitance of the detecting device depending on add-in capacitance.

특성, 대전장치의 전계강도 등, 대전량의 주요 결정요인들이 벼와 현미, 쇠미, 둘 등의 경우 어떻게 작용하는가를 규명하여 정전특성을 이용한 선별의 가능성을 조사하기 위하여 다음과 같은 방법으로 실험을 수행하였다.

함수율이 대전량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 대전장치의 전계강도는 277.8 kV/m로 고정시키고 표 1에 표시된 함수율을 가진 일반계 (11.4%, 14.2%, 18.1%)와 통일계 (12.6%, 15.5%, 18.1%)의 현미 및 벼 날알의 대전량을 측정하였다. 또한 전극판 사이에 인가된 전계의 영향을 보기 위해 함수율이 14.2%인 일반계 품종을 사용하여 전계의 세기를 4수준 (166.7 kV/m, 222.2 kV/m, 277.8 kV/m 및 333.3 kV/m)으로 변화시키면서 날알의 대전량을 측정하였다.

각 처리마다 일정량의 샘플을 취하여 절반 정도를 탈부시킨 다음 벼와 다시 섞어 현미와 벼 각 50알씩을 가지고 벼와 현미를 번갈아 가며 대전량을 측정하였다.

쇠미와 잔들의 대전량을 측정하기 위해 함수율이 15.5%인 통일계 현미를 인위적으로 절단하여 만든 쇠미와 도정과정에서 분리된 잔들 각 30알씩을 대상으로 전계강도 277.8 kV/m하에서

각 입자의 대전량을 측정하였으며, 동시에 각 입자의 무게를 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

대전된 물체가 검출기를 통과할 때 오실로스코프에 나타나는 전압파형의 형태는 그림 7에 나타낸 바와 같다. 그림 7의 (a)와 (b)는 직경 4 mm 정도의 구리 구를 사용해서 측정기의 입력용량을 변화시키면서 측정한 결과인데, 시간상수에 따라서 파형의 경사가 달라지는 것을 보여주고 있다. 시간상수가 충분히 크면 측정파형은 거의 평평한 모양을 나타낸다. 그림 7 (c)는 곡립에 대한 측정의 전형적인 예로서 전압파형의 최대값을 날알의 대전량의 계산에 사용하였다.

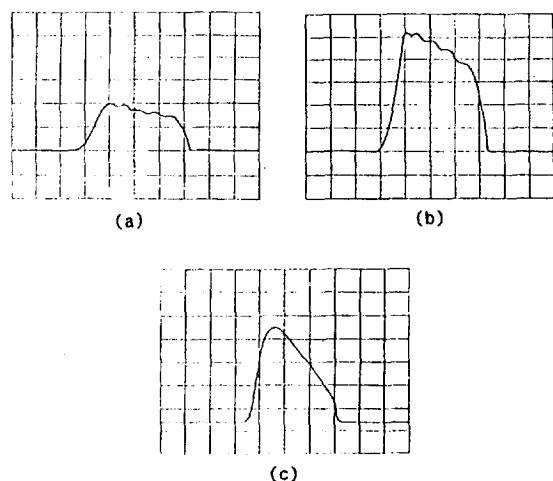


Fig. 7. Voltage outputs on oscilloscope.

- (a) Copper ball with $C_a = 120 \text{ pF}$
- (b) Copper ball with $C_a = 30 \text{ pF}$
- (c) Grain kernel with $C_a = 30 \text{ pF}$

가. 전기장의 세기에 따른 대전특성

함수율이 14.2% (w.b.)인 일반계 품종의 경우 대전장치의 전기장의 세기에 따른 날알의 단위 질량당의 평균 대전량을 조사한 결과(그림 8), 벼와 현미의 대전량은 전계 강도에 비례하여 증

가하며 벼가 현미보다 큰 값을 나타내었다.

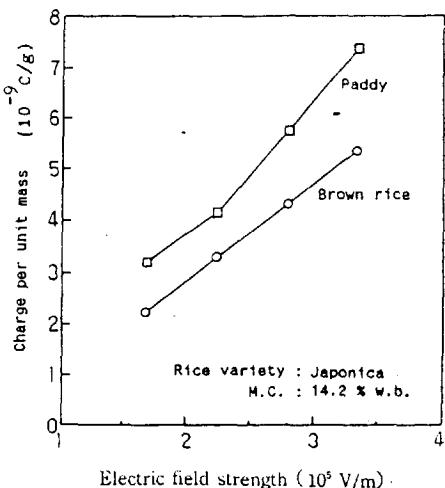


Fig. 8. Average electrostatic charge per unit mass of individual rice kernel depending on electric field strength between charging plates.

전기장 E 안에서 단위 질량당 대전량이 q 인 곡립을 낙하시키 경우 이 곡립이 전기장 안에서 받는 인력 F 와 곡립에 작용하는 중력 W 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$F = mqE$$

$$W = mg$$

여기서,

m : 곡립의 질량(kg)

q : 단위 질량당 대전량(Coulomb/kg)

E : 전기장의 세기(kV/m)

W : 곡립의 무게(N)

g : 중력 가속도($9.81 \text{m}/\text{s}^2$)

곡립에 작용하는 공기의 저항을 무시한다면 곡립의 낙하각, θ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tan\theta = \frac{mqE}{mg} = \frac{qE}{g}$$

그리므로 주어진 전기장 E 안에서, 대전된 곡

charged
particle

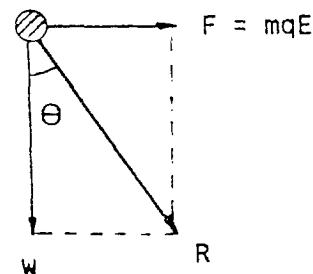


Fig. 9. Forces acting on a particle in electrostatic field.

립의 낙하 궤적은 단위 질량당 대전량 q 에 의해 결정된다고 할 수 있다. 따라서 벼와 현미가 정전기적인 방법으로 어느정도 분리 될 수 있는지를 알아보기 위해서는 벼와 현미의 날알의 단위 질량당 대전량이 어떻게 분포되는가를 알아야 한다. 그림 10에는 전계강도를 변화시킬 때의 단위 질량당 대전량의 분포를 나타내고 있다. 그림 10에서 전계강도가 증가함에 따라 현미와 벼의 단위 질량당 대전량의 분포는 좌우로 확산되는 경향을 보였지만 벼와 현미의 단위 질량당 대전량의 분포가 겹치는 부분의 구성비는 각 수준에서 모두 70% 정도로서 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

나. 함수율에 따른 대전 특성

대전 장치의 양극판 사이의 전계강도를 $277.8 \text{kV}/\text{m}$ 로 유지하고 함수율이 다른 시료를 사용하여 각 날알의 대전량을 측정한 결과 현미와 벼 날알의 단위 질량당의 평균 대전량은 함수율이 높아질수록 증가하였다(그림 11). 이와 같은 결과는 함수율이 증가함에 따라 곡립의 도전율이 커지기 때문인 것으로 판단된다.

또한 각 함수율의 수준에서 날알의 단위 질량당 대전량의 분포는 그림 12에서 보는 바와 같다. 현미와 벼의 대전량이 겹쳐지는 부분의 비율은 일반계 품종의 경우 71~90%, 통일계 품종의 경우 51~68%로 분석되었으며 통일계의 경

우, 함수율이 증가함에 따라 그 비율도 증가하였다(그림 13).

그림 12의 (a)와 (b), (c)와 (d)를 비교해 볼 때 대전량의 차이에 의해 현미와 벼를 95% 이상

분리시키고자 할 경우 현미와 벼의 함수율의 차이가 6% 이상 유지되어야 함을 의미하며, 현실적으로 이와 같은 차이를 유발시키기는 어려울 것으로 판단된다.

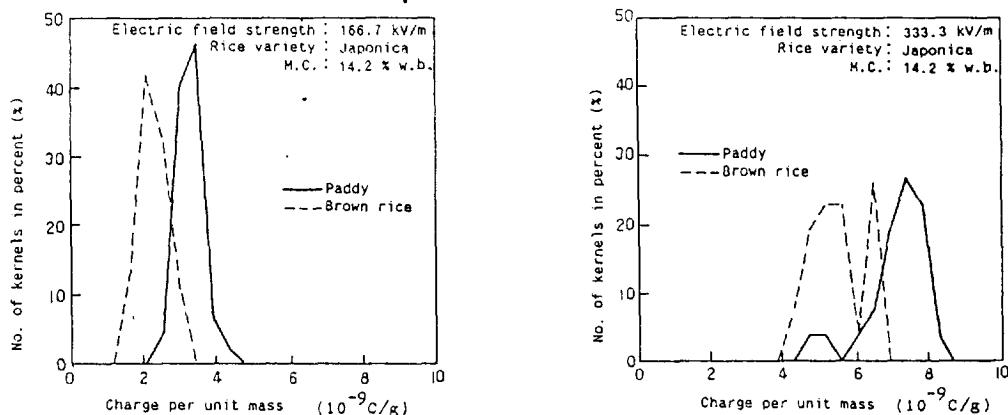


Fig.10. Distribution of charge per unit mass of paddy and brown rice at different levels of electric field strength between charging plates.

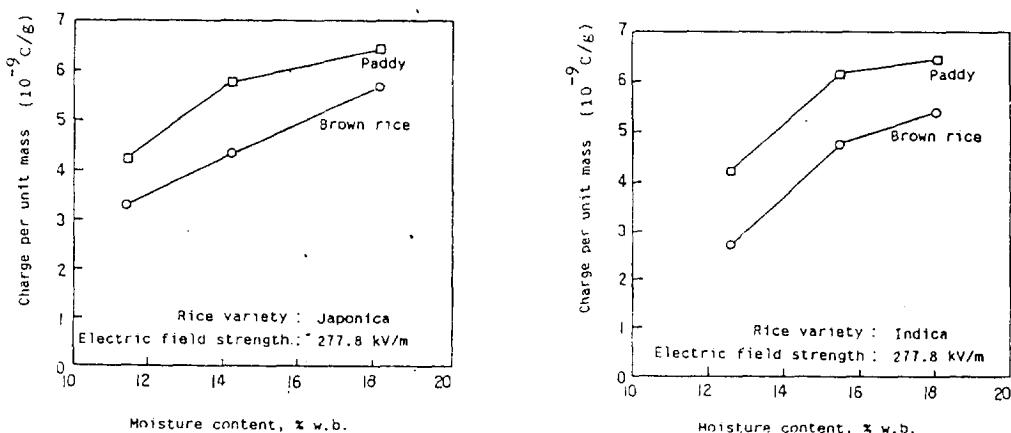


Fig.11. Electrostatic charge per unit mass of paddy and brown rice depending on moisture content.

다. 곡립의 기하학적 특성에 따른 대전 특성

그림 14와 그림 15는 현미와 벼의 단위 질량당 대전량을 길이 및 두께에 관하여 나타낸 것이다. 이 결과에 의하면 곡립의 대전량은 길이 또는

두께와는 거의 무관한 것으로 나타났다. 그러나 벼의 평균 대전량이 현미보다 높은 것은 벼와 현미의 표면특성 및 형상의 차이 때문인 것으로 판단된다.

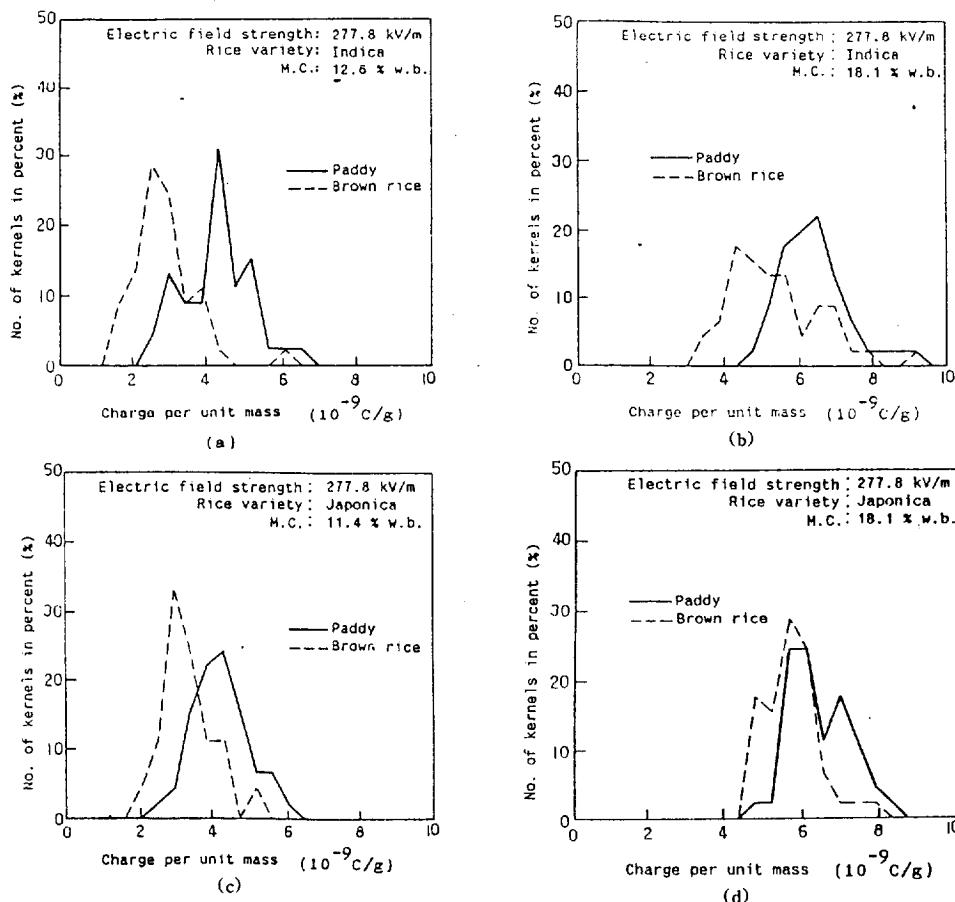
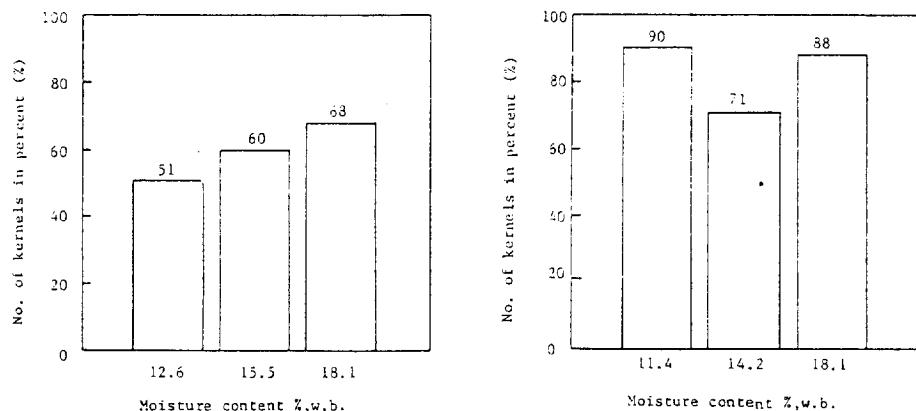


Fig.12. Distribution of charge per unit mass of paddy and brown rice kernels at different levels of moisture content.



- (1) Indica rice, electric field strength of 277.8 kV/m.
 (2) Japonica rice, electric field strength of 277.8 kV/m.

Fig.13. Residuals of mixtures of paddy and brown rice after electrostatic separation at each moisture content.

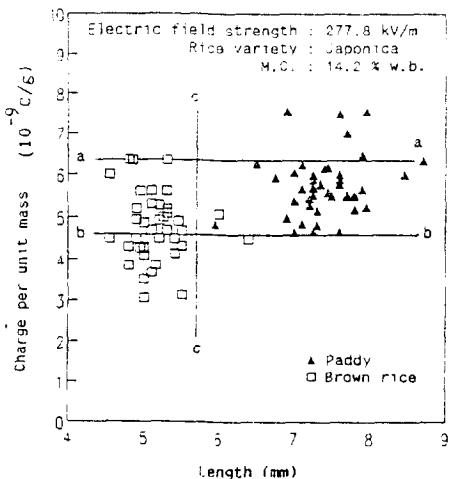


Fig.14. Distribution of charge per unit mass of paddy and brown rice kernels depending on length of kernel.

한편 그림 14 및 그림 15에서 보는 바와 같이 현미와 벼는 대전특성 뿐만 아니라 길이, 두께 등의 기하학적 특성에도 큰 차이가 있다.

그림 13에서 보는 것 처럼 대전특성 만을 이용한 정전 선별기로 벼와 현미를 분리한다고 할 때 분리도는 50%에 미치지 못하므로 기하학적인 특성을 이용하여 나머지 혼합물을 분리하는 2단계 선별이 필요하다고 판단된다.

1) 길이를 이용한 2단계 선별

곡립의 길이를 이용하는 선별기로는 원통형 홈 선별기(cylindrical indent separator)가 널리 이용된다. 홈 선별기를 이용해서 현미와 벼를 분리시킬 경우 거의 100% 분리가 가능하지만 이 선별기가 현미 분리에 사용되지 않는 이유는 공급량이 많을 경우 선별능률 및 효율이 떨어지기 때문이다. 현미와 벼의 혼합물을 일단계로 정전 기식 선별기를 통과시킬 경우 그림 14의 a-a선과 b-b선 바깥쪽 부분의 현미와 벼가 각각 분리되며, 안쪽은 혼합물로 남게 된다.

이들 혼합물을 적당한 깊이의 홈을 갖는 홈 선별기를 사용하여 분리하면 이론적으로는 거의

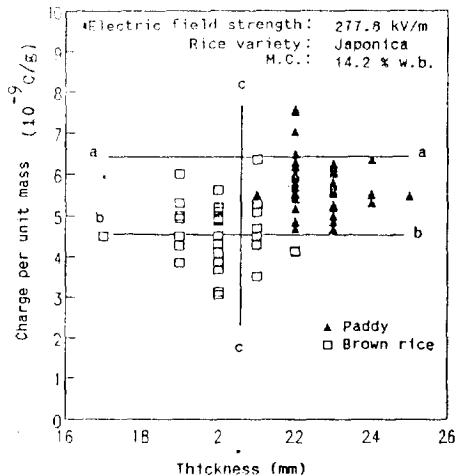


Fig.15. Distribution of charge per unit mass of paddy and brown rice kernels depending on thickness of kernel.

100% 까지 분리가 가능하다.

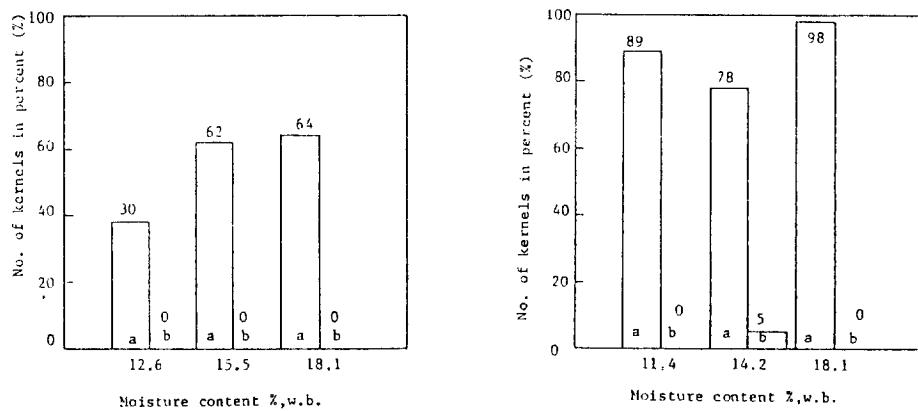
정전특성을 이용하여 현미와 벼를 순도 100%로 분리한 뒤에 남는 혼합물에 대하여 홈 선별기를 이용하여 그림 14의 c-c 선의 왼쪽에 있는 현미를 순도 100%로 분리할 경우 홈 선별기를 이용한 2단계 선별 후에도 약간의 현미는 분리되지 않고 벼와 섞여 남게된다.

그림 16에는 2단계 선별 후에 최종적으로 분리되지 않고 남는 현미의 양을 전체 투입된 현미에 대한 비로서 나타내었다.

2) 두께를 이용한 2단계 선별

곡립의 두께는 길이와 마찬가지로 곡립의 선별에 널리 이용되는 중요한 선별인자이다. 두께를 선별인자로 하는 선별기로는 장방형체를 갖고 있는 체선별기가 널리 사용된다. 그림 15에 나타낸 바와 같이 일단계로 정전특성을 이용하여 a-a 선과 b-b 선 바깥쪽의 현미와 벼를 분리해내고, 2단계로 남은 혼합물에 대하여 체 선별을 이용하면 이론적으로 전체 현미의 약 78% 까지 분리할 수 있다.

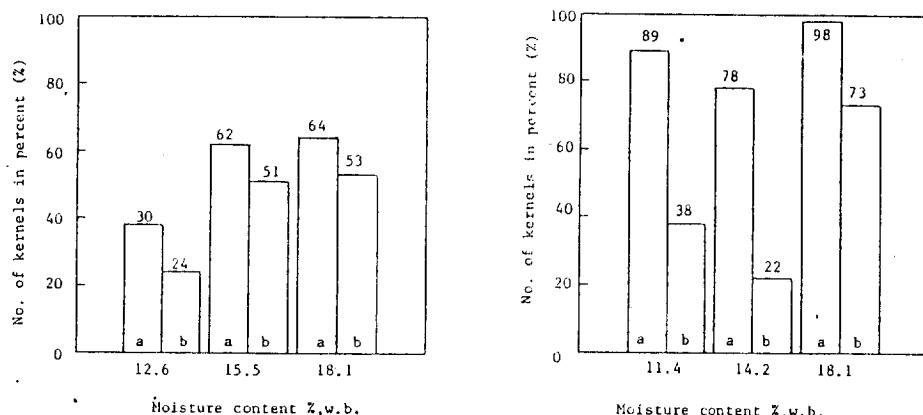
그림 17은 두께를 이용하여 2단계 선별을 행



(1) Indica rice, electric field strength of 277.8 kV/m.

(2) Japonica rice, electric field strength of 277.8 kV/m.

Fig.16. Portions of brown rice remaining after electrostatic separation (a), and the additional separation using indent separator by length (b) at each moisture content.



(1) Indica rice, electric field strength of 277.8 kV/m.

(2) Japonica rice, electric field strength of 277.8 kV/m.

Fig.17. Portions of brown rice remaining after electrostatic separation (a), and the additional separation using indent separator by thickness (b) at each moisture content.

한 뒤에 벼 속에 섞여 남는 현미의 양을 전체 투입 현미에 대한 비율로써 나타낸 것이다.

라. 잔돌과 쇠미의 정전 특성

그림 18은 잔돌, 쇠미, 현미와 벼의 단위 질량 당 대전량의 분포를 나타내는데 이들 시료의 수분 함량은 모두 15.5 % (w.b.)이었으며 전기장의 세기는 277.8 kV/m이었다. 그림 18에서 보는 것

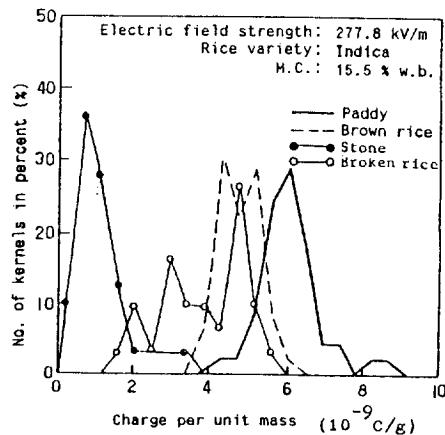


Fig.18. Distribution of charge per unit mass of paddy, brown rice, broken rice and stone.

처럼 쇄미의 단위 질량당 대전량의 분포는 벼와 현미의 경우와 거의 중복되었고 잔돌의 대전량은 곡립으로부터 부터 분리가 가능한 영역에 분포하였다.

5. 요 약 및 결 론

본 연구는 벼의 가공과정에서 생산되는 현미, 미탈부된 벼, 잔돌, 쇄미 등의 정전기적인 특성을 이용한 선별기 개발의 기초적 단계로서 각각의 정전기적 특성을 규명하고자 수행되었다. 본 연구의 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 벼의 단위 질량당 평균 대전량은 현미보다 높았다.
2. 벼와 현미의 단위 질량당 대전량은 함수율과 대전장치의 전계강도에 비례하여 증가하였으며 길이나 두께에 따르는 대전량의 차이는 거의 나타나지 않았다.
3. 현미와 벼의 날알의 대전량 빈도 분포에 의하면 정전특성만을 이용할 경우 현미와 벼

의 분리율은 일반계 품종의 경우 10~29%, 통일계 품종의 경우 32~49% 범위였다.

4. 함수율에 따른 현미와 벼의 대전량의 빈도 분포를 고려할 때 벼와 현미의 혼합물이 95% 이상 분리되기 위해서는 벼의 수분함량이 현미의 수분 함량 보다 6% 이상 높아야 한다.
5. 벼와 현미의 혼합물을 1단계로 대전량의 차이를, 2단계로 길이를 선별인자로 사용할 경우 이론적인 현미의 분리율은 95~100% 이었으며, 2단계로 두께를 선별인자로 사용할 경우에는 27~76%에 불과했다.
6. 쇄미의 단위 질량당 대전량의 분포는 벼와 현미가 거의 중복되어 정전기 적인 방법으로 분리 할 수 없으나 잔돌의 경우는 분리가 가능한 범위에 분포하였다.

참 고 문 헌

1. Edward L. S. 1975. Electrostatic induction instrumentation for tracking and charge measurement of airborne agricultural particulates. TRANSACTIONS of the ASAE 18 (1) : 40~45
2. Harmond, J. E. 1961. Seed cleaning by electrostatic separation. AGRICULTURAL ENGINEERING 42(1) : 22~25.
3. Hendricks, C. D. 1976. Technique of single-particle charge measurement. IEEE Trans. Ind. Appl. IA-12(1) : 56~63.
4. Krishnan, P. 1985. Electrostatic separation of flower parts from onion seeds. TRANSACTIONS of the ASAE 28(5) : 1676~1679.
5. Matthes, R. K. 1969. Electrical properties of seed associated with viability and vigor. TRANSACTIONS of the ASAE : 778~781.

6. Mohsenin, N. N. 1984. Electromagnetic radiation properties of foods and agricultural products. Gordon and Breach Science Publishers.
7. 京都大學農學部 農產加工機械學研究室. 1985. 農產物性研究

학회 광고

1992년도 산학협동연구비 신청 안내

우리 학회에서는 작년도에 이어 1992년 농업기계분야 산학협동 연구사업의 연구과제를 아래와 같이 공모하오니 11월 30일까지 제출하여 주시기 바랍니다.

= 아 래 =

- 연구과제 : 자유
- 신청기한 : 1992년 11월 30일(월)
- 신청방법 : 학회 사무실 문의