

자탈형 콤바인의 선별모델⁺

Cleaning Model of Head-feeding Combine

김상헌* 강화석* 제임스 엠 그레고리**
S. H. Kim W. S. Kang James M. Gregory

Summary

The combine harvester is considered as an important but complicated and costly machine. The appropriate size of combine has to be developed to use efficiently in Korea. But the combine is such a complicated machine that a complete design model to develop a new type is impossible without understanding the relationship between each factor. The combine capacity is generally limited by the cleaning shoe performance. So a design model for a cleaning shoe has to be developed first for the complete combine design. The objective of this research was to develop a cleaning model of head-feeding combine to predict grain separation from chaff and broken straw on a sieve. A developed physically based model can explain the situation which can happen during separation process. A test apparatus based on the field going machine was developed. The test materials were paddy rice and barley. The data obtained were analyzed by the hand and the video camera. The developed model was verified as an adequate model through the test with R^2 of 0.934 and 0.837. The model can be used to evaluate design and operation alternatives of combine and also applied to the automatic control of separation unit of combine with a loss monitoring sensors.

1. 서론

콤바인은 작물의 예취, 탈곡 및 곡물 선별을 하기 위한 농작업기계로 최소한의 곡물손실과 동력소모로 최대한의 곡물을 수확하는데 그 목적이 있다. 북미 및 유럽에서는 노동력의 부족 및 임금상승 그리고 수확작업시간의 제한 등으로 인하여 지난 40년간 콤바인의 크기와 효율이 점차 증가하고 있다. 콤바인은 농작업에서 필수불

가결한 기계이나 그 기능의 복잡성과 가격이 비싼 문제점을 갖고 있다(Griffine, 1973).

콤바인의 작업능률은 일반적으로 선별장치의 성능에 의해 제한되며 그 선별장치는 작물의 물리적인 특성의 변화에 매우 민감하게 반응을 보인다(Srivastava, et al., 1990). 따라서 콤바인의 개량개발을 위해서는 선별부분의 최적화가 우선적으로 이루어져야 한다.

콤바인 선별부의 기능은 탈곡부 탈곡망과 짚

+ 본연구는 1991년도 한국과학재단 연구비지원에 의한 결과임(과제번호 913-1501-004-2) 본논문은 International Conference on Agricultural Engineering (Beijing, China, Oct., 1992)에 발표된 논문임.
ISBN 7-80003-199-3/S125

* 강원대학교 농업기계공학과 ** Texas Tech University

처리 장치 및 여타 선별 전처리장치에서 배출된 짚풀 등에서부터 탈곡된 곡물을 회수하는 것이다. 서구식 보통형 콤바인은 작물의 이삭 밀부분을 절단 탈곡통에 투입하는 방법을 사용하기 때문에 선별부에 짚 처리장치 (Straw Walker)와 정선장치 (Cleaning Shoe)가 있다. 따라서 정선장치에는 2-3단의 요동체를 연속으로 설치하여 행하며 각 요동체는 여러 모양의 체 표면을 사용하고 있다. 선별성능을 좌우하는 가장 큰 요인 중의 하나는 체 표면에서 곡물을 짚풀 등으로부터 기계진동 및 풍력을 이용하여 분리하는 성능으로 서구식 콤바인은 체 표면이 주로 비늘 모양으로서 체 표면의 열림정도를 조절할 수 있는 것과 고정된 것 등을 사용하고 있다.

일본, 한국 등에 보급되어 사용되고 있는 자탈형 콤바인은 벼 밀등이 체인에 물려있고 이삭 부분만 탈곡통에 공급되어 탈곡되는 방법을 사용하여 짚처리 장치없이 주로 정선장치에 의해 곡물을 선별해 내고 있다. 이때 사용되어지는 요동체는 주로 1개를 사용하며 곡물이 모이는 곡립팬(Pan) 부분과 선별이 이루어지는 망 부분이 일체로 연결되어 있으며 기계적인 진동과 풍력의 힘으로 짚풀등은 기계 밖으로 배출되고 곡물은 망을 통과하여 곡립 이송장치에 모이게 된다.

국내에서는 김, 남 등이 선별장치의 성능을 연구하였던 바 탈곡기에 부착된 요동체의 선별기능을 연구하였으며(1981), 실험실 실험을 통해 타원운동형 요동체의 특성을 규명하였고(1982), 생탈곡 성능향상을 위한 요동체 선별방법을 개발했으며(1984), 자탈형 콤바인에 사용되고 있는 직선운동형 요동체를 실험장치에 부착하여 곡물 이송에 관한 실험결과와 개발된 이론식을 비교 분석하여 선별성능 향상을 위한 각 작동요인의 적정수준을 제시하였다(1984).

국외에서는 Berry(1985), Gaberson(1972), Turnquist(1961), Schertz and Hazen (1963)등이 선별장치의 표면에 있는 물질의 운동에 관해 연구 발표하였으나 대부분이 진동표면에서 한

물질(Single Particle)의 운동을 해석하는데 적용가능한 연구로 짚풀 등과 함께 혼합되어 있는 곡물을 분리하는 과정을 해석하기에는 미흡하다. Cooper(1966)와 Freye(1980)등은 실험실 실험을 통해 콤바인 선별장치의 성능을 규명하였다. Kim and Gregory(1990)는 콤바인의 선별과정을 수학적 모델로 해석했으며 밀을 사용 재료로 한 실험실 실험을 통해 모델을 증명하고 작업능률을 최대화하는 작업조건을 제시하였으나 망으로 이루어진 표면 위에서 선별성능을 이론적으로 해석한 연구는 없었다.

자탈형 콤바인 선별부의 망의 크기는 10mm 내외로 고정되어 있으나 망의 크기의 대소는 곡물의 선별과정에 큰 영향을 미치는 인자이므로 작물의 물리적인 특성 및 체의 작동조건에 따라 망의 크기를 적절한 수준으로 변경 설계하여야 한다. 망의 크기가 커지면 곡물의 망 통과율은 높아지나 진동 및 풍력으로 짚풀을 분리하는 능력이 떨어지고 망의 크기가 작아지면 정선된 곡물의 품위는 높아지나 공급률이 높은 경우 망을 통과하지 못하고 밖으로 배출되는 곡물이 많아지는 문제점이 있다. 따라서 선별된 곡립의 품위를 높이고 곡립손실을 최소화하는 방법으로는 망의 크기를 고려함과 동시에 요동체의 작동조건을 규정하는 연구가 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 한국에 널리 보급되어 사용되고 있는 자탈형 콤바인 선별부의 선별 모델을 개발하는데 있다. 구체적으로는 콤바인 선별부에서 곡립이 기계진동 및 풍력에 의해 이물질로부터 분리되는 과정을 이론적으로 설명하고, 포장 작업방법과 같은 과정을 갖춘 실험장치를 제작하여 모델의 정당성을 증명하였다.

2. 곡물 선별모델

곡물이 선별망을 통과하는 현상에 기초한 확률과, 선별장치의 작동조건에 따라 선별작업 중에 곡물이 망 위에 분포되어지는 정도는 요동체 상의 곡물이 짚풀 등의 이물질로부터 선별되는

성능을 판정할 수 있는 요인이 된다.

가. 곡립이 망을 통과하는 확률

확률을 계산하기 위해 곡립을 원형의 포사물체로 간주하여 그 직경을 D라 가정하고 요동체 망눈의 길이는 L, 폭은 W 로 가정 한다. 곡립이 망을 통과하는 확률 P_G를 1차원으로 해석하면

$$P_G = \frac{L-D/2-D/2}{L} = \frac{L-D}{L}$$

가 되며, 2차원으로 해석할 경우 확률은 다음과 같다.

$$P_G = \frac{(L-D)(W-D)}{LW}$$

만약 망이 정사각형이면 폭과 길이가 같아져서(L=W),

$$P_G = \frac{(L-D)^2}{L^2} \dots\dots\dots (1)$$

이 된다. 한편 포사물체인 곡립이 일정한 각도(α)로 망을 통과할 때는

$$P_G = \frac{(L \cos \alpha - D)^2}{L^2 \cos^2 \alpha} \dots\dots\dots (2)$$

이다. 이 경우 L cos α < D 일 경우 P_G=0이 되어 곡립은 망을 통과할 수 없게 될 것이다.

탈곡물 중에 포함되어 있는 낱풀 등은 MOG (Material Other than Grain)는 풍력에 의해 망에 도달하기 전에 배출되어야 한다. 그러나 선별과정 중 그 크기가 큰 낱풀 등은 풍력에 의해 배출되지 못하고 곡물과 함께 망 위에서 배출구로 이송된다. 따라서 공급률이 커지면 망면을 따라 이송되는 낱풀 등의 양이 많아진다. 선별시 망 위의 MOG양이 많아지면 곡립이 망을 통과할 수 있는 면적이 줄어들고 따라서 곡립이 망을 통과하는 확률이 줄어들게 된다.

망 위의 MOG량의 대소에 따라 곡립의 망 통과률(P_s)을 계산하면 다음과 같다.

$$P_s = 1 - F_c$$

여기서 F_c는 MOG에 의해 망이 덮힌 정도를 나타내며 다음과 같은 덮음정도(Fraction of Cover) 식으로 표시할 수 있다. (Gregory 1982)

$$F_c = 1 - e^{-KM/A}$$

여기서,

K=Projection area/mass for an average piece of material m²/Kg,

M=Mass of chaff or broken straw(MOG) Kg,

A=Projection area m².

단위 면적당 MOG의 양은 공급률(Mt)을 이송속도(V)와 요동체의 폭(Ws)의 곱으로 나눈 식으로 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{M}{A} = \frac{Mt}{V \cdot W_s}$$

따라서 곡립이 망을 통과하는 확률(P)는 망과 MOG의 망덮힘정도를 고려하여 다음과 같이 표시된다.

$$P = P_s \cdot P_G = (e^{-KM/VW_s}) \left(\frac{(L \cos \alpha - D)^2}{L^2 \cos^2 \alpha} \right)$$

곡립이 망에 접근하는 순간에 망을 통과할 확률을 계산하기 위한 곡물의 직경 D는 원형이 아니다. 따라서 D는 곡립의 장반경(Dmax), 단반경(Dmin), 및 요동체가 곡립에 가한 운동에너지(1/2 mv²)의 함수가 되어

$$D = f(D_{max}, D_{min}, Energy)$$

로 표시될 수 있으며 그림으로 표시하면 다음과 같다.

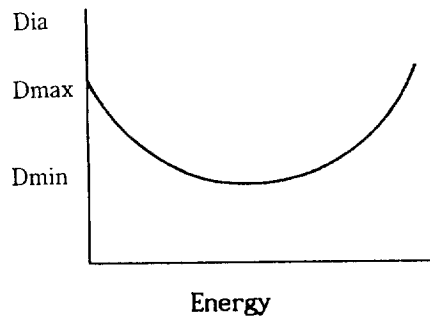


Fig 1. Diameter of grain as a function of the energy

즉 에너지가 작은 경우에는 요동체 위의 곡립이 미끌림에 의해 이송되므로 망을 통과하는 확

를 계산하는 경우 곡립의 장반경이 고려되거나 적절한 에너지에서는 단반경이 고려되고, 큰 에너지를 공급할 경우에는 곡립의 유동이 빨라 비행 등을 통해 망면에 도달하므로 망을 통과할 때에 곡립의 장반경이 확률 계산에 고려될 수 있다.

따라서 곡립의 직경 D는 다음과 같이 표시된다

$$D = C1(mv^2)^2 + C2(mv_2) + Dmax \dots\dots\dots (3)$$

여기서, C1, C2=constants.

나. 망 위에서의 곡립분포

요동체 망 위에서 곡립이 이송되고 한편으로는 망을 통과하는 현상은 망 위의 곡립분포로 설명된다. 곡립이 망을 통과하는 양(Gs)은 곡립이 망을 통과할 확률 P와 곡립이 망을 통과하기 위해 비산되었다가 망 표면에 도달하는 횟수(N)로 표시될 수 있다.

$$\frac{d G_s}{d N} = P(1 - G_s) \dots\dots\dots (4)$$

여기서, G_s는 망을 통과한 곡립량(공급량에 대한 비율)이다. 식 4의 변수를 분리하면 다음과 같다.

$$\frac{d G_s}{1 - G_s} = P \quad dN \dots\dots\dots (5)$$

식 5의 좌변을 곡립이 망을 통과한 양의 초기(G_{si}) 및 말기(G_{sf})값으로, 식 5의 우변은 초기에서 말기까지 비산된 횟수(N_f)로 각각 적분한 결과

$$\ln \frac{1 - G_{sf}}{1 - G_{si}} = -P \quad N_f \dots\dots\dots (6)$$

로 표시된다. 양변을 지수함수로 표시하면 다음과 같다.

$$\frac{1 - G_{sf}}{1 - G_{si}} = e^{-P \cdot N_f} \dots\dots\dots (7)$$

요동체 위에 남아있는 최종 곡립량은 다음과 같이 표시된다.

$$G_f = G_i \quad e^{-P \cdot L/L_a} \dots\dots\dots (8)$$

여기서,

G_f=1-G_{sf}, Final grain weight on the

- sieve,
- G_i=1-G_{si}, Initial grain weight on the sieve,
- N_f=L_i/L_a,
- L_i=Length of grain distribution on the sieve, and
- L_a=Grain transport velocity during each vibration.

식 8에서 L_i이 요동체 망의 총길이와 일치될 때 G_f는 곡물손실을 표시한다. 요동체 상의 곡립의 평균 이송속도, V는 다음과 같이 표시된다(Kim, et al.,1991)

$$V = C' [aw^2/g] [a w \sin(2\alpha + 2\beta) / \cos\beta] \dots (9)$$

- 여기서,
- a = Amplitude of vibration of the sieve surface,
- w = Frequency of vibration of the sieve surface,
- α = Angle between the horizontal plane and the plane of vibration,
- β = The inclination of the conveying surface to the horizontal, and
- C' = Constant.

풍력에 의해 곡립에 가해진 힘(drag force), F_D는 다음과 같이 표시된다.

$$F_D = 1/2 \quad C_D \quad \rho \quad A (V_D \cos\theta)^2 \dots\dots\dots (10)$$

- 여기서, C_D=Drag coefficient,
- A = Projection area of grain,
- V_D=Air velocity, and
- ρ = Air density.

풍력에 의한 곡립의 이송속도, V_w는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$V_w = F_D \quad T/M \dots\dots\dots (11)$$

- 여기서, T=1/w, Vibration period,
- M= Grain mass.

식 11의 F_D값에 식 10의 F_D값을 대입하면, 풍력에 의한 곡립의 이송속도는 다음과 같다.

$$V_w = C'' V_D^2 / w \dots\dots\dots (12)$$

여기서, C''= Constant
따라서 기계진동과 풍력을 고려한 곡립의 이

송속도가 구해지며 단위진동당 곡립시 이송거리
는

$$La = (V + C'' V_b^2/w) / w \dots\dots\dots (13)$$

와 같이 표시된다.

식 8에 유도된 확률 P와 이송거리 La 등을 대입
하면, 망 위에서 곡물이 선별되는 일반식이 다음
과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} & - (L \cos \alpha - D)^2 / (L^2 \cos^2 \alpha) \\ & L/La e^{-KM/VW_s} \\ Gf = Gi e \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

여기서, $D = C1(mv^2) + C2(mv^2) + Dmax$

$$La = (V + C'' V_b^2/w) / w$$

3. 실험장치 및 방법

개발된 모델을 증명하기 위해 실험실에 콤파
인 탈곡부와 선별부를 설계 제작했다. 선별과정
을 비디오 카메라(셔터속도 1/10000초)를 이용
하여 관찰하였으며 망위의 곡립분포를 화상 재
생기를 사용하여 모니터에서 분석하였다. 곡물
손실 및 곡물품위를 측정하기 위해 실험장치에
서 채취된 샘플을 수작업으로 분석하였다.

가. 실험장치

실험장치는 크게 탈곡부, 선별부, 및 연결 벨트
컨베이어(그림 2)로 구성하였다.

1) 탈곡부

탈곡부는 자탈형 콤파인의 탈곡부 구조와 비
슷한 자동탈곡기를 개조하여 설치하였다. 즉 탈
곡통밀의 탈곡망을 통과한 탈곡된 곡물과 짚풀
등을 선별부에 공급하기 위해 기존 탈곡기의 선
별장치인 풍구 및 1번구 알곡 이송오거를 제거
하고 2mm 알루미늄판을 절곡하여 탈곡망 밑에
설치하였다. 이때 고풍수율의 탈곡물을 유도, 공
급하기 위해 알루미늄판의 각도를 수평과 55°로
유지시켰다. 배진판을 옥외로 연장하기 위해
PVC 파이프를 사용했으며 옥외에 배진물을 수
거하기 위한 상자를 설치하였다. 탈곡부에 동력

을 공급하기 위해 0.5 kW 단상 모터를 설치하여
탈곡부 회전수를 변인 경우 550 rpm, 보리인 경
우 680 rpm으로 고정시켰다.

2) 벨트 컨베이어

탈곡기에서 생산된 탈곡물을 선별부에 공급하
기 위해 길이 3.7 m, 폭 0.45 m, 두께 3 mm인 고
무편을 사용한 무한 벨트를 제작하였다. 벨트 구
동드림은 10 cm 직경의 파이프를 사용했으며 선
반으로 표면처리를 하여 마찰력을 높였다. 벨트
의 인장력을 조절할 수 있는 장치를 부착했으며
벨트 처짐을 방지할 수 있는 보조 롤러도 설치
했다. 동력은 0.12kW 단상모터를 사용했으며
감속기를 이용하여 벨트 속도를 조정했다.

3) 선별부

선별부는 요동체, 왕복운동 발생장치, 프레임
및 샘플 채취 상자로 구성하였다(그림 3). 요동
체는 자탈형 콤파인에 장착되었던 것으로 폭 0.
42 m, 길이 0.7 m이고 두 부분으로 구성되어 있
다. 탈곡물이 먼저 공급되는 부분은 물결모양의
판이며 뒷부분은 망으로 구성되어 있다. 망 밑부
분에는 요동체 밑부분에 장착된 풍구에서 불어
오는 바람을 안내할 판이 부착되어 있고 또한 이
판은 망을 통과한 곡물을 샘플상자에 안내한다.
망은 실험중에 교체할 수 있도록 착탈식으로 하
였다. 풍구는 방사상(Radial)의 4개의 날개를 갖
고 있으며 공기 유입구의 개구면적을 조정하여
풍속을 조정했다. 요동체는 4절 회전기구를 이
용한 원호 운동을 행하며 본실험에서는 원호운
동의 방향을 45°로 고정하였다. 원호운동의 진
폭은 또다른 4절 회전기구를 구성하여 구동링크
의 길이를 조정하여 변화시켰다.(Kim,1984)

동력은 0.5 kW, 220 V 단상 가변속 모터를 사
용하여 회전수를 변화시켜 요동체의 양쪽 구동
링크에 전달되도록 하였다. 샘플은 망 바로 밑에
곡물 수거용 1번구 상자(그림 3, 3번)를 설치했
고 바깥쪽에 수절립 등을 수거할 2번구 상자(그
림 3, 4번)를 설치했으며 끝 부분에 손실 곡물을
수거할 3번구 상자(그림 3, 5번)를 설치했다. 선

별부 프레임은 50 mm 앵글로 제작하였고 레일이 깔린 바닥에 볼트로 고정하여 떨림을 방지하였다. 사진촬영을 위해 요동체 윗부분과 옆상단부에는 투명 플라스틱을 부착하였다.

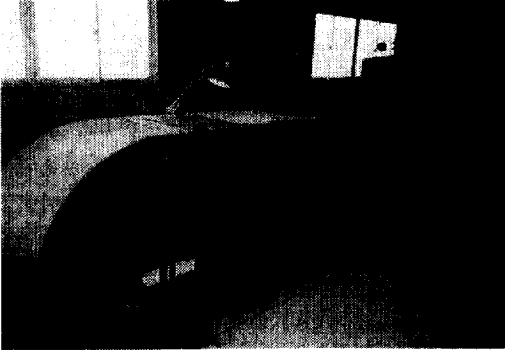


Fig. 2. Testing Apparatus

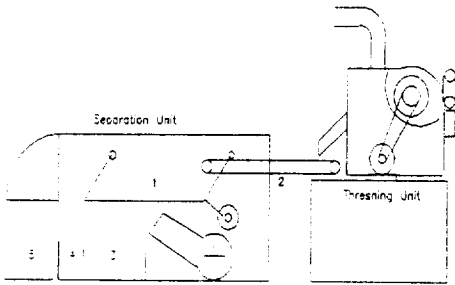


Fig. 3. Schematic diagram of separation unit.

나. 실험방법

1) 망위의 곡립분포

망눈의 한변이 7.5 mm, 10 mm 및 13 mm인 3 종류의 망을 교체하여 망위의 곡립분포를 실험하였다. 요동체의 진동방향은 수평면과 45°를 유지하고, 요동체의 표면은 수평면과 일치시켰다. 요동체의 진폭은 24 mm와 36 mm의 2 수준이었으며 진동수는 각각 3 수준으로 진폭이 24 mm일 때 240, 300, 360 rpm이었고 진폭이 36 mm일 때 186, 245, 294 rpm 이었다. 진폭에 따라 진동수의 3수준값이 서로 다른 이유는 각 수준

간의 진동강도(aw^2/g)를 일치시키기 위함 이었다. 실험재료는 수분함량이 15% (w.b.)인 영덕벼로 공급률은 0.6 t/h와 0.3 t/h이었고 공급률과 컨베이어 이송속도를 고려하여 일정하게 계량된 곡립을 정지된 컨베이어 벨트위에 일정한 간격으로 배치하였다. 실험은 2 수준의 진폭, 3 수준의 망의 크기, 3 수준의 진동수 및 2 수준의 공급률을 세세구 배치법에 따라 행하였다. 망위의 곡립분포 길이는 정상상태로 선별이 진행될 때 망이 시작되는 점에서부터 곡립분포 선단의 위치점까지의 길이로 표시되며 각 실험 전과정을 비디오 카메라로 촬영하여 화상 재생기로 재생된 화면에서 자료를 얻었다.

2) 곡물손실

실제의 포장 조건하에서 생산된 탈곡물을 선별실험에 사용하였다. 1차년도 벼 실험재료는 강원대학교 농과대학 실험포에서 생산된 영덕벼였으며 쉼의 평균 함수율은 76% (w.b.)이었고 곡물의 함수율은 27%, 곡물대 쉼의 무게 비율은 0.3 이었다. 탈곡부에 벧단의 공급률은 2.25 t/h와 1.35 t/h이었으며 풍속은 요동체 망표면에서 7 m/s와 5 m/s의 2 수준이었고, 진폭은 24mm로 고정하였다. 요동체 진동수는 240, 300, 360 rpm의 3 수준이었으며 망눈의 크기는 5, 7.5, 10, 13 mm의 4종류였고, 전체 2 반복 실험을 통해 요동체 망밑에서 회수된 곡물 및 검불의 양 및 손실 곡립량을 측정하였다. 2차년도 보리 실험재료는 강원도 농촌진흥원 시험포에서 생산된 보리였으며 쉼의 평균 함수율은 65% (w.b.)이었고 곡물의 함수율은 23%, 곡물대 쉼의 무게 비율은 0.84 이었다. 개발된 모델을 증명하기 위해 곡물손실을 다음의 두 가지 실험에서 구하였다.

가) 진동수와 진폭의 효과

풍구의 풍속과 망눈의 크기는 각각 6 m/s 및 13 mm로 고정하였다. 탈곡부에 공급되는 보릿단의 공급률은 1.5 t/h, 1.1 t/h, 및 0.73 t/h의 3 수준으로 하였고, 진폭 24 mm인 경우의 진동수는 300, 360, 400 rpm의 각각 3 수준으로 하였다.

나) 풍속 및 망눈의 크기 효과

요동체의 진폭과 진동수는 각각 24 mm와 360 rpm으로 고정하였다. 공급률은 진동수와 진폭의 효과 실험과 같게 하였으며 풍속은 5 m/s 와 7 m/s의 2 수준이었고 망의 크기는 7.5, 10, 13 mm의 3 수준이었다.

4. 결과 및 모델 증명

가. 망 위의 곡립분포

정상적인 선별과정 중 곡립이 망 위에 펼쳐지는 정도를 비디오 카메라로 촬영한 결과의 예를 그림 4와 그림 5에 표시하였다. 같은 기계적 작동조건 하에도 망눈의 크기에 따라 그 분포 길이가 상이함을 알 수 있다. 망 위의 곡립분포를 망눈의 크기에 따라 진폭 24 mm와 36 mm인 경우로 나누어 그림 6과 그림 7에 표시하였다. 망눈의 한변 길이가 5 mm인 경우 모든 작동조건 하에서 상당량의 곡물이 요동체 망의 끝단을 통과하였던 바 분포 길이를 망의 총 길이로 표시하였다.

일반적으로 곡립 분포길이는 망눈의 크기가 증가될수록 지수함수의 경향을 따라 줄어들었다. 이러한 결과는 식 1에서 망눈(L)의 크기가 증가하여 확률 P가 커짐에 따라 식 8의 곡립 잔류량(Gs)이 지수함수의 경향을 따라 줄어드는 것과 일치하였다. 상대적으로 진폭이 큰 값인 36 mm의 경우(그림 7)에 곡립분포거리는 작은 진동수 범위에서는 줄어들고 진동수가 커짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 유도된 식 3에서 곡물이 망을 통과할 때 고려되는 직경이 진동에너지에 따라 U자 곡선을 따라 변하는 결과와 그 경향이 일치함을 알 수 있다.

그림 6과 7에서 곡물 공급률이 증가할수록 곡립이 망을 통과하는데 필요한 시간이 길어져서 곡립 분포길이가 증가함을 보여준다. 공급률 증가에 따른 곡립 분포 길이의 증가는 곡립손실량을 증가시키며 이러한 현상은 유도된 식 14로 잘

설명된다. 그림 8은 그림 6과 7에 표시된 실험결과와 개발된 선별모델인 식 14를 이용하여 얻은 결과를 비교한 것으로 R²가 0.92($\alpha=0.001$)로 모델의 유효성이 입증되었다.

나. 곡물 손실

곡립이 망을 통과하지 않고 비산되거나 망면을 따라 배출된 양을 측정하여 곡물손실을 구하였다. 망 밑에서 채취된 곡물중에 포함된 낱물의 양은 모든 실험에서 무시할 정도의 적은 양이어서 결과 분석에서는 제외하였다.

그림 9에서 표시된 바와 같이 곡물손실은 망눈의 크기가 증가함에 따라 줄어들었다. 망눈의 크기가 증가함에 따라 곡물이 망을 통과할 확률 P는 커져서 망위에 곡물 잔류량이 망의 끝단으로 갈수록 적어지고 따라서 곡물손실이 발생할 확률이 줄어들게 된다. 풍속이 5 m/s 정도로 낮을 경우 망눈 크기 10 mm 이상에서는 곡물손실이 거의 없었다. 그러나 풍속이 커지면 곡물이 망을 통과하는데 저항을 받게 되어 망 위의 곡물 분포길이가 길어지며, 그 결과로 곡물손실이 늘어난다. 특히 풍속이 곡물의 종단속도에 가까워질 정도로 커지면(8m/s) 비록 망눈의 크기가 커져도 곡물손실은 일정한 값을 갖는 것으로 나타났다.

MERV 프로그램(Gregory and Fedler, 1986)을 사용하여 실험결과와 선별모델의 계산결과를 통계처리한 결과(그림 10), R²가 0.934($\alpha=0.001$)로 모델이 실험결과를 잘 설명하는 것으로 나타났다.

그림 11은 보리 선별시 두 수준의 진폭에서 선별작업을 행할 때 요동체 진동수가 곡물손실에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 보리의 경우 탈곡 후의 곡물에 수염 부착립이 많아서 선별시 버의 경우보다 높은 진동수가 요구되었다. 진폭이 큰 경우가 작은 경우 보다 같은 진동수에서 곡물의 이송성능은 좋아지나 곡물손실이 커졌고, 모든 경우 진동수가 커지면 곡립손실이 급격

히 증가함을 알 수 있다. 이러한 경향은 모델로 잘 설명되었다($R^2=0.851$).

그림 12는 보리 선별시 두 수준의 풍속에서 망눈의 크기가 곡물손실에 미치는 영향을 표시하였다. 실험결과와 전체적인 경향은 벼 선별 결과와 비슷하였고 개발된 모델이 보리선별을 잘 설명하였으나 벼의 경우보다 다소 낮은 R^2 값(0.725)을 보였다. 이러한 현상은 보리의 경우 망눈의 크기가 5 mm인 경우에는 실험이 불가능하여 실험에서 제외 하였던 바 설명될 자료수가 줄어서 R^2 의 값이 떨어진 것으로 판단된다. 그림 13은 앞의 그림 11과 12의 실험결과를 개발된 모델이 동시에 설명한 결과로 R^2 가 0.837($\alpha=0.001$)이었다.

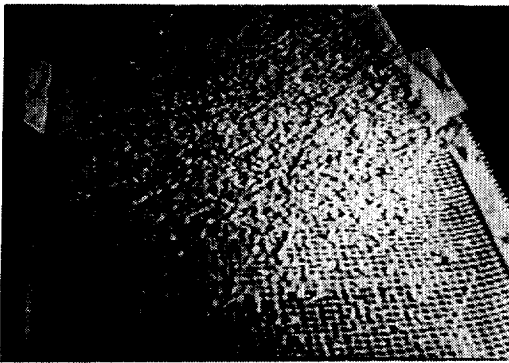


Fig. 4. Grain distribution on a screen of 7.5mm mesh.

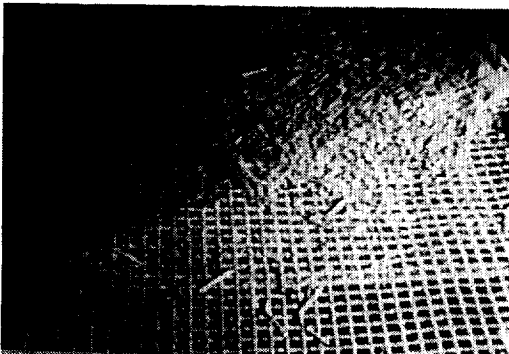


Fig. 5. Grain distribution on a screen of 13mm mesh.

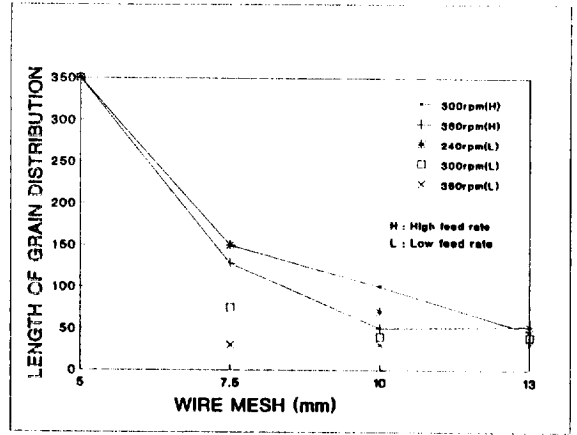


Fig. 6. Grain distribution on a screen of 24mm mesh.

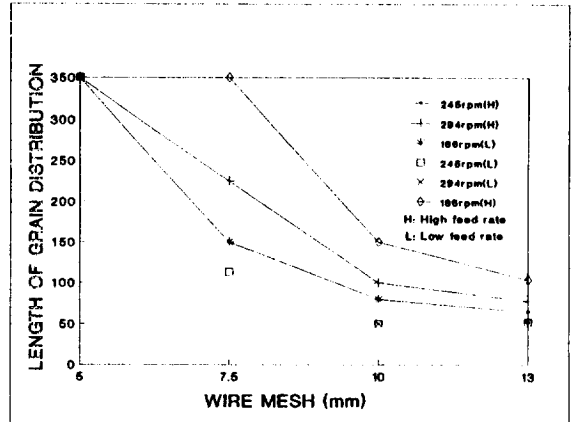


Fig. 7. Grain distribution on a screen of 36mm mesh.

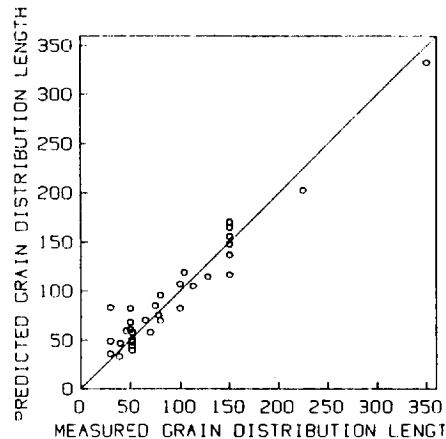


Fig. 8. Comparison of measured and predicted value of grain distribution length.

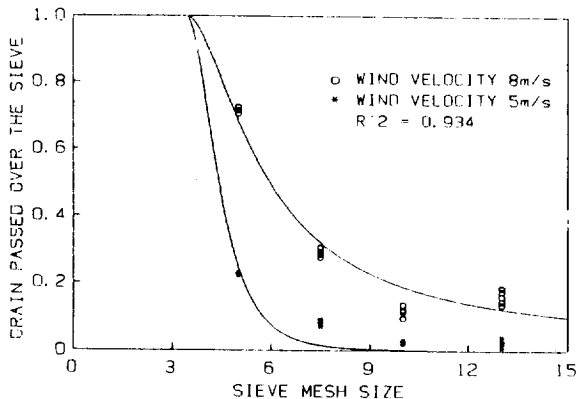


Fig. 9. Grain loss with the variation of the mesh size and the air velocity tested for paddy rice.

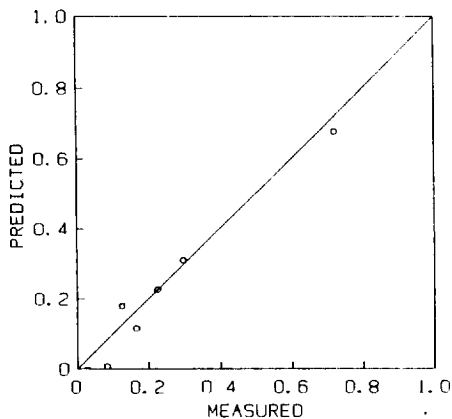


Fig. 10. Comparison of measured and predicted value of grain loss with the variation of the mesh size and the air velocity tested for paddy rice.

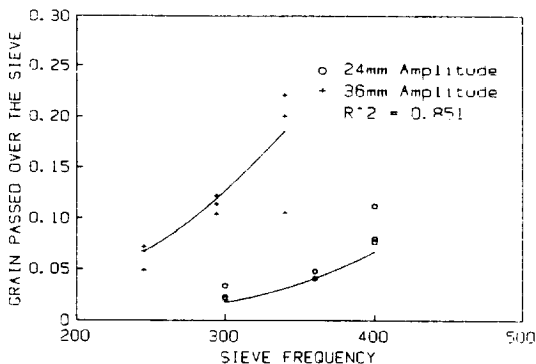


Fig. 11. Grain loss with the variation of the sieve frequency and the amplitude tested for barley.

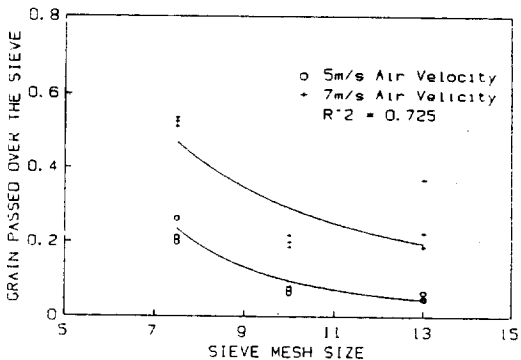


Fig. 12. Grain loss with the variation of the mesh size and the air velocity tested for barley.

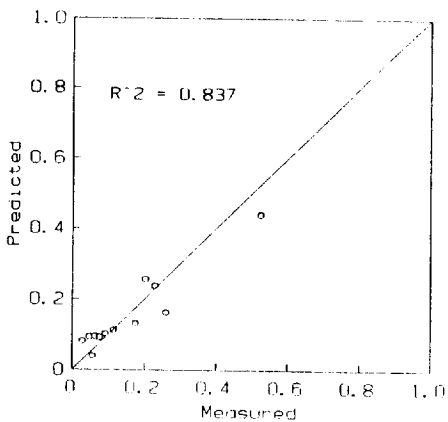


Fig. 13. Comparison of measured and predicted value of grain loss tested for barley.

5. 요약 및 결론

본연구의 목적은 자탈형 콤바인 선별부의 선별모델을 개발하는데 있다. 콤바인 선별부에서 곡립이 이물질로부터 분리되는 과정을 이론적으로 모델화 하였으며 포장작업 방법과 같은 과정을 갖춘 실험장치를 제작하여 실험결과로 모델을 증명하였다. 본실험에 사용된 작물은 벼와 보리였으며, 실험결과의 시료를 채취 분석하였고 비디오 카메라를 이용하여 선별작업이 정상상태로 이루어진 시점에서 자료를 수집하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다

1. 망 위의 곡립분포는 망눈이 커질수록 지수함수로 줄어드는 경향을 보였으며, 진폭이 큰 경우 진동수가 증가함에 따라 망 위의 곡립분포 거리가 감소하였다가 다시 증가하는 경향을 보였고, 곡물 공급률이 증가하면 곡립분포거리가 증가 하였다. 개발된 모델은 앞에서 기술된 현상을 이론적으로 설명하였으며 이론치와 실험결과를 비교한 결과 R^2 가 0.920이었다.

2. 벼의 경우 곡물손실은 망눈의 크기가 증가하면 감소하였으나 풍속이 증가하면 증가하였다. 곡물의 종단속도에 가까운 풍속에서는 망눈의 크기를 증가하여도 망의 효과가 나타나지 않고 곡물손실이 일정하였다. 보리의 경우 곡물에 수염부착률이 많아 벼보다 높은 진동수가 요구 되었으며 진폭이 작고 낮은 진동수에서 곡물손실이 적었다.

벼와 보리의 경우 모두 개발된 모델이 실험결과를 잘 설명했으며 R^2 는 각각 0.934, 0.837이었다.

3. 개발된 모델은 벼와 보리 실험을 통해 그 유효성이 입증되었으며, 본 모델을 이용할 경우 콤바인 설계시 선별부의 기계적 작동 조건을 설정할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Berry, P.E. 1958. Research on oscillating conveyers. J Agr. Eng. Res. 3(3) : 249-259.
2. Freye, Theo. 1980. Investigation of the separation of grain and chaff in a combine cleaning shoe. Dissertation for obtaining the grade of doctor of agricultural science. Hoheheim.
3. Gaberson, H.A. 1972. Particle motion on oscillating conveyors-Part 1. The equations of motion and the rules for predicting motion form transitions. J. of Engineering for Industry. Trans. of ASME. Feb. : 50-56.
4. Gregory, J.M. 1982. Soil cover prediction with various amounts and types of crop residue. Trans. of the ASAE 25(5) : 1333-1337.
5. Gregory, J.M. 1988. Modelling applications in agricultural engineering. (Combine model for grain threshing). Math. Comput. Modeling, Vol. 11 : 506-509.
6. Gregory, J.M. and C.B. Fedler. 1986. Model Evaluation and Research Verification (MERV). ASAE Paper No. 86-5032.
7. Gregory, J.M. and C.B. Fedler. 1987B. Mathematical relationship predicting grain separation in combines. Trans. of the ASAE. 30 (6) : 1600-1604.
8. Griffin, G.A. 1973. Fundamentals of Machine Operation-combine harvesting. Deere and Company. Moline, Illinois.
9. Kim, S.H. and J.M. Gregory. 1991. Grain separation Equations for combine chaffers and sieves. ASAE Paper No. 911603.
10. Kim, S.H., S.I. Nam, and S.N. Ryu. 1984. Study on the characteristics and separating performance of oscillating sieve for optimization of separating loss of combine. Journal of

KSAM 9(2) : 48-57

11. Schertz, C.E. and T.E. Hazen. 1963. Prediction motion of granular material on an oscillating conveyor. Trans. of the ASAE. 6(1) : 6-10.
12. Srivastava, A.K., W.T. Mahoney, and N.L.

West. 1990. The effect of crop properties on combine performance. Trans. of the ASAE. 33(1) : 63-72.

13. Turnquist, P.K. 1961. Particle behavior on an oscillating surface. MS thesis. Oklahoma State University.