

고추收穫機의 脫實裝置 開發 (I)^{*}
- 탈실장치의 소형화와 회수율의 제고 -

Development of a Pepper Removal Mechanism for a
Red-Pepper Harvester (I)
- Size Reduction of the Pepper Removal Mechanism and
Improvement of Pepper Recovery Ratio -

이 종 호* 박 승 제* 이 중 용**
정회원 정회원 정회원
J. H. Lee S. J. Park J. Y. Rhee

ABSTRACT

A pepper harvester using a pair of counter rotating helically wound cylinders as a pepper removal mechanism has been developed. Pepper harvesting by machines under the customary cultivation practice was expected to lower land productivity, that most farmers were concerned about. As one way to compensate for loss in land productivity by machine harvest, experts on pepper cultivation suggested change of both varieties and plant density per area. From the view of machine design, their suggestion implied that distance between rows should be narrower and height of the pepper removal mechanism could be shorter.

Experiments to improve perfect pepper recovery ratio and to reduce size of the pepper removal mechanism was accomplished. In order to be a economically feasible harvester, minimum pepper recovery ratio was required to be greater or equal to 80%.

The research goal was achieved by both reducing the diameter of the wire-helices from 30 cm to 18 cm and increasing rotational speed of the wire-helices up to 425 rpm. The best perfect pepper recovery ratio was 82.3%.

Validity of experiment design and interpretation on statistical analysis were discussed. To understand the pepper removal mechanism properly, a pepper removal theory based physics was judged to be necessary.

주요용어 (Key Words): 고추 수확기(Pepper Harvester), 탈실장치(Pepper Removal Mechanism), 회수율 (Recovery Ratio)

1. 서 론

고추 수확기의 중요성과 필요성(Marshall et. al,

1986; Thomas and Rollason, 1980; Wolf and Alper, 1984)은 여러 연구결과에 나타나 있으며, 우리 나라 에서도 1992년부터 고추수확기 개발을 위한 기초연

^{*} 본 연구는 과학기술처의 특정과제 연구비 지원으로 수행되었음

^{*} 전북대학교 농과대학 농업기계공학과

구(이중호 외, 1993)가 시작되고 기계수확용 품종개발이 1991년부터 원예시험장에서 계속적으로 수행되고 있다.

본 연구에서 개발하고자 하는 고추수확기는 고추를 일시에 수확하는 것으로서 주요 작동과정은 고추대를 베어서 상하를 뒤집어 탈실장치에 공급하고 탈실과정에서 나오는 고추열매와 가지, 잎사귀를 선별작용과 추가적인 고추탈실이 가능한 후처리부로 보내어 최종적으로 고추만을 수확 선별하는 것이다. 고추 수확기의 핵심부인 탈실장치는 이중나선원통을 회전시키면서 나선이 고추대를 두드려 고추를 수확하는 것이다.

한편 관행 고추재배에서는 재배기간 중 여러 번에 걸쳐 수확하고 있으므로 관행 재배양식과 품종을 유지하면서 일시에 기계수확을 한다면 토지의 생산성이 크게 줄어들 염려가 있다. 이에 대한 대책으로 재배전문가나 육종전문가들은 동시에 익는 품종을 개발하되 수형이 왜소하고 직립성으로 육성하고 단위면적당 재식주수를 늘려 기계수확에 의한 수량감소를 극복하도록 요구하였다(이중호 외, 1994; 이중호 외, 1995b). 이러한 요구는 기계설계 측면에서 보면 탈실장치의 나선원통 직경을 줄이고 작물의 키가 작아지는 만큼 탈실구조의 높이도 줄임으로써 수용가능하다. 그러나 탈실장치를 소형화할 경우 적정 회수율이 유지될 것인가 하는 문제점이 대두되었다.

탈실장치의 크기를 소형화하기 위해서는 고추의 탈실원리에 대한 근본적 가정을 재검토할 필요가 있었다. 즉 고추의 탈실원리는 훑어내는 것이 아니라 충격에 의하여 고추대로부터 고추를 회수한다는 가정이 필요하였고, 이러한 탈실원리에 대한 재해석의 필요성은 이미 기초연구(이중호 외 4인, 1993)에서도 제시되었다. 따라서 나선원통의 직경을 줄이는 대신 회전속도를 증가시켜 필요한 만큼의 충격력을 발생시킬 수 있도록 하자는 것이 기본전략으로 채택되었으며 충격량은 나선의 회전속도만이 아니라 나선과 고추대와의 접촉각도에 의해서도 변화된다는 가정에 의하여 접촉각도를 바꾸기 위하여 나선원통의 설치각도를 요인으로 채택하였다.

본 연구의 목적은 이미 개발한 고추수확기의 회수

율을 유지하면서 그 탈실장치를 소형화하는 것이었다. 이중호 외 5인(1995a)에 의하면 경제적인 고추수확기가 되기 위해서는 80% 이상의 회수율이 요구되므로 기존의 탈실장치를 소형화하되 회수율을 목표치 이상으로 유지하는 방안을 연구하였다. 또한 일반적으로 실시하는 통계적 해석 방법이 탈실실험에 있어서 타당하지 못하다는 문제를 제기하여 새로운 해석방법을 모색하기 위한 기초를 마련하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

이중나선원통을 갖춘 탈실장치(이중호 외 5인, 1995b)는 직경 10mm의 강봉을 열간소성 가공하여 리이드각 45도로 감아서 원통형의 나선으로 만들었다. 3개의 나선을 120도 등간격으로 배치한 한 쌍의 나선원통이 서로 역회전하며 탈실하도록 구성되었다. 두 개의 나선원통은 근접하는 나선 사이에 30mm의 간극을 유지하면서 지면에 대하여 일정한 설치각을 유지하며, 나선원통의 윗부분에는 고추대를 연속적으로 공급하는 이송부가 있다. 나선원통은 한 개의 1 kW 용량의 VS 모터를 사용하여 구동하였으며 회전속도는 설정치와 비교하여 그 차이가 ± 5 RPM 이내가 되도록 조정하였다. 그림 1은 실험장치의 모습을 나타낸 것이다. 나선원통의 아래쪽에는 탈실된 고추를 수집하는 벨트콘베이어가 있으며 벨트콘베이어는 수집된 고추를 위쪽으로 운반하여 또다른 벨트콘베이어로 반송하고 최종적으로 선별과 동시에 가지가 달린 고추로부터 추가적으로 고추만을 떼내어 분리하는 후처리부로 공급된다.

고추대 이송은 직류모터와 슬라이더스를 이용하였다. 이송하는 고추대의 갯수와 직경에 따라서 이송속도가 느려지는 현상을 목격할 수 있었으나 실험 직전에 부하에 의한 감속을 추정하여 고추대 이송속도를 0.3 ± 0.03 m/s 이내로 유지하였다. 고추대의 직경은 비교적 균일하지만, 연속적으로 공급되는 고추대가 탈실중에 이송체인으로부터 빠지지 않도록 하기 위하여 콤팩트 벨트이송용 체인과 스프링에 의해 지지되는 가이드를 설치하였다.

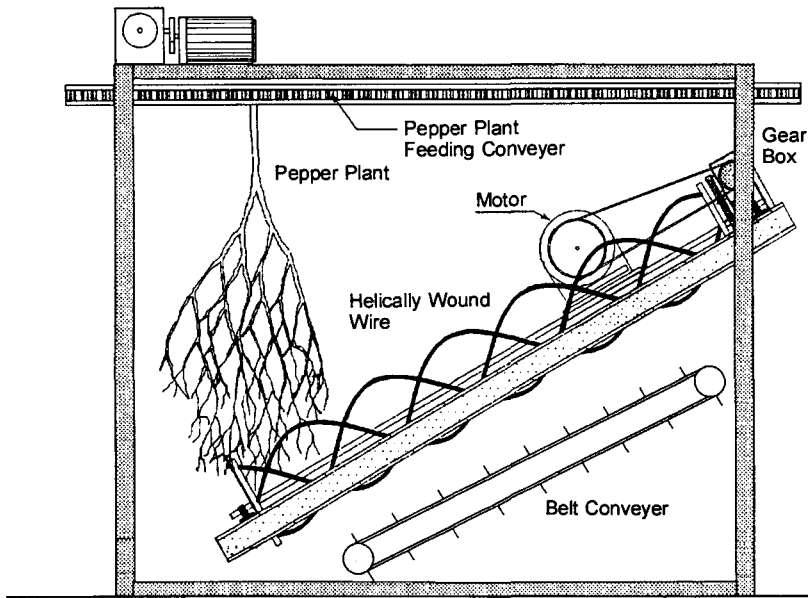


Fig. 1 Experimental set-up for pepper removal.

가이드의 길이는 최초에 30cm로 정하였으나 고추대가 연속 공급되는 경우 30cm 구간 이내에 극단적인 경우는 3개의 고추대가 하나의 가이드에 물리게 되며 이 중 가운데 위치한 고추대의 직경이 가장 작을 때 이송 중에 빠지는 현상이 발생하여 20cm로 조정하였다. 그림 2는 고추대 이송장치의 구조를 나타낸 것이다.

본 실험에서는 탈실장치의 소형화·고능율화를 위해 나선원통의 직경과 설치각 및 원주속도를 변화시켜 탈실율에 미치는 영향을 조사하였다. 고추대의 이송속도는 작업능력을 고려하여 0.3m/s로 미리 정하였기 때문에(이종호 외 5인, 1995b) 본 실험에서는 최소 요구치인 0.3m/s로 고정하였다.

나선원통의 직경을 줄이는 것이 주목적이었으므로 실험배치는 나선원통의 직경을 4수준으로 주구에 배치하고 세구에 나선원통의 경사각을 3수준으로 배치하였으며 세세구에 나선의 원주속도를 3수준으로 배치하여 3 반복으로 실험을 수행하였다. 각 변수의 정의는 그림 3에 나타내었으며 실험인자와 각 수준에서 크기를 표 1에 나타내었다. 나선원통의 피치(Np)는 리이드 각이 45도 이므로 지름의

π 배가 된다.

Table 1 Experimental design parameters and their magnitude in an experiment for the pepper removal mechanism

Parameter	Magnitude
Diameter of helix cylinder	18, 23, 28, 33 cm
Inclined angle of helices (Angle between ground and helix)	10, 20, 30 degree
Peripheral velocity of helices	2, 3, 4 m/s
Conveying velocity	0.3 m/s (fixed)

본 실험에서는 양호한 시료를 확보하기 위하여 고추를 직접 재배·관리하였다. 재배 품종은 조향, 향촌, 장원이었으며 1994년 5월 14일 포장에 이식하였다. 또한 탈실장치 개량시험에 많은 시료가 소모되는 관계로 5월 12일 정식하고 2회 고추를 수확한 바 있는 홍일고추를 추가로 사용하였다. 시료는 가뭄피해로 인하여 대체적으로 왜소하였으며 고추열매의 크기도 예년보다 작았으며 품종간 초형의 차이는 없었다.

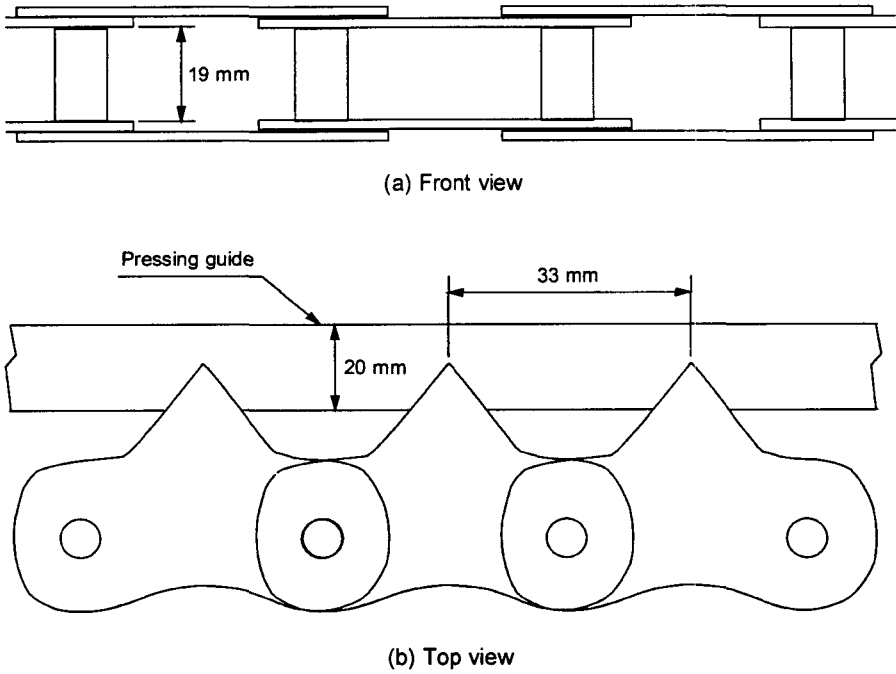


Fig. 2 Structure of the pepper plant feeding conveyer.

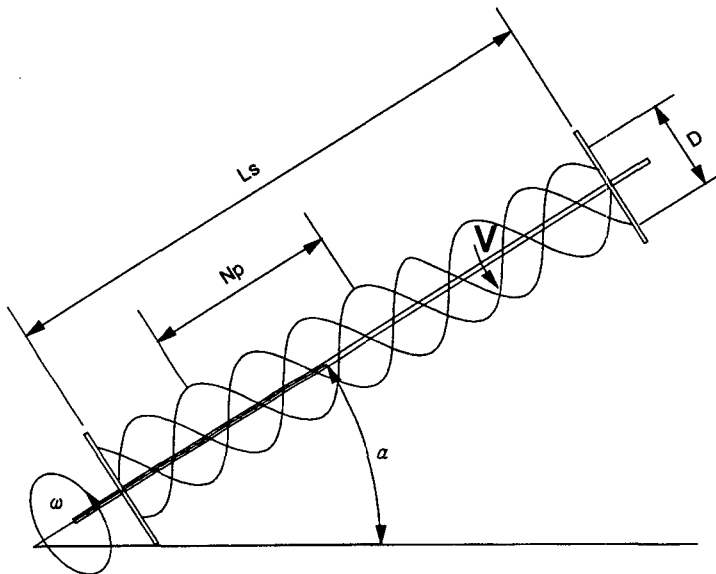


Fig. 3 Main parameters in the pepper removal mechanism.

사용된 고추대의 초장과 초폭은 고추대를 거꾸로 매달았을 때 측정된 것으로 각각의 평균과 표준편차는 초장이 84.3cm와 9.8cm, 초폭은 45.3cm와 5.9cm로 나타났다. 고추대의 직경은 평균 10.9mm, 표준편

Table 2 Pepper fruits distribution in the pepper canopy

Distance from the bottom (cm)	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90
No. of fruits	0	19	28	115	431	330	249	108	14
Percentage	0	1.5	2.2	8.9	33.3	25.5	19.2	8.3	1.1
Accumulated percentage	0	1.5	3.7	12.6	45.9	71.4	90.6	98.9	100

차 1.46mm였으며 실험 전에 측정된 고추대의 무게는 평균 412.2g, 표준편차 122.9g 이었다.

고추탈실과 밀접한 관련이 있는 고추대 내부의 고추열매 분포도를 구하기 위해 고추대 20포기를 선택하여 잘려진 고추대의 밑동으로부터 고추열매들까지의 수직거리를 측정·조사하였다. 표 2에서 알 수 있듯이 고추열매는 밑동으로부터 30~80cm이내에 전체열매의 92%가 존재하였다. 관행으로 수확하는 경우에는 10~30cm 범위에 조사된 양보다는 많은 고추가 열리나 본 연구에서 사용한 시료는 늦게 수확하였기 때문에 초기에 열린 고추는 손상되거나 땅에 떨어졌다. 기존의 품종을 일시수확을 한다면 고추열매의 분포도는 이번 조사한 것과 유사할 것으로 판단된다.

고추열매 분포를 정규분포로 가정하고 계급구간의 중간치를 사용하여 평균 위치와 표준편차를 구하

면 52.6 cm와 22.4 cm 였다. 따라서 이론적으로는 2σ 구간(7.8~97.4cm)에 95%가 존재하여야 하나 실제로는 표에 나타난 바와 같이 고추열매의 100%가 이 범위 안에 존재하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 탈실실험의 결과

脫實性能을 평가하기 위하여 完全고추회수율(perfect pepper recovery ratio)과 部分고추회수율(pepper with branches recovery ratio)을 사용하였다(이종호 외 4인, 1993). 사용한 지표는 그림 4에 설명된 용어를 기준으로 다음의 식과 같이 정의하였다. 간단하게 완전회수율과 부분회수율로 칭하였다.

$$\text{Perfect Pepper Recovery Ratio} = \frac{N8}{N2} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Pepper with Branches Recovery Ratio} = \frac{N9}{N2} \dots\dots\dots (2)$$

Total no. of pepper fruits in a plant (N1)	Total no. of valuable pepper fruits (N2)	No. of removed pepper fruits (N4)	No. of perfectly removed pepper fruits (N8)	
			No. of removed pepper fruits with branches (N9)	With small branches (N10)
				With large branches (N11)
	No. of pepper fruits remained in a plant (N5)			
Total no. of valueless pepper fruits (N3)	No. of removed pepper fruits (N6)			
	No. of pepper fruits remained in a plant (N7)			

Fig. 4 Classification of pepper fruits before/after fruit removal process.

본 실험에서 중요 변수의 수준별 회수율을 그림 5에 나타내었다. 그림에서 y축은 회수율을 5% 구간으로 나누어 해당하는 도수의 개수를 표시한 것이다. 그림 5의 a)는 나선원통의 직경이 회수율에 미치는 영향을 나타낸 것으로서 뚜렷한 경향을 파악할 수 없었다. b)는 나선원통의 설정각의 효과를 나타낸 것이다. 뚜렷한 경향은 아니나 설정각이 크면 완전탈실율이 저하됨을 알 수 있다. c)는 나선원통의 원주속도와 회수율과의 관계를 나타낸 것으로서 뚜렷하게 비례하는 경향을 보이고 있다. d)는 나선원통의 회전속도가 회수율에 미치는 영향을 나타낸 것으로서 뚜렷하지는 않으나 대체로 높은 회전속도일수록 회수율이 높아서 1次 또는 2次函数로 이루어진

관계를 예상할 수 있었다.

총 36개 처리 중에서 5개의 처리가 80% 이상의 회수율을 나타내었으며 최고의 회수율은 나선원통 직경 28 cm, 설치각 20°, 원주속도 4 m/s로 처리한 경우였으며, 나선원통 직경 18 cm인 경우에도 설치각 10°, 원주속도 4 m/s일 때에도 회수율이 82.3%로서 목표한 값을 초과하였다.

탈실부에 대한 기초실험(이중호 외 4인, 1993)에 의하면 고추대의 이송속도를 가급적 느리게 할 때 고추탈실율이 높았으며 고추대의 이송속도를 0.3m/s로 하는 경우 고추의 회수율이 50~70% 정도로 낮았다. 본 실험장치는 기초실험에서 사용한 것과 기본적인 구조는 같으나 고추대 이송속도를 증가시켰

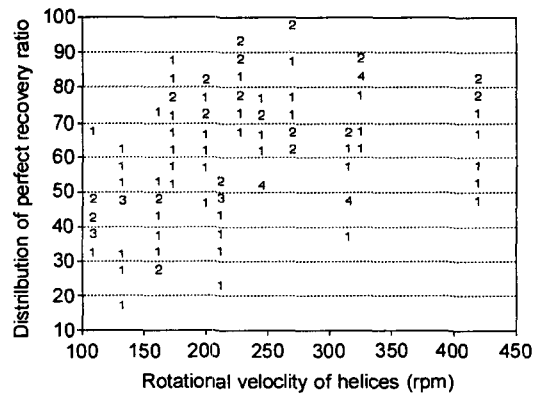
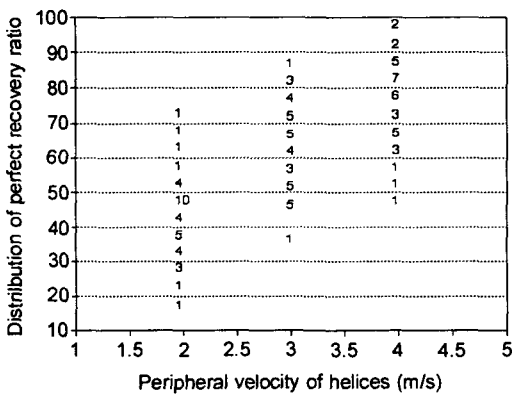
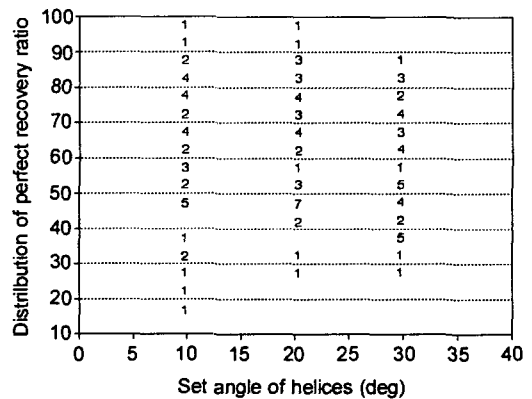
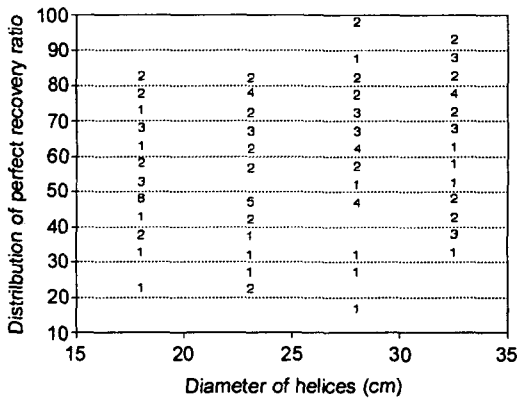


Fig. 5 Effect of diameter of helix-wired cylinder, set angle of helices, peripheral velocity, and rotational velocity of helices on pepper recovery ratio.

음에도 불구하고 고추수확기 개발전략(이종호 외 5인, 1995)에서 목표로 제시한 회수율 80% 이상의 목표를 달성하였고 원통의 크기를 작게 만들 수 있다는 점에서 크게 개선되었다고 평가할 수 있었다. 또한 탈실과정 도중 육안으로 판별할 수 있을 정도의 손상을 입는 고추의 발생은 미미하였다.

탈실부 실험에서 3반복된 처리별 평균치를 표 3에 정리하였다. 표 3-1은 완전회수율을 나타내고 표 3-2는 부분회수율과 완전회수율을 합하여 나타낸 것이

다. 표에서 알 수 있듯이 회수율 80% 이상 되는 처리는 여러 곳에서 발견된다. 표 3-3은 탈실장치에서 제거된 물질(고추열매, 잎사귀, 잔 가지)의 무게와 탈실전 고추대의 무게비율을 나타낸 것으로 나선의 주속도가 커짐에 따라서 70%까지 제거되는데 이는 주속도가 커짐에 따라서 고추대를 훑는 작용력이 커지기 때문에 판단된다. 한편 표 3-3에서 나선원통의 설정각도(α)의 영향을 살펴보면 뚜렷한 차이를 보이지 않고 있다.

Table 3-1 Perfect pepper recovery ratio (%)

Angle 1 (10°)				Angle 2 (20°)				Angle 3 (30°)			
D1	V1	V2	V3	D1	V1	V2	V3	D1	V1	V2	V3
	42.3	58.5	69.1		43.0	51.9	75.3		43.7	52.1	61.4
D2	V1	V2	V3	D2	V1	V2	V3	D2	V1	V2	V3
	45.8	64.2	82.3		44.4	66.3	77.2		33.2	56.1	74.9
D3	V1	V2	V3	D3	V1	V2	V3	D3	V1	V2	V3
	42.8	69.9	82.0		49.7	60.9	84.3		41.0	71.9	69.7
D4	V1	V2	V3	D4	V1	V2	V3	D4	V1	V2	V3
	45.5	71.2	80.8		48.1	73.9	84.7		37.6	65.5	74.3

Note: 1. D1, D2, D3, D4 represents diameter of helices -18, 23, 28, 33cm, respectively..
 2. V1, V2, V3 represents peripheral velocity of helices -2, 3, 4 m/s, respectively..

Table 3-2 Achievable pepper recovery ratio (perfect pepper recovery + pepper with branches recovery, %)

Angle 1 (10°)				Angle 2 (20°)				Angle 3 (30°)			
D1	V1	V2	V3	D1	V1	V2	V3	D1	V1	V2	V3
	42.3	61.9	74.8		47.1	55.6	80.4		45.5	57.6	66.7
D2	V1	V2	V3	D2	V1	V2	V3	D2	V1	V2	V3
	55.1	68.8	90.4		47.8	69.0	90.0		42.1	63.6	78.4
D3	V1	V2	V3	D3	V1	V2	V3	D3	V1	V2	V3
	57.7	72.9	87.7		62.0	75.0	89.7		48.5	79.5	78.4
D4	V1	V2	V3	D4	V1	V2	V3	D4	V1	V2	V3
	54.0	78.4	87.5		57.2	83.4	93.6		41.2	71.2	86.1

나. 탈실실험자료의 통계 해석

분산분석에서 요인을 상호독립적으로 유지하기 위해 나선원통의 직경, 설치각, 원주속도를 주 요인으로 삼아 완전회수율을 分散分析한 결과를 표 4에 나타내었다. 표에서 나타났듯이 완전회수율에 영향

을 미치는 크기별로 요인을 나타내면 나선의 주속도, 나선의 설치각, 나선원통의 직경 순서로 나타났으며 유의성을 검증하면 나선의 주속도 효과만이 1% 수준에서 유의성이 인정되었으며 나머지 요인들은 5%에서도 유의성이 인정되지 않았다.

Table 3-3 Ratio of removed material weight to the plant weight before thresh (%)

Angle 1 (10°)			Angle 2 (20°)			Angle 3 (30°)					
D1	V1	V2	V3	D1	V1	V2	V3	D1	V1	V2	V3
	44.0	55.3	68.1		34.3	45.7	70.5		35.0	38.3	55.4
D2	V1	V2	V3	D2	V1	V2	V3	D2	V1	V2	V3
	37.5	43.0	66.7		40.2	57.4	68.2		28.0	45.6	58.3
D3	V1	V2	V3	D3	V1	V2	V3	D3	V1	V2	V3
	33.2	58.4	69.3		40.2	47.9	72.5		37.1	54.5	59.8
D4	V1	V2	V3	D4	V1	V2	V3	D4	V1	V2	V3
	39.0	57.5	63.0		35.6	65.2	65.7		31.3	55.0	65.8

Table 4 ANOVA of perfect pepper recovery ratio

Source	d.f.	S.S.	M.S.	F value
BLOCK	2	155.84	77.92	0.33
DIA	3	1605.52	535.17	2.25
ERR(A)	6	1429.51	238.25	
ANG	2	914.53	457.26	1.72
DIAxANG	6	243.52	40.59	0.15
ERR(B)	16	4251.45	265.72	
VEL	2	20345.41	10172.70	101.89**
DIAxVEL	6	868.68	144.78	1.45
ANGxVEL	4	238.19	59.55	0.60
DIAxANGxVEL	12	1048.79	87.40	0.88
ERR(C)	48	4792.19	99.84	
Total	107	35893.61		

** means statistically significant at the 1% level.

Note: DIA, ANG and VEL represents diameter, angle, peripheral velocity, respectively.

일반적으로 요인과 결과간의 함수관계를 구하고 싶을 때 선택할 수 있는 통계해석법은 資料變換과 多重回歸分析을 복합적으로 적용하는 방법이다. 이 방법을 사용하면, 분산분석과 달리 실험치와 예측치를 비교하여 決定係數(r^2)를 구함으로써 예측의 정확성을 알 수 있고 매개 상수값에 대한 誤差를 t-분석함으로써 이들의 유의성을 검증할 수 있다.

기초실험에서는 원주속도를 독립변수로 삼았지만 본 연구에서는 나선원통의 원주속도를 독립변수로 채택했기 때문에 다중회귀분석에 앞서서 처리조건을 이용, 각 속도를 구하여 총 4개의 독립변수를 가지고 다양하게 자료 변환하여 여러 형태의 다중회귀분석을 실시하였다. 회귀분석 결과는 표 5에 요약되

었다.

고추 열매는 완전 탈실될 수도 있고 부분탈실될 수도 있다. 부분회수율의 범위(range)를 살펴보면 나선원통의 설치각이 클수록, 나선의 주속도가 클수록 작아지는 현상이 있었으며 나선원통의 직경이나 회전속도에는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다.

부분탈실자료를 다중회귀분석이나 상관분석을 하는 경우 위에 제시한 4가지 변수에 대하여 歸無假說이 수락되므로 最小有意差 檢定 (Duncan's multiple range test)을 통하여 平均間 比較를 실시하였다. 표 6은 F-분석과 던칸의 다중검정에 의한 통계분석 결과를 나타낸 것이다. F-분석 결과 역시 처리효과가 없는 것으로 나타났다. 던칸의 다중검정 결과에서도

Table 5 Regression model for perfect pepper recovery ratio

Regression model*	r^2	Significant variables		
		at p = 0.01	at p = 0.05	at p = 0.1
$R = -28.96 - 0.4839D - 1.9959A_s + 25.9427V - 0.1183w + 32.014 \ln(A)$	0.63243	V	$A_s, \ln(A)$	w
$R = -13.35 - 0.4839D + 1.6046A_s - 0.04605A^2 + 25.9427V - 0.1183w$	0.63243	V	-	A_s, A_s^2, w
$R = -9.11 - 0.4859D - 0.23735A_s + 53.252V - 4.5512V^2 - 0.118624w$	0.63208	V	-	V^2, w
$R = 27.33 - 0.4873D - 0.23735A_s - 0.8124V - 0.1187w + 77.231 \ln(V)$	0.63207	-	-	$A_s, w, \ln(V)$
$R = 19.02 - 0.4839D + 0.24695A_s + 29.172V - 0.1183w - 0.16146A_sV$	0.62174	V	-	w
$R = 28.7 - 0.4839D - 0.2373A_s + 25.9427V - 0.1183w$	0.61825	V	-	A_s, w

* Variables in the model such as D, V, w, A_s , R represent diameter(cm), peripheral velocity(m/s), rotational speed (rpm), set angle(deg) of helices and perfect pepper recovery ratio (%), respectively.

Table 6 Result of F-test and Duncan's multiple range test for peppers with branches recovery ratio

Variables	d.f.	LSR at 5%	Range of treatment mean	Remark
Diameter of helices	3, 104	6.96	6.79	Null hypothesis was accepted.
Set Angle of helices	2, 105	6.04	1.74	Null hypothesis was accepted.
Peripheral velocity of helices	2, 105	6.00	3.24	Null hypothesis was accepted.
Rotational velocity of helices	11, 96	11.52	10.59	Null hypothesis was accepted.

最小有意範圍 (LSR, Least Significant Ranges)가 처리 평균의 최대치와 최소치간의 차이인 범위보다 크게 나타나 처리 평균간 유의성 있는 차이는 단 한 곳도 없었다.

통계분석 결과 실험설계에 사용한 어떠한 요인에도 영향을 받지 않는 것으로 났으므로 위에서 실시한 통계결과로만 판단한다면 성취할 수 있는 최대 회수율은 90%, 부분회수율은 10%로 일정하다고 볼 수 있다.

다. 실험자료의 통계해석의 문제점

분산분석에 의한 결과해석은 요인(독립변수)이 결과(종속변수)에 영향을 주는지에 대하여 통계적 유의성을 알 수는 있지만 어떤 영향을 주는지 파악할 수는 없다. 또한 요인들이 상호 관련되어 있는 경우 두 요인을 곱한 값과 결과가 관련이 있지 않는 한, 요인간의 상호효과가 유의성을 나타내지 못할 가능성이 높다. 분산분석의 가장 큰 단점은 요인과 결과간에 어떤 함수관계가 존재하는지를 알 수 없다는 점이다(Little and Hills, 1978)

이상에서 지적한 분산분석의 문제점은 세세구배치에 의한 분산분석의 기본 가정과 모형설정에 기인한다. 세세구배치에 의한 분산분석의 모형은 식 (3)과 같다. 모형을 보면 모든 처리효과가 개별적인 항목으로 표시되어 있으며, 주구의 오차, 세구의 오차, 세세구의 오차가 상호 독립적이며 정규분포한다는 가정이 내포되어 있다. 그러나 본 실험의 경우, 주구(나선원통의 직경), 세구(나선원통의 설치각) 및 세세구(나선원통의 원주속도)를 살펴보면 주구와 세세구간의 독립성이 인정되기 힘들며, 회수율이 큰 값을 갖는 경우에는 오차가 정규분포한다고 보기 힘들다 (예: 그림 5의 a에서 직경이 33 cm인 경우와 c에서 주속도가 4m/s인 경우 등).

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \delta_{ij} + \beta_k + \epsilon_{ijk} + \gamma_l + \eta_{jl} + \xi_{kl} + \psi_{jkl} + \nu_{ijkl}$$

여기서

μ : 母平均

ρ_i : 반복효과

- α_j : 주구(원통직경)의 처리효과
- δ_{ij} : 주구의 오차
- β_k : 세구(원통 설치각)의 처리효과
- ϵ_{ijk} : 세구의 오차
- ... (3)
- γ_l : 세세구(원통의 원주속도)의 처리효과)
- η_{jl} : 주구와 세세구의 상호작용효과
- ξ_{kl} : 세구와 세세구의 상호작용효과
- ψ_{jkl} : 주구, 세구 및 세세구간의 상호작용효과
- ν_{ijkl} : 세세구의 오차

한편 다중회귀분석에서 제시되는 모형을 통계적 유의성에만 근거해서 살펴보면 표 5에서 알 수 있듯이 나선원통의 직경이 클수록, 설치각이 클수록, 회전속도가 클수록 완전탈실율이 적어지며 원주속도가 클수록 완전탈실율이 커진다. 그러나 원주속도는 직경과 회전속도의 곱으로 구해진다는 사실로 보면 다중회귀식은 이와 상호 모순을 일으키고 있다. 이 사실은 그림 5에 나타난 실험결과와 비교해 보아도 쉽게 알 수 있다. 표 5에 나타난 F값을 보면 변수간의 상호효과는 어느 경우 유의수준이 10%보다 큰 값을 갖는다.

원통의 직경이 큰 경우와 작은 경우 탈실효과에 직접적인 영향은 없는 것으로 통계분석은 되지만 원통직경이 탈실장치 설계시 중요한 변수가 된다는 것은 先驗의 사실이다.

통계분석에서 고도의 유의성을 나타낸 원통의 주속도가 탈실에 가장 큰 영향을 미친다고 보면 원통의 직경(D)과 주속도(V), 회전속도(ω)는 상호 밀접하게 관련되어 있기 때문이다. 이외에도 나선원통의 설치각(α)은 나선이 고추대에 탈실작용을 할 때, 부딪치는 접촉각이 달라지므로 같은 주속도라 할지라도 가하는 충격량이 다르므로 탈실 결과가 달라질 것이다. 또한 고추대를 물리는 위치가 너무 높거나 낮은 경우 나선원통의 설치각에 따라서 고추가 많이 달려있는 부위가 나선원통 사이를 통과하지 못하게 되는 경우가 발생할 수도 있다.

한편 회수율을 통계 처리함에 있어서 고추대에 달려있는 고추의 개수와 탈실율의 관계가 무관한 것인가에 대한 대답이 필요하다. 이론적으로 보자면 탈

실작용을 하나의 처리공정으로 볼 때, 일정 비율의 고추를 회수할 수 있는 확률은 고추대에 달려있는 열매의 개체 수에 따라서 달라지는데 시료에 달린 고추의 개수가 일정하지 않은 경우에 직접 비교한다는 것은 확률 이론에 위배되는 것이므로 회수율을 고추대에 달린 고추의 개수에 따라 처리할 필요가 있다.

이상의 결과를 종합하면 통계분석의 결과는 유의성 있는 변수는 알려줄 수 있지만 통계분석이 제시하는 모형만으로는 실제적인 탈실작용을 설명하기에 많은 무리가 따름을 알 수 있다. 따라서 탈실장치를 적정화하려면 변수의 상호관계와 물리적인 원리에 입각하여 실제로 회수율에 영향을 주는 변수를 찾아낼 필요가 있으며 이런 점을 모두 고려하여 볼 때 새로운 탈실이론이 필요함을 알 수 있다.

4. 결론 및 요약

고추수확기의 이중나선원통으로 구성된 탈실부의 크기를 줄이되 고추회수율이 80% 이상 되도록 하는 것이 본 연구의 목적이었다. 연구 목적을 달성하기 위하여 고추의 탈실원리를 흠음이 아닌 충격에 의한 탈실로 보았으며 이에 따라서 나선원통의 직경과 주속도, 원통의 설치각을 요인으로 하는 요인분석 실험을 수행하였다.

탈실장치는 고추대의 연속공급이 가능한 이송체인을 갖추고 탈실된 고추열매를 받아서 후처리부로 전달할 수 있도록 제작되었고 실험 목적상 나선원통의 직경이나 원주속도, 나선원통의 설치각을 바꿀 수 있도록 제작하였다.

본 연구결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 고추대를 연속적으로 공급할 수 있는 탈실장치 구조를 개발하였다.
2. 고추 회수율을 80% 이상으로 유지하면서 탈실부를 소형화하는 연구목적은 나선원통의 직경을 줄이되 주속도를 빠르게 함으로써 달성하였다. 최고의 완전회수율을 나타내는 처리(나선원통의 직경 28 cm, 나선원통의 설치각 20°, 나선의 원주속도 4 m/s)에서 평균 완전회수율이 84.7%로서 고추수확기 개

발전략(이종호 외 5인, 1995)에서 목표로 하였던 80%를 만족하였다. 한편 나선원통의 직경이 18 cm 인 경우에도, 설치각을 10°, 원주속도를 4 m/s로 한 경우에 82.3%라는 높은 완전회수율을 나타내었다.

3. 부분회수율은 각 요인별 처리에 대해서 통계적 유의성을 나타내지 않았으며 평균적으로 10% 정도였으며, 탈실과정에서 제거되는 고추열매와 잎사귀 및 가지들의 무게는 탈실전 고추대 전체 무게의 40~70% 수준으로 조사되었다.

4. 탈실장치의 중요 제원인 나선원통의 직경, 설치각, 원주속도 또는 회전속도를 요인으로 삼아 통계분석을 하는 경우, 통계해석에 의한 결론은 공학적인 사실과 모순을 일으키며 공학적으로 분명히 상관이 있는 설계변수간의 관계를 통계적으로는 분석할 수 없다는 점을 발견하였다. 따라서 단순한 회수율과 요인간의 통계적 분석보다는 탈실현상에 대한 근본적 이해에서 출발한 새로운 변수의 설정과 그에 근거한 통계적 분석과정이 필요하다고 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 이종호, 박승제, 김철수, 이종용, 김용현. 1993. 고추수확기 개발을 위한 기초연구. 한국농업기계학회지 18(2):110-121.
2. 이종호, 박승제, 김철수, 이종용, 김용현, 최병민. 1994. 고추수확기 개발. "고추수확 노력 절감을 위한 품종 및 기계 개발" 1차 보고서. 과학기술처
3. 이종호, 박승제, 김철수, 이종용, 김명호, 김용현. 1995a. 고추수확기의 개발방향 설정. 한국농업기계학회지 20(1):22-35.
4. 이종호, 박승제, 김철수, 이종용, 김용현, 최병민. 1995b. 고추수확기 개발. "고추수확 노력 절감을 위한 품종 및 기계 개발" 2차 보고서. 과학기술처
5. Dixon, Wilford J. and Massey, Jr. Frank J. 1985. Introduction to Statistical Analysis. 4-th ed. McGraw-Hill Book Company.
6. Little, Thomas M. and F. Jackson Hills. 1978. Agricultural Experimentation. -Design and Analysis-. John Wiley and Sons.

7. Marshall, D. E., T. A. Esch and S. R. Dragt. 1986. Influenced of certain open helix variables on pepper damage. Transactions of the ASAE 29(3):714-717. Paper No. 80-1534.
8. Thomas, C. H. and S. H. Rollason. 1980. A mechanical harvester for Tabasco peppers. ASAE 9. Wolf, I. and Y. Alper. 1984. Mechanization of Paprika harvest, p.265-275, ASAE Pub. No. 5-84, ASAE, St. Joseph, MI 49085.