

고추수확기 개발을 위한 기초연구⁺

A Fundamental Study for Development of a Pepper Harvester

이종호* 박승제* 김철수* 이중용* 김용현*
C.H. Lee S.J. Park C.S. Kim J.Y. Rhee Y.H. Kim

Summary

Pepper has been the second important income source of Korean farmer. Provided the agricultural market in Korea is opened, pepper of which price is more than three times of the world market price can not survive with current cultivation practice. Pepper harvesters have been developed in some countries but, they are not feasible in Korea due to difference of varieties, cultivation practice and climate between Korea and other countries.

This is a fundamental study to develop a pepper harvester suitable to the current situation in Korea. Physical properties of a pepper plant and its fruit were investigated. Also, a pair of open helices was selected as a pepper removing mechanism and tested to determine the best operating conditions. This study revealed that a pepper harvester with more than 90% of pepper recovery is attainable. Best rotating speed of open helices with 30cm diameter and conveying velocity of pepper main stem were determined to be 180 rpm and 0.1 m/s respectively.

1. 緒 論

우리나라에서 고추 재배면적은 채소 재배면적의 약 30%를 차지하며 고추재배 소득은 농가수입에서 쌀 다음으로 큰 比重을 차지하는 작물이다. 그러나 취약한 生産基盤과, 인력에 의존하는 栽培技術로 인하여 고추의 生産費는 國際價格의 3배가 넘으며 生産費 節減을 위한 手段이 강구되지 않고서는 農産物 輸入開放 시대에 있어서 고추재배의 存立마저 위태로운 실정이다.

고추재배의 國際 競爭力을 강화하려면 생산비 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 노동력을 우선

적으로 절감해야 한다. 고추수확작업은 고추재배의 전체 勞動投下量의 26%를 차지하며 노동강도도 크다. 최근에는 노동력 부족과 힘든 일을 회피하는 傾向으로 인하여 고추 재배면적이 줄고 있으며 연도에 따라서는 생산량이 需要에 못 미치는 상황도 야기시키고 있다.

초기에 개발된 고추收穫機械는 여러번 수확이 가능한 反復수확(Gentry et al., 1978; Shaw, 1975)을 시도하였으나 기계에 의한 고추작물 손상으로 수확량이 감소됨으로 인하여 한번에 수확을 끝내는 일시수확기계 개발이 시도되었다. 일시수확 방법은 同熟型 品種을 개발하는 방법과

⁺ 본 연구는 한국농업기계학회의 1992년도 산학협동 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

* 全北大學校 農業機械工學科

고추수확을 최종적인 수확기까지 미루었다가 일시에 수확하는 방식이 있으나 동속형 품종을 개발하여 그에 적합한 기계를 개발한 예는 아직 보고된 바가 없다. 또한 미국이나 동구유럽에서 고추를 재배하는 방식과 기후 및 품종이 우리와 달라서 그들이 개발한 고추수확기계의 국내적용은 힘들 것으로 판단된다. 일본의 경우는 고추가 주요 食品原料가 아니기 때문에 수확기계를 사용하지 않고 있다. 따라서 우리나라에서 選好되는 고추품종을 대상으로 하는 수확기계는 우리가 개발해야 할 실정이다.

고추수확기 개발을 시도하게 된 나라의 共通點은 모두가 농촌노동력의 부족과 힘든 일을 회피하는 성향, 높은 농촌 賃金 등을 들 수 있다. 한국고추연구회에서 주관한 한국 고추산업의 경쟁력 강화 방안을 살펴보면 농산물 시장개방을 앞둔 시점에서 고추재배와 관련산업의 경쟁력 강화가 시급하다는 점을 강조하고, 경쟁력 強化方案으로 생력화에 의한 生産費 節減과 品質高級化와 差別化를 제시하고 있다 (박효근, 1992). 생산비 절감을 위해서는 育苗, 移植, 收穫과 같은 노동집약적인 생산과정을 기계화하고(이중호외 2인, 1992) 재배기술 측면에서 기존의 支柱栽培를 무지주 재배로 전환하되 비닐멀칭은 수확량 維持를 위해 계속해야 한다(김병수, 1992)고 한다.

고추와 같은 열매를 수확하는 原理에는 振動을 이용하는 방식, 공기나 물을 高速度로 분출하여 따는 방식, 腕實기구를 이용하여 훑어내는 방식이 보고되어 있으나 대부분이 결과가 흡족하지 못하였고 훑어내는 방식이 비교적 優秀한 結果를 나타내었다. 훑는 기구는 스프링타인, 릴, 螺旋원통, 돌기가 附着된 판 등이 있다(Marshall, 1983). 훑어내는 방식을 採用할 경우 작물이 圃場에 심어져 있는 상태에서 수확기계가 접근하여 훑어내기 때문에 기계의 走行速度와 훑어내는 장치의 진행방향 速度成分을 일치시키거나 비슷하게 해야하는 制約이 따른다.

일정 크기가 되었을 때 수확하는 피망에 대하여 편심 이중 크랭크기구(Offset Double Crank

Mechanism)를 사용하여 수확을 試圖(Shaw, 1975)한 경우도 있으나 우리나라의 경우 붉은 고추와 푸른고추의 크기차가 뚜렷하지 않으므로 適用이 불가하다. 特殊 체인과 그에 부착된 긴 핑거를 써서 피망을 훑어내는 機構(Fullilove and Futral, 1972; Miles et al., 1978)도 시도된 바 있으나 損傷된 고추열매가 많아서 더 이상 계속 연구되지는 않았다.

고추를 最終收穫할 때, 刈取後 CRR(Counter Rotating Roller)판에 投入하여 탈실하는 시도(Fullilove and Futral, 1972)도 있었으나 탈실장 치로는 부적합하였다. 고추가 붉게 익었을 때 꼭지가 잘 떨어지는 Tabasco 품종의 수확을 위하여, 振動에 의한 고추수확(Thomas and Rollason, 1980)도 시도 되었으나 이 방법도 반복수확에는 부적합하다는 결론이 내려졌다. Thomas and Rollason(1980)은 도리깨질과 같은 타격으로 탈실을 시도하였다. 이 방법은 고추잎이 많이 떨어지는 문제점을 가지고 있었다. 이 방법도 反復收穫을 목적으로 提案된 것이었으나 목적에는 부적합한 것으로 판단된다. Lenker and Nascimento(1982)는 두개의 폭 넓은 고무벨트에 길이 7.6cm의 폴리우레탄 핑거(finger)를 여러줄 附着시키고 두 벨트간의 간격을 약 5cm 정도 띄워 고추의 탈실을 시도하였다. 이 방법은 條間間隔이 33cm로 좁은 경우에 사용할 수 있는 長點이 있으며 일시 수확방법으로 이용되었다.

Marshall(1983)은 기존 고추收穫機의 20%를 제외한 나머지는 나선원통을 사용하고 있으며 나선원통의 作動因子와 設計因子에 차이는 있으나 대부분의 고추품종에 잘 適用된다고 報告하였다. 나선원통의 크기는 고추의 수형과 직접 關聯된 것으로서, 몇 편의 논문(Lenker and Nascimento, 1982; Shaw, 1975)에서 대략적으로言及한 바에 의하면 우리 고추품종보다 가지가 무성하지 않고 수형도 작은 것으로 알려져 있다.

慣行栽培技術과 品種을 살펴보면, 支柱, 높은 두둑, 비닐멀칭이 수확기계 개발을 어렵게 하고 있으며 기계수확을 할 경우 고추줄기에 심각한 被害를 입혀서 현재와 같이 5~7회 정도 고추를

수확할 수 없다. 따라서 機械化 障礙要因을 克服하기 위해서는, 앞에서 언급한 재배기술의 改善과 品種改良의 努力이 기계개발과 동시에 檢討되어야 한다.

탈실작업 중에 發生하는 處理物은 고추열매, 고추가지, 고추잎 외에도 고추가지에 고추가 한 두개 달린 경우와 고추 여러개가 달린 커다란 줄기가 存在하므로 고추收穫機는 단순한 風力選別, 振動選別이 아닌 탈실작업을 일부 겸할 수 있는 방식을 채택하고 있다. 選別對象과 고추열매의 損傷은 탈실방법에 따라서 달라지는 것으로서 핑거로 훑는 경우에는 구멍뚫림(puncture), 壓碎(crushing)와 切斷에 의해 속이 빠져나옴(coring)이 대부분을 이루며(Fullilove and Futral, 1972; Shaw, 1975) 螺旋棒을 이용하는 경우에는 압쇄와 절단에 의한 손상이 발생하며 고추열매가 줄기와 함께 탈실된다(Fullilove and Futral, 1972). 또한 脫實方法에 相關없이 고추를 圃場에 세워둔 채 收穫하는 경우에 고추의 상당량이 지면에 떨어져 再收集하는 과정에서 토양의 일부와 지면의 불순물이 混入된다. Esch과 Marshall(1987)에 의하면 고추선별에는 공기선별 방식(Dillon, 1981; Marshall et al, 1982; Ostrozlik, 1980), 진동선별방식(Lenker and Nascimento, 1982), 같은 방향으로 回轉하는 圓板雙을 여러개 直列로 연결한 방법(Wolf and Alper, 1984), 逆回轉하는 롤러쌍(CRR bed, Counter Rotating Roll bed)을 이용한 방법(Fullilove and Futral, 1972)과 두개의 벨트를 上下로 설치하고 두 벨트의 周速度差를 이용한 선별장치(Dillon, 1981)등이 있다.

본 연구는 고추수확기 개발을 위한 基礎的인 연구로서, 고추의 生理的, 物理的인 特性을 조사하고, 品種適應性과 作業性能이 가장 우수한 脫實原理를 選定·設計·製作하여 고추수확기의 開發可能性을 判斷하는 것을 目標로 하였다.

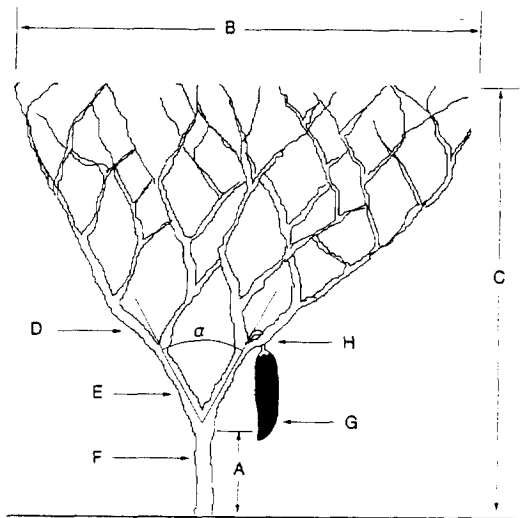
2. 實驗材料 및 方法

가. 고추의 物性測定

1) 供試材料와 測定할 物性的 選擇

본 연구에서는 다복과 금탑품종을 선택하여 供試品種으로 삼았다. 공시재료는 5월 초순에 定植된 것으로서 條間距離 88cm, 柱間距離 14cm였으며 고랑과 이랑의 높이차이가 19cm되는 두둑에 1 줄로 심어졌다. 標本의 選出은 7월에 행하였으며, 고추의 樹長이 평균이상인 것과 평균이하인 것을 각각 30주를 임의 選擇하였다. 본 연구에서는 평균이상의 수형을 갖는 고추를 大型이라 표현하고 평균이하의 수형을 갖는 것을 小型이라고 表記하고자 한다.

본 연구에서 채택한 훑는 방식(Marshall et al., 1986)에 관계되는 물성을 표 1과 같이 選擇하여 調査하였다. 물성을 定義하는데 있어서 사용된 고추 部位別 이름은 그림 1에 나타내었다. 고추의 기동되는 수직된 줄기를 고추대라고 표시하고 첫번째 갈라지는 줄기를 1차 가지, 두번째 가지를 2차가지라고 표시하였다.



- α: Crotch angle (angle between the 1st branches)
- A: Length of the main stem
- B: Width of one plant canopy
- C: Height of one plant canopy
- D: 2nd branch
- E: 1st branch
- F: Main stem
- G: Pepper
- H: Calyx

Figure 1. Terms and their definitions used for describing structure of a pepper plant.

2) 고추의 物性 測定方法

고추열매의 流動學의 特性은 品種別 大小別로 10개의 標本을 취하여 引張壓縮試驗機(Sun Rheo Meter CR-200DL)로 측정하였다. 이 측정기계의 제원은 표 2와 같다. 줄기의 인장 및 압축응력 측정기계는 특별히 개발-제작하였으며 일정한 載荷速度를 維持하면서 그 응력을 데이터 로거에 입력하는 방식을 採擇하였다. 개발한 인장압축시험기의 재하속도는 1~100mm/s

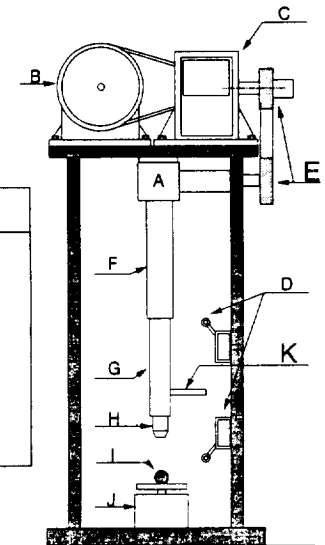
였으며 최대측정하중은 5kg와 50kg로 變更할 수 있도록 하였다. 그림 2는 개발한 인장 압축응력 측정기계의 구조를 나타낸 것이다. 고추열매의 散物密度는 길이 500mm, 너비 500mm, 높이 400mm의 상자에 덮개에서부터 1m 높이에서 自由落下시켜 채워진 무게를 基準으로 하였다. 고추대의 압축강도 測定을 위한 試料는 뿌리를 除去한 고추대의 하단부에서 35mm 떨어진 곳을 길이 50mm되도록 잘라서 사용했다.

Table 1. Physical properties of a pepper plant and their application.

Part	Measurement item
Overall	Plant height and Long diameter of canopy
Fruit	Diameter, Length, Bulk density, Compressive yield stress Removal force, Number and distribution
Leaves	Mass, Area, Length, Thickness
Main stem	Diameter, Length, Compressive yield stress
1st branch	Crotch angle, Tensile strength, Length, Diameter Height of node from ground, Number

Table 2. Specification of Sun Rheo Meter(CR-200DL)

Item	Specification
Maximum load	10 kg
Stroke	300 mm
Crosshead velocity	1~300 mm/min
Force display	Digital LED
Deformation display	Digital LED, every 0.1 mm
Running time	1~99 sec
Power	90V~130V, 60Hz



- A: Bevel gear box
- B: D.C. motor
- C: Speed reduction gear box
- D: Limiting switches
- E: Chain sprockets
- F: Plunger guide
- G: Plunger
- H: Pressing tip
- I: Object
- J: Compression/Tension sensor
- K: Position indicator

Figure 2. Structure of the developed REO-meter.

나. 고추脫實의 作動因子 設定과 適正範圍에 관한 基礎實驗

1) 脫實裝置의 設計와 作動因子의 設定

본 연구에서는 刈取後 脫實部로 運搬하여 탈실하는 방법을 採擇하여 그림 3과 같은 탈실실험장치를 製作하였다. 탈실실험장치의 상부에는 고추대를 붙잡고 進行하는 이송부가 있으며 고추대를 잡는 곳에 최대 50kg의 荷重變換器를 裝着하고 데이터로거에서 引張力을 읽도록 하였다. 두 나선 원통사이의 間隔은 1.5, 3, 4.5, 7.5cm로 4수준을 두었으나 豫備實驗 後에 4.5cm로 固定하였다.

본 연구에서 고려한 設計因子는 나선 원통의 직경(D), 나선원통의 地面에 대한 傾斜度(α), 나선원통의 길이(L_s), 나선원통의 나선피치(N_p), 나선원통의 나선수(N_n), 고추대의 이송속도(V), 나선원통의 회전속도(w)와 그림에 나타

나지 않은 나선원통간의 간격 등이었다. 이 중에서 나선원통의 나선피치와 나선수, 원통의 地面에 대한 경사도, 원통의 직경은 既存에 報告된 자료와 우리나라에서 재배되는 고추의 樹型을 고려하여 최적이라고 판단되는 값으로 고정하여 사용하였으며 본 실험에서는 고추대의 이송속도와 나선원통의 회전수만을 作動因子로 선택하여 실험하였다. 고정된 설계인자의 값은 표 3에 나타내었다.

Table 3. Design parameters and their magnitude of helix pepper remover.

Parameter	Magnitude
Diameter of helix cylinder	32 cm
Approaching angle of helix (Angle between ground and helix)	30°
Pitch of helix	100 cm
Number of helix	3

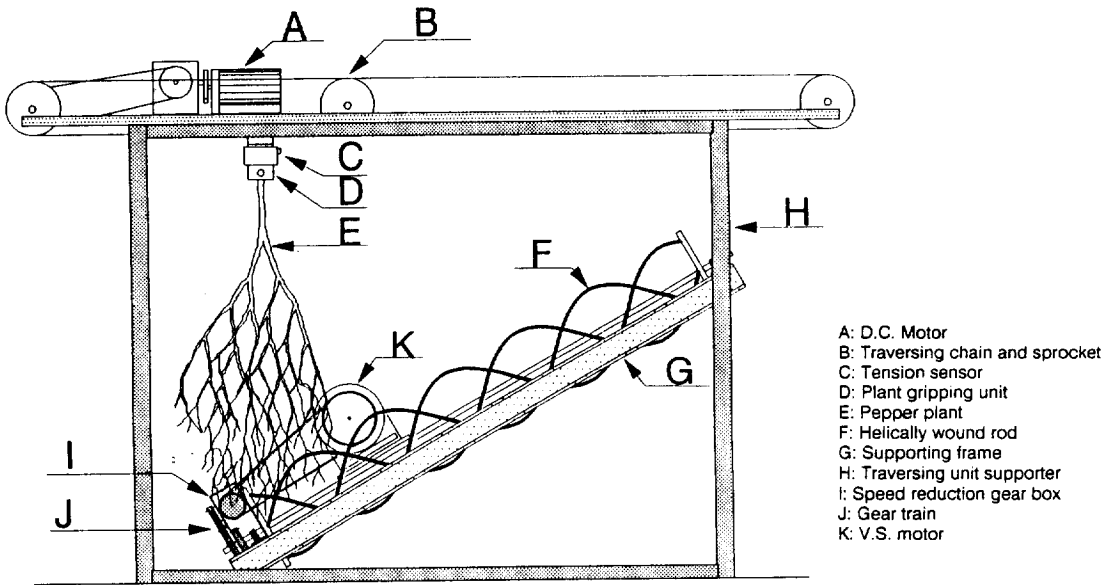


Figure 3. Structure of an experimental pepper fruit remover.

3) 豫備實驗과 本實驗의 節次와 實驗設計

예비실험에서는 나선원통의 回轉數와 고추대의 移送方向 速度間에 수평방향 相對速度가 없도록 고추이송부 속도를 결정하고 그에 관계되는 나선원통의 回轉數를 정하여 실험한 결과 탈실이 만족스럽지 못하여 고추의 破損이 일어나는 範圍까지 회전수와 탈실되는 정도를 조사하였다. 고추 移送割의 速度는 고추수확시 하루에 1정보 이상을 收穫해야 機械 導入에 의한 省力化 效果를 거둘 것으로 판단되어 1줄로 하루 8시간 작업, 條間 거리 1m, 作業效率 약 50%를 假定하여 구한 주행속도 0.2m/s를 前後로 하여 0.1, 0.3 m/s의 3 水準을 결정하였다. 예비실험에서 고추대에 걸리는 引張力을 측정한 결과 46N 이하의 매우 작은 값이어서 본 실험에서는 測定을 省略하였다.

본 실험에서는 고추대의 이송속도를 0.1m/s, 0.2m/s, 0.3m/s로 하였으며 螺旋圓筒의 회전수는 110rpm, 145rpm, 180rpm 및 215rpm으로 하였다. 실험 직후에 수확된 고추와 줄기를 5가지 경우로 나누어 分類 記錄하였으며 손상 여부를 即席에서 조사하였다.

본 실험은 나선원통의 회전속도와 고추대의 이송속도가 고추의 脫實率에 미치는 影響을 분석하고자 分割區配置法을 이용하여 實驗設計를 하였다. 주요인에는 나선원통의 회전속도, 從屬要因에는 고추대의 이송속도를 配置하여 3反復을 遂行하였으며 수형의 대소와 품종은 요인으로 두지않고 각각의 처리에 골고루 분포되도록 任意配置하였다. 또한 多重回歸分析을 이용하여 作動變數의 최적범위 豫測을 시도하였다.

3. 結果 및 考察

가. 고추의 樹型과 줄기의 物性

고추 樹型의 幾何學의 特性值로는 樹長과 樹冠長徑, 고추대의 길이와 직경, 1차 가지의 수와 分枝角, 1차 가지의 길이 등을 말한다. 수장과 수관장경을 살펴보면 금탑소형(KS)에서 수관

장경과 수장이 각각 89.6cm, 82.3cm이며 標準偏差는 16.3cm, 6.1cm로 나타났다. 금탑대형(KL)의 경우 수관장경과 수장이 각각 110.7cm, 98.7cm이며, 표준편차는 16.0cm, 7.4cm로 나타났다. 다복소형(DS)에서는 각각 93.5cm, 77.9cm이며, 다복대형은 각각 96.9cm, 93.5cm로 나타났다. 이상의 자료에서 알 수 있듯이 금탑은 다복보다 수장이 크고 폭이 넓으며 잎도 더 무성하였다. 이 자료는 特定地域에서 特定時期에 측정된 것으로서 일반적으로 알려진 금탑과 다복품종의 수형 크기보다 작은 것으로 나타났으며 그 원인은 봄에서 늦은 여름까지 가뭄이 계속된 탓으로 판단된다.

고추대 길이, 직경 및 1차가지의 개수에 대해 살펴보면, 고추대의 평균길이는 금탑소형과 대형이 각각 26.9cm, 28.9cm, 다복소형과 대형이 각각 28.4cm 29.7cm로 나타났다. 수장과는 달리 다복의 고추대 길이가 금탑에 비하여 다소 길게 나타났다. 고추대의 平均直徑은 금탑소형과 대형이 각각 14.9cm, 19.8cm, 다복소형과 대형이 각각 15.9cm, 17.4cm로 나타났다. 1차가지의 수는 2개 또는 3개인 경우가 있는데 다복소형의 경우를 除外하면 각각이 50% 정도를 차지한다.

分枝角은 수형을 결정짓는 중요한 要素이다. 1차가지가 이루는 평균 분지각이 금탑소형과 대형의 경우 각각 54.7°, 55.3°, 다복소형과 대형의 경우 58.7°, 55.9°로 나타나, 다복의 경우가 다소 높게 나타났다. 2차가지의 분지각은 금탑소형과 대형에서 62.7°, 57.3°, 다복소형과 대형에서 67.0°, 64.4°로 나타나 1차가지에서와 마찬가지로 다복에서 높게 나타났다. 한편 대부분의 경우 2차가지가 이루는 최대각도가 1차가지에 비하여 상대적으로 높게 나타났다. 分枝角은 螺旋圓筒의 間隔과 직접적으로 관계가 있으며, 분지각이 크고 나선원통의 간격이 작으면 줄기가 破損될 憂慮가 있다고 판단된다.

1차가지의 길이는 금탑소형과 대형에서 각각 6.4cm, 8.1cm, 다복소형과 대형에서 7.6cm, 8.1cm로 나타났다. 2차가지의 길이는 금탑소형과 대형에서 각각 6.9cm, 7.3cm, 다복의 경우 각각

8.2cm, 8.4cm로 나타났다. 1차와 2차까지의 길이는 다복의 경우가 금탑에 비하여 다소 길게 나타났다.

그림 4는 고추줄기의 壓縮強度 測定에서 얻은 고추줄기의 힘-變形線圖를 나타낸 것이다. 試片의 대부분이 9~10mm의 변형에서 압축강도의 최대치에 該當되는 997~1217N을 나타내었다. 고추줄기의 힘-變形관계는 약 4mm의 변형이 나타날 때까지 壓縮力과 變形이 거의 直線的인 관계를 이루며 增加하다 그 이후부터는 증가 趨勢가 점차 減少하였다.

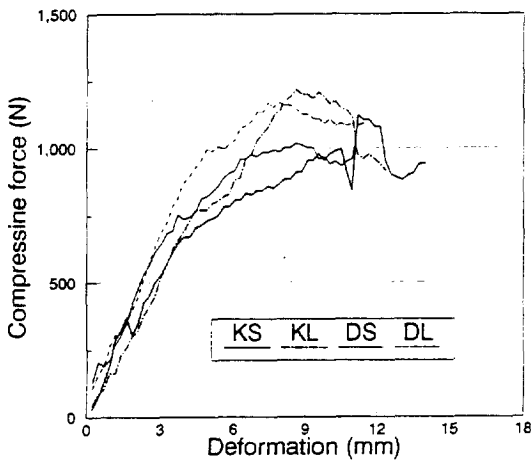


Figure 4. Comparison of force-deformation curves of pepper main stems

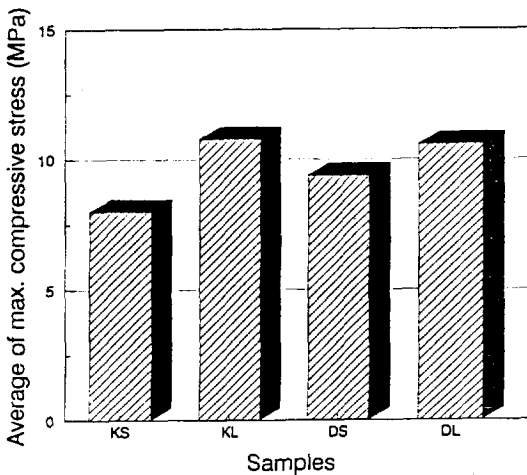


Figure 5. Comparison of maximum compressive stresses of pepper main stems.

고추줄기의 최대압축강도에 대한 평균치의 비교가 그림 5에 실려 있다. 最大壓縮強度의 平均値는 8.0~10.8MPa을 나타낸 가운데 금탑대형, 다복대형, 다복소형, 금탑소형의 순서로 나타났다. 한편, 오븐법으로 測定한 시편의 平均含水率은 금탑의 경우 63.1%wb, 다복의 경우 63.5%wb로 나타났다.

나. 고추 열매의 物性

고추열매의 物性으로는 고추의 크기와 散物密度, 脫實抵抗 力 등을 측정하였다. 고추 열매의 크기를 살펴보면 平均길이는 금탑소형 7.9cm, 금탑대형 8.3cm로 나타났으며, 다복소형과 대형은 모두 7.6cm로 나타났다. 또한, 平均直徑은 금탑소형 17.2mm, 금탑대형 19.8mm, 다복소형 16.4mm, 다복대형 17.0mm로 나타났다. 일반적으로 금탑이 다복에 비해서 고추열매가 굵고 긴 特性을 지니고 있는데 上記結果는 이러한 사실과 일치함을 보여준다.

고추의 산물밀도는 3 반복을 실시하여 평균치를 택하였다. 다복고추의 산물밀도는 평균 293.0 kg/m³ (범위 : 290~295kg/m³)이었으며 측정시 含水率은 82.0%wb였다. 금탑 品種은 충분한 시료를 確保하지 못하여 측정하지 못하였다.

고추의 脫實抵抗은 고추가 부착된 가지를 基準으로 하여 가지와 脫實抵抗力이 이루는 각도를 0°, 90°, 180°로 구분하여 測定하였다. 여기에서 0°는 고추가 가지에 매달려 있는 상태에서 가지의 아래방향으로 나란하게 작용하는 脫實力의 角度를 의미한다. 180°는 가지의 윗방향으로 脫實力이 작용할 때 脫實력과 가지가 이루는 각도에 해당된다. 일반적으로 고추의 脫實저항은 가지와 제거하는 힘이 이루는 각도가 180°일 때 최소값을 갖게 된다. 이것은 고추꼭지를 잡고 上部로 젓힐 때 脫실이 손쉽게 이루어짐을 의미하는 것이다. 고추의 脫實저항을 측정한 결과는 표 4와 같다. 다복소형과 대형의 脫實저항은 가지와 제거하는 힘이 이루는 각도가 180°에서 각각 6.4 N, 8.9N으로 최저치를 나타낸 가운데 90°, 180°

의 順序로 탈실저항이 增加하여 일반적인 고추의 탈실저항과 類似한 傾向을 나타내었다. 한편, 금담품종에서는 예상과 다른 현상이 나왔는데 이와 같은 현상이 품종차이에 따른 固有의 特性인지 또는 시료 선택과정에서 나타난 결과인지의 與否는 추후 究明되어야 할 것으로 판단된다. 고추열매의 壓縮強度를 測定하기 위하여 금담

과 다복에서 각각 10개의 신선한 고추를 採取하여 강도를 측정하였다. 농산물의 압축강도는 습수율에 따라 敏感하게 변한다. 측정시 시료의 함수율을 측정된 결과 금담은 大型과 小型의 함수율이 84.6%와 84%였으며 다복은 각각 83%와 81.6%로서 다복에 비하여 금담의 함수율이 약간 높은 상태였다.

Table 4. Comparison of removing forces of red peppers from branches.

Variety	Angle that the removing force makes with branches					
	0°		90°		180°	
	mean (N)	range (N)	mean (N)	range (N)	mean (N)	range (N)
Keumtap small	12.3	19.1	14.2	11.3	13.2	13.5
Keumtap large	16.6	18.1	13.4	11.4	15.2	18.6
Dabok small	10.7	12.1	10.5	11.6	6.4	12.7
Dabok large	12.6	22.1	11.5	23.5	8.9	15.8

고추의 壓縮強度實驗에서 얻어진 전형적인 힘-변형선도를 그림 6에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 10~11mm의 변형을 나타낼 때 일시적인 降伏強度의 變化가 생긴다. 이때 고추의 表面組織이 破壞되기 시작하여 變形이 14~14.5mm에 이르렀을 때 最大壓縮強度를 나타내었다.

고추의 最大壓縮力 및 變形의 平均値에 대한

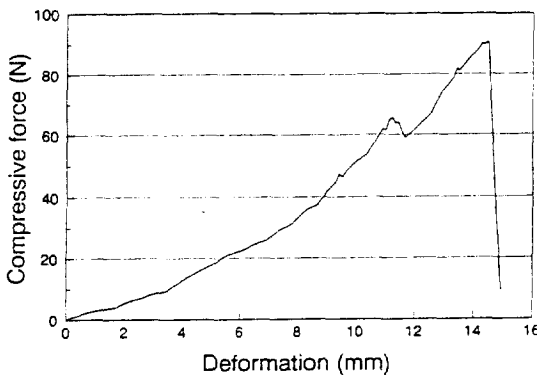


Figure 6. Typical force ~ deformation curve of a red pepper.

測定結果가 표 5에 실려 있다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 최대압축력의 평균치가 73.8~83.1N의 범위에 있으며 이 가운데서 다복소형이 가장 높은 값을 나타내었다. 한편, 금담과 다복의 품종간 및 품종내의 최대압축력 차이를 分散分析에 따라 유의성 검정을 실시한 결과 모두 유의성이 認定되지 아니하였다.

나. 고추脫實의 作動因子 設定과 適正範圍에 관한 基礎實驗

탈실부의 性能을 評價하기 위하여, 완전히 탈실된 고추수와 고추대에 달렸던 고추수의 比率을 回收率로 定義하였다. 회수율 計算에 있어서 고추열매의 길이가 5cm 이하인 고추와 2마디 이상의 가지를 부착하고 있는 고추는 除外하였다. 회수율과 비슷한 개념으로 回收可能率, 未脫實率, 脫實率 및 損失率을 定義하였다. 回收可能率이란 고추의 전체 개수에서 탈실장치에 의해 고추대에서는 分離되었으나 2~4개 마디에 2~4개 열매가 달려 있는 경우로서 後處理過程이 完滿히 作動될 경우에 회수될 수 있는 고추의

Table 5. Maximum compressive forces and deformations of red peppers.

Variety	Compressive force(N)		Deformation(mm)	
	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
Keumtap small	73.8	11.4	16.3	0.8
Keumtap large	79.4	10.1	14.4	1.4
Dabok small	83.1	7.5	13.8	1.1
Dabok large	75.5	20.1	14.8	3.5

百分率로 정의하였으며, 未脫實率은 고추대로부터 탈실되지 않은 고추의 전체 개수에 대한 백분율로 정의하였다. 脫實率이란 고추수확기의 성능을 나타내는 것으로서 탈실장치에서의 회수된 양과 후처리장치에서 회수된 고추량의 比率로 정의하였다. 損失率은 미탈실된 고추열매, 圃場에 떨어지는 고추열매 및 탈실되었으나 파손된 고추열매의 합과 전체 고추 개수에 대한 비율로 정의하였다.

나선원통의 회전속도와 고추대 이송속도를 변화시켜 탈실실험을 한 결과, 회수율은 표 6과 같

다. 표에서 최고의 회수율을 나타낸 경우는 Block I에서 H4S1(215rpm, 0.1m/s)의 경우로 94.1%를 나타내었으나 反復의 평균으로 보면 H3S1(180rpm, 0.1m/s)이 88.6%로 가장 크게 나타났다. 回收可能率과 未脫實率을 보면 전체 평균은 각각 10.77%와 22.92%를 차지하였으나 H3S1의 경우에 모두 5.7%를 나타내었다. 따라서 後處理에서 損失없이 고추열매가 모두 회수된다면 94.3%의 탈실율을 갖는 기계 개발이 가능함을 알 수 있다.

Table 6. Percentage of recovered pepper.

H1	S2 S3 S1 52.5 41.3 81.4	H2	S2 S1 S3 81.1 79.3 56.3	H3	S1 S2 S3 91.5 91.3 75.0
H3	S1 S3 S2 83.7 72.9 82.0	H3	S2 S3 S1 81.6 72.1 90.6	H1	S3 S1 S2 34.7 63.0 50.0
H2	S3 S1 S2 63.9 87.3 65.2	H1	S1 S3 S2 45.2 11.6 47.4	H2	S3 S1 S2 38.0 65.2 55.8
H4	S1 S3 S2 94.1 60.4 72.7	H4	S3 S2 S1 57.9 70.2 76.7	H4	S2 S3 S1 72.3 60.9 61.7
Block I		Block II		Block III	

나선원통의 回轉速度와 고추대의 移送速度가 회수율에 미치는 影響에 대한 分散分析標가 표 7에 실려있다. 표에 의하면 나선원통의 회전속도 H(rpm)와 고추대의 이송속도 S(m/s)는 有意性이 認定되었으나, 螺旋圓筒의 회전속도와 고추

대의 이송속도의 相互作用 H×S 에서는 有意性이 인정되지 않는 것으로 나타났다. 본 실험에서는 줄기를 부착한 열매를 회수율에 포함시키지 않았으나 選別을 겸한 후처리 과정에서 추가적으로 회수된 고추열매가 있을 것으로 豫想되

Table 7. ANOVA for pepper recovery.

Source	d.f.	S.S.	M.S.	F	Remark
Block	2	504	252	1.2	
H	3	5620	1873	8.8	sig. at 5%
Error H	6	1272	212		
Main plot	11	7397			
S	2	3357	1678	29.1	sig. at 1%
H×S	6	329	54	1.0	
Error S	16	923	52		
Split plot	24	4610			
Total	35	12008			

Table 8. Multiple regression output of pepper recovery.

Coeff.		Intercept	H	H*H	S	S*S	H*S
	Value	-93.026	2.1794	-0.00654	-143.84	-289.06	0.91425
	std. err.	4.3925	0.3472	126.40	0.00104	268.98	0.39687

Remark : d.o.f.=12, No of Observation= 12, r²=0.9816

로 보다 높은 회수율을 갖는 고추수확기의 개발이 가능하다고 判斷된다.

한편 要因分析에 의한 統計處理로는 요인의 유의성만을 알 뿐 회수율과 요인의 關係를 알 수 없으므로 多重回歸分析을 이용하여 고추탈실 실험의 회수율 모델 개발을 試圖하였다. 각 처리의 平均値를 회귀분석을 한 결과 回收率 R(%)을 다음과 같은 回歸式으로 표현할 수 있었다.

$$R = -93.03 + 2.179H - 0.00654H^2 - 143.8S - 289.1S^2 + 0.9143HS$$

回歸分析에 의하면 나선원통의 회전속도와 고추대의 이송속도 간의 相關을 나타내는 係數들에 대하여 t-檢定을 한 결과 모두 높은 水準의 有意성을 보였으며 決定係數도 0.9816으로 높았다.

그림 7은 나선원통의 회전속도와 고추대의 이송속도에 대하여 回收率을 豫測하여 회수율이 이루는 곡면을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 고추대 이송속도가 작을수록 회수율은 增加되고 나선원통의 회전수는 180 rpm 부근에서 최고치를 나타내고 있다. 최고의 회수율을 갖는 作動因子의 값을 수학적으로 表示하면 최고의 回收率을 갖는 점에서 각 인자에 대한 기술기는 畧이 되므로 아래식과 같이 쓸 수가 있다.

$$\frac{\partial R}{\partial H} = 2.179 - 0.01308H + 0.9143S = 0$$

$$\frac{\partial R}{\partial S} = -143.8 - 578.1S + 0.9143H = 0$$

이 식에 의하면 最適値 H와 S가 각각 167.78 rpm, 0.0165m/s로 나타났다. 그러나 최적 고추대 이송속도 0.0165 m/s는 作業能率을 考慮할 때 너무 느리다. 實驗範圍의 下限値인 0.1 m/s를 한계 이송속도로 고려하면 最適 螺旋圓筒의 回轉數는 180 rpm으로 판단된다.

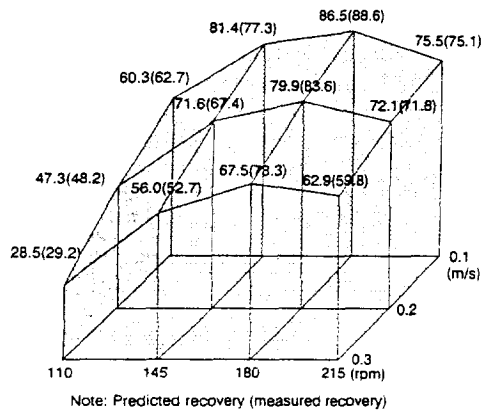


Figure 7. Pepper recovery as a function of conveying speed(m/s) and helices rotational speed(rpm).

4. 要約 및 結論

고추는 農家收入에서 쌀 다음으로 큰 比重을 차지하는 작물이다. 農産物輸入이 전면 開放된 경우를 대비하는 立場에서 볼 때, 國際價格의 3~5배에 달하는 국내 고추가격은 價格競爭力을 喪失했다고 判斷된다. 고추는 品種에 따라 變異가 큰 작물로서 品種·栽培 방법에 따라서 고추 수확기계 자체가 달라진다. 고추수확기계는 일부 국가에서 開發되어 사용되고 있으나 우리나라의 품종·재배 방법에는 不適合한 것으로 判斷된다.

본 研究는 우리나라에서 재배되는 品種과 栽培技術에 適合한 고추收穫機械의 개발을 위한 기초연구로서 고추작물의 物性和 고추열매를 따는 機械의 方法의 選定을 그 目標로 하였다. 고추의 物성을 測定하기 위하여 급담과 다복품종을 택하여 樹型의 特性과 열매의 物성을 조사하였고 같은 품종에 대하여 고추의 脫實實驗에 관한 연구를 한 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 우리나라의 품종에 적합한 고추 脫實裝置의 試作機를 제작 試驗한 결과 고추의 回收率이 80~90%로 나타나서 회수율 90% 이상의 고추수확기계 개발의 可能性을 나타내었다.
2. 고추의 탈실원리는 螺旋圓筒을 이용하여 打撃하는 방식을 採擇하였으며, 脫實裝置에 의한 고추의 회수율은 나선원통의 回轉速度와 고추대 移送速度의 函數로 나타낼 수 있었다. 開發된 回歸式은 아래와 같다.

$$R = -93.03 + 2.179H - 0.00654H^2 - 143.8S - 289.1S^2 + 0.9143HS, r^2 = 0.9816$$
여기서 R, H, S는 각각 회수율(%), 나선원통의 회전수(rpm), 고추대의 이송속도(m/s)를 나타낸다.
3. 실험결과를 분석한 결과 最高 回收率은 고추대 이송속도 0.0165 m/s, 나선원통의 회전속도 168 rpm으로 나타났으나 고추수확기계의 작업속도가 0.1 m/s는 維持해야 한다는 條件에서 볼 때, 나선원통의 適正회전수는 180 rpm 부근으로 나타났다.

4. 脫實裝置에 의한 고추의 破損은 무시할 정도로 작았으며, 탈실시에 고추줄기를 包含한 열매가 10.8%를 차지한 것으로 나타났다.
5. 고추작물을 품종별, 크기의 대소별로 4가지로 分類하여 調査한 결과 公試品種은 고추대에서 分枝하는 곳마다 하나의 열매를 맺는 특성이 있었다. 樹型의 특성은 품종간 차이보다는 재배시에 생긴 대소의 차이가 더 크게 나타났다. 樹冠長徑은 90~110cm 範圍를 나타냈으며 樹長은 82~93cm로 나타났다. 고추열매의 길이는 7.6~8.3cm로 나타났으며 직경은 1.6~2.0cm의 범위를 나타내었다.
6. 고추를 따는데 필요한 抵抗力은 고추열매를 고추가지가 벌어지는 方向으로 당겼을 때 最少를 나타냈으며 그 크기는 6.4~13.4N이었다.

參 考 文 獻

1. 김병수, 김광용. 1992. 고추재배관리의 적정 모델 - 생력 및 저농약제배를 중심으로 -, "한국고추산업의 경쟁력 강화 방안"에 관한 심포지엄 (1992. 5. 9), 한국고추연구회.
2. 농촌진흥청. 1988. 소득작물 기술 중점지도 방향(채소, 과수, 잡업, 유지작물). 농촌진흥청
3. 박효근. 1992. 한국 고추산업의 현황, 문제점 및 개선방안., "한국고추산업의 경쟁력 강화 방안"에 관한 심포지엄 (1992. 5. 9), 한국고추연구회.
4. 이종호, 윤진하, 이중용. 1992. 고추재배-수확의 생력화방안., "한국고추산업의 경쟁력 강화 방안"에 관한 심포지엄 (1992. 5. 9), 한국고추연구회.
5. Dillon, R. C., Jr. 1981. Harvesting, length sizing, and determining Jalapeno peppers. ASAE Paper No. 81-1068.
6. Esch, T. A. and D. E. Marshall. 1987. Trash removal from mechanically harvested peppers. Transactions of the ASAE 30(4) : 893-898.

7. Fulliolove, H. M. III and J. G. Futral 1972. A mechanical harvester for Pimiento peppers. ASAE Paper No. 72-148.
8. Gentry, J. P., J. A. Miles and W. W. Hinz, 1978. Development of a Chili pepper harvester. Transaction of the ASAE 21(1) : 52-54.
9. Lenker, D. H. and D. F. Nascimento, 1982. Mechanical harvesting and cleaning of Chili peppers. Transactions of the ASAE 25(1) : 42-46.
10. Marshall, D. E., M. G. Pickett and T. A. Esch. 1982. Using air to convey mechanically harvested peppers. ASAE Paper No.82-1063.
11. Marshall, D. E., 1983. Mechanized pepper harvesting and trash removal. Proceedings of the International Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Harvesting Mechanization, The Volcani Center, Bet Dagan, Israel.
12. Marshall, D. E., T. A. Esch and S. R. Dragt. 1986. Influence of certain open helix variables on pepper damage. Transactions of the ASAE 29(3) : 714-717.
13. Miles, J. A., W. W. Hinz and W. H. Pike, 1978. Development of a mechanism for picking Chili peppers. Transactions of the ASAE 21(2) : 419-421.
14. Ostrozlik, Milan. 1980. Mechanizovany zber papriky(Mechanized harvesting of peppers). Mechanizace Zemedelstvi 30(10) : 383-386.
15. Shaw, L. N., 1975. The application of an offset double crank mechanism in a selective Bell pepper harvester. Transactions of the ASAE 18(3) : 606-609.
16. Thomas, C. H. and S. H. Rollason, 1980. A mechanical harvester for Tabasco peppers. ASAE Paper No. 80-1534.
17. Wolf, I. and Y. Alper. 1984. Mechanization of Paprika harvest, p.265-275. ASAE Pub. No. 5-84, ASAE, St. Joseph, MI 49085.