

대추 및 대추가지의 물리적 특성

Physical Properties of Jujube(*Zizyphus jujuba* Miller) and Jujube Branches

이상우* 허윤근* 서정덕** 맹성렬* 민경선*
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원
S. W. Lee Y. K. Huh J. D. So S. R. Maeng K. S. Min

1. 서론

대추는 국내에서 생산되는 대표적인 임산작물의 하나로 제수용 및 한약재 등에 주로 사용되었으나 근래에는 대추차, 대추술, 생과 등으로 가공·포장되어 소비되면서 재배면적 및 생산력이 급증하고 있다. 대추는 9~10월 중 20여일 동안 3회로 나누어 수확작업을 하는데 이 기간 동안 열매가 비를 맞게 되면 표면에 균열이 발생하여 상품의 가치가 크게 저하된다. 때문에 경북 경산지구 같은 밀집지역뿐만 아니라 일반 대추농가에서는 수확기간 내에 양질의 풍부한 노동력을 구하기 위해서 다방면으로 노력을 해보지만 농촌의 인력 구조상 손쉬운 일이 아니다. 그래서 일부 열매는 수확이 늦어져서 상품의 가치가 떨어지거나, 수확을 포기하고 버려지는 경우가 종종 있어서 농가에 큰 손실을 초래하고 있다.

본 연구는 대추농가의 수확시기에 인력난을 해소하고, 효율적인 수확작업을 통하여 대추농가의 경제적 이득을 위한 대추수확기 개발을 위한 기초 연구로서 대추의 기계적 특성 부분에 대해 조사·분석하였다. 대추열매의 물리·역학적 특성과 잎줄기 및 잎의 크기와 형상 그리고, 탈리력을 측정·구명하였고, 대추나무 잔가지의 탄성계수 및 강성계수를 측정·분석하였으며, 대추의 열매, 잎, 잎줄기의 종말속도(Terminal velocity)를 측정·분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

본 연구 수행에 사용한 시료는 충북 보은지방에서 재배되고 있는 보은대추로써 수확적기에 있는 시료를 농장에서 무작위로 채취하여 현장에서 직접 또는 시료 채취 후 저온 저장 후 실험을 실시하였다.

* 충남대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과

** 충남대학교 농업생명과학대학 농업과학연구소

나. 측정항목 및 방법

(1) 대추 열매의 물리·역학적 특성

대추 열매의 장경 및 단경, 무게는 디지털 캘리퍼(Model CD-20CP, Mitutoyo Crop)와 디지털 저울(Model EK-1200G, A&D Co)을 이용하여 측정하였고, 부피는 메스 실린더에 시료를 넣은 후 수위가 증가하는 것을 육안으로 관찰하여 대추의 부피를 측정하였다. 대추 열매의 탈과력을 측정하기 위해서 장비를 고정시켜 주는 스탠드, 잎줄기를 잡아주는 클램프, 과병을 고정시켜주는 지그, 인장 및 압축을 측정할 수 있는 force-gauge (Model AFG 50 N, Mechmesin LTD)를 조합하여 그림 1과 같이 탈과력 측정장치를 설계·제작하였고, 클램프와 지그에 각각 과병과 대추가지를 고정시킨 후 force-gauge를 일정 속도로 잡아 당겨 과병이 대추가지로부터 이탈할 때 force-gauge에 계측된 수치를 기록하였다. 탈과 하는데 중요한 요인 중에 하나인 Force-to-weight ratio는 각각의 시료의 탈과력을 대추의 무게로 나누어 표기하였다.

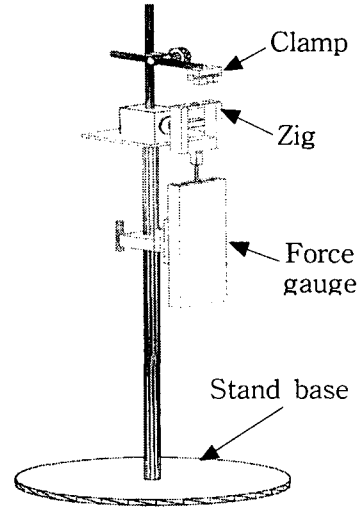


Fig 1. Schematic diagram of the detachment force test experiment apparatus.

(2) 대추가지의 물리적 특성

대추가지의 탄성계수는 잎줄기가 매달려 있는 직경이 5 mm 이내인 가지의 일부분을 선택하여 그림 2와 같이 제작된 굽힘실험장치를 이용하여 굽힘실험을 한 후 식 (1)을 이용하여 탄성계수를 계산하였다.

$$E = \frac{PL^3}{48Y_c I} \quad (1)$$

여기서 E = 탄성계수(N/m²)

P = 시료중앙에 작용하는 하중(N)

L = 시료길이(m)

Y_c = 휨량(m)

I = 시료의 단면 2차 모멘트(m⁴)

d = 시료의 평균직경(m)



Fig 2. Elastic modulus experiment apparatus for jujube branch.

$$G = \frac{TL}{\phi J} \quad (2)$$

여기서 G = 강성계수(N/m²)
 T = 토크(Nm)
 L = 시료의 길이(m)
 ϕ = 비틀림 각(radian)
 $J = \pi d^4/32$: 극 2차 모멘트(m⁴)
 d = 시료의 직경(m)

대추가지의 강성계수는 직경이 10 mm 이내인 두 개의 척이 부착된 물림장치를 제작하여 비틀림 실험을 한 후 식 (2)를 이용하여 강성계수를 계산하였다. 실험장치는 폴리, 베어링 및 축, 두 개의 척을 설치하여 제작하였고, 이를 UTM 본체에 장착하여서 오른쪽의 척은 고정시키고, 왼쪽의 척은 직경이 20 mm인 축에 베어링, 폴리 및 척을 고정시켜 축이 회전하면서 폴리 및 척이 동시에 회전하도록 하였다. 또한, 폴리과 계기의 연결 고리 사이에 케이블을 연결하여 UTM의 크로스 헤드가 위쪽으로 수직 이동하면서 시료에 비틀림을 가하도록 하였으며 이때의 인장력을 측정하여 토크를 계산하였다. 다만, 척과 척 사이의 간격은 자유로이 조절할 수 있도록 하여 시료의 길이에 맞게 적절하게 위치를 고정시킨 후 실험을 실시하였다. 비틀림 각은 두 개의 척에 시료를 고정시킬 때 폴리과 계기 사이에 연결되어 있는 케이블이 하중을 받지 않은 상태에서 팽팽하게 직선이 되도록 유지하면서 고정시킨 다음 계기가 위로 이동한 변위 즉 수직 이동거리를 변위측정기로 측정한 후 폴리과 직경(48 mm)을 이용하여 비틀림 각을 환산하였다.

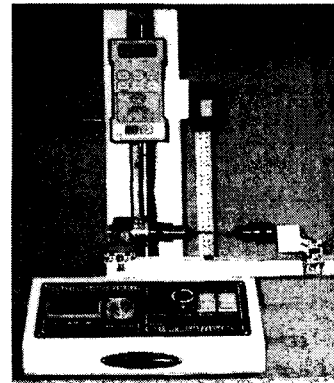


Fig 3. Torsional rigidity experiment apparatus for jujube branch.

(3) 대추나무 잎줄기의 물리적 특성

잎줄기의 물리적 특성은 잎줄기에 매달린 잎의 수는 육안으로, 잎줄기 길이와 잎줄기에 매달린 잎들의 평균 장경 및 단경은 디지털 캘리퍼(Model CD-20CP, Mitutoyo Crop)로, 잎줄기 무게는 디지털 저울(Model EK-1200G, A&D Co) 등으로 측정 분석하였다.

(4) 대추 잎의 물리적 특성

대추 잎의 물리적 특성으로 잎의 무게와 면적, 탈리력 등을 조사·분석하였다. 대추 잎의 탈리력은 본 연구에서 설계 제작한 물성실험장치(그림 1)을 이용하여 현장에서 직접 측정하였으며, 대추 잎의 면적은 잎면적측정기(Model LI-3100, LI-cor)를 이용하여 측정하였다.

(3) 대추의 열매, 잎, 잎줄기의 종말속도

탈과장치에 의해 탈과 된 대추의 선별 즉, 수확 할 때 함께 섞여 있을 것으로 예상되는 이물질인 대추의 잎과 잎줄기를 선별하고자 종말속도(terminal velocity)를 측정 분석하였으며, 종말속도를 측정하기 위해서 종말속도 실험장치를 그림 4와 같이 설계·제작하였다. 이 장치는 투명실린더, 에어 닥트, 송풍기, 변속모터, 제어부, 풍속 측정기로 구성되어 있으며, 투명실린더 맨 위에는 스크린으로 뚜껑을

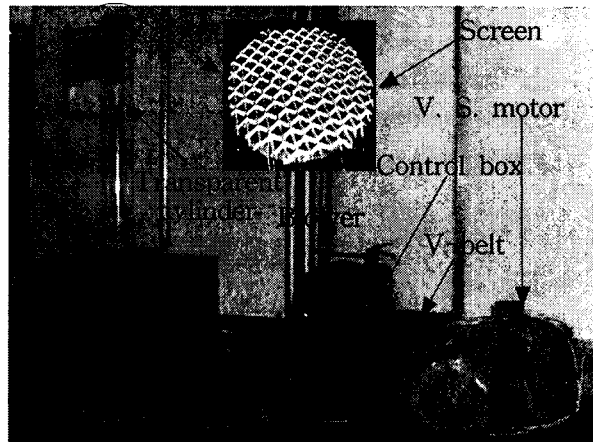


Fig 4. Terminal velocity of jujube fruits, leaf stems, and leaves experiment apparatus.

부착해 공기에 의해 대추열매가 실린더 밖으로 이탈되는 것을 방지하였다. 한편, 실린더 아래 부분에는 직경 8mm의 플라스틱 스트로오(straw)로 실린더 내부를 채워 넣어 공기의 흐름을 일정하게 하고자 하였다.

각 시료들을 실린더 내에 투입한 후 송풍기를 작동하여 내경이 100 mm인 실린더의 상부에서 공기 중에 부유, 유동하도록 한 다음 점차적으로 송풍기의 속도를 감소시켜가면서 이들이 낙하하는 순간의 공기속도를 측정하였다. 공기속도의 측정은 실린더의 중간부분에 있는 직경 100 mm의 구멍을 통하여 실린더 내부에 설치된 풍속측정기(Model 37000-00, Cole-Parmer Instrument Company)로 측정하였으며, 동일 시료를 3~5회 반복하여 실험을 실시하여 그 평균값을 기록하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 대추 열매의 물리·역학적 특성

총 30개의 시료를 채취하여 실험한 결과 녹숙대추의 장경 범위는 24.50~38.40 mm, 평균은 32.02 mm로 나타났고, 단경 범위는 19.31~27.77 mm, 평균은 23.9 mm로 나타났다. 한편, 대추의 무게는 그 범위가 5.2~12.8 g 이었고, 평균은 9.1 g로 나타났다. 녹숙대추의 부피는 그 범위가 $8.0 \times 10^{-6} \sim 12.1 \times 10^{-6} m^3$ 로 나타났고, 그 평균은 $10.0 \times 10^{-6} m^3$ 로 나타났다. 대추열매의 평균 탈과력은 5.7 N으로 나타났으며, 무게에 대한 대추의 탈과력은 대추 무게가 증가하면서 탈과력 역시 증가하는 경향을 나타냈다(그림 5). 한편, 무게에 대한 F/W는 무게가 증가하면서 감소하는 경향을 나타냈다(그림 6).

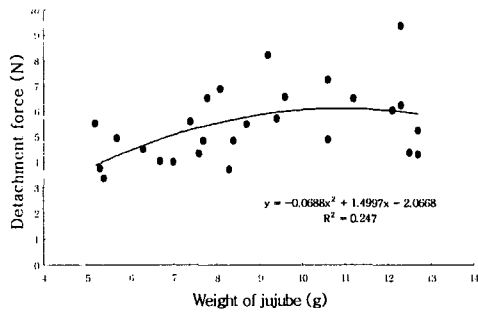


Fig 5. Relationship between detachment force and weight of jujube fruits.

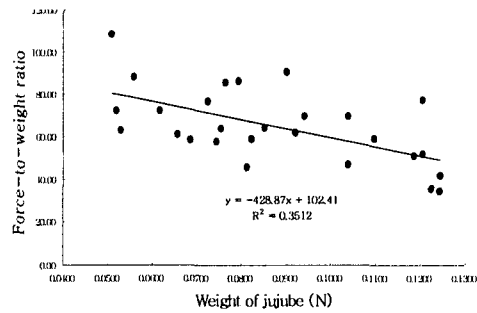


Fig 6. Relationship between force-to-weight ratio and weight of jujube fruits.

나. 대추가지의 물리적 특성

대추나무가지의 탄성계수는 가지의 굵기가 증가하면서 일반적으로 감소하는 경향을 나타냈으며(그림 7), 이는 다른 작물들의 경향과 비슷하게 나타났다. 총 8개의 시료를 채취하여 실험한 결과 대추가지의 평균 탄성계수는 $7.01 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ 였고, 구기자 가지의 평균 탄성계수보다 약간 작게 나타났다. 이들 가지의 평균직경은 4.3 mm 였다.

대추가지의 비틀림 강성은 그림 8과 같이 가지의 굵기가 증가하면서 일반적으로 강성계수가 음의 지수 함수적으로 감소하는 경향을 나타냈으나, 데이터가 산재해 있어 가지의 굵기에 따른 강성계수변화 특성은 일정한 경향으로는 나타나지 않았다. 한편, 본 실험에 사용한 시료들의 평균 비틀림 강성은 $5.2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ 로 나타났다. 시료의 평균 굵기는 5.6 mm , 평균길이는 65 mm 였으며 실험에 사용된 시료의 수는 총 49개였다.

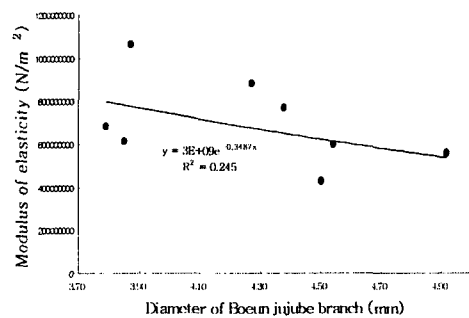


Fig 7. Relationship between branch diameter and modulus of elasticity of jujube branch.

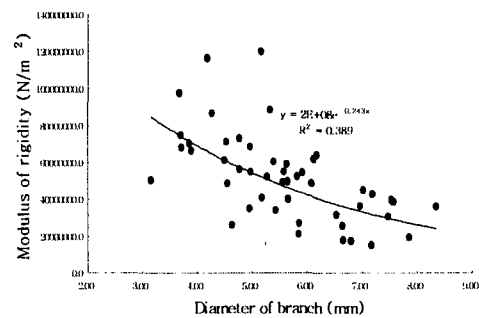


Fig 8. Relationship between diameter and modulus of rigidity of jujube branch.

다. 대추나무 잎줄기의 물리적 특성

총 21개의 시료를 채취하여 실험한 결과 잎줄기 무게의 범위는 0.1~1.7 g, 평균은 0.7 g으로 나타났고, 잎수의 범위는 4~10개, 평균은 6.6 개로 나타났으며, 잎줄기 길이의 범위는 3.0~18.0 cm, 평균은 12.2 cm로 나타났다.

라. 대추 잎의 물리적 특성

대추 잎의 잎면적 범위는 4.0~20.4 cm², 평균 12.9 cm²로 나타났고, 무게의 범위는 0.08~0.32 g, 평균 0.20 g으로 나타났으며, 대추 잎의 탈리력 범위는 1.89~7.36 N, 평균 4.4 N으로 나타났다. 실험에 사용된 시료의 수는 30개이다.

마. 대추의 열매, 잎, 잎줄기의 종말속도

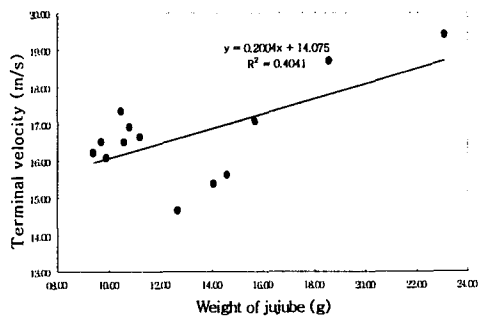


Fig 9. Relationship between terminal velocity of jujube fruits and weight of jujube fruits.

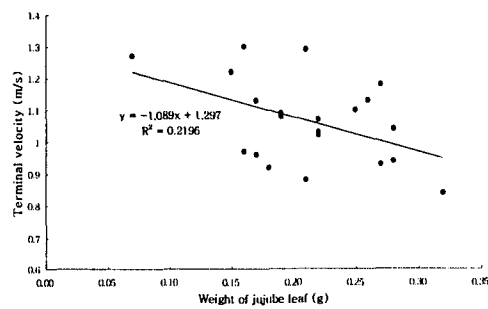


Fig 10. Relationship between terminal velocity of leaf and jujube leaf weight.

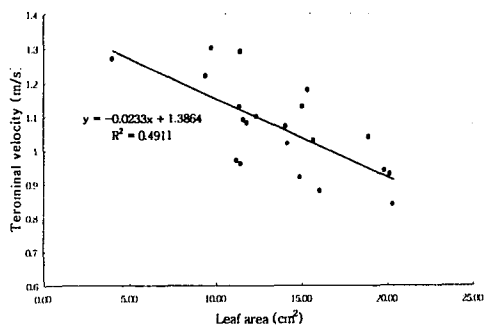


Fig 11. Relationship between terminal velocity of jujube leaf and leaf area.

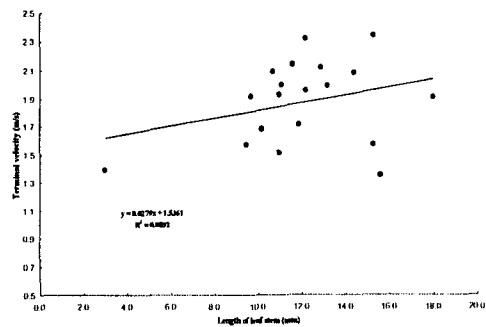


Fig 12. Relationship between terminal velocity of leaf stems and leaf stem length.

대추의 종말속도는 대추의 무게가 증가하면서 일반적으로 증가하는 경향을 나타냈고(그림 9), 대추잎의 종말속도는 대추잎의 무게 혹은 대추잎의 면적이 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다(그림 10 및 11). 한편, 잎줄기의 종말속도는 잎줄기 무게 혹은 잎줄기에 매달린 잎의 수와는 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났고, 잎줄기의 길이가 증가할수록 약간씩 증가하는 경향을 나타냈다(그림 12). 실험에 사용된 대추 열매, 대추잎, 대추잎줄기의 수는 각각 21개, 13개, 19개이다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 대추 수확기개발을 위한 기초연구로써 대추의 열매, 잎, 잎줄기의 물리적 역학적 특성을 조사·분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 대추 열매의 평균 장경, 단경, 부피, 무게, 탈과력은 각각 32.02 mm , 23.9 mm , $10.0 \times 10^{-6}\text{ m}^3$, $5.2 \sim 12.8\text{ g}$, 5.7 N 으로 나타났다.
- 대추무게가 증가하면 탈과력은 증가하고, F/W는 감소하는 경향을 나타냈다.
- 대추나무가지의 평균 탄성계수는 $7.01 \times 10^8\text{ N/m}^2$ 였고, 가지의 굵기가 증가하면서 감소하였다.
- 대추나무가지의 평균 비틀림 강성은 $5.2 \times 10^7\text{ N/m}^2$ 으로 나타났으며, 가지의 굵기가 증가하면서 음의 지수 함수적으로 감소하는 경향을 나타냈으나, 데이터가 일정한 범위에 산재해 있어 가지의 굵기에 따른 강성계수변화 특성은 일정한 경향으로는 나타나지 않았다.
- 대추 잎줄기의 평균 무게, 잎수, 길이가 각각 0.7 g , 6.6 개 , 12.2 cm 로 나타났다.
- 대추 잎의 평균 잎면적, 무게, 탈리력은 각각 13 cm^2 , 0.2 g , 4.4 N 으로 나타났다.
- 종말속도는 대추 열매의 무게가 증가하면서 증가하고, 대추잎의 무게, 면적이 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈으며, 잎줄기의 종말속도는 잎줄기 무게 혹은 잎줄기에 매달린 잎의 수와는 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며, 잎줄기의 길이가 증가할수록 약간씩 증가하는 경향을 나타냈다.

5. 참고문헌

1. 경남 농업기술원. 1999. 대추.
2. 서정덕, 허윤근, 이상우. 1999. 구기자의 가지 및 열매의 특성에 관한 연구. 한국농업기계학회지 24(4):365-372.
3. 서정덕, 허윤근, 이상우. 2000. 진동특성에 의한 구기자 열매의 탈과율. 한국농업기계학회지 25(2): 151-158.