

시물레이터를 이용한 배추수확 요인시험

박성진¹, 이상윤¹, 박우준¹, 양규원², 모하모드 알리³, 김혁주^{1*}

¹순천대학교 산업기계공학과, ²경북대학교 생물산업기계공학과 ³충남대학교 농업기계공학과

Preliminary Tests for Chinese Cabbage Harvesting with Harvesting Simulator

Sung-Jin Park¹, Sang-Yoon Lee¹, Woo-Jun Park¹,
Kyu-Won Yang², Mohammad Ali³, Hyuck-Joo Kim^{1*}

¹Department of Industrial Mechanical Engineering, Sunchon National University

²Major in Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University

³Department of Agricultural Machinery Engineering, Chungnam National University

요약 본 연구에서는 배추 수확 요인시험을 위한 시물레이션 장치 및 모형 배추를 설계 및 제작하였고, 시험을 통해 3D 프린트로 제작한 모형 배추와 실제 배추의 결과를 비교 및 분석하였다. 이론분석을 통해 작업속도 0.15 % ~ 0.2 %, 이송 벨트 각도 25° ~ 35° 일 때, 이론적 이송 벨트의 적정 이송 속도는 작업속도보다 1.11 ~ 1.22배 빨라야하는 것으로 계산되었으나, 인발 및 뿌리 절단 시험에서 적정 이송 속도는 1.8배로 나타났다. 이때, 모형은 뿌리의 절단 저항으로 인해 평균 11 ~ 13° 기울어진 각도 및 기준보다 11 ~ 16 mm 높은 위치에서 절단되는 결과가 나타났다. 실제 배추의 경우, 평균 절단각도가 1°로 적절한 절단각도를 보여주었지만, 적정 절단 평균 16 mm보다 높은 평균 19 mm, 표준편차 11 mm, 위치에서 절단되었다. 이송 시험 결과, 이송 벨트가 모형 배추의 적정 파지 범위를 파지하면 대형에서 소형까지 60 ~ 80 % 정도의 이송률을 보여주었다. 실제 배추는 유사한 크기의 모형 배추 시험과 같은 조건에서 30개의 배추 중 25포기가 목표지점까지 이송되었다.

Abstract This study designed and manufactured a simulator and a model Chinese cabbage for the cabbage harvest factor test. Subsequently, the results of harvesting for the 3D printed model Chinese cabbage and the actual Chinese cabbage were compared and analyzed. Moreover, with a working speed of 0.15 m/s to 0.2 m/s and a conveying belt angle of 25 to 35 degrees, it was theoretically calculated that the proper conveying speed of the conveying belt should be 1.11 ~ 1.22 times the working speed. Similarly, the proper feed rate was found to be 1.8 times the working feed rate. In addition, the model was cut at an average angle of 11 ~ 13° and 11 ~ 16 mm higher than the standard due to the cutting resistance of the root. The average cutting angle was 1° for the actual Chinese cabbage, which is usually deemed an appropriate cutting angle. However, the inner leaf was damaged in 5 out of 8 Chinese cabbages used for the test as the cabbages were cut at a position higher than the appropriate cutting height. The result of the conveying test showed that when the conveying belt grips within the proper gripping range of the model cabbage, the result was a conveying rate of about 60 to 80% for large to small cabbages. Since the Chunkwang cabbage is similar in size to the small model, the conveying test for the Chunkwang cabbage was carried out under the same conditions as the test conditions of the small model. In the case of actual Chinese cabbage, 25 out of 30 Chinese cabbages were conveyed to the target point under the same conditions as the model cabbage test of similar size.

Keywords : Chinese Cabbage, Chunkwang Cabbage, Conveying Belt, Simulator, Spindle

본 논문은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농식품기술융합창의인재양성사업의 지원을 받아 연구되었음(716001-7)

*Corresponding Author : Hyuck-Joo Kim(Sunchon National Univ.)

email: agrihj@scnu.ac.kr

Received October 20, 2021

Revised December 1, 2021

Accepted December 6, 2021

Published December 31, 2021

1. 서론

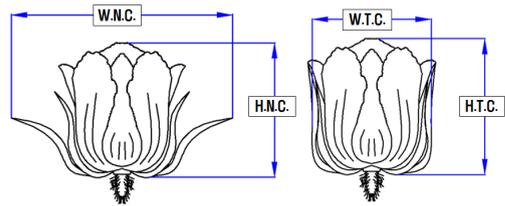
배추는 우리나라 주요 부식인 김치의 주재료로 이용되고 있는 채소로서 연중생산 체계가 확립되어, 봄배추, 여름배추, 가을배추 등을 지역별로 재배하고 연중 파종과 수확이 가능한 작물이다. 통계청 자료에 따르면 국내 배추의 재배면적과 생산량은 전체 엽채류 중 61.2%와 80.2%로 가장 큰 비중을 차지한다[7]. 배추의 수확과정은 많은 인력이 필요하지만, 농촌의 고령화로 인해 인력이 부족하고, 부족한 인력을 메꾸기 위해 타지의 노동자를 고용하면 높은 인건비가 농가들의 부담이 되고 있다. 국내에서는 관련 문제를 개선하기 위해 배추재배 일관기계화시스템 개발연구를 통해 트랙터 부착형 배추수확기를 개발하였으나, 상용화되지 못하였고, 해외의 경우 일본과 중국에서 배추수확기 개발 연구가 수행되었으나, 배추절단 및 수확이 동시에 가능한 제품이 국내에서 활용되는 사례는 발견하지 못하였다[1-3].

본 연구에서는 배추수확기 개발에 필요한 설계요인을 분석하기 위하여 보조 인발 장치, 뿌리 절단 장치, 배추 이송 장치, 제어패널로 구성된 배추 수확 시뮬레이터 및 3D 프린팅 모형 배추를 설계 제작하고, 다양한 조건의 요인시험을 실시하였다. 시험은 동일한 조건하에서 모형 배추와 실제 배추를 대상으로 실시하였고, 각 장치의 성능을 검증하고 배추의 상품성을 손상시키지 않는 최적의 수확 조건을 분석하였다. 특히, 3D 모형 배추를 이용한 요인시험결과를 실제 배추의 시험결과와 비교하여, 특정 수확시기에 한정된 품종만을 구할 수 있는 수확시험용 배추시료의 대체재로서 활용가능성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 배추의 물성

앞서 진행된 국내 연구에서 조사한 배추의 품종과 물성을 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다[4]. 노지의 배추는 월동을 위해 잎을 모아 묶는 시기를 제외하면 외엽이 넓게 퍼져 측정되는 폭이 넓다. 이러한 외엽은 손질 과정에서 제거되는 부분으로 기계화에 영향을 미치는 물성은 손질이 끝난 배추의 185~235 mm, 배추를 수직으로 뽑아 올리는 인발력 92~214 N, 배추 뿌리의 평균 폭 33 mm로 분석되었다. 배추는 지속적인 품종개량이 이루어지고 있으며, 본 연구에서는 최근 재배되는 품종에 대한 물성 조사를 추가로 수행하였다.



W.N.C. : Width of Natural Condition W.T.C. : Width of Tied Condition
H.N.C. : Height of Natural Condition H.T.C. : Height of Tied Condition

Fig. 1. Chinese Cabbage

Table 1. Investigation of Physical properties of Chinese Cabbage

| Cultivar | N.C. | | | T.C. | | |
|-----------|-------|-------|-----|-------|-------|-----|
| | W(mm) | H(mm) | kg | W(mm) | H(mm) | kg |
| Goreanji | 464 | 357 | 2.5 | 190 | 302 | 1.8 |
| Jangmi | 608 | 352 | 2.3 | 206 | 336 | 1.7 |
| Albaeki | 759 | 346 | 3.8 | 235 | 303 | 2.9 |
| Satnorang | 737 | 379 | 3.9 | 219 | 359 | 2.6 |
| Dongpung | 273 | 395 | 3.7 | 220 | 356 | 3.1 |
| Maeryuk | 556 | 325 | 3.8 | 185 | 259 | 2.8 |

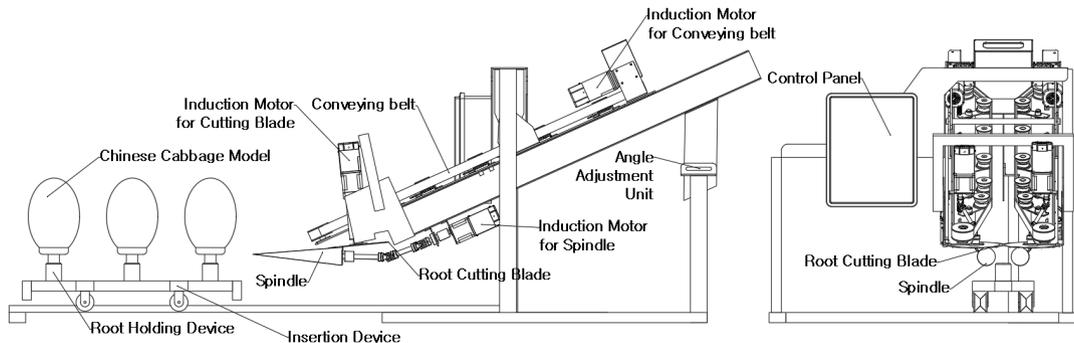


Fig. 2. Simulator side view and front view

2.2 시뮬레이터 구성

배추 수확 공정의 기계화를 위한 요인시험을 진행하기 위해 Fig. 2와 같이 시뮬레이터를 구성하였다. 파지 장치에 고정된 배추를 요인시험 장치로 투입하도록 투입 장치를 구성하였고, 투입되는 배추를 스프링이 인발하는 동시에 이송 벨트가 측면을 파지하면 칼날이 뿌리를 자르도록 하였다. 뿌리가 잘린 배추는 이송 벨트가 후방으로 이송하도록 하였다. 각부에 동력을 전달하는 모터는 제어 패널 내부에 있는 모터 드라이브를 이용하여 개별적으로 속도를 조절할 수 있도록 하였다.

2.3 배추수확기 개발을 위한 공정별 이론분석

2.3.1 작업 및 이송 속도 분석

두둑에 있는 배추를 적절히 이송하기 위해 기계의 주행속도와 배추 이송 속도 및 각도의 관계를 이론적으로 분석하여 적정 이송 속도와 모터의 요구성능을 구하였다 [5]. Fig. 3은 경사를 가진 이송 벨트가 일정한 속도로 주행하여 배추를 수확하는 작업 과정을 나타내었고, V_d 는 주행속도, V 는 배추 이송 속도, α 는 이송 각도, V_x 와 V_y 는 V 의 분력을 의미한다. 이때, 배추를 안정적인 자세로 이송하기 위해서는 기계의 주행속도와 배추 이송 속도의 x축 분력이 같거나 유사해야 한다.

배추 이송 속도(V)와 x축 방향 속도 (V_x)의 관계식은 다음과 같다.

$$V_x = V \cos(\alpha) \Rightarrow V = \frac{V_x}{\cos(\alpha)} \quad (1)$$

α : The Angle between The Ground and The Belt

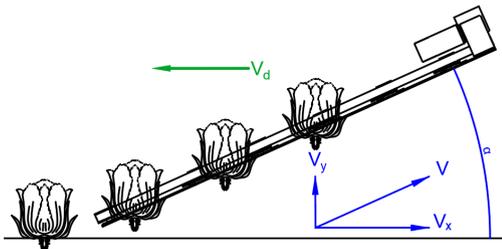


Fig. 3. Conveying process of Chinese Cabbage by Conveying belt

식(2)에서 벨트 이송 각도(α)를 설계상 각도 조절범위에 해당하는 25°, 30°, 35°로 하고, 기계의 주행속도(V_d)는 관련 연구의 시험 조건[5]을 참고하여 선정한 0.15%, 0.2%로 하였을 때, 적정 이송 벨트 속도(V)는

Table 2와 같이 나타났다.

Table 2. Calculation result of Conveying Speed

| Conveying Speed (V) | | Conveying Belt Angle (α) | | |
|-------------------------|--------|-----------------------------------|---------|---------|
| | | 25° | 30° | 35° |
| Driving Speed (V_d) | 0.15 % | 0.166 % | 0.173 % | 0.183 % |
| | 0.2 % | 0.221 % | 0.231 % | 0.244 % |

2.3.2 이송 벨트 텐서너의 작용력 분석

이송 벨트의 형상을 유지하면서 배추가 낙하지 않도록 파지할 수 있는 텐서너의 스프링 제원을 선정하기 위해 텐서너의 작용력을 분석하였다[6]. Fig. 4는 배추의 이송과정에서 회전하는 텐서너에 작용하는 힘을 나타냈다. 텐서너가 벨트를 밀어내는 힘(F_{2y})은 텐서너를 움직이는 힘(F_1)의 영향을 받고, 이 힘은 스프링의 탄성력(F_k)의 분력이다.

이때, 텐서너가 벨트를 밀어내는 방향으로 가하는 힘 (F_{2y})은 다음과 같은 식이 주어진다.

$$F_{2y} = F_2 \times \sin\theta_2 \quad (2)$$

$$= \frac{L_1 \times k \times (x_0 + \delta) \times \cos\theta_1}{L_2} \times \sin\theta_2$$

$\sin\theta_2$: The angle between the axis of rotation and F with respect to the center of the pulley

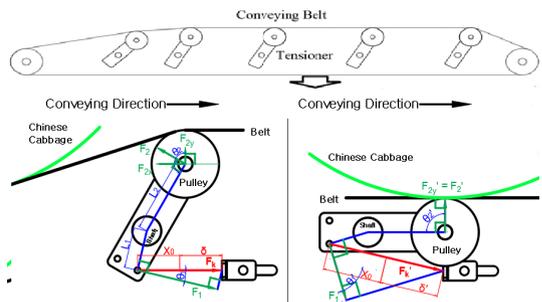


Fig. 4. Analysis of changes in the tensioner's working force by Chinese Cabbage

배추와 이송 벨트의 접촉면에 발생하는 마찰력을 F_f 라 가정하면, 마찰력은 양쪽 벨트가 배추를 압축하는 힘(F_{2y})에 마찰계수(μ)를 곱한 값이다. 따라서, 배추가 낙하지 않는 조건은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_f = 2 \times \mu \times F_{2y} \geq W = m \times g \quad (3)$$

m : Mass of Chinese Cabbage

g : Gravitational acceleration (9.81 %)

배추의 넓게 퍼진 외엽은 뿌리의 절단 과정에서 같이 잘단되거나, 벨트에 의해 압축될 것으로 예상된다. 따라서, 위의 식에서 배추의 최대 폭과 중량을 조사된 자료의 최대 물성보다 조금 더 큰 240 mm와 5 kg으로 가정하면, 두 이송 벨트와 접하는 마찰력이 49.05 N이상이어야 배추를 운송할 수 있다. 단, 배추와 벨트 사이의 명확한 마찰계수를 구할 수 없으므로 구조적으로 요구되는 마찰력보다 1.5배 높은 압축력을 형성할 수 있도록 하였다.

2.4 시물레이터 설계 및 제작

2.4.1 인발 장치 설계

이송 벨트만을 이용하여 배추를 인발할 경우 배추의 측면을 파지하는 벨트의 면적 혹은 압축력을 높여야 한다. 이때, 압축력을 높이면 배추가 손상될 수 있고, 벨트의 면적을 넓히면 기계의 중량과 크기, 그리고 소요 동력이 높아진다. Fig. 5는 원뿔 형태의 회전하는 스피ndl을 인발 보조 장치로 활용하여 기계가 주행하면 스피ndl이 두둑과 배추의 밑동 사이를 파고들고, 스피ndl의 경사면에 의해 배추가 인발되도록 설계하여 이송 벨트가 배추의 자중만을 부담하도록 설계하였다. 스피ndl의 각도 조절은 이송 벨트의 각도 조절을 통해 이루어지도록 설계하였고, 높이 조절은 뒤에 설명할 배추 투입장치의 높이를 조절하였다.

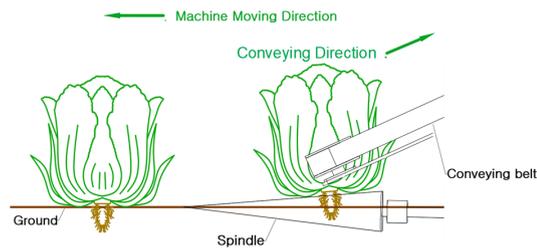


Fig. 5. Pulling process of Chinese Cabbage by conveying belt and spindle

2.4.2 뿌리 절단 장치 설계

Fig. 6은 인발 직후 배추의 뿌리를 자르는 절단 장치의 정면도와 측면도를 나타내었다. 절단 날은 2개의 원형 칼날이 칼끝을 겹친 상태에서 회전하도록 설계하였고, 칼날은 15°로 날을 세웠다. 칼날의 회전 방향은 투입 방향과 동일한 방향으로 회전하도록 하였고, 배추의 자세를

조절하는 별도의 과정을 제외하고자 스피ndl 후방에 칼날이 위치하도록 하였다.

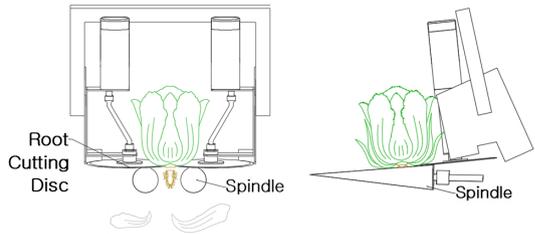


Fig. 6. Cutting device front view and side view

2.4.3 이송 장치 설계

이송 장치는 Fig. 7과 같이 아이들러와 이송 벨트의 형상을 유지하는 5개의 텐서너, 그리고 벨트를 구동하는 모터로 구성되어 있다. 배추가 투입되면 벨트의 형상을 유지하던 텐서너가 후퇴하여 배추의 폭에 대응할 수 있도록 설계하였고, 벨트 사이의 간격은 배추의 물성 조사 결과를 기반으로 100 mm ~ 250 mm 범위까지 대응할 수 있도록 하였다[4]. 또, 텐서너와 연결된 스프링의 고정부를 움직여서 스프링의 길이를 조절하는 방법으로 텐서너의 압축력을 조절할 수 있도록 하였다.

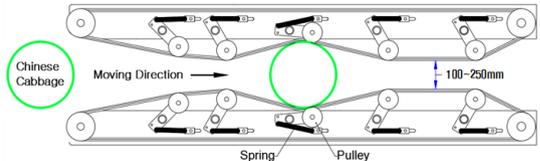


Fig. 7. Conveying process by conveyor belt

2.4.4 3D 프린팅 모형 배추

Fig. 8과 같이 모형 배추를 제작하였다. 배추의 몸통 부분은 3D 프린팅 기술을 이용하여 손질된 배추의 구조와 유사한 타원 형태로 설계하였고, 배추의 물성 조사 자료를 기반으로 Table 4와 같이 3개의 모형을 제작하였다. 모형은 Poly Lactic Acid(PLA) 소재를 이용하였고, 뿌리와 밑동은 배추와 같은 엽근채소로 분류되는 무로 제작하여 모형에 부착하였다.

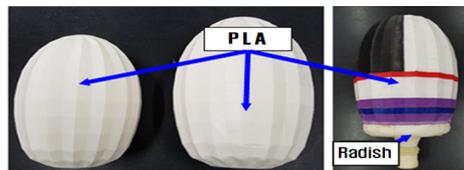


Fig. 8. Model Chinese Cabbage made using 3d printing

Table 4. Detailed specifications of the model Chinese Cabbage

| Variety | 3D Model Type | | |
|-------------|---------------|--------|-------|
| | Large | Medium | Small |
| Height (mm) | 340 | 300 | 260 |
| Width (mm) | 230 | 210 | 190 |
| Weight (kg) | 2.6 | 2.0 | 1.8 |

2.4.5 배추 투입 장치 설계

투입 장치는 배추의 재배 간격이 300 mm ~ 400mm까지 다양한 것을 고려하여 파지 장치 3개를 300 mm, 350 mm, 400 mm 간격으로 설치할 수 있도록 하였고, 레일을 타고 이동하도록 Fig. 9와 같이 설계하였다. 또한, 노지의 배추는 측면에서 밀면 뿌리의 유연성으로 인해 기울어지므로, 파지 장치를 스프링과 결합하여 단단히 고정된 배추 뿌리대신, 배추가 기울어지는 상황에 대응할 수 있도록 하였다.

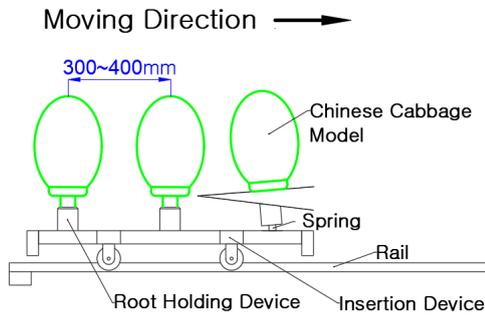


Fig. 9. Input device schematic

2.4.6 배추 수확 시뮬레이터

Fig. 10은 제작된 시뮬레이터의 사진이고, 시뮬레이터의 자세한 제원은 Table 3과 같다. 스펀들의 회전속도, 절단 날의 회전속도, 이송 벨트의 이송속도는 제어패널을 이용하여 조절할 수 있고, 푸쉬풀 게이지(DS2-500N)를 이용하여 양쪽 이송 벨트가 배추를 파지하는 힘의 평균값을 약 75 N으로 조절하였다. 이송 벨트 모터는 벨트 초기 구동력 150 N과 이송 속도 분석에서 요구되는 회전속도를 고려하여 최대 토크의 40 % ~ 60 %에서 요구성능을 충족하는 제품을 선정하였다.



Fig. 10. Front and side photos of the simulator

Table 3. Detailed specifications of the simulator

| Variety | | Specification | |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------|
| Size(L × W × H) | | 3800 × 1370 × 1220 | |
| Power Source | | electricity | |
| Spindle | Size(L × W) | 400 × 80 mm | |
| | Slope Angles | 4° | |
| Tensioner Spring | | Elastic Ratio 3.34 85 mm, 18 ∅ | |
| Conveying Belt | Size(L × W) | 3425 × 40 mm | |
| | Adjustable Angles | 25° ~ 35° | |
| | Surface Material | Polyurethan | |
| | | conveying Speed | 0.15 % ~ 0.2 % |
| Root Cutting Blade | | Dia 270 mm, 3T | |
| Induction Motor (Reduction ratio) | Spindle | AC 220V 90W (25:1) | |
| | Conveying Belt | AC 220V 180W (25:1) | |
| | Cutting Blade | AC 220V 60W (30:1) | |

2.5 시험 방법

3가지 모형 배추와 태백에서 재배한 춘광 배추 30포기를 이용하여 인발 및 절단 시험과 이송 시험을 진행하였다. 춘광 배추의 크기는 소형 모형 배추와 유사하고, 무게는 중형 모형 배추와 유사했다. Fig. 11은 배추 뿌리의 적절한 절단 범위를 나타낸 것으로, 춘광 배추의 경우 평균 16 mm, 표준편차 4 mm로 확인되었다. 각 시험의 조건과 목표는 다음과 같다.

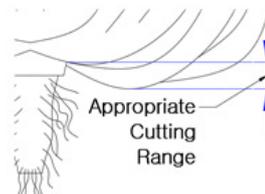


Fig. 11. Appropriate cutting range

2.5.1 인발 및 뿌리 절단 시험

시험의 변수로 스피들 경사면 각도 4°, 9°, 14°(이송 벨트 각도는 25°, 30°, 35°) 3가지 조건과 투입속도는 0.15 %, 0.2 %, 2가지 조건을 선정하였고, 이송 속도는 앞서 분석한 적정 속도를 반영하였다. 시험은 3가지 모형 배추를 이용하여 인발 과정을 촬영하고 분석한 후, 적절하다고 판단되는 조건을 선정하여 뿌리 절단 과정을 진행하였다. 시험 후, Fig. 12와 같이 절단면의 각도와 밀동을 기준으로 절단 높이도 측정하였다. 동일한 조건에서 춘광 배추를 이용한 비교 시험을 진행하였다.

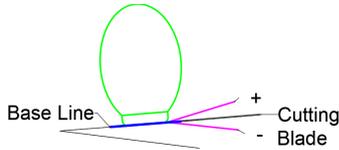


Fig. 12. Measurement and display of cut angle

2.5.2 배추 이송 시험

시험은 3가지 모형 배추와 투입하는 높이를 변수로 선정하고, 투입 속도와 이송 속도는 인발 및 뿌리 절단 시험에서 적절하다고 판단한 조건을 반영하여 진행하였다. 모형 배추 시험은 6회 반복 후, 3회 이상 이송 벨트의 끝까지 이송한 경우 파지가 가능한 높이로 간주하였다. 춘광 배추는 이송 및 절단 시험에 사용한 시료를 소형 모형 배추의 적절한 이송 조건을 반영하여 시험을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 배추 물성 조사 결과

2017년 진행한 현장조사에서 4개 지역의 4개 품종에 대한 조사 결과를 Table 5에 나타내었다. 폭은 185 ~ 306 mm, 높이는 251 ~ 432 mm, 무게 2.6 ~ 4.6 kg로 측정되었고, 인발력은 불암플러스 품종 일부에서 앞서 조사된 범위를 초과하는 231 N이 측정되었다.

Table 5. Investigation of type and size of Chinese Cabbage (2017)

| Cultivar (Region) | T.C | | |
|---------------------|-------|-------|-----|
| | W(mm) | H(mm) | kg |
| Chungwang (Haenam) | 210 | 251 | 3.9 |
| Chungwang (Taebaek) | 185 | 263 | 2.1 |
| Cheongpum (Oeseo) | 264 | 307 | 3.4 |
| Bulam Plus (Oeseo) | 306 | 432 | 4.6 |
| Hwipalam (Jecheon) | 245 | 385 | 2.6 |

3.2 인발 및 뿌리 절단 시험 결과

3.2.1 모형 배추 시험 결과

본 시뮬레이터에서 모형 배추의 적정 시험 조건은 스피들 경사면 각도 4°, 투입속도 0.15 %, 이송 속도 0.27 %로 나타났다. 경사면의 각도가 9° 일 때, 모형 배추가 스피들에 접촉하는 순간 충격에 의해 크게 흔들리는 현상이 발생하였고, 경사면의 각도 14° 혹은 투입속도 0.2 % 조건에서는 접촉충격으로 인한 흔들림에 의해 부착한 뿌리가 분리되어 시험을 진행할 수 없었다. 또, 이론 분석을 통해 선정된 이송 속도 0.166 %보다 약 1.6배 빠른 0.27 % 조건에서 원형 칼날과 수평에 가까운 각도로 인발이 가능하였다. Fig. 13과 Table 6은 위의 조건에서 모형 배추의 절단면 사진과 절단면의 각도를 측정된 결과를 나타낸 것으로, 대형은 평균 +13°, 중형과 소형은 반대로 각각 평균 -11°, -13°로 기울어진 절단이 이루어졌고, 절단 높이는 적정 절단 높이인 밀동보다 11 ~ 16 mm높은 높이에서 절단되었다. 영상 분석에서 밀동과 뿌리의 절단저항력으로 인해 절단시 자세가 기울어지는 현상이 나타났다. 이때, 대형 배추는 이송 벨트에 의해 투입 방향으로 자세가 기울어졌고, 중형과 소형은 뿌리를 파지하고 있는 투입 장치에 의해 반대되는 방향으로 자세가 기울어졌다. 따라서, 모형 배추는 실제 배추의 인발 및 절단 과정을 모사하기 어려운 것으로 나타났다. 모형배추를 이용한 절단시험을 위해서는 배추뿌리 부분에 대한 추가적인 모형작업이 필요한 것으로 판단되었다.



Fig. 13. Cut surface of model Chinese Cabbage

Table 6. Cutting angle of model Cabbage root

| Variety | | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Average |
|---------|----------------|--------|--------|--------|---------|
| Large | Angle | +15° | +11° | +12° | +13° |
| | Cutting height | 23 mm | 10 mm | 15 mm | 16 mm |
| Medium | Angle | -10° | -13° | -11° | -11° |
| | Cutting height | 11 mm | 14 mm | 15 mm | 11 mm |
| Small | Angle | -13° | -12° | -13° | -13° |
| | Cutting height | 14 mm | 12 mm | 12 mm | 13 mm |

3.2.2 실제 배추 시험 결과

Fig. 14는 적절히 절단된 배추와 과절단된 배추의 사진이고, Table 7은 절단면을 분석한 결과를 나타내었다. 이론 분석보다 빠른 이송 속도였지만, 평균 절단 각도는 +1°, 표준편차 +6°로 절단 각도는 양호한 것으로 나타났다. 반면에, 적정 절단 높이 평균 16 mm보다 높은 평균 19 mm 위치에서 절단되어 30포기의 배추 중 18포기의 배추에서 내엽이 손상되는 과절단이 이루어졌다. 촬영한 영상을 분석한 결과, 실제 배추는 스피ن들과 접촉한 직후 밀동이 압축되어 스피ن들에 의한 인발이 늦어졌고, 이로 인해 적절한 높이보다 높은 위치에서 절단이 시작되었다. 따라서, 스피ن들을 이용한 인발 장치와 원형 칼날을 이용한 절단 장치로 구성된 시스템은 절단 각도는 적절하지만, 절단 높이를 조절하는데 어려움이 있는 것으로 나타났다.



Fig. 14. Chinese Cabbage

Table 7. Detailed results of each test

| Variety | Chungwang | | Cutting Condition | | |
|--------------------|-----------|--------|-------------------|----------------|--------------------|
| | Width | Height | Cutting Angle | Cutting Height | Cutting Inner leaf |
| Average | 183 mm | 263 mm | +1° | 19 mm | 3 |
| Standard Deviation | 21 mm | 24 mm | +6° | 11 mm | 3 |

3.3 배추 이송 시험 결과

3.3.1 모형을 이용한 이송시험

각 수준별 모형 배추를 목표지점까지 이송하기 위한 적정 파지 범위를 Fig. 15에 나타내었다. 모형 배추 높이를 4등분하고, 각 등분을 위에서 아래로 1~4단계로 표시하였을 때, 중형과 소형 모형의 경우 3단계 범위내에서 이송 벨트에 파지되어야 목표지점까지 이송이 가능했고, 대형의 경우 상부기준 3분위 또는 4분위의 경계부분을

파지하는 경우의 이송률이 가장 높은 것으로 나타났다. 모형 배추를 적정한 파지 범위보다 높은 위치에서 파지할 경우 목표지점에 도달하기 전에 벨트에서 탈락하였고, 낮은 위치에서 파지할 경우 모형 배추가 벨트에 수평으로 누워버리는 현상이 발생하였다.

적정범위에서 파지한 경우, 각 모형별 이송률은 대형 61 %, 중형 71 %, 소형 79 %로 나타났다. 이는 모형 배추의 마찰계수가 실제 배추의 마찰계수와 달라서 나타나는 현상으로, 모형배추를 이용하여 보다 정확히 실제 배추의 이송 과정을 잘 모사하기 위해서는 배추물성에 대한 보다 상세한 분석 및 모형 재료가 필요한 것으로 판단되었다.

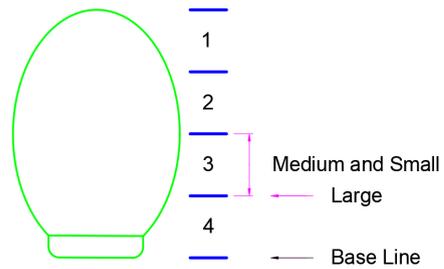


Fig. 15. Appropriate gripping range of the conveying belt

Table 8. Success rate of conveying under appropriate conditions

| Variety | Success rate |
|---------|--------------|
| Large | 61 % |
| Medium | 71 % |
| Small | 79 % |

3.3.2 춘광배추를 이용한 이송시험

30개의 배추 중 25포기가 목표했던 지점까지 이송되었다. 벨트에 파지된 배추는 이송을 완료할 때까지 모형 배추와 같은 자세의 변화가 나타나지 않았고, 이송 중 탈락한 배추는 Fig 16와 같이 절단 과정에서 적정 절단 높이보다 높은 위치에서 절단되어 결구가 손상된 배추로 확인되었다. 따라서, 이송 벨트는 이송에 있어서 큰 문제는 없으며, 이송을 위한 배추 파지 위치는 모형 배추의 적정 파지범위를 반영하는 것이 효율적인 것으로 판단되었다.

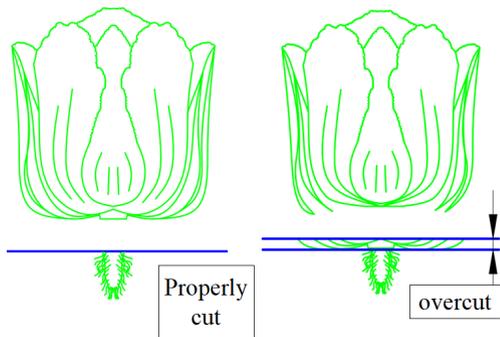


Fig. 16. Properly cut Chinese Cabbage and overcut Chinese Cabbage

4. 결론

본 연구에서는 인력으로 작업하는 배추의 수확 공정을 기계화할 방법으로 보조인발장치, 뿌리절단장치, 배추이송장치로 구성된 시뮬레이터를 설계 및 제작하였고, 성능을 평가하기 위해 모형 배추와 실제 배추를 이용한 성능시험을 진행하였다. 특히, 수확전의 배추를 시료로 활용하는 데에는 시기적인 한계가 있어 모형배추를 이용한 시험을 병행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 2017년 배추 물성조사결과, 평균 폭은 242 mm, 높이는 328 mm, 무게 3.3kg, 최대 인발력은 231 N이 측정되었으며, 예취부 설계시의 참고자료로 활용하였다.

2. 본 시뮬레이터에서 모형 배추의 적정 인발 조건은 스피들 경사면 각도 4°, 투입속도 0.15 %, 이송 속도 0.27 %로 나타났다. 절단 결과, 모형 배추는 11 ~ 13°로 기울어진 절단이 이루어졌고, 절단 높이의 기준이 되는 밀동에서 11 ~ 16 mm높은 위치에서 절단되었다. 따라서, 모형 배추는 실제 배추의 절단 과정을 모사하기 어려운 것으로 나타났으며, 모형배추를 이용한 절단시험을 적절히 수행 위해서는 배추뿌리 부분에 대한 추가적인 모형 작업이 필요한 것으로 판단되었다.

3. 모형 배추의 인발 및 절단 조건과 동일한 조건에서 실제 배추를 시험한 결과 평균 절단 각도는 +1°로 양호한 결과가 나타났다. 반면에, 적정 절단 높이가 평균 16 mm보다 높은 평균 19 mm(표준편차 11 mm, 위치에서 절단되어 30포기의 배추 중 18포기의 배추에서 내엽이 손상되는 과절단이 이루어졌다. 인발 장치와 절단 장치로 구성된 시스템은 절단 각도는 적절하지만, 절단 높이를 조절하는데 어려움이 있는 것으로 나타났다.

4. 모형 배추를 이용한 이송시험결과 실제 배추의 이

송 과정을 잘 모사하였다고 판단되었다. 이송 벨트가 모형배추를 적정 파지 범위(배추 상부기준 3분위)를 파지한 경우, 대형 61 %, 중형 71 %, 소형 79 % 이송률을 보여주었다. 이는 모형 배추의 마찰계수가 실제 배추의 마찰계수와 달라서 나타나는 현상으로, 모형배추를 이용하여 보다 정확히 실제 배추의 이송 과정을 잘 모사하기 위해서는 배추물성에 대한 보다 상세한 분석 및 모형 재료가 필요한 것으로 판단되었다.

5. 실제 배추는 모형 배추의 적정 이송 조건에서 30개의 배추 중 25포기가 목표했던 지점까지 이송되었다. 이송 중 탈락한 배추는 과절단에 의해 절구가 손상된 배추로, 이송 벨트는 이송에 있어서 큰 문제는 없으며, 모형 배추의 적정 파지범위를 반영하는 것이 효율적인 것으로 판단되었다.

6. 이상에서의 연구결과, 모형배추를 이용한 배추수확 시험을 위해서는 배추뿌리 및 몸체의 물성에 대한 보다 세부적인 조사분석 및 정밀모형을 위한 적정재료가 필요한 것으로 판단되었다. 그러나, 실제배추를 이용한 수확 시험전에, 배추 뿌리부의 적정 절단 및 이송에 대한 모의 시험용으로 유용한 것으로 판단되었다. 특히, 뿌리부가 절단되지 않은 실제 배추의 연중 공급과 다양한 품종의 수확전 배추의 수급이 어려운 상황에서의 원활한 시험을 위해서는 모형배추에 대한 추가적인 연구개발이 필요한 것으로 판단되었다.

한편, 배추수확을 위한 스피들을 이용한 인발장치는 배추 뿌리부 절단시의 적정 절단각도 유지는 가능한 것으로 조사되었으나, 절단높이 유지에는 어려움이 있는 것으로 판단되었다. 따라서, 뿌리부의 적정 절단 높이 유지가 가능한 인발 및 절단시스템에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단되었다.

References

[1] Ki Soo Song, Heon Hwangl, Dong Yeop Choi, "Development of Semi-automatic Cabbage Piling System for Tractor Implemented Chinese Cabbage Harvester", Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery v.27, no.3, pp.211 - 218, 8p, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.5307/JBE.2002.27.3.211>

[2] Mikio KANAMITSU, Kengi YAMAMOTO, "Development of Chinese Cabbage Harvester", Japan Agricultural Research Quarterly, v.30, no.1, 35 - 41p. 1996.

[3] Du Dongdong, Fei Guoqiang, Wang Jun, Huang Jiangjun, You Xinrong, "Design and experiment of self-propelled Cabbage harvester, Transactions of the

Chinese Society of Agricultural Engineering, v.31, no.14, 16 - 23p. 2015.

- [4] J. T. Hong, J. H. Sung, H. J. Jun, Y. K. Kim, K. M. Lee, "Development of Chinese Cabbage Harvester (1) - A Fundamental Study for Developing a Chinese Cabbage Harvester", Agricultural Mechanization in Korea, v.26 no.4, pg.337 - 354, 18p. 2000.
- [5] J. T. Hong, J. H. Sung, H. J. Jun, Y. K. Kim, K. M. Lee, "Design Factors for Chinese Cabbage Harvester Attachable to Tractors", Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery v.26 no.4 , pp.337 - 354, 2001.
- [6] Kun Soo Huh, Jung Tak Kim, Moon Suk Suh, Dong Chang park, "Track Tension Estimation in Tracked Vehicles under Steering", Journal of the Korean Society for Precision Engineering v.17, no.1, pp.115 - 121, 2000.
- [7] Korean Statistical Information Service. Agricultural area survey. <https://kostat.go.kr/portal/korea/index.action> (accessed 2015)

박 성 진(Sung-Jin Park)

[정회원]



- 2011년 3월 : 국립 순천대학교 산업기계공학과 (공학사)
- 2020년 2월 : 국립 순천대학교 농업기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

농업기계 자동화, 정밀 농업, 스마트 농업 등

이 상 윤(Sang-Yoon Lee)

[정회원]



- 2015년 2월 : 국립 경상대학교 일반대학원 생물산업기계공학 전공 (공학석사)
- 2020년 8월 : 국립 경상대학교 일반대학원 바이오시스템공학 전공 (공학박사)
- 2020년 8월 ~ 현재 : 국립 순천대학교 산업기계공학과 박사 후 과정

<관심분야>

영상분석, 인공지능, 농업기계 자동화 등

박 우 준(Woo-Jun Park)

[준회원]



- 2020년 2월 : 국립 순천대학교 산업기계공학과 (공학사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 국립 순천대학교 산업기계공학과 석사과정

<관심분야>

농업기계 자동화, 정밀 농업, 스마트 농업 등

양 규 원(Kyu-Won Yang)

[정회원]



- 2001년 2월 : 국립 순천대학교 농업기계공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 국립 순천대학교 농업기계공학과 (공학박사)
- 2018년 8월 ~ 현재 : 국립 경북대학교 생물산업기계공학 전공 (박사 과정 수료)

<관심분야>

농업기계 자동화, 정밀 농업, 스마트 농업 등

모하모드 알리(Mohammad Ali)

[정회원]



- 2015년 6월 : 방글라데시 농업대학교 농업공학과 (학사)
- 2016년 12월 : 방글라데시 농업대학교 농업기계공학과 (석사)
- 2019년 2월 : 국립 순천대학교 산업기계공학과 (석사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 국립 충남대학교 농업기계공학과 (박사과정)

<관심분야>

농업 생산 현장 기계, 정밀 농업을 위한 엔지니어링 기술, 농업 자동화 및 수확 후 기술

김 혁 주(Hyuck-Joo Kim)

[정회원]



- 1988년 2월 : 국립 서울대학교
농업기계공학 (농학석사)
- 2001년 2월 : 국립 경북대학교
농업기계공학 (농학박사)
- 2015년 ~ 현재 : 국립 순천대학교
산업기계공학과 교수

〈관심분야〉

농업기계 자동화 및 농작업 안전기술, 농업기계 표준화 및
OECD 트랙터 코드 운영 등