(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0106786
(43) 공개일자 2025년07월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*A01D 33/00* (2006.01) *A01D 25/00* (2006.01)
*G01G 19/00* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*A01D 33/00* (2013.01)
*A01D 25/00* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-0001243
(22) 출원일자 2024년01월04일
심사청구일자 2024년01월04일

(71) 출원인
**충남대학교산학협력단**
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
**정선옥**
세종특별자치시 고운마을3길 12, 135호
(74) 대리인
**이충한**

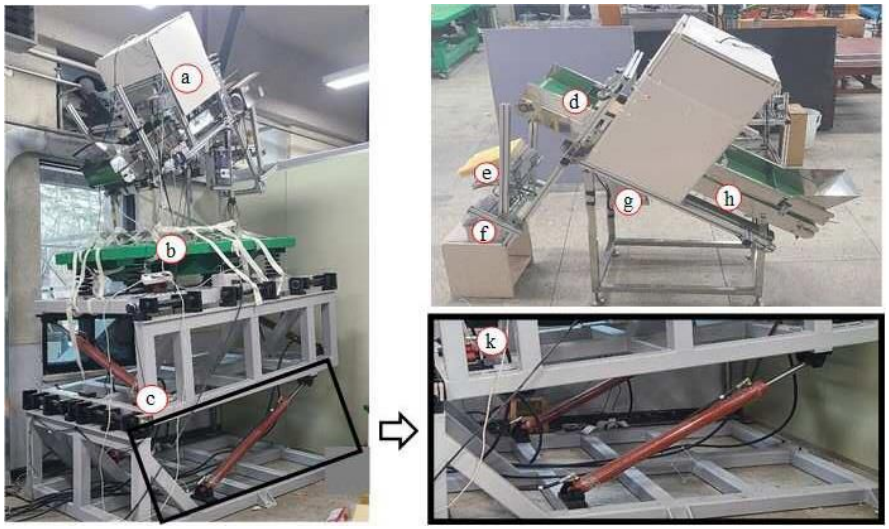
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 **로드셀 기반의 무수확량 모니터링 시스템**

## (57) 요 약

본 발명 로드셀 기반의 무 수확량 모니터링 장치에 관한 것으로, 본 발명의 일양태에 따르면, 수확된 무를 이동시키기 위한 컨베이어벨트 및 컨베이어벨트로부터 낙하하는 무를 수집하기 위한 운반기를 포함하는 로드셀 기반의 무 수확량 모니터링 장치가 제공된다. 이 장치는, 상기 운반기는 컨베이어벨트의 토출구 하단에 설치되어 토출구로부터 토출되는 무의 낙하 충격량을 감지하기 위한 충격량 감지 수단; 및 상기 충격량 감지 수단으로부터 감지된 무의 낙하 충격량으로부터 무의 중량을 추정하여 계산하기 위한 제어부를 포함하고, 운반기는 운반기의 진동을 감지하기 위한 진동 감지 수단을 더 포함하고, 제어부는 충격량 감지 수단으로부터 무의 낙하 충격량이 감지될 때 진동 감지 수단으로부터의 진동을 감지하고, 상기 진동 감지 수단으로부터 감지된 진동값이 미리결정된 범위 내에 있는 경우 무의 낙하 충격량으로부터 무의 중량을 계산하도록 구성된다.

## 대 표 도



(52) CPC특허분류
*G01G 19/00* (2013.01)
*B65G 2201/0211* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|---|---|
| 과제고유번호 | 1545026900 |
| 과제번호 | 320001044SB010 |
| 부처명 | 농림축산식품부 |
| 과제관리(전문)기관명 | 농림식품기술기획평가원 |
| 연구사업명 | 농식품기술융합창의인재양성 |
| 연구과제명 | 특수대학원 교육훈련 및 수확 모니터링 및 농자재 변량제어 기술 개발 |
| 과제수행기관명 | 충남대학교 산학협력단 |
| 연구기간 | 2023.01.29 ~ 2024.01.28 |

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

수확된 무를 이동시키기 위한 컨베이어벨트 및 컨베이어벨트로부터 낙하하는 무를 수집하기 위한 운반기를 포함하는 로드셀 기반의 무 수확량 모니터링 장치에 있어서,

상기 운반기는 컨베이어벨트의 토출구 하단에 설치되어 토출구로부터 토출되는 무의 낙하 충격량을 감지하기 위한 충격량 감지 수단; 및 상기 충격량 감지 수단으로부터 감지된 무의 낙하 충격량으로부터 무의 중량을 추정하여 계산하기 위한 제어부를 포함하고,

상기 운반기는 운반기의 진동을 감지하기 위한 진동 감지 수단을 더 포함하고,

상기 제어부는 충격량 감지 수단으로부터 무의 낙하 충격량이 감지될 때 진동 감지 수단으로부터의 진동을 감지하고, 상기 진동 감지 수단으로부터 감지된 진동값이 미리결정된 범위 내에 있는 경우 무의 낙하 충격량으로부터 무의 중량을 계산하도록 구성된 것을 특징으로 하는

로드셀 기반의 무 수확량 모니터링 장치.

### 청구항 2

제2항에 있어서,

상기 제어부는 충격량 감지 수단으로부터 무의 낙하 충격량이 감지될 때 진동 감지 수단으로부터의 진동을 감지하고, 상기 진동 감지 수단으로부터 감지된 진동값이 미리결정된 범위 밖에 있는 경우 무의 낙하 충격량으로부터 계산된 무의 중량은 수확량을 계산에서 제외하도록 구성된 것을 특징으로 하는

로드셀 기반의 무 수확량 모니터링 장치.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 로드셀 기반의 무 수확량 모니터링 장치는 운반기의 자세를 감지하기 위한 자이로센서를 더 포함하고, 상기 제어부는 자이로센서로부터 측정되는 운반기의 자세에 대응하여 상기 운반기의 적재베이스의 수평 경사를 조절하도록 구성된 것을 특징으로 하는

로드셀 기반의 무 수확량 모니터링 장치.

### 청구항 4

제2항에 있어서,

상기 제어부는 상기 수정된 무의 중량에 기반하여 상기 운반기의 적재베이스의 높이를 조절하도록 구성된 것을 특징으로 하는

로드셀 기반의 무 수확량 모니터링 장치.

## 발명의 설명

### 기 술 분 야

[0001] 본 발명은 무 수확량 모니터링 시스템에 관한 것으로 보다 구체적으로는 로드셀기반의 무수확량 모니터링 시스템에 관한 것이다.

## 배 경 기 술

[0003] 1. 배경기술

[0004] 무는 전 세계적으로 일반적으로 샐러드로 생으로 먹고 의약 화합물의 공급원으로 사용되는 중요한 야채이다. 무는 일반적으로 열린 들판에 심어지는 일년생 또는 2년생 작물이다. 전 세계적으로 무 재배 면적과 연간 총 생산량은 2019년까지 각각 310만 헥타르와 9500만 톤에 달했다. 무 생산량은 2006년부터 2020년까지 일본에서 보고된 무의 생산량이 24% 감소하는 것과 같이 전 세계적으로 지속적으로 감소하고 있다. 노동 집약적이고 시간이 많이 소요되는 무 재배 과정, 낮은 기계화, 노동 임금 인상 및 노동력 감소가 이러한 감소의 원인 중 하나이다. 최근에는 수확 및 무 수거 작업을 가속화하기 위해 여러 국가에서 기계화가 추진되고 있다. 종래 연구에 따르면 토양 및 환경 조건, 작물 영양소 요구량 및 기타 무 수확량 및 품질에 큰 영향을 미치는 기타 관리 관행을 고려하지 않은 무 재배자 사이에서도 과도하고 비합리적인 양분 시용과 같은 무의 부적절한 관리가 일반적이라고 보고했다. 지속 가능한 무 생산을 위해 수확량의 변동성을 매핑하는 것은 현장에서의 시공간 분포를 설명하기 위한 논리적 출발점이다. 따라서 수확량을 즉각적으로 결정하고 밭간 및 밭내 변동성을 설명하기 위해 무의 질량에 대한 모니터링 시스템을 개발하는 것이 필수적이다.

[0006] 실시간 수확량 모니터링 및 시공간 분포 분석은 현재 시즌의 수확량을 확인하고 다음 시즌의 정밀 농업을 안내할 수 있는 정밀 농업의 기초이다. 오늘날 John Deere Company의 Green starTM 수확량 매핑 시스템, Case IH의 Advanced Farming Systems AFSTM, MICRO-TRAK의 GRAIN-TRAK 수확량 측정 시스템과 같은 다양한 상업적 수확량 모니터링 시스템이 전 세계에 존재한다. 중력을 측정 가능한 전기 신호로 변환하여 충격력을 측정하는 충격식 수율 모니터링 시스템은 저렴한 비용과 편리한 설치로 인해 주요 선택이 되었다. 곡물 작물에 대한 몇 가지 충격 유형 센서가 존재하며 비곡물 작물에 대한 제한된 예가 있다. 충격 유형 수확량 모니터링 시스템은 감자 수확 기계에서 개발 및 테스트되었다. 하나의 디자인에 4개의 로드 셀이 있고 두 번째 디자인에 단일 로드 셀이 있다. 임팩트 플레이트는 두 시스템 모두에서 컨베이어 붐의 끝에 배치되었다. 두 수율 모니터 모두 현장 조건에서 매우 정확한 결과를 제공했다. 초기 연구의 대부분은 기계 구조 및 수확 조건을 기반으로 센서의 성능에 영향을 미치는 요인의 조사에 거의 중점을 두지 않고 상업적으로 이용 가능한 수확량 모니터링 시스템의 성능을 검증하는 데 중점을 두었다. 이러한 종류의 연구는 일부 연구 그룹에 의해 수행되었으며, 대부분이 2010년 이전에 이루어졌으며 연구된 작물의 수확 특성을 기반으로 수행되었다. 이러한 평가의 결과는 고려된 다양한 조건에서 불량에서 우수까지 다양했다. 따라서 무 수확자의 특성과 무밭 여건에 따라 설계된 정확한 임팩트형 수확량 모니터링 시스템의 개발이 필요하다.

[0008] 충격형 모니터링 시스템의 경우 기계적으로 수확한 작물의 수확량 측정은 대부분 컨베이어 출력에서 수행된다. 시스템은 수확된 작물의 실제 질량 유량에 질량 유량 응답 신호를 맞추기 위해 보정 곡선의 회귀에 전적으로 의존한다. 수확 조건, 수확 설정 속도 및 작물 특성과 같은 여러 요인이 수확량 모니터링 시스템의 품질과 정확성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 다양한 작물 수확량과 다양한 현장 조건에서 이러한 시스템의 성능에 대한 연구 기반 정보가 필요하다. 예를 들어, 충돌 전후 속도의 비율을 나타내는 값인 반발 계수는 충돌 유형 시스템의 중요한 작물 특성이다. 기본 충격 역학에 대한 지식은 이러한 유형의 시스템을 분석하는 데 중요하다. 또한 로드셀은 일반적으로 긴 안정화 시간을 부과하는 감쇠된 진동 응답을 가지고 있다. 고르지 않은 농경지로 인한 진동에서 측정한 결과가 증가할 것이다. 수확 장비에서 이러한 진동의 주요 원인은 회전 샤프트, 운반과 같은 운송 작업 및 기타 움직이는 부품이다. 현장의 기울기 변동으로 인해 상당한 측정 오류도 보고되었다. 불행히도 질량 측정 오류에 대한 필드 기울기 효과를 평가하기 위해 제한된 수의 연구가 수행되었다. 다른 경우에 연구자들은 다양한 로드셀 레이아웃을 사용했다. 이는 대부분의 작물의 불규칙한 모양과 컨베이어 시스템의 다양한 구조 때문이다. 수확량 데이터를 농경학적 결정에 쉽게 통합하려면 가능한 오류를 유발할 수 있는 요인에 대한 신중한 분석에 따라 정확한 수확량 모니터를 개발하는 것이 바람직하다.

[0010] 공간적으로 가변적인 기준으로 입력 결정을 관리하기 위해 현장 내에서 상세한 현장 특정 정보의 수집을 용이하게 하기 위해 무 수확량 모니터링 시스템을 개발해야 한다. 제조 및 현장 테스트 검증 전에 테스트 벤치를 사용한 상당한 실험은 정확하고 적합한 수율 데이터를 얻기 위한 프로세스 및 로드 셀 신호의 출력에 대한 수확 조건의 영향을 이해하는 데 유용할 것이다. 따라서 본 발명의 목적은 실험실 테스트 벤치를 사용하여 무의 질량 측정에 대한 다양한 조건의 영향을 조사하는 것이다.

[0012] 또한 종래의 농작물 수집기의 경우 수확된 농작물이 컨베이어 벨트를 통해 이송되어 수확기의 후단에 결합된 적재함으로 낙하하여 수집된다. 그러나 이와 같은 종래의 농작물 수집기의 경우 농작물이 적재함으로 낙하할 때 컨베이어벨트의 농작물 토출구의 입구와 적재함의 높이차이로 인하여 적재함에 낙하하는 농작물이 손상되는 문제점이 있어 농작물의 상품성이 떨어지고 이는 경제적 손실을 일으키는 문제점이 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0015] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 10-2247648호(2021년04월27일)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0016] 본 발명의 목적은 보다 정확하게 무 수확량 모니터링을 수행할 수 있고 안전하게 무를 수확할 수 있는 로드셀기반의 무 수확량 모니터링 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

[0018] 전술한 목적을 달성하기 위해 본 발명의 일양태에 따르면, 수확된 무를 이동시키기 위한 컨베이어벨트 및 컨베이어벨트로부터 낙하하는 무를 수집하기 위한 운반기를 포함하는 로드셀 기반의 무 수확량 모니터링 장치가 제공된다. 이 장치는, 상기 운반기는 컨베이어벨트의 토출구 하단에 설치되어 토출구로부터 토출되는 무의 낙하 충격량을 감지하기 위한 충격량 감지 수단; 및 상기 충격량 감지 수단으로부터 감지된 무의 낙하 충격량으로부터 무의 중량을 추정하여 계산하기 위한 제어부를 포함하고, 운반기는 운반기의 진동을 감지하기 위한 진동 감지 수단을 더 포함하고, 제어부는 충격량 감지 수단으로부터 무의 낙하 충격량이 감지될 때 진동 감지 수단으로부터의 진동을 감지하고, 상기 진동 감지 수단으로부터 감지된 진동값이 미리결정된 범위 내에 있는 경우 무의 낙하 충격량으로부터 무의 중량을 계산하도록 구성된다.

[0020] 전술한 양태에서, 제어부는 충격량 감지 수단으로부터 무의 낙하 충격량이 감지될 때 진동 감지 수단으로부터의 진동을 감지하고, 상기 진동 감지 수단으로부터 감지된 진동값이 미리결정된 범위 밖에 있는 경우 무의 낙하 충격량으로부터 계산된 무의 중량은 수확량을 계산에서 제외하도록 구성된다.

[0022] 또한 전술한 어느 하나의 양태에서, 로드셀 기반의 무 수확량 모니터링 장치는 운반기의 자세를 감지하기 위한 자이로센서를 더 포함하고, 상기 제어부는 자이로센서로부터 측정되는 운반기의 자세에 대응하여 상기 운반기의 적재베이스의 수평 경사를 조절하도록 구성된다.

[0024] 또한 전술한 어느 하나의 양태에서, 제어부는 상기 수정된 무의 중량에 기반하여 상기 운반기의 적재베이스의

높이를 조절하도록 구성된다.

## 발명의 효과

[0026] 본 발명에 따르면 보다 정확하게 무 수확량 모니터링을 수행할 수 있는 로드셀기반 질량 측정 시스템을 제공할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 트랙터에 장착된 무 수집 시스템 및 무 수확기의 3차원 모델을 나타내는 도면;

도 2는 무 질량 측정을 위한 수확량 모니터링 테스트 벤치를 나타내는 도면;

도 3은 단일 로드 셀 임팩트 플레이트의 시스템 다이어그램;

도 4는 진동 테이블 보정을 위한 센서 배치 및 블레이드 조정을 나타내는 도면;

도 5는 임팩트 플레이트 레이아웃 및 데이터 수집 시스템을 나타내는 도면

도 6은 경사판에 대한 충격 및 충격력의 영향을 나나내는 도면;

도 7은 다양한 낙하 높이로 인한 상대 오차 경향을 나타내는 도면;

도 8은 다양한 플레이트 각도로 인한 상대 오차 경향을 나타내는 도면;

도 9는 다양한 컨베이어 속도에 따른 상대 오차 경향을 나타내는 도면

도 10은 0.05 m/s 및 0.25 m/s에서 칭량 저울과 단일 로드 셀과 이중 로드 셀을 사용하여 등식선을 사용하여 측정한 무의 질량을 나타내는 도면;

도 11은 무의 질량 측정에 대한 기울기 효과의 경향을 나타내는 도면;

도 12는 다른 이동 평균 포인트를 사용하여 필터링된 무 신호를 나타내는 도면; 및

도 13은 로드셀 기반의 무의 질량을 추정하는 무 수확량 모니터링 장치의 일례를 나타낸는 도면;

도 14은 본 발명의 실시예에 따른 무 농작물 운반기의 외관을 나타내는 도면;

도 15은  본 발명의 실시예에 따른 무 농작물 운반기의 적재 베이스의 구조를 설명하기 위한 도면; 및

도 16는 본 발명의 실시예에 따른 제어부에서의 적재베이스의 높이 제어 동작의 흐름을 나타내는 흐름도이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되는 실시예를 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이다.

[0031] 본 명세서에서 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 그리고 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 따라서, 몇몇 실시예들에서, 잘 알려진 구성 요소, 잘 알려진 동작 및 잘 알려진 기술들은 본 발명이 모호하게 해석되는 것을 피하기 위하여 구체적으로 설명되지 않는다.

[0033] 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다. 그리고, 본 명세서에서 사용된(언급된) 용어들은 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 또한, '포함(또는, 구비)한다'로 언급된 구성 요소 및 동작은 하나 이상의 다른 구성요소 및 동작의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0035] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 정의되어 있지 않은 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0037] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 설명하도록 한다.

[0039] 2.1. 무 수확 조건을 고려한 시험대 설계

[0040] 2.1.1. 상업용 무 수집기 및 수확기의 전체 구조

[0041] 무 수확량 모니터는 무를 수집하는 사람과 수확하는 사람 모두에게 채택되어야 한다. 무 수집기는 도 1과 같이 수확 과정에서 트랙터에 장착하기 위해 3점 히치로 설계되었다. 먼저 토양에서 무를 수동으로 꺼내 첫 번째 컨베이어에 놓는다. 그런 다음 줄기 절단기가 장착 된 수집기가 두 번째 컨베이어 벨트의 출력 끝에 배치 된 저장 백으로 운반되기 전에 무의 줄기를 절단한다. 저장 백은 30개의 무를 수집할 수 있으며 무 수확 과정은 일반적으로 0.1~0.2ms-1 범위의 트랙터 속도에서 수행되며 두 번째 컨베이어 벨트에 적재된 조건에서 약 0.41ms-2의 평균 진동 수준을 유발한다. 반면, 무 수확기는 작물의 잎을 수집하고, 진동하는 굴착기 블레이드로 흙을 부수고, 무를 뽑고, 로드 아웃 컨베이어를 통해 운반하기 위한 수집 헤드/가이드가 장착되어 있다. 이송경로에 설치된 위치조정가이드는 이송 중 작물의 위치를 일정한 높이로 안내하고, 회전절단기로 원하는 위치에 정확하게 잎을 절단한 후 절단된 잎을 배출하여 무의 괴경을 배출하고 두 번째 컨베이어에 떨어뜨린다. 수확 작업은 최대 1.8m/s의 속도로 수행할 수 있지만 무의 파종 밀도로 인해 더 낮은 속도가 선호된다. 무는 일반적으로 최대 17%의 경사 수준으로 들판을 가로질러 20 × 10cm 또는 30 × 10cm로 심습니다. 두 가지 무 수확 기계 유형을 사용하여 수확량 모니터 센서는 무 수집기와 수확기를 위해 지면에서 각각 최소 200mm 및 830mm 수직 높이에 위치한 두 번째 컨베이어 끝에 장착된다. 저장 용기로의 사료량은 무의 파종 패턴과 수확 과정에서 무를 수확하는 사람의 느린 움직임으로 인해 약 1 ~ 6 kg/s이다. 두 경우 모두 장점은 첫 번째 컨베이어에서 나올 때 상단 무 잎이 잘려 배출되기 때문에 두 번째 컨베이어에 더 많은 양의 이물질이 없다는 것이다. 따라서 충격 원리에 기반한 무 수확량 모니터는 다음을 수행할 수 있어야 한다. 사용된 수확 기계에 관계없이 정확한다.

[0043] 2.1.2. 실험용 테스트벤치의 설계 및 시공

[0044] 실험실 테스트용 테스트벤치의 설계 및 시공은 무채 수집기 및 수확기 컨베이어 벨트의 구조 및 작동 조건을 따랐다. 컨베이어 출력은 질량 측정 시스템의 설치에 가장 적합한 것으로 선택되었다. 측정 시스템을 고정하기 위한 프레임은 알루미늄 프로파일(40 × 40mm)을 사용하여 실험실에서 구성되었다. 진동 시뮬레이션에 사용되는 진동 테이블의 사양은 표 1과 같으며 전체 테스트 벤치는 도 2와 같다.

[0045] [표 1] 진동 테이블 사양

[0046]

| Model | Weight (kg) | Vibrating motor | RPM | L × W × H (mm) |
|---|---|---|---|---|
| DMVT – 1000 × 2.0 | 560 | 1.1Kw × 2EA | 200 ~ 3600 | 1000W × 2000L × 900H |

[0048] 2.2. 데이터 수집 시스템 및 센서 교정

[0049] 사용된 로드셀(BCL-10L, CAS, Australia)은 100N의 정격 부하에서 2.0 ± 0.2mV V-1의 출력을 제공했으며 권장 측정 플랫폼 300mm × 300mm로 단일 포인트 유형으로 분류되었다.또한 무 줄기의 평균 기하학적 치수는 262 × 106mm이므로 플랫폼은 모든 무가 접시에 접촉하도록 하기에 충분했다. 로드 셀은 ±0.2N의 측정 정확도로 최대 100N의 힘을 측정했다. 데이터 수집 상자는 4채널, 24비트, National Instruments(NI) 9237(C 시리즈 스트레인/브리지 입력 모듈)(모델: NI 9237; National Instruments, Austin, TX, USA)로 구성되었다. 또한 이중 로드 셀 충격 플레이트의 경우 특히 적합한 채널 간 위상 지연이 없는 변형/하중 측정이 가능한다. 10V 여기 입력이 사용되어 100N에서 20mV 신호가 생성되었다.

[0051] 9237 NI 시스템은 타이밍 정확도가 50ppm인 4슬롯 DAQ 섀시(cDAQ NI-9174)에 배치되었으며 출력 신호는 이더넷 케이블을 통해 노트북으로 전송되었다. 로드 셀의 데이터를 저장하기 위한 소프트웨어 프로그램(LabVIEW 2020, National Instruments, Austin, TX, USA)을 사용하여 전면 패널을 개발했다. 단일 로드셀 임팩트 플레이트에 대한 데이터 수집 다이어그램은 도 3에 나와 있다.

[0053] 이중 충격 플레이트에서 데이터 수집을 위해 NI 9237의 4개(4개) 채널 중 2개 채널이 단일 로드 셀 풀 브리지의 2개 블록을 만드는 데 사용되었다. 로드셀 센서의 적합성을 테스트하기 위해 임팩트 플레이트를 수평 위치로 조정하고 1kHz의 샘플링 속도에서 약 5초의 측정 시간 동안 5가지 다른 무게를 차례로 로드했다. 각 테스트 무게는 사전에 정밀 저울을 사용하여 측정되었다. 가장 가벼운 것은 약 10N이고 가장 무거운 것은 약 90N이다. 보정은 각 실험 전에 수행되었다. 본 발명에 사용된 풀 브리지 센서의 경우, 이득 오차의 주요 원인은 여기 전압을 브리지에 연결하는 와이어 사이의 저항으로 인한 전압 강하이다. 이 이득 오류를 보상하기 위해 여기 전압 와이어가 브리지 회로에 연결되는 지점에 원격 감지 와이어를 연결했다. 충돌판에 가해지는 기계적 부하가 센서 판독값에 선형 차이를 일으킨다고 가정하고 데이터 수집 시스템의 출력은 식 1과 같이 이론적인 힘(N)으로 변환되었다.

[0055] $$\text{Force (kN)} = \frac{Q}{R_{da} \times G_{lc} x V_{in}} \qquad (1)$$

[0056] 여기서,

[0057] Q = 데이터 수집 시스템의 출력

[0058] Rda = 데이터 수집 시스템의 분해능, 16,777,216카운트(60V)$^{-1}$

[0059] Glc = 로드 셀 이득, 2.0 × $10^{-3}$ V $V^{-1}$(100N)$^{-1}$

[0060] Vin = 로드셀 입력 전압, 10V

[0062] 진동 테이블의 보정은 주파수 특성을 결정하고 현장 조건에서 진동 수준에 대한 적합성을 보장하기 위해 필요했다. 진동 테이블의 네 모서리 각각에 위치한 블레이드의 상대 위치를 조정하여 일련의 테스트를 수행했다. 보정하는 동안 275RPM(분당 회전수)의 일정한 속도가 무작위로 선택되었다. 진동 측정을 위해 3개의 진동 센서(Model: 356A15, PCB Piezotronics Inc., Depew, NY, USA)를 도 4와 같이 진동 테이블의 서로 다른 세 위치에 설치했다.

[0064] 진동 수준은 세 가지 다른 방향(X, Y 및 Z)에서 측정되었다. 평균 가속도(Aw)는 식 (2)에서 계산되었고 식 (3)은 ISO 표준 2631-1을 기반으로 총 가속도(Av)를 계산하는 데 사용되었다. 데이터 수집을 위해 센서는 데이터 수집 모듈(모델: NI USB-6234, National Instruments, Austin, TX, USA) 및 소프트웨어 프로그램(LabVIEW 2020, National Instruments, Austin, TX, USA)과 인터페이스되었다. 1kHz의 샘플링 속도로 수집된 데이터로 총 32개의 교정 테스트가 수행되었다.

[0065] $$A_{W,axis} = \left[\int_0^T [a_W, axis(t)]^2 dt\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (2)$$

[0066] $$A_v = \sqrt{(1.4xA_{w,x})^2 + (1.4xA_{w,y})^2 + (A_{w,z})^2} \qquad (3)$$

[0069] 2.3. 무 질량 측정을 위한 실험 변수 및 수준

[0070] 질량 측정에 대한 중간 및 측면 무의 영향을 테스트하기 위해 충격 플레이트의 두 가지 다른 레이아웃이 고려되었다. 하나의 임팩트 플레이트는 150㎜ 간격으로 배치된 두 개의 로드 셀(도 5(a))에 의해 지지되었고 다른 하나는 아크릴 플레이트 중앙에 배치된 단일 로드 셀로 장착되었다. 로드셀의 손상을 방지하기 위해 아크릴판(300㎜ × 300㎜ × 5㎜)을 잘라 나사를 이용하여 부착하였으며, 아크릴판 위에 두께 10㎜의 폴리우레탄 쿠션을 올려 충돌 충격을 흡수하여 무덩이줄기에 의한 손상을 방지하였다.

[0072] 실험에 사용된 제주 겨울무는 온라인 마켓에서 구입하였으며, 무 생산 및 재배면적을 고려하여 비율이 높아 선택하였다. 각 실험에 앞서 디지털 저울과 캘리퍼스를 이용하여 무의 질량과 기하학적 특성을 각각 기록하였다. 고려된 실험 변수는 다음 섹션에서 논의된다.

[0074] 2.3.1. 컨베이어 속도, 충격판 각도 및 낙하 높이의 영향

[0075] 컨베이어 속도, 낙하 높이 및 충격판 각도가 실험 변수로 조사되었다. 떨어지는 높이는 무 샘플이 충격판까지 이동한 수직 높이로 정의되었다. 수확 시 컨베이어 벨트에 있는 무의 방향을 고려하여 높이를 선정하였다. 기하학적 구조에 따라 래디시는 방사형으로 적재되며 최대 충격력을 보장하기 위해 동일한 방향으로 충격판에 충격을 가해야 한다. 종래 연구에 따르면 반경 방향 및 축 방향 충격에 대해 서로 다른 결과를 보고되었다. 따라서 낙하높이는 20, 30, 40㎝의 3단계로 선정하였다. 50㎝ 이상의 수직 높이는 임팩트 플레이트에 대한 무 궤적의 드리프트 효과를 줄이기 위해 선호되지 않는다.

[0077] 임팩트 플레이트 각도는 플레이트가 수평으로 만들어지는 각도였다. 각도 범위는 이중 충격 가능성을 조사하고 무의 질량 측정을 위한 최적의 각도를 찾기 위해 선택되었다. 임팩트 플레이트의 세 가지 다른 위치가 고려되었다. 여기에는 -10°, -30° 및 -50°이 포함된다.

[0079] 컨베이어 시스템의 최대 작동 속도는 0.25m/s였다. 이 범위에서 세 가지 속도, 즉 현장 조건에서 무를 수확하는 동안 사용된 범위 내에서 0.05, 0.15 및 0.25m/s가 선택되었다. 컨베이어와 충격판 사이의 수평 거리는 일정하게 유지되었다.

[0081] 4가지 다른 조건을 고려하여 일련의 실험을 수행했다. 진동이나 기울기가 없는 상태, 진동만 있는 상태, 기울기만 있는 상태, 진동과 기울기가 모두 있는 상태에 대해 실험이 수행되었다. 진동이나 경사가 없는 상태에서 컨베이어 속도, 충격판 각도, 낙하 높이 및 충격판 레이아웃이 실험 변수로 고려되었다. 테스트 벤치가 진동만 받는 테스트의 경우, 컨베이어 시스템은 진동 테이블에 장착되었으며 경사 플랫폼은 경사 조건에서만 테스트를 위해 다양한 경사 수준을 통해 조정하는 데 사용되었다. 경사와 진동 효과의 조합을 위해 진동 테이블이 경사 플랫폼에 장착되었다.

[0083] 각 진동 또는 기울기 테스트 전에 시스템의 성능을 확인하기 위해 정적 테스트를 수행했다. 그런 다음 동적 테스트는 진동 또는 기울기의 영향으로 수행된 테스트였다. 정적 및 동적 테스트 각각에 대해 9개의 실험을 수행하여 각 조건에서 총 18개의 실험을 수행했다.

[0085] 2.3.2. 경사각의 영향

[0086] 수확 작업은 최대 17%의 경사도를 가진 농경지에서 일반적으로 재배되는 무 밭에서 수행된다. 따라서 해당 범위

내에서 3개의 경사 수준이 선택되었다. 5.24%, 10.51% 및 15.84%는 각각 3° , 6° 및 9° 에 해당한다.

[0088] 2.3.3. 진동의 영향

[0089] 부하 조건에서 무 수집 컨베이어 벨트는 무 부하 조건(Chowdhury et al., 2020)에서 0.37~0.48m/s2와 1.01~1.66m/s2 사이의 진동을 경험했다. 실험실 테스트는 최대 1m/s2의 진동 수준을 포함하여 하중 조건을 고려하여 수행되었다. 0.43, 0.78 및 0.98m/s2의 세 가지 진동 수준이 선택되었다. 마지막으로 경사와 진동을 모두 고려하여 경사도 30, 60, 90에 걸친 진동시험을 통해 얻은 최적수준 0.43 m/s2에서 실험을 수행하였다. 모든 실험은 초기 테스트 결과를 기반으로 0.05, 0.15, 0.25m/s의 세 가지 다른 속도 수준, 일정한 충격판 각도 -100 및 낙하 높이 40cm에서 수행되었다. 실험 설계는 표 2에 요약되어 있다.

[0091] [표 2] 무의 질량 측정을 위한 실험 변수 및 수준

[0092]

| Experimental variable | Levels | | |
|---|---|---|---|
| Initial tests without slope and vibration | | | |
| Conveyor speed (m/s) | 0.05 | 0.15 | 0.25 |
| Falling height (cm) | 20 | 30 | 40 |
| Impact plate angle (°) | -10 | -30 | -50 |
| Impact plate layout | | | |
| Vibration tests | | | |
| Conveyor speed (m/s) | 0.05 | 0.15 | 0.25 |
| Falling height (cm) | | 40 | |
| Impact plate angle (°) | | -10 | |
| Vibration (m/s2) | 0.43 | 0.78 | 0.98 |
| Slope tests | | | |
| Conveyor speed (m/s) | 0.05 | 0.15 | 0.25 |
| Falling height (cm) | | 40 | |
| Impact plate angle (°) | | -10 | |
| Slope(°) | 3 | 6 | 9 |
| Slope and Vibration | | | |
| Conveyor speed (m/s) | 0.05 | 0.15 | 0.25 |
| Falling height (cm) | | 40 | |
| Impact plate angle (°) | | -10 | |
| Slope(°) | 3 | 6 | 9 |

[0094] 2.4. 분석 절차

[0095] 2.4.1. 임팩트 플레이트에 대한 무의 궤적의 수학적 모델링

[0096] 도 6은 무가 컨베이어 끝에서 충격판으로 떨어질 때 예상되는 충격의 특성을 보여준다. 역학의 원리로부터 질량 유동이 식(4)와 같이 일정한 속도차(Ehlert, 2000) 아래에 있는 경우 충격력(Fp)은 질량(m)에 정비례한다.

[0097] $$F_p = \frac{m.(v-u)}{t_2 - t_1} \qquad (4)$$

[0098] 여기서 Fp는 충격력, m은 재료 질량, u는 초기 속도, v는 충돌 후 속도, t2-t1은 운동량 변화율이다.

[0100] Θ가 접근 각도이고 u가 중력 효과와 컨베이어 속도에 의해 경로 AC를 따라 임팩트 플레이트에 충돌하는 속도라면 임팩트 플레이트에 의한 법선 방향의 운동량 변화는 수학적으로 식 (5)와 같이 표현될 수 있다. 그러면 뉴턴의 운동법칙에 의해 정의된 충격력(Fp)은 식 (6)과 같이 수학적으로 표현될 것이다.

[0101] $$m(v.sin\psi - u.cos\theta) \qquad (5)$$

[0102] $$F_p = \frac{m(v.sin\psi - u.cos\theta)}{\triangle} \qquad (6)$$

[0103] 여기서 Θ는 입사각이고 Ψ은 반사각이다.

[0105] 2.4.2. 로드셀 질량 측정의 통계 분석

[0106] 결정 계수(R2), 제곱 평균 제곱근 상대 오차(RE) 및 평균 제곱근 오류(SE)는 실험 결과를 평가하는 데 사용된 통계 분석이다. R2를 제외하고 위의 매개변수를 특성 값으로 사용하여 상호 작용 없는 분산 분석(ANOVA)을 수행했다. 실험 값은 분석 전에 정규성에 대해 평가되었다. RE 및 SE 값에 사용되는 변환 함수는 단일 로드셀 충격판에 대해 각각 식 (7) 및 (8)에 나와 있다.

[0107] $$y = \log x \qquad (7)$$

[0108] $$y = \frac{1}{x} \qquad (8)$$

[0109] 더블 임팩트 플레이트의 특성변수는 식 (9)와 같은 변환함수로 변환하였다.

[0110] $$y = \log x \qquad (9)$$

[0111] 여기서 y는 ANOVA 테스트에 대한 값이고 x는 특성 변수이다.

[0112] ANOVA 검정 후, SAS(SAS, Institute Inc, Campus Drive Cary, NC, USA)를 사용하여 5% 유의수준에서 Duncan의 다중 범위 검정으로 평균의 차이를 비교했다.

[0114] 2.5. 결과

[0115] 측정 시스템의 작동과 적용을 검증하기 위해 일련의 측정이 수행되었다. 초기 테스트에 대한 센서 측정의 전체 결과는 표 3과 같으며 표 4 및 표 5는 진동 및 기울기에 대한 결과를 보여준다.

[0116] 2.5.1. 전체 결과

[0117] [표 3] 초기 테스트에 대한 실험 변수, 수준 및 통계 매개변수

| Experimental factor | | | Validation (n=30) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **Single load cell** | | | **Double load cell** | | |
| Conveyor speed, m/s | Impact plate angle, (°) | Falling height, cm | RE, % | $R^2$ (%) | SE (g) | RE, % | $R^2$ (%) | SE (g) |
| 0.05 | -10 | 20 | 3.83 | 94.77 | 2.45 | 5.16 | 94.2 | 2.42 |
| | | 30 | 7.52 | 87.71 | 2.99 | 5.04 | 90.1 | 2.54 |
| | | 40 | 4.81 | 92.17 | 2.16 | 9.08 | 68.5 | 1.68 |
| | -30 | 20 | 8.30 | 92.42 | 3.08 | 5.62 | 92.4 | 2.92 |
| | | 30 | 5.61 | 87.5 | 2.35 | 7.07 | 81.1 | 2.34 |
| | | 40 | 5.21 | 91.87 | 2.37 | 7.34 | 82.7 | 2.21 |
| | -50 | 20 | 21.09 | 75.42 | 2.46 | 14.78 | 57 | 2.23 |
| | | 30 | 8.35 | 89.92 | 3.05 | 11.61 | 81.8 | 4.01 |
| | | 40 | 12.75 | 90.19 | 3.95 | 10.23 | 82.1 | 3.81 |
| 0.15 | -10 | 20 | 3.51 | 94.71 | 2.55 | 6.15 | 94.7 | 2.39 |
| | | 30 | 6.09 | 91.08 | 2.59 | 6.29 | 91.3 | 2.59 |
| | | 40 | 5.49 | 83.22 | 2.26 | 9.96 | 61.8 | 2.04 |
| | -30 | 20 | 11.63 | 80.79 | 3.327 | 8.7 | 80.8 | 3.15 |
| | | 30 | 7.10 | 79.82 | 2.45 | 9.65 | 62.8 | 2.09 |
| | | 40 | 6.06 | 83.43 | 2.42 | 6.81 | 88.7 | 2.46 |
| | -50 | 20 | 14.23 | 70.08 | 1.52 | 18.87 | 46.8 | 2.51 |
| | | 30 | 5.24 | 94.85 | 2.79 | 11.26 | 82.8 | 3.95 |
| | | 40 | 22.71 | -0.07 | 3.86 | 7.84 | 81.4 | 3.38 |
| 0.25 | -10 | 20 | 7.22 | 59.4 | 2.69 | 8.24 | 62.6 | 2.45 |
| | | 30 | 15.95 | 78.52 | 1.86 | 6.29 | 86.6 | 2.59 |
| | | 40 | 12.75 | 78.59 | 2.50 | 9.84 | 71.6 | 1.93 |
| | -30 | 20 | 7.46 | 82.37 | 2.48 | 6.29 | 82.4 | 2.35 |
| | | 30 | 9.56 | 64.95 | 2.30 | 6.72 | 82.1 | 2.23 |
| | | 40 | 13.14 | 0.35 | 1.67 | 12.79 | 83.3 | 2.59 |
| | -50 | 20 | 19.16 | 53.08 | 2.01 | 20.73 | 63.3 | 2.92 |
| | | 30 | 12.88 | 89.49 | 3.24 | 15.19 | 66.1 | 4.39 |
| | | 40 | 24.97 | 0.147 | 43.29 | 12.64 | 63.4 | 2.95 |

[0118]

[0121] [표 4] 진동 및 경사 시험을 위한 실험적 요인, 수준 및 통계 지표

| **Vibration tests** | | | | | **Slope tests** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Experimental factor | | Static tests | Experimental factor | Dynamic tests | Static tests | Experimental factor | Dynamic tests |
| Falling height (cm) | Conveyor speed, (m/s) | R.E (%) | Vibration ($m/s^2$) | R.E (%) | R.E (%) | Slope (°) | R.E (%) |
| 40 | 0.05 | 2.92 | 0.43 | 3.88 | 10.19 | 3 | 20.24 |
| | 0.15 | 2.60 | | 4.03 | 7.43 | | 12.21 |
| | 0.25 | 4.56 | | 2.91 | 5.15 | | 10.73 |
| | 0.05 | 5.65 | 0.78 | 10.48 | 8.92 | 6 | 16.64 |
| | 0.15 | 4.54 | | 7.70 | 12.91 | | 16.73 |
| | 0.25 | 4.67 | | 6.71 | 3.76 | | 8.57 |
| | 0.05 | 6.96 | 0.98 | 16.58 | 9.1 | 9 | 20.46 |
| | 0.15 | 7.59 | | 19.48 | 8.34 | | 14.88 |
| | 0.25 | 7.45 | | 17.28 | 2.78 | | 4.82 |
| Mean error, % | | 5.22 | | 9.89 | 7.62 | | 13.92 |

[0122]

[0124] [표 5] 결합된 기울기 및 진동 효과 및 신호 보정에 대한 실험적 요인, 수준 및 통계 지표.

[0125]

| Experimental factor | | Static tests | Experimental factor | Dynamic tests | Moving average | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vibration level ($m/s^2$) | Conveyor speed (m/s) | R.E (%) | Slope (°) | R.E (%) | N | | |
| | | | | | 5 | 10 | 15 |
| 0.43 | 0.05 | 6.61 | 3 | 4.52 | 3.6 | 3.4 | 6.2 |
| | 0.15 | 4.89 | | 6.78 | 3.3 | 4.2 | 6.8 |
| | 0.25 | 5.10 | | 13.74 | 4.8 | 5.8 | 4.7 |
| | 0.05 | 7.02 | 6 | 8.05 | 6.6 | 6.2 | 7.6 |
| | 0.15 | 9.29 | | 7.68 | 7.4 | 5.7 | 6.1 |
| | 0.25 | 2.39 | | 12.31 | 7.8 | 8.1 | 9.2 |
| | 0.05 | 6.46 | 9 | 7.2 | 4.7 | 7.4 | 3.8 |
| | 0.15 | 9.09 | | 8.59 | 4.8 | 4.9 | 3.8 |
| | 0.25 | 6.49 | | 13.34 | 5.7 | 5.5 | 6.2 |
| Mean error, % | | **6.37** | | **9.13** | **5.42** | **5.69** | **6.04** |

[0127] 2.5.2. 실험 변수에 대한 특정 결과

[0128] 2.5.2.1 낙하 높이, 충격 플레이트 각도, 컨베이어 속도 및 플레이트 레이아웃

[0129] 충격판으로 떨어지는 높이는 표 6에서와 같이 두 충격판 모두에 대한 무질량 측정에 중요한 요소가 아니었다. 서로 다른 낙하 높이에서의 상대 오차는 30개의 모든 무 샘플에 대해 각각 단일 충격 플레이트 및 이중 충격 플레이트에 대한 도 7(a) 및 7(b)에 나와 있다. 두 경우 모두 상대 오차는 각 충격판에 대해 모든 샘플에서 유사한 경향을 나타냅니다.

[0131] 플레이트 각도는 두 충격판의 질량 측정에 영향을 미치는 중요한 요소였으며 30개의 무 샘플에 대한 상대 오차 경향은 단일 충격판 및 이중 충격판에 대해 각각 도 8(a) 및 8(b)에 나와 있다.

[0133] [표 6] 각 실험 요인 수준에 대한 통계 지표의 평균

| Single load cell impact plate | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Calibration (n =5) | | Validation (n= 30) | |
| | Level | $R^2$ | RE (%) | SE (g) | $R^2$ |
| Conveyor speed | 0.05 | 97 | 8.6[a] | 2.76[a] | 89.2 |
| | 0.15 | 98 | 9.1[a] | 2.64[a] | 76.7 |
| | 0.25 | 96 | 13.6[b] | 2.45[b] | 75.3 |
| Falling height | 20 | 99 | 10.7[a] | 2.51[a] | 78.2 |
| | 30 | 95 | 8.7[a] | 2.62[a] | 84.9 |
| | 40 | 96 | 11.9[a] | 2.72[a] | 57.9 |
| Plate angle | -10 | 97 | 7.5[a] | 2.29[a] | 84.5 |
| | -30 | 94 | 8.2[a] | 2.48[a] | 81.8 |
| | -50 | 96 | 15.7[b] | 2.91[b] | 69.4 |
| **Double load cell impact plate** | | | | | |
| | | Calibration (n=5) | | Validation (n=30) | |
| | Level | $R^2$ | RE (%) | SDE (g) | $R^2$ |
| Conveyor speed | 0.05 | 98 | 8.4[a] | 2.7[a] | 81.1 |
| | 0.15 | 97 | 9.5[a] | 2.7[a] | 76.8 |
| | 0.25 | 95 | 10.9[a] | 2.7[a] | 73.5 |
| Falling height | 20 | 96 | 10.5[a] | 2.3[a] | 74.9 |
| | 30 | 97 | 8.8[a] | 2.9[a] | 80.4 |
| | 40 | 99 | 9.6[a] | 2.6[a] | 75.9 |
| Plate angle | -10 | 96 | 8.3[b] | 2.3[b] | 80.2 |
| | -30 | 98 | 7.9[b] | 2.5[b] | 81.8 |
| | -50 | 94 | 13.7[a] | 3.4[a] | 69.4 |

[a,b] The different superscripts show the difference in averages within a factor of 5% level of significance

[0134]

[0136] 임팩트 플레이트의 정밀도는 낮은 컨베이어 속도에서 더 높았다. 단일 임팩트 플레이트의 경우 속도가 이중 로드셀 임팩트 플레이트와 달리 플레이트 성능에 크게 영향을 미쳤다. 서로 다른 컨베이어 속도에서의 상대 오차는 각각 단일 충격 플레이트와 이중 충격 플레이트에 대한 도 9(a) 및 9(b)에 나와 있다.

[0138] 표 6의 결과에 따르면 두 로드 셀 레이아웃의 표준 오차는 단일 및 이중 로드 셀 충격 플레이트에 대해 각각 최소 2.29 및 2.3으로 4% 미만이었다. 그러나  결과에 대한 추가 분석은 이중 충격 플레이트의 경우 도 10(c) 및 10(d)와 같이 무 덩어리가 과대 평가되었음을 보여준다. 동일한 조건에서 단일 충격판의 측정은 도 10(a) 및 10(b)에서와 같이 등식선을 따랐다.

[0140] 3.2 진동, 기울기 및 신호 보정

[0141] 표 4에서 볼 수 있듯이 동적 및 정적 테스트의 평균 상대 오차는 진동 테스트의 경우 각각 9.89% 및 5.22%로 백분율 차이가 47.2%이다. 기울기 테스트의 경우 해당 값은 각각 13.92% 및 7.62%로 백분율 차이가 45.3%에 해당한다. 임팩트 플레이트는 슬로프 조건보다 진동 조건에서 더 정확했다. 표 3은 또한 진동 수준이 증가할수록 평균 상대 오차가 증가함을 보여준다. 도 11(a)와 같이 진동 데이터를 추가로 분석한 결과 질량 측정 오류에 대한 진동 및 컨베이어 속도의 명확한 경향이 나타나지 않았다. 이에 반해 속도가 증가함에 따라 기울기의 영향은 도 11(b)와 같이 감소하였다. 기울기와 진동이 결합된 경우 정적 및 동적 테스트에서 각각 6.37% 및 9.13%의 상대 오차가 관찰되었다. 도 11(c)는 관련 오류 경향을 보여준다. 오차는 독립적으로 적용된 진동 또는 기울기 효과에서 얻은 오차보다 작다.

[0143] 무 신호의 노이즈를 억제하기 위해 5-포인트, 10-포인트, 15-포인트 이동 평균을 포함하는 이동 평균 필터를 사용했다. 이동 평균 필터는 로드 셀 신호를 부드럽게 하는 것으로 알려져 있으며 다양한 수율 모니터링 시스템에 적용되었다. 개별 무 신호에 대해 필터를 수행하였기 때문에 단일 무 충격에서 발생하는 최대점인 약 70점을 고

려하여 점을 선정하였다. 도 12은 이동 평균 포인트가 증가함에 따라 신호가 더 부드러워짐을 보여준다. 그러나 이는 표 5에서 볼 수 있듯이 상대 오차 측정값을 증가시켰다. 여기서 15점 이동 평균은 5점 이동 평균의 5.42%에 비해 6.04%의 평균 상대 오차로 이어졌다. 일반적으로 5점 이동평균선을 사용했을 때 고려된 모든 필터링 지점에서 기울기와 진동 효과의 결합으로 인한 오차가 최대 14.9% 감소했다.

[0145] 4. 토론

[0146] 임팩트 플레이트의 성능은 주로 작동 조건에 따라 다르다. 이 발명에서는 로드셀 질량 측정에 대한 여러 실험 변수의 영향을 조사했다. 컨베이어 출력에서 충격판까지의 낙하 높이는 두 충격판의 무 질량 측정에 중요한 요소가 아니었다. 무가 같은 속도로 충격판에 부딪히며 컨베이어 벨트에서 배출 궤적의 방향을 유지했음을 나타낸다. 종래 연구에서는 이러한 경우 충격력과 질량 흐름 사이에 직접적인 관계가 존재한다고 밝혔다. 실제 조건에서 이것은 일관된 질량 측정으로 이어지기 때문에 바람직한 효과가 될 것이다. 상대 오차는 두 충격판에 대해 측정된 모든 샘플에서 유사한 변화 변화를 보여주었다.

[0148] 컨베이어 속도가 증가함에 따라 감소하는 경사 효과와 대조적으로 진동 효과의 명확한 경향은 관찰되지 않았다. 기울기, 진동, 진동과 기울기의 조합에서 각각 13.92%, 9.89%, 9.13%의 평균 상대 오차가 계산되었다. 신호의 단순 평균화를 사용하여 로드 셀 출력을 평활화할 수 있다. 본 발명에서 5점 필터는 기울기와 진동 효과의 조합에 대해 평균 상대 오차를 14.9% 감소시키는 결과를 가져왔습니다. 비교 결과는 디지털 필터링의 다른 기술에 의해 달성될 수 있다. 적절한 데이터 수집 및 신호 처리는 로드 셀 시스템이 설치된 시스템에서 생성되는 고조파 노이즈에 의한 출력 오염을 방지하기 위한 앤티 앨리어싱 필터 및 높은 샘플 속도의 사용을 포함하여 수율 모니터링 시스템의 핵심 기능이다.

[0150] 본 발명의 결과에 따르면 로드셀 측정은 다양한 작동 조건에 의해 크게 영향을 받는다. 최소한의 진동이 발생하는 현장 조건에서 충격 센서는 우수한 질량 측정을 제공할 수 있다. 또한 개별 질량 기반 감지에서 사용되는 신호 처리 기술은 수확기에서 전체 제품을 측정할 때 사용되는 것과 다를 수 있다. 특히 단일 로드셀 충격판에 대한 낮은 상대 오차는 충격 원리를 기반으로 한 무의 질량 측정 가능성을 나타낸다. 본 발명의 시스템은 유사하게 수확되는 다른 작물에도 적용될 것이다. 향상된 정확도를 통해 차세대 수확량 모니터링 기술은 시장에서 폭넓게 채택될 가능성이 있다.

[0152] 도 13은 본 발명의 실시예에 따른 로드셀 기반의 무의 질량 추정 시스템을 구비한 무 수확 장치의 일례를 나타내는 도면이다.  도 13에 도시된 바와 같이 무 수확기(10)는 수확 과정에서 트랙터 등에 장착되거나 독립적으로 이용될 수도 있다. 무와 같은 농작물을 안전하게 수집하고 무의 수확량을 모니터링 하기 위해, 먼저 무 수확기(10)는 토양에서 무 농작물을 수확하여 수확기(10)의 컨베이어로 이송된다. 그런 다음 줄기 또는 뿌리 절단기가 장착된 수집기가 두 번째 컨베이어 벨트의 출력 끝에 배치된 저장 백으로 운반되기 전에 필요한 경우 농작물의 줄기 또는 뿌리를 절단한다.

[0154] 수확된 무 농작물이 운반기(20)의 저장백 또는 저장소로 컨베이어를 통해 운반되고, 운반된 무 농작물이 컨베이어로부터 낙하하여 저장백에 수집된다. 농작물 수확량 모니터링 시스템은 컨베이어와 운반기(20)에 설치되고 저장백에 저장되는 무 농작물 개체의 수와 충격량에 기반한 무의 중량을 추정하고 이를 디스플레이 수단(40)에 표시하고, 미리 정해진 기준에 도달하면 시각적 수단 또는 청각적 수단을 통해 사용자에게 통보하도록 구성된다.

[0156] 도 14은 수확된 무 농작물이 적재 및 운반되는 운반기(20)의 외관을 개략적으로 도시한 도면이다. 도 14에 도시된 바와 같이 운반기(20)는 몸체를 형성하는 프레임 구조물(F); 프레임 구조물(F)의 하부에 설치되는 이동 수단(390); 몸체 프레임(F)의 내부에서 상하 방향으로 이동하는 적재베이스(21)를 포함하고, 적재베이스(21)는 적재베이스(21)의 하부에 연결된 X 자 형상의 리프트 수단(22)과 리프트 수단(22)에 연결되어 있는 액추에이터(23)을 포함한다.

[0158] 액추에이터(23)는 모터와 같은 동력부(310)에 연결되어 있으며 구동부(310)으로부터 구동력이 액추에이터(23)에 전달되면 액추에이터(23)가 X자 리프트(22)를 밀어 올리거나 잡아당겨 적재베이스(21)의 상하 승강운동이 가능하게 된다.

[0160] 적재베이스(21)의 상부에는 수확된 무가 저장되는 저장백 또는 저장함이 거치되고 수확되어 저장백에 저장된 무의 부피가 일정량에 도달하면 모니터링 수단(40)에 이를 표시하여 사용자에게 통보하게 된다.

[0162] 또한 적재베이스(21)의 하판(21b)에는 도 15에 도시된 바와 같이 복수의 충격량 센서(220)가 제공된다. 충격량 센서(220)는 무가 저장소 내로 낙하할 때 충격량을 통해 낙하한 농작물의 충격량을 통해 중량을 추정하도록 구성될 수도 있다. 측정된 충격량 값은 제어부로 보내지고 제어부에서는 충격량 기반의 중량 측정을 수행할 수 있다. 또한 충력량 센서(220)는 무의 낙하 높이가 적절한지 여부를 추가적으로 결정하는 기준값으로도 이용될 수 있다.

[0164] 또한 적재베이스(21)의 하판(21b)에는 경사 센서(210)가 제공된다. 경사 센서(210)는 자이로 센서일 수 있으며 경사 센서(210)는 적재베이스(21)의 기울어짐을 체크하도록 구성된다.

[0166] 다시 도 13을 참조하면 운반기(20)에는 농작물 카운트 수단(50)이 제공될 수 있다. 농작물 카운트 수단(50)은 도시된 바와 같은 비전 카메라를 이용하여 낙하하는 무의 개수를 카운트할 수도 있으며, 적재베이스에 제공된 충격량 감지 센서를 이용하여 적재베이스(210)에 충격이 가해질 때 마다 무의 개수를 카운팅하도록 구성될 수 있다.

[0168] 도 16는 전술한 바와 같이 본 발명의 실시예에 따른 무의 질량 추정 시스템을 구비한 무 수확 장치에서의 동작을 나타내는 흐름도이다. 도시된 바와 같이, 먼저 운반기(20)가 수확기(10)의 적재위치에 위치된다. 운반기(20)가 수확기(10)의 적재위치로 위치된 후, 조작자는 운반기(20)에 제공된 스위치 등의 수단을 통해 수확 및 모니터링 모드를 동작시킨다. 이후 조작자는 운반기(20)에 제공된 스위치 등의 수단을 통해 적재베이스(21)의 높이 조정 모드를 자동으로 동작시킨다. 조작자가 단계 S110에서 높이 조정 모드를 자동으로 동작한 후 이어진 단계 S120에서는 무의 수확 작업이 시작된다. 수확된 무는 컨베이어를 거쳐 운반기(20)의 저장소에 저장되게 된다.

[0170] 수확된 무가 컨베이어벨트로부터 적재베이스로 낙하할 때 마다 운반기(20)에 설치된 충격량 센서를 통해 충격량이 감지되고 감지된 충격량에 따라 수확된 무의 개수가 파악될 수 있다.

[0172] 처음 수확 작업이 시작될 때 제어부는 액추에이터 등의 구동 수단을 통해 적재베이스(21)의 높이를 초기 위치, 예를 들면 지면으로부터 허용되는 가장 높은 위치에 위치시킨다. 이후 적재베이스(21)의 높이가 초기 적재 위치에 위치된 수확기(10)에 의해 무가 수확되고 컨베이어를 통해 운반기(20)의 저장백에 낙하하게 된다. 낙하된 무가 저장백에 저장될 때 카운트 수단에 의해 낙하하는 무의 수가 카운트되고 무의 충격량에 기반한 중량이 누적되어 계산된다.

[0174] 이어진 단계 S140에서 제어부는 운반기(20)에 설치된 적재베이스의 높이를 측정하는 높이 측정 센서(240)를 이용하여 적재베이스의 높이를 측정하고 기록하여 둔다.

[0176] 높이 측정 센서(240)는 도시된 바와 같이 적재베이스(21)가 가장 낮은 위치에 이동될 수 있는 하부 프레임에 복

수개 설치된다. 높이 측정 센서(240)는 레이저 센서와 같은 거리 측정 센서가 이용될 수 있으며, 높이 측정 센서(240)은 적재베이스(21)의 하측에 레이저를 조사하고 되돌아 오는 시간을 통해 센서로부터 적재베이스(21)까지의 높이를 측정할 수 있게 된다.

[0178] 높이 측정 센서(240)는 도시된 바와 같이 적재베이스(21)의 네 면의 위치에서의 높이를 측정할 수 있도록 구성되고 각각 측정된 위치에서의 높이를 평균하여 적재베이스(21)의 높이가 구해질 수 있다.

[0180] 이어진 단계 S150에서 제어부는 무의 누적된 중량을 계산하고 누적된 중량이 전술한 높이에서 미리결정된 기준 중량을 초과하는지 여부를 판단하여 적재베이스의 하강 동작을 수행하게 된다. 즉 제어부는 적재베이스의 제1 위치(초기 위치)에서 제1 기준 중량이 초과하는지 여부를 판단하고 초과한 경우 적재베이스의 높이를 제2 위치로 이동시킨다. 이는 무가 적재베이스에 쌓인 만큼 적재베이스의 높이를 지면에 가깝도록 위치시킴으로써 무가 일정높이에서 낙하하도록 기능한다.

[0182] 단계 S160에서 제어부는 변위센서로부터 판독값에 기반하여 적재베이스가 제2 위치(제2 설정높이)로 이동완료된 것으로 판단되면 수집작업이 계속하여 진행된다. 제2 위치는 사용자에 의해 미리결정된 설정위치일 수 있다.

[0184] 또한 단계 S160 이후, 제어부는 적재베이스의 위치 조종은 저장백에 저장되는 무 농작물의 추정 중량이 미리설정된 중량에 도달할 때 까지 계속되고, 단계 S170에서는 무 농작물의 저장 중량이 미리설정된 중량에 도달하게 되면 수확 작업을 중단하고 이를 모니터링 수단을 통해 사용자에게 시각적 또는 청각적으로 통보하게 된다. 전술한 설명에서 무의 부피에 기반한 중량에 의해 적재베이스의 위치가 조정되는 것으로 설명되었지만 본 발명의 이에 한정되는 것은 아니고 추정된 부피의 누적량에 기반하여 제어부는 적재베이스의 위치를 조절할 수도 있다는 것은 자명하다.

[0186] 또한 전술한 바와 같은 운반기의 경우 운반기에 가해지는 진동을 감지하기 위한 진동 감지 수단 및 질량 측정 시스템이 설치되는 운반기의 자세를 감지하기 위한 자이로센서(210)이 제공될 수 있다.

[0188] 제어부는 충격량 감지수단, 진동 감지로부터의 감지 결과에 대응하여 충격량을 감지하여 무의 중량을 추정하게 된다. 구체적으로 제어부는 충격량 감지 수단을 통해 감지된 충격량으로부터 무의 중량 계산시 진동 감지 수단으로부터 감지되는 진동 결과를 수신하고 감지된 진동이 미리정해진 범위 내에 있는 것으로 판정된 경우에는 계산된 무의 중량이 정확한 범위 내에 있는 것으로 판단하지만 감지된 진동이 미리정해진 범위 내에 있지 않다면 계산된 무의 중량이 정확한 범위를 벗어난 것으로 간주하여 측정된 무의 중량을 누적 통계로부터 제거하도록 더 동작될 수 있다. 따라서 무의 평균 수확량 계산시 진동으로 인해 무의 평균 수확량이 통계적으로 정확하지 않게 되는 문제점이 제거될 수 있다.

[0190] 또한 제어부는 운반기의 자세, 구체적으로는 적재베이스의 경사를 검출하는 자이로센서로부터 적재베이스의 자세에 대한 측정값을 수신하도록 동작한다. 운반기에는 전술한 바와 같이 수확된 무우가 적재됨에 따라 운반기의 적재베이스가 수평을 이루지 않는다면 수확된 무우가 운반기의 적재베이스 내에서 한쪽으로 치우치게 된다. 이는 수확된 무의 낙하 충격량을 정확하게 측정하는 것을 방해하는 요인으로 작용한다. 본 발명에서는 자이로센서로부터의 경사값에 기반하여 제어부가 적재베이스의 수평높이를 조절할 수 있도록 구성된다. 예를 들면 자이로센서로부터 입력된 운반기의 자세값이 어느한쪽으로 기준값 이상으로 치우쳐 있는 경우 제어부는 적재베이스에 설치된 리프트를 이용하여 적재베이스의 수평을 유지하도록 구성될 수 있다. 이와 같은 동작을 위해 적재베이스의 리프트는 좌우 수평을 위한 제1 리프트, 전후 수평을 위한 제2 리프트를 포함할 수 있으며, 운반기가 지면의 형상에 의해 어느 한쪽으로 치우쳐 있더라도 복수의 리프트 수단을 통해 적재베이스가 어느 한쪽으로 치우치지 않고 수평을 유지할 수 있도록 동작될 수 있다.

[0192] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(Arithmetic Logic Unit), 디지털 신호 프로세서(Digital Signal Processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(Field Programmable Gate Array), PLU(Programmable Logic Unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(Command)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리요소(Processing Element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(Parallel Processor)와 같은, 다른 처리 구성(Processing Configuration)도 가능하다.

[0194] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(Computer Program), 코드(Code), 명령(Command), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(Collectively)처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(Component), 물리적 장치, 가상 장치(Virtual Equipment), 컴퓨터 저장매체 또는 장치에 구체화(Embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

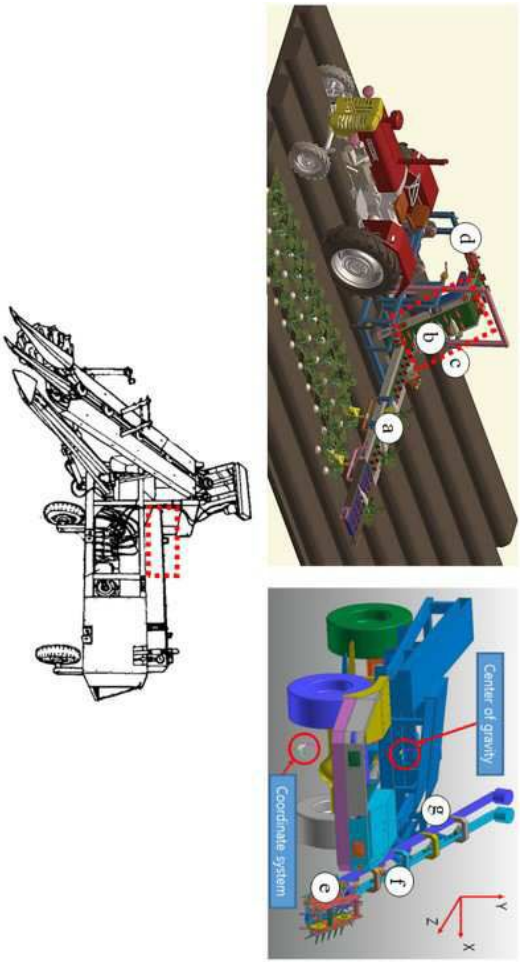
[0196] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(Magnetic Media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(Optical Media), 플롭티컬 디스크(Floptical Disk)와 같은 자기-광 매체(Magneto-Optical Media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0198] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

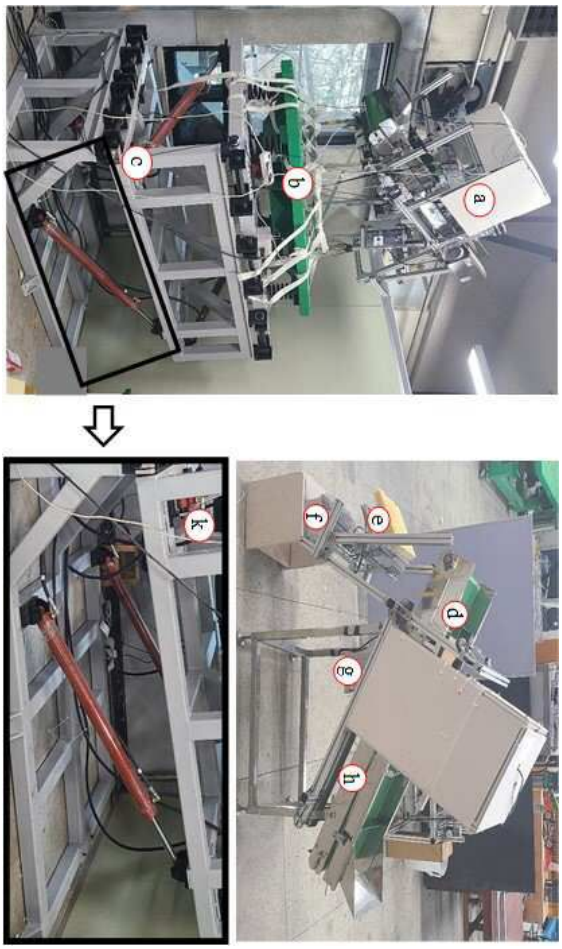
[0200] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속하는 것으로 해석되어야만 한다.

## 도면

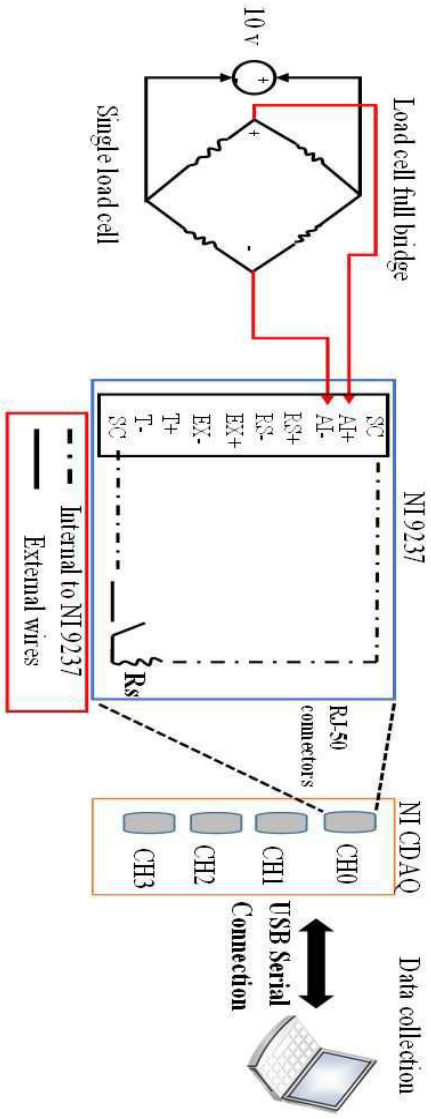
### 도면1



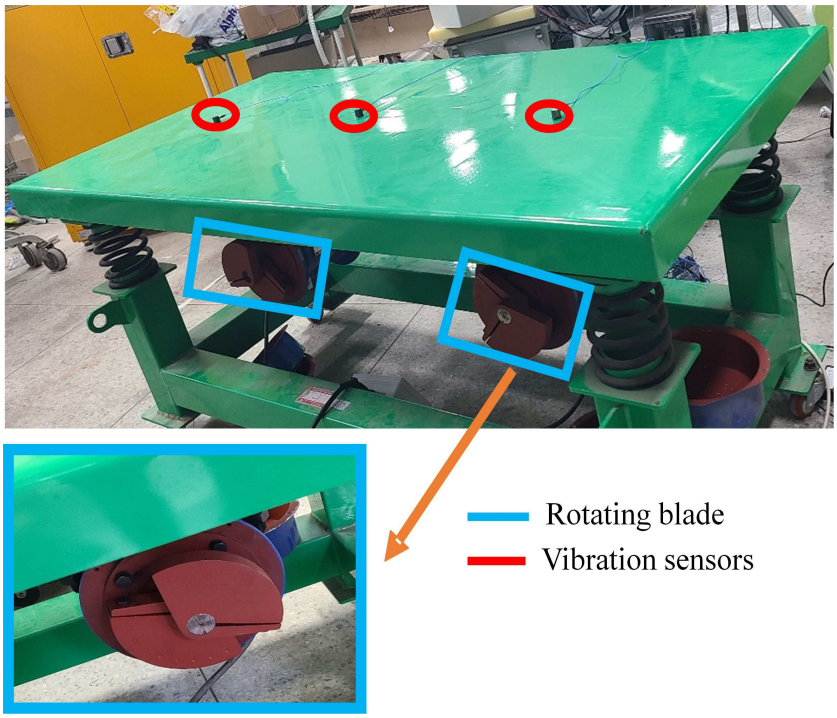
도면2



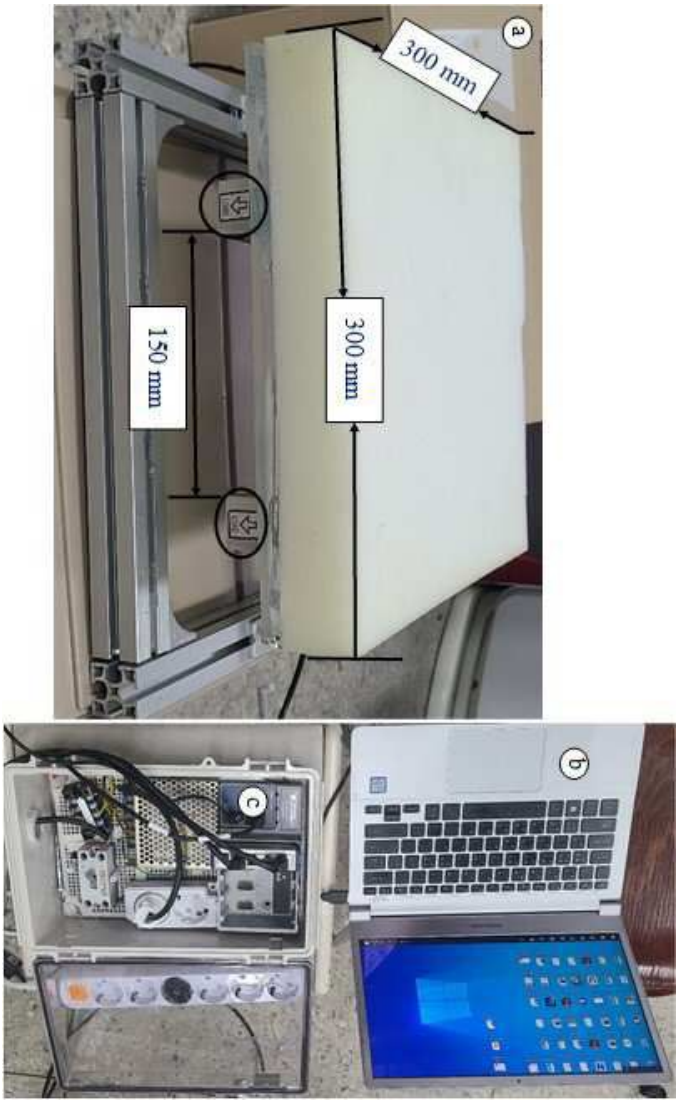
도면3


10 V
Single load cell
Load cell full bridge
SC
AI+
AI-
ES+
ES-
EX+
EX-
T+
T-
SC
NI 9237
Rs
Internal to NI 9237
External wires
RJ-50
connectors
NI CDAQ
CH0
CH1
CH2
CH3
USB Serial
Connection
Data collection

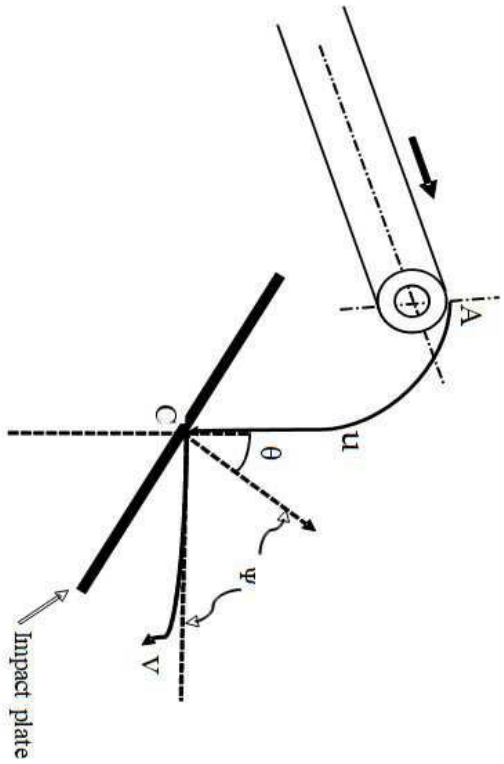
도면4



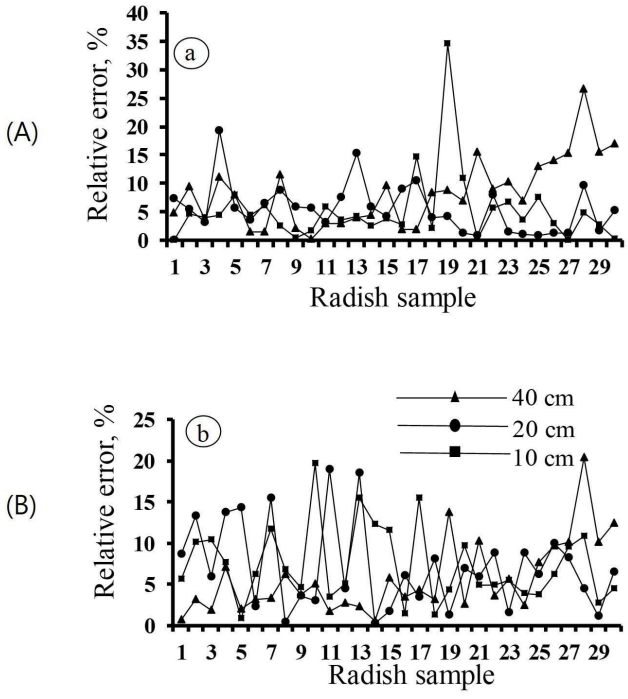
도면5



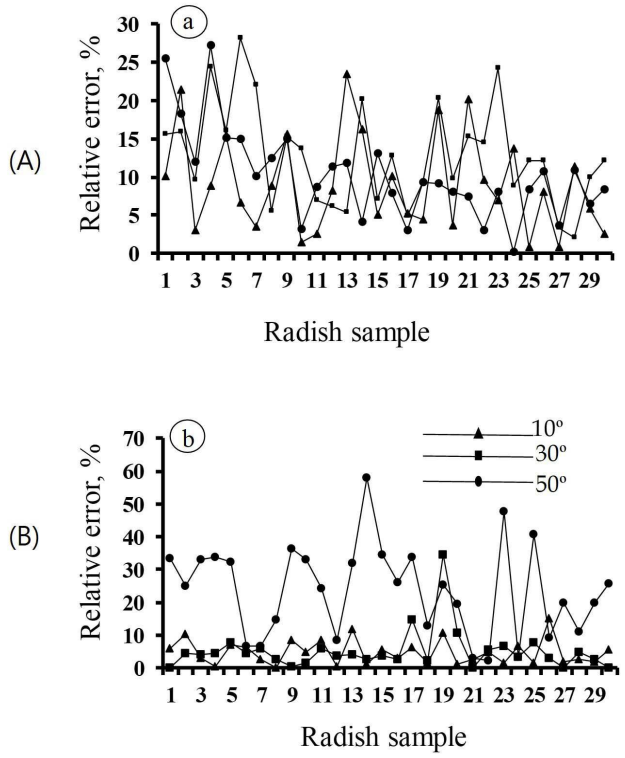
도면6


A
C
θ
u
ψ
V
Impact plate

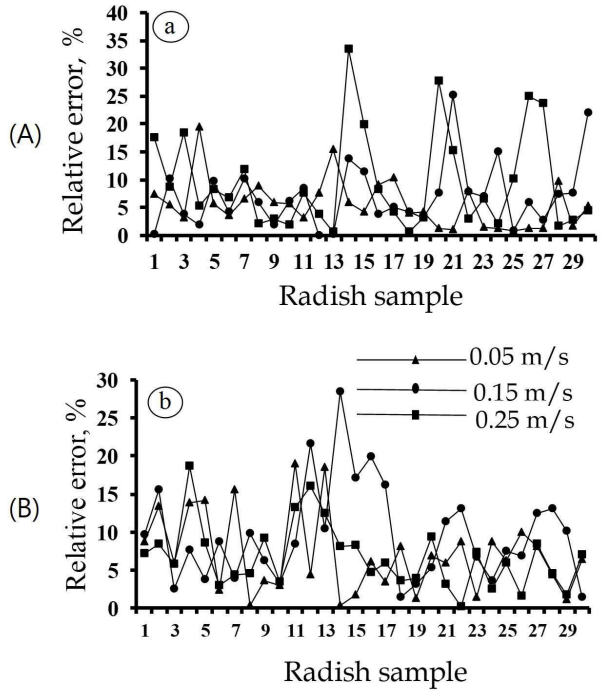
도면7


(A)
a
Relative error, %
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29
Radish sample
(B)
b
40 cm
20 cm
10 cm
Relative error, %
25
20
15
10
5
0
1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29
Radish sample

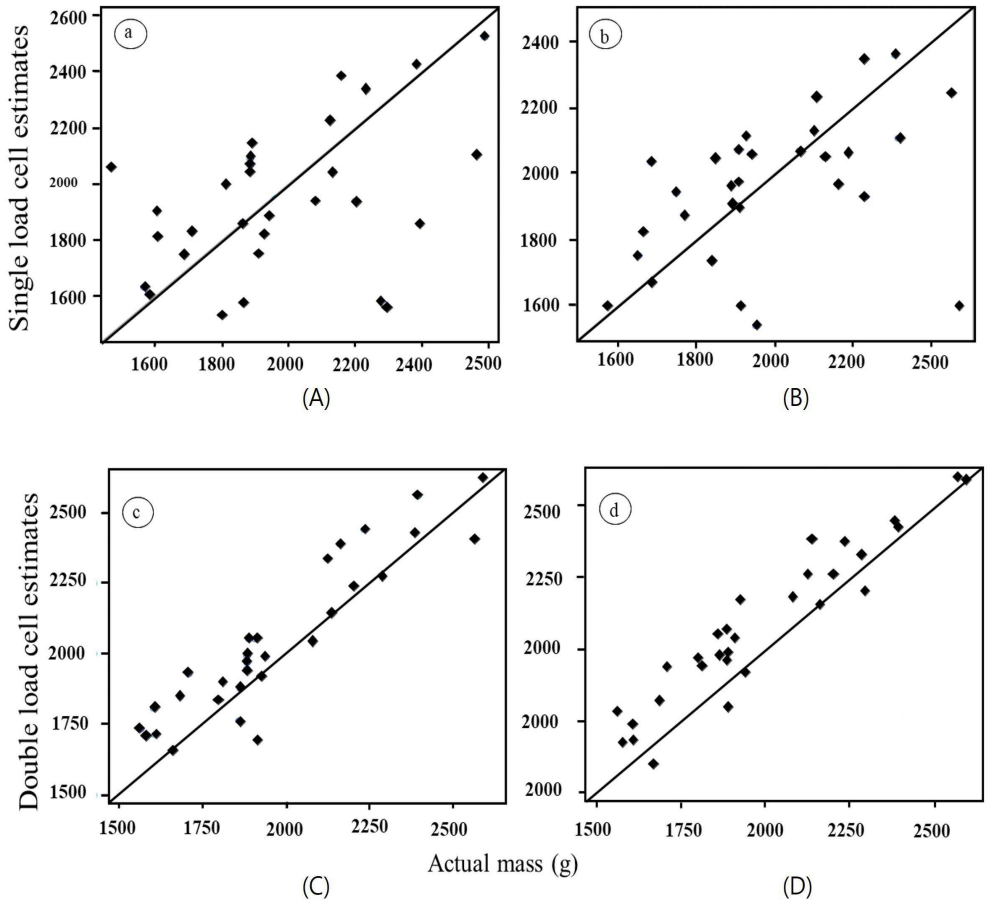
도면8


(A)
a
Relative error, %
Radish sample
(B)
b
10°
30°
50°
Relative error, %
Radish sample

도면9

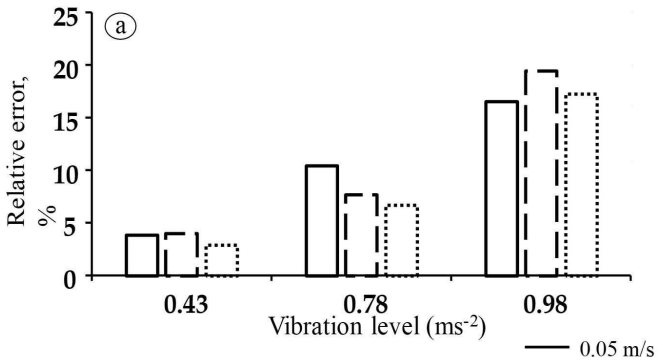

(A)
a
Relative error, %
Radish sample
(B)
b
0.05 m/s
0.15 m/s
0.25 m/s
Relative error, %
Radish sample

도면10

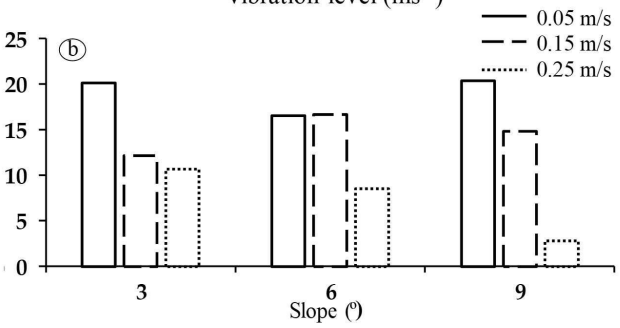

Single load cell estimates
Double load cell estimates
Actual mass (g)
a
b
c
d
(A)
(B)
(C)
(D)

도면11

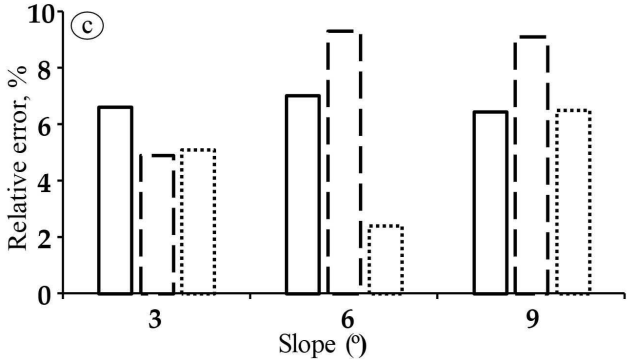
(A)


a
Relative error, %
25
20
15
10
5
0
0.43
0.78
0.98
Vibration level (ms-2)

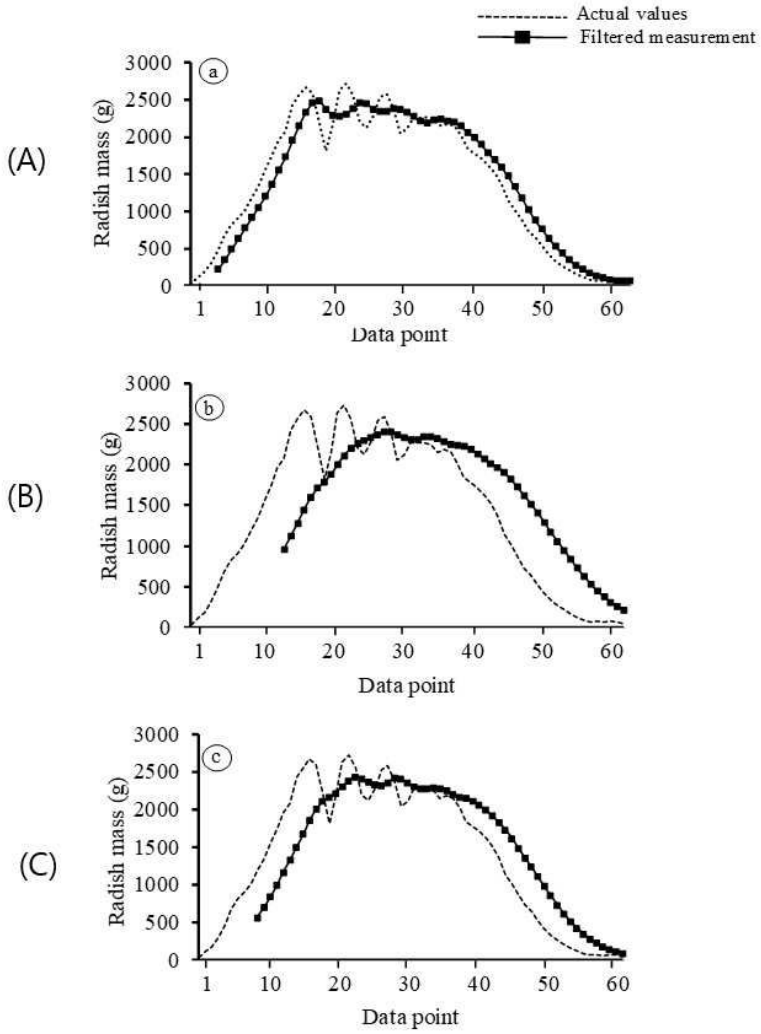
(B)


b
0.05 m/s
0.15 m/s
0.25 m/s
25
20
15
10
5
0
3
6
9
Slope (º)

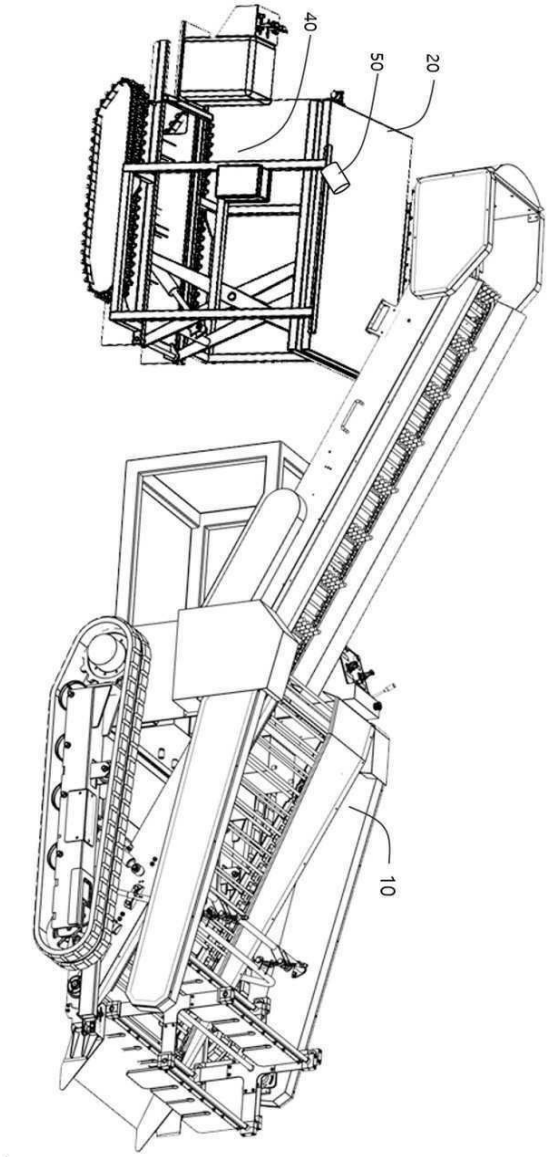
(C)


c
Relative error, %
10
8
6
4
2
0
3
6
9
Slope (º)

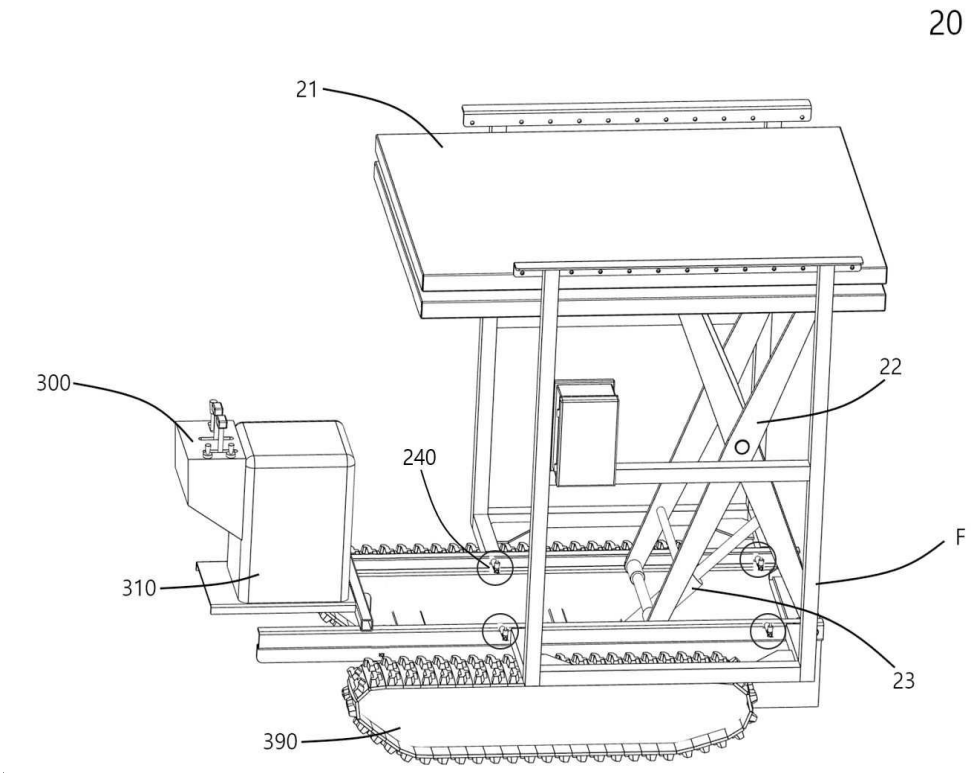
도면12


Actual values
Filtered measurement
(A)
(B)
(C)
a
b
c
Radish mass (g)
Data point
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
1
10
20
30
40
50
60

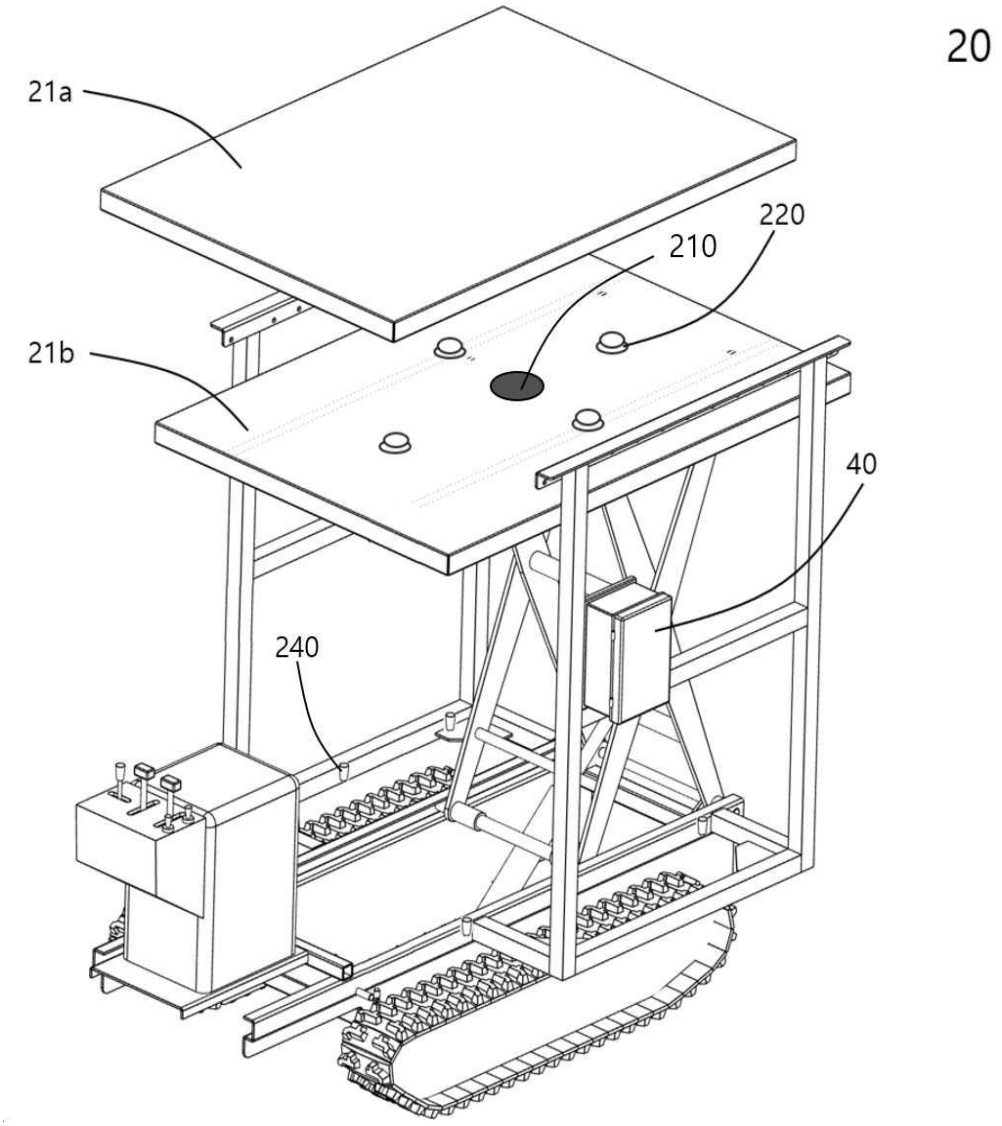
도면13



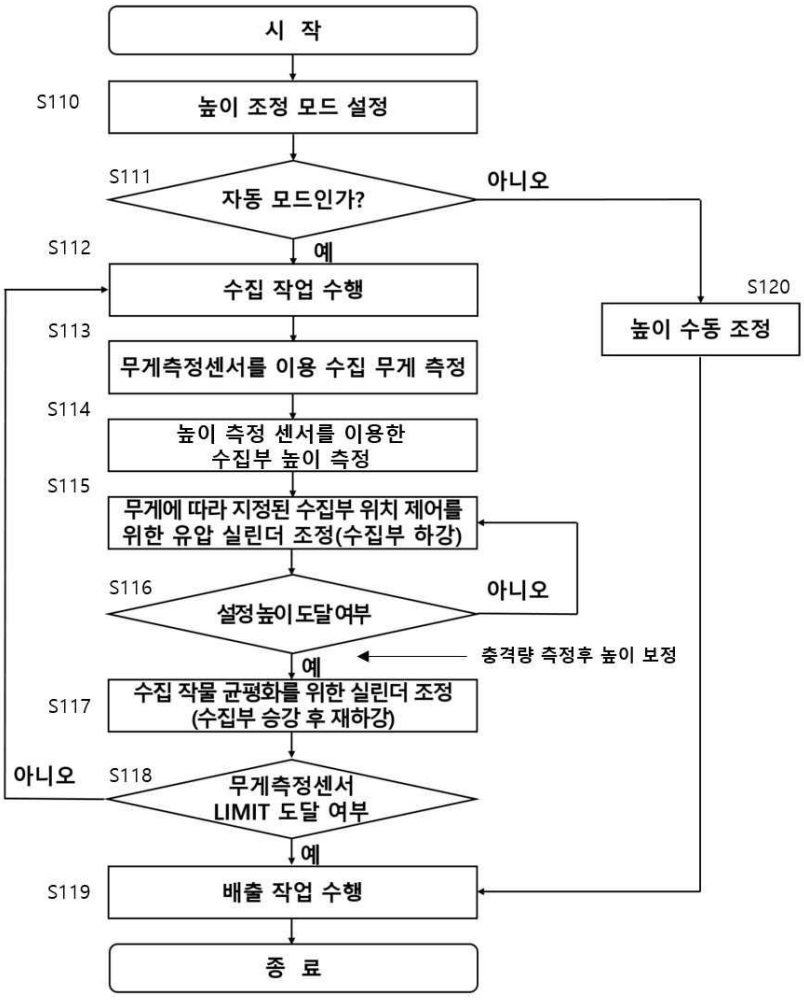
도면14



도면15



도면16


시 작
S110
높이 조정 모드 설정
S111
자동 모드인가?
아니오
예
S112
수집 작업 수행
S120
높이 수동 조정
S113
무게측정센서를 이용 수집 무게 측정
S114
높이 측정 센서를 이용한
수집부 높이 측정
S115
무게에 따라 지정된 수집부 위치 제어를
위한 유압 실린더 조정(수집부 하강)
S116
설정높이도달여부
아니오
충격량 측정후 높이 보정
예
S117
수집 작물 균평화를 위한 실린더 조정
(수집부 승강 후 재하강)
아니오
S118
무게측정센서
LIMIT 도달 여부
예
S119
배출 작업 수행
종 료