

2019 한국원예학회 춘계학술발표회  
수확후관리분과

# 신선농산물 물류를 위한 최신 연구 동향

서울대학교  
바이오시스템공학전공

김기석

May 24, 2019

# 목 차

---

- I. 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술
- II. 농산물 유통 중 스마트 품질관리기술
- III. 농산물 산지유통센터 첨단적용기술  
(ROBOTICS IN LOGISTICS)

# PART I.

---

## I. 신선농산물 수확 후 스마트 저장

### 관리기술

- II. 농산물 유통 중 스마트 품질관리기술
- III. 농산물 산지유통센터 첨단적용기술  
(ROBOTICS IN LOGISTICS)

# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

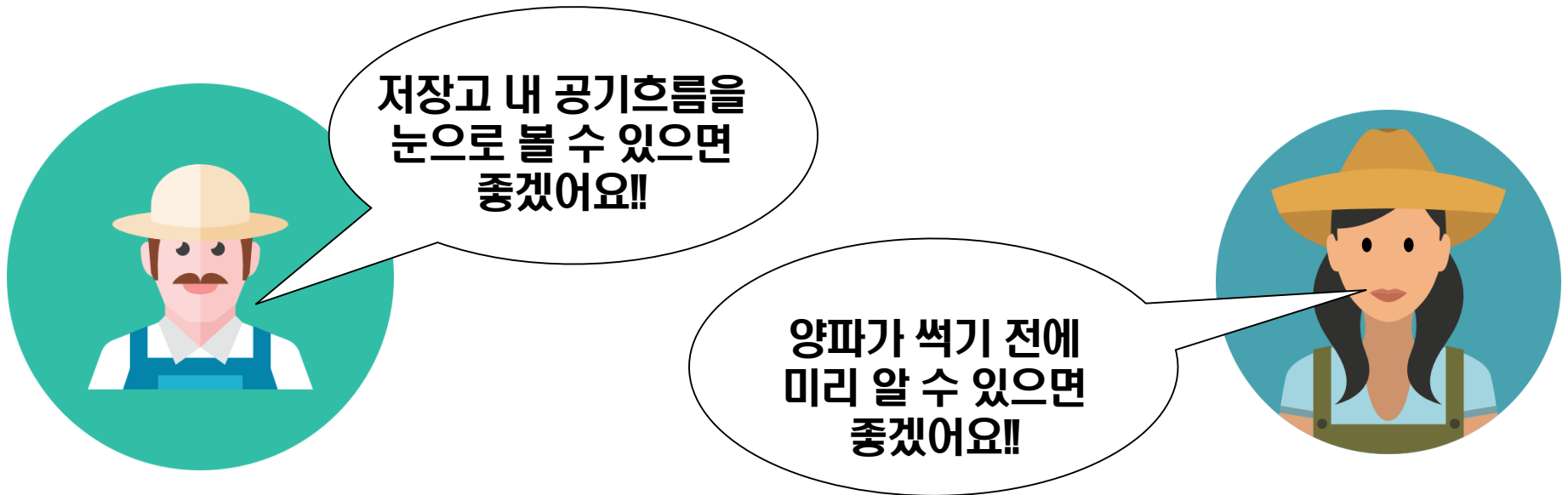
양파는 국내 채소류 중 생산량 2위이면서 국내 자급률이 100%인 국내 농산물 중 최대 저장 작목으로 양파 손실은 저장 중 30% 이상 발생됨  
전체 농산물 저장량의 약 50% 점유

수확 후 손실 어떻게 막을 것인가?



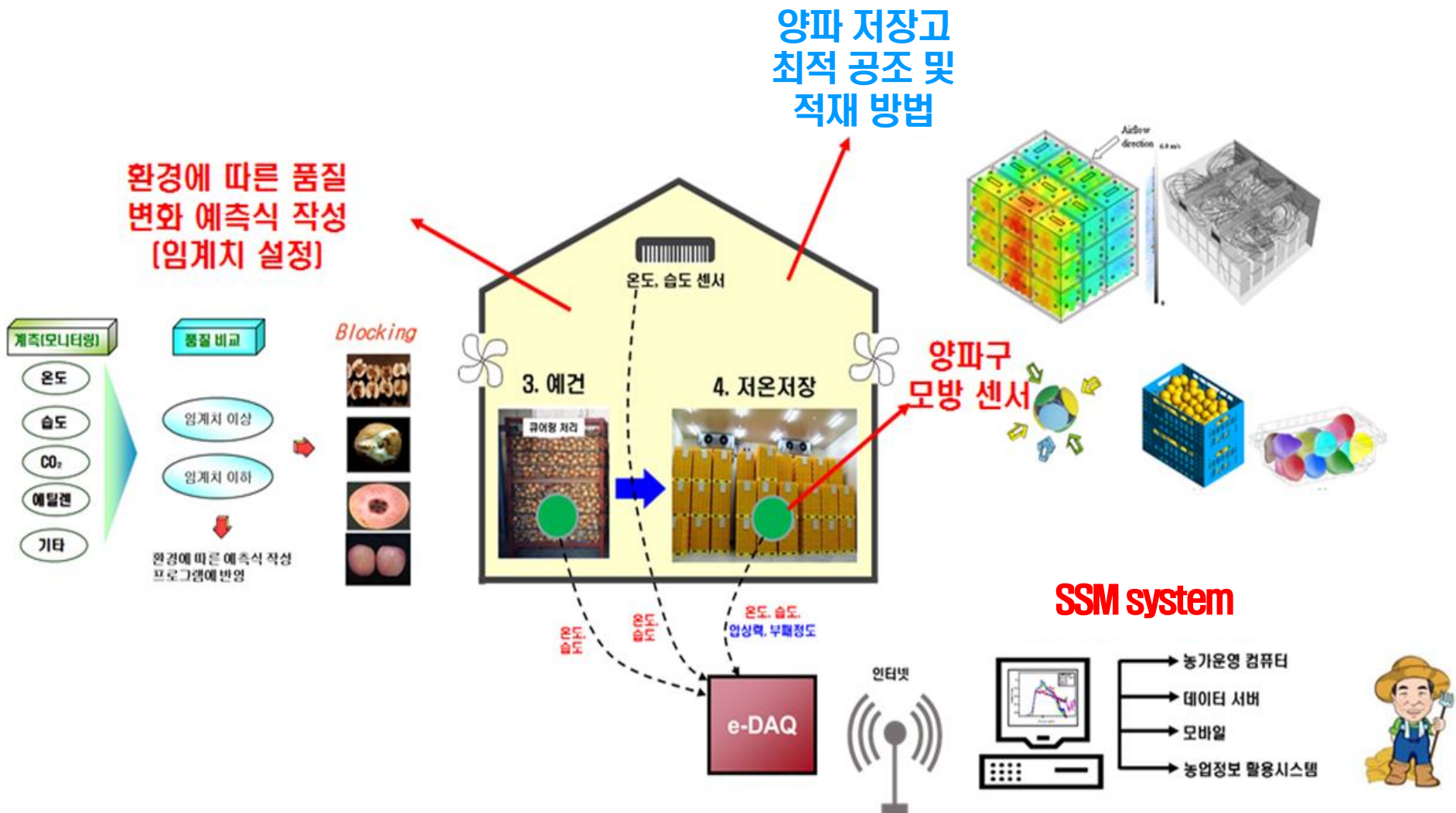
# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

저장시설의 대형화로 인한 내부 환경의 **균일성**·**안정성**·**적정성** 유지의 어려움  
저장고 **통기 불량**으로 인한 환경 조절 실패로 **감모율 증가**



→ → → 양파 품질 연계 양파 저온저장고에 적합한 **적재 방법** · **공조시스템** · **센서개발**  
이 필요함

# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술



# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

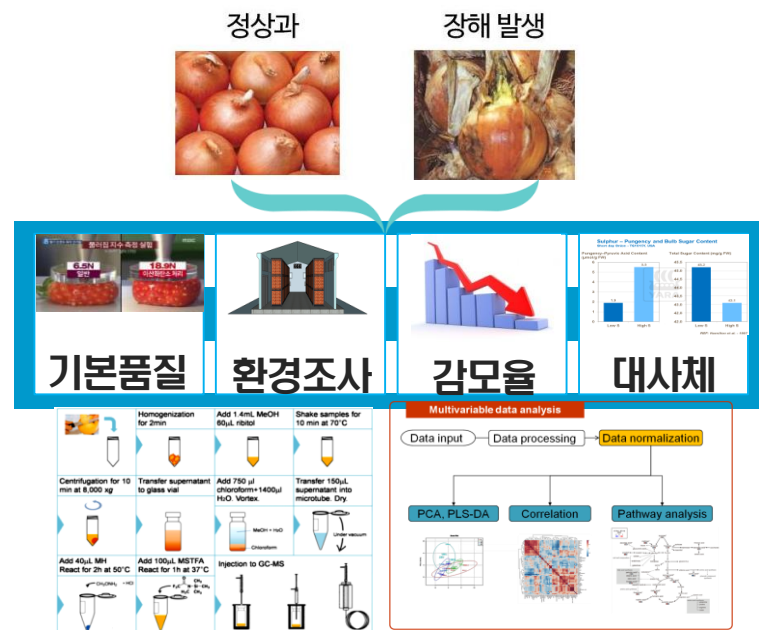
## 저장방법 및 환경에 따른 품질변화인자 발굴 및 예측모델 개발

- 품종, 저장방법 및 저장환경에 따른 품질관련 물질 분석
- 품질지표 정보 데이터베이스 (DB) 구축: 최대한 많은 양의 데이터를 수집

### < 품질 계측을 위한 연구 방법 >



<양파 수확후 손실 및 생리장해 발생원인>



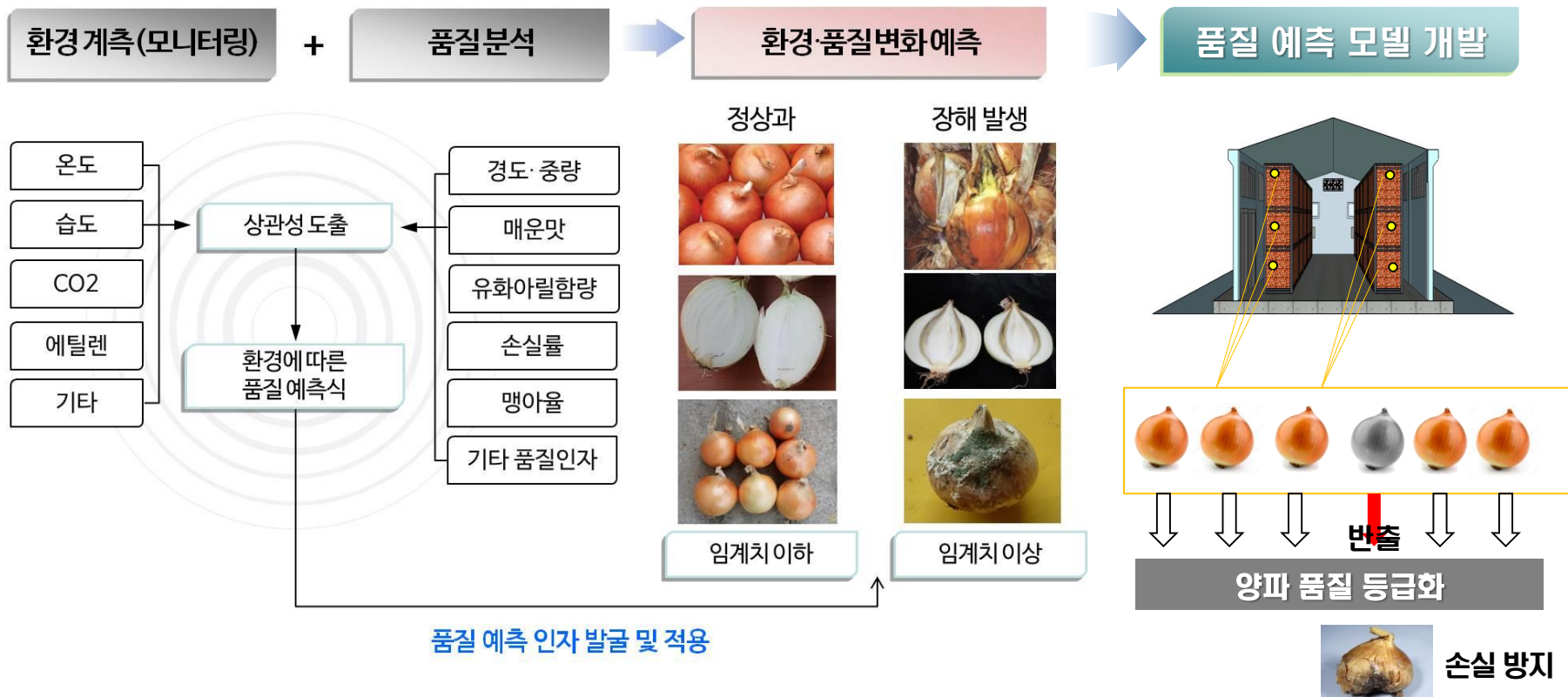
<양파 품질 관련 대사체 분석 기반>

# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

## 저장방법 및 환경에 따른 품질변화인자 발굴 및 예측모델 개발

- 양파 품질변화 계측기술 개발에 활용 가능한 후보 지표물질 선별
- 저장환경에 따른 품질변화 예측모델 개발 및 모의 시험

### < 품질변화 예측모델 개발을 위한 연구 방법 >





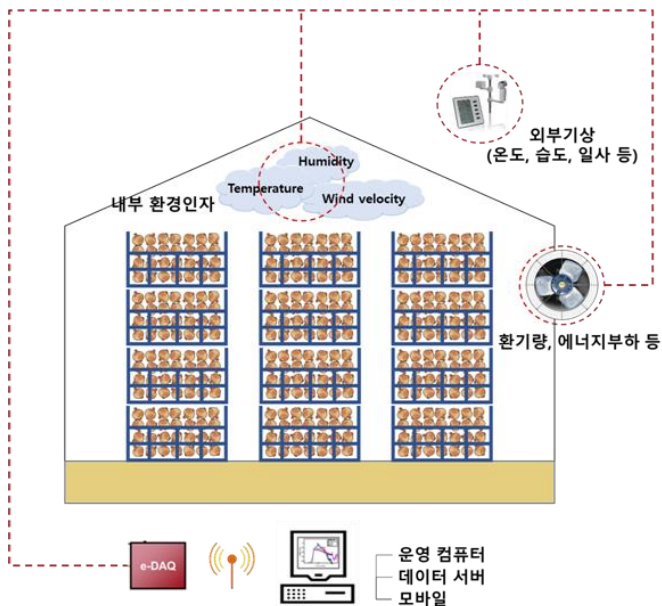
# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

## 저장환경 모니터링 및 양파 균락 공기역학적 특성 분석

- 품종, 계절, 저장고 종류별 내부환경인자 분석을 통한 문제점 도출 및 해결방안 분석
- 양파 개별 및 군별 공기역학적 특성 분석

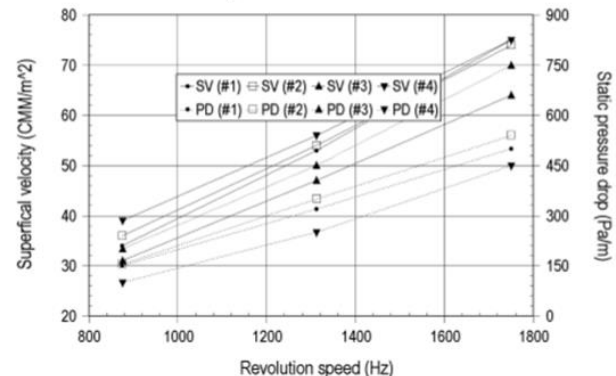
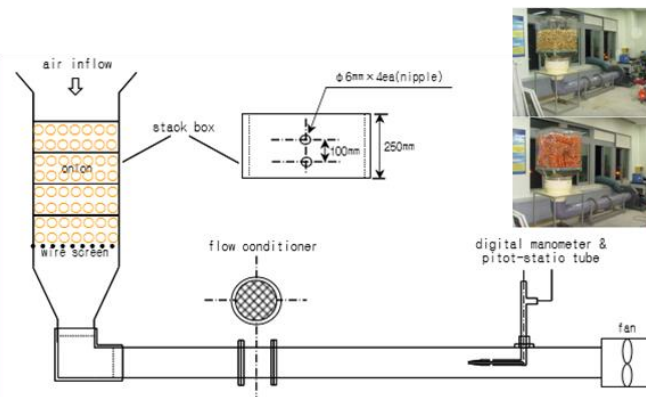
### 저장고 내·외부 센서 설치 및 환경 모니터링

- 센서 설치 및 환경요인(온도, 습도, 공기 유속 등) 모니터링
- 모니터링 결과 DB 축적



[환경요인 모니터링]

### 양파 균락에 의한 공기역학적 저항 측정



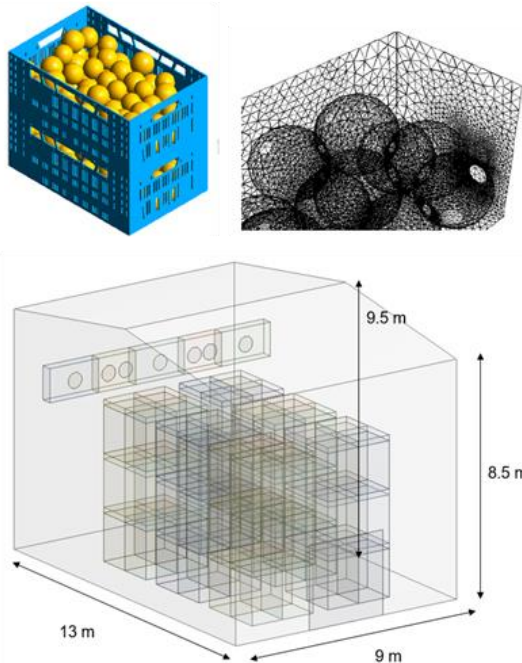
[양파 균락 공기역학적 저항 측정 예시 (백종민 등, 2009)]

# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

## 저장환경 및 운영조건 규명을 위한 전산유체역학 모델 개발

- 양파저장고 저장환경 및 운영조건 규명을 위한 전산유체역학 모델 설계
- 저장고 내 환경정보에 따른 양파 품질변화의 통계적 회귀모형 도출

양파 적재상자의 공기역학적 형상 모델에 따른 시물레이션 모델의 격자망 구성



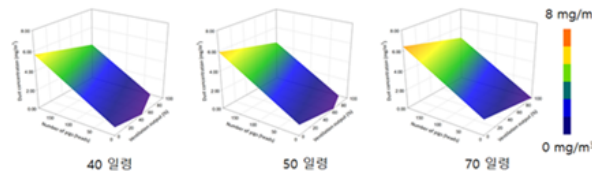
[양파저장고 전산유체역학 모델 설계]

양파 품질변화의 통계적 회귀모형 도출

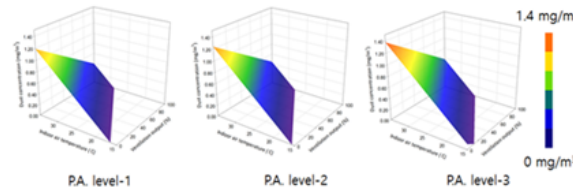
- 환경요인 (온도, 습도 등) 과 양파의 품질변화 간의 상관관계 분석 및 모형 개발

- 환경조건별 (내부 온도, 습도 등) 통계적 회귀모형을 통한 양파의 품질변화 예측 모델 개발

$$\begin{aligned} \text{Inhalable dust} &= -3.314 - 1.273 \cdot \text{ventilation rate} + 0.026 \cdot \text{age of animals} + 0.024 \\ &\cdot \text{number of animals} + 0.591 \cdot \text{dummy variable (a)} + 3.178 \cdot \text{dummy variable (b)} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Respirable dust} &= -1.040 - 0.624 \cdot \text{ventilation rate} + 0.053 \cdot \text{dummy variable (a)} + 0.190 \\ &\cdot \text{dummy variable (b)} + 0.064 \cdot \text{indoor air temperature} \end{aligned}$$



[통계적 회귀모형 도출 예시 (Suh & 2017)]

```
DEFINE_PROPERTY(cell_density,c,t)
{
  real tempt, Tn, temp;

  tempt = C_UDMI(c,t,udmnum);
  temp = C_T(c,t);
  Tn = get_tempprofile(tempt, 2);

  if (temp > 350)temp=350;
  else if (temp < 260)temp=260;

  return dens * Tn / temp;
}
```

```
DEFINE_PROPERTY(air_density,c,t)
{
  real tempt, Tn, temp;

  tempt = C_UDMI(c,t,udmnum);
  temp = C_T(c,t);
  Tn = get_tempprofile(tempt, 2);

  if (temp > 350)temp=350;
  else if (temp < 260)temp=260;

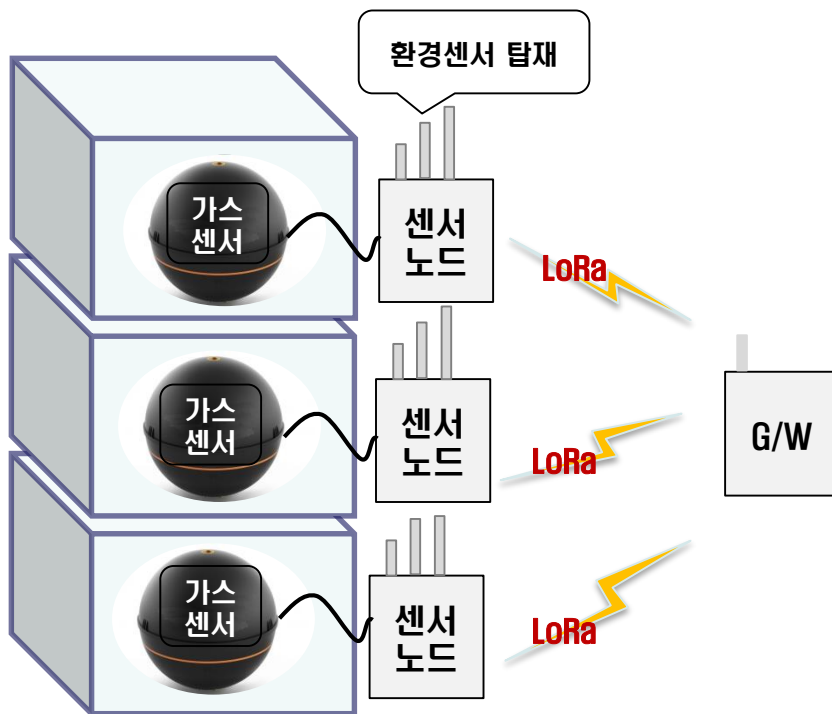
  if (tempt < 50)
  return dens * Tn / temp;
  else return dens;
}
```

[전산유체역학 적용 환경변수 예측 모델 개발 예시 (Lee & 2011)]

# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

## 저장고 스마트 관리시스템 개발

- 신선농산물 (양파) 적재함 내 농산물 모방센서 (환경, 물리적) 모듈
- 센서 모니터링 및 통신모듈, 저장고 운영관리 플랫폼 (Platform)



### ① 농산물 모방센서 모듈 개발

- $H_2S$ (황화수소),  $C_2H_4$ (에틸렌) 전기화학방식 센서 적용
- 양파 크기/모양 모방체 개발
- 무선 또는 유선으로 센서와 노드간 연결

### ② 센서노드 ↔ G/W간 통신 모듈 개발

- 8 ch 센서노드 적용
- LoRa통신 모듈 탑재
- 온/습도,  $CO_2$ (이산화탄소) 센서 내장형 센서 노드 개발

### ③ 운영관리 플랫폼 개발

- 클라우드를 이용한 (저온) 저장고용 운영관리 플랫폼 개발

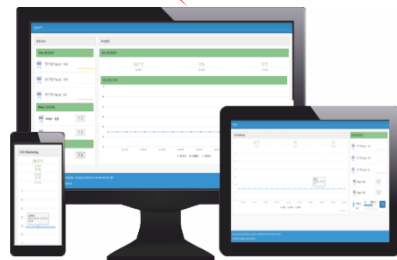
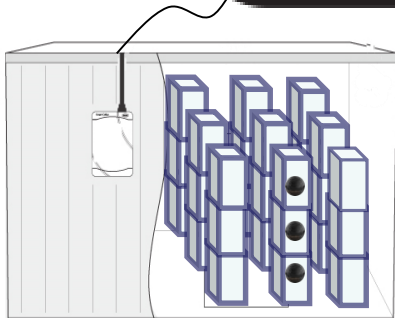
# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

## 저장고 스마트 관리시스템 개발

- 저온 저장고 통합관리 시스템 개발
- 저장고 센서 모듈 및 노드 고도화

### Cloud

- 센서 수집 정보
- 센서 제어 정보
- 양파 저장고 환경 제어 알고리즘
- 양파 재고 관리



## 저장고 환경 모니터링 · 제어(외부장치) 기능

- 저장고 환경 모니터링 기능
- **산지유통센터(APC)-ERP 기능 중 양파 입출고 관리기능 적용**
- 알고리즘 적용 자동 제어 기능

### 화면 구성 예시

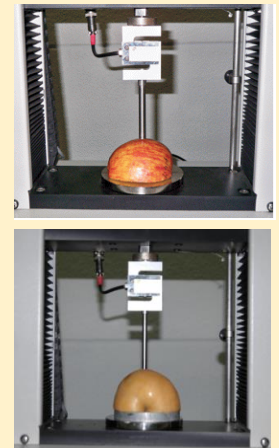
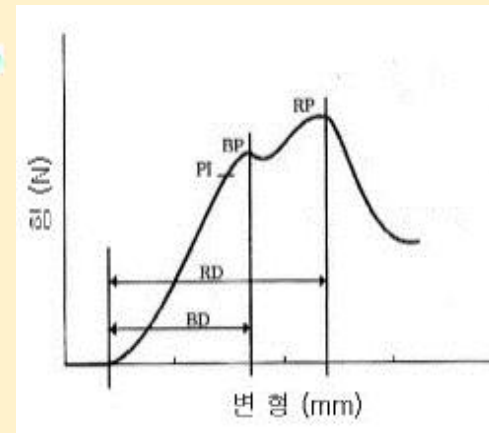
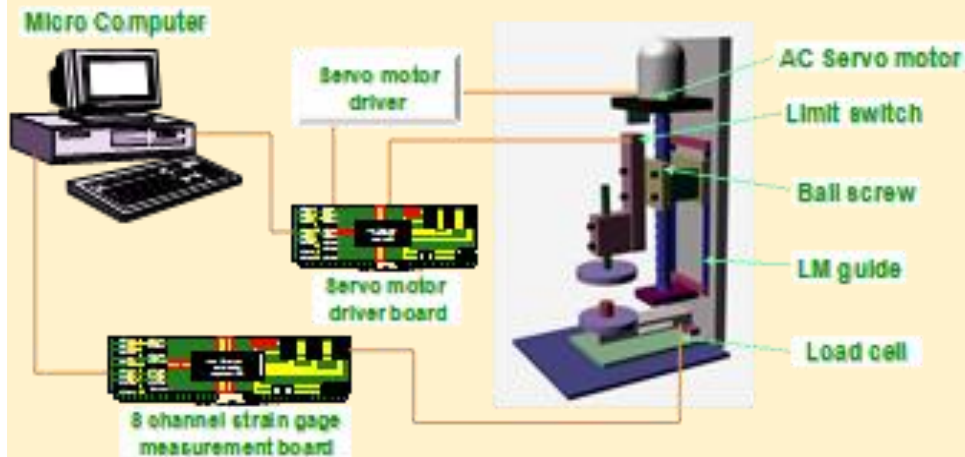


# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

## 신선농산물 모방센서 개발

### 기계적 생체물성 측정, 분석 및 해석모델 개발

- 실험방법 : 기계적 실험 (만능인장압축실험 등)
- 측정지표 : 생물체 항복강도, 탄성계수, 탄성도



**Force-deformation curve of fruit**

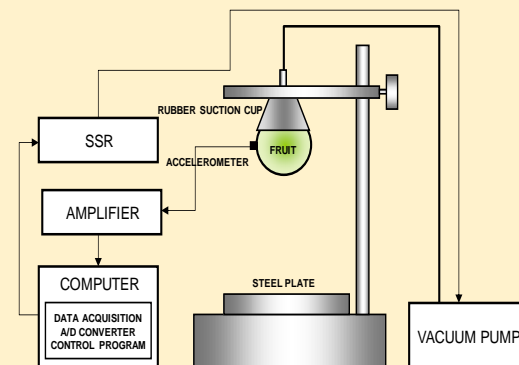
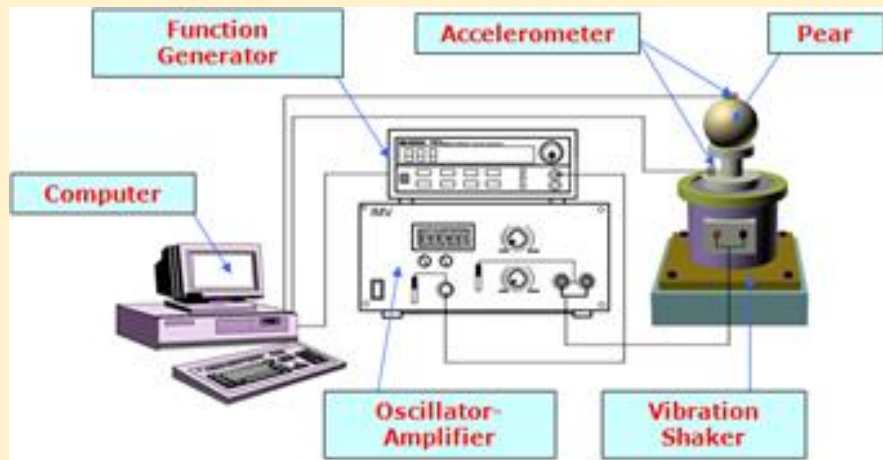
# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

## 신선농산물 모방센서 개발

### 생체 충격특성 측정, 분석 및 해석모델 개발

- 실험방법 : 진동실험, 낙하실험
- 측정지표 : 생체 진동특성 (고유주파수, 충격가속도)

### 생체 충격특성 [안전낙하높이, 충격손상]

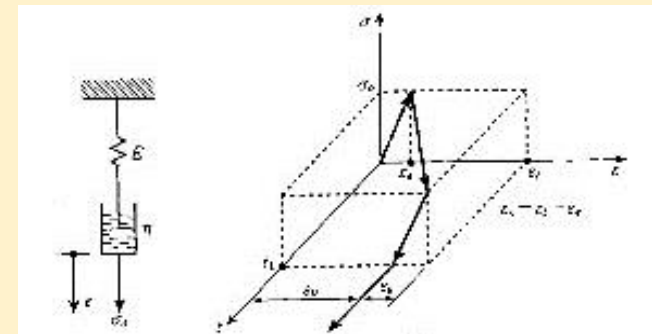
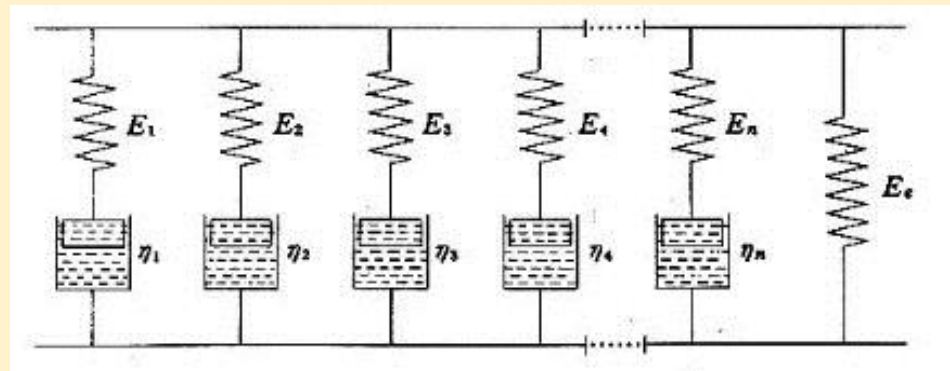


# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

## 신선농산물 모방센서 개발

### 생체 리올로지 측정, 분석 및 해석모델 개발

- 실험방법 : 크리프 실험, 응력이완실험 등
- 측정지표 : 리올로지 특성 (점성, 탄성, 소성, 점탄성)



$$\sigma(t) = \epsilon_0 \left[ E_1 \exp\left(\frac{-t}{\tau_1}\right) + E_2 \exp\left(\frac{-t}{\tau_2}\right) + E_3 \exp\left(\frac{-t}{\tau_3}\right) + \dots + E_n \exp\left(\frac{-t}{\tau_n}\right) + E_e \right]$$

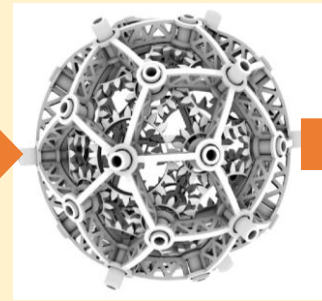
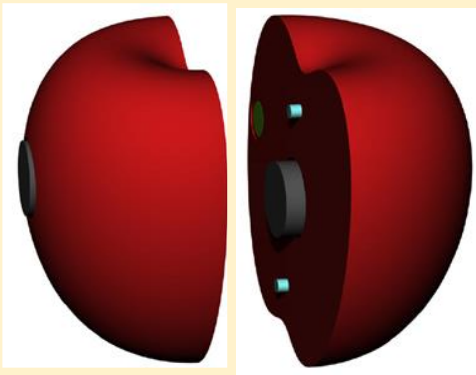
# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

## 신선농산물 모방센서 개발

### 생체물성특성 및 유한요소모델 기반 3차원 생체모방 모형 개발

- 방안 1) 3D 프린터 기반 청과물 생체모방 모형 설계/제작
- 방안 2) 스프링 및 감쇠기 (damper)기반 트러스 구조의

### 청과물 생체모방 모형 제작



트러스 구조의 청과물 생체모방 모형 제작 flow

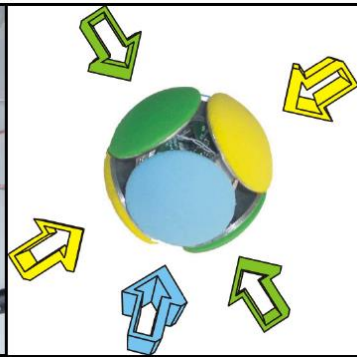
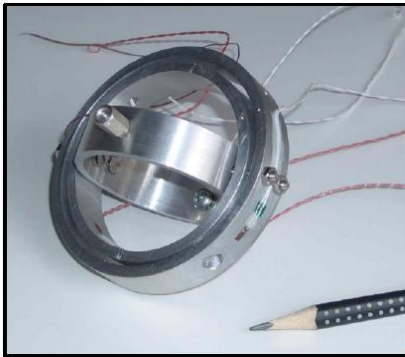


# 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

## 신선농산물 모방센서 개발

### 다중 센싱모듈 내장형 생체모방센서 개발

- 측정대상 : 압상 하중, 진동, 품온 (온도), 습도, 에틸렌가스, 황화수소, 이산화탄소
- 위치정보 전송모듈 및 전원모듈 개발



# PART II.

---

I. 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

**II. 농산물 유통 중 스마트 품질관리기술**

III. 농산물 산지유통센터 첨단적용기술

(ROBOTICS IN LOGISTICS)

# 농산물 유통 중 스마트 품질관리기술

온라인에서 사는 신선농산물은 복불복이다!!

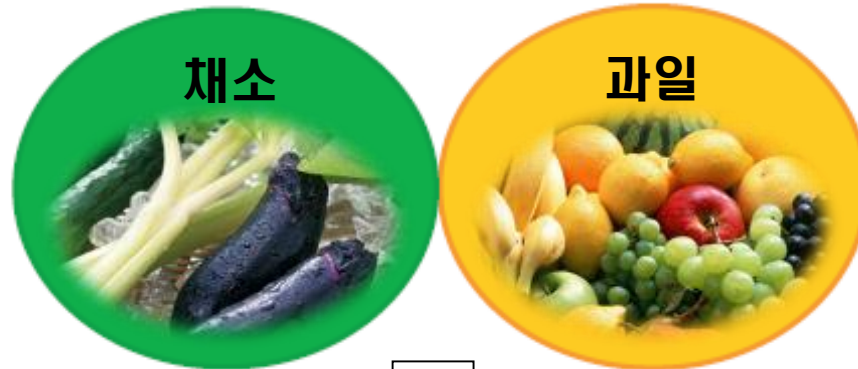
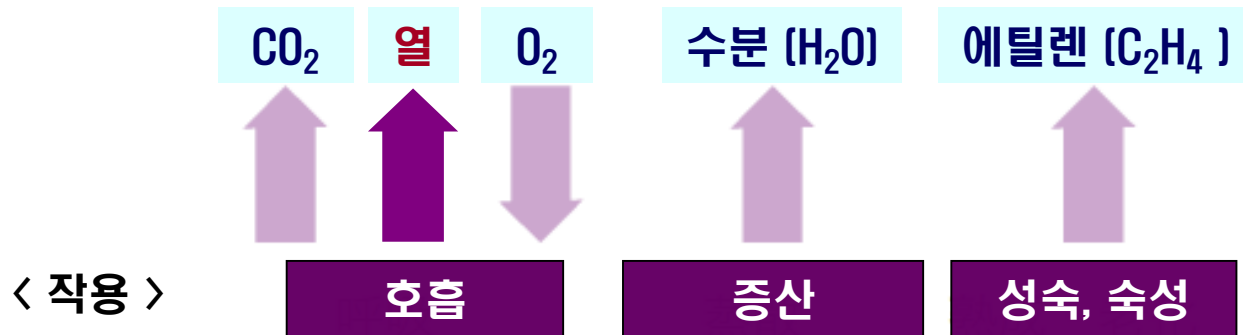


농산물 유통 중

품질관리, 신뢰성 확보 절실함

# 농산물 유통 중 스마트 품질관리기술

## 청과물 수확 후 주요 생리작용



온도, 습도  
진동, 충격  
은 모든 생리작용에  
영향을 준다.

품질

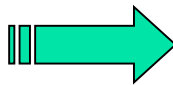
■ 양분소실 ■ 수분손실 ■ 색 변화, 조직연화, 풍미변화

■ 부패 (변질)

# 농산물 유통 중 스마트 품질관리기술

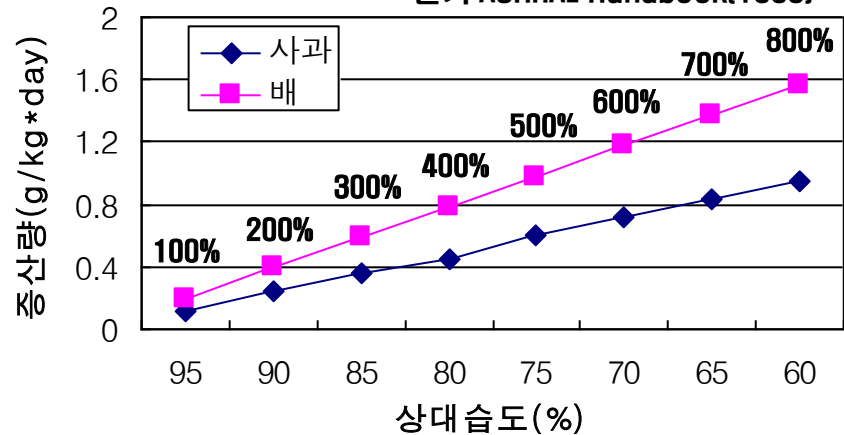
## ■ 유통환경 조건

- 온도
- 습도
- 이상기온 (폭염, 냉해 등)



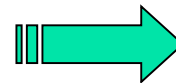
## 유통/저장 중 온도, 습도에 따른 증산량

근거:ASHRAE Handbook(1998)



## ■ 유통 중 농산물에 가해지는 진동, 충격특성

- 도로 조건 (Road Roughness)
- 수송거리 (Distance)
- 이송속도 (Traveling Speed)
- 하중 (Load)
- 운반차량 특성 (Suspension, 차축 등)
- 포장재 및 적층 방법



## 유통 중 진동 (마찰)에 의한 표면손상



# 농산물 유통 중 스마트 품질관리기술

**네덜란드:** 사과, 복숭아 품질변화 예측시스템 (의사결정 지원시스템)  
*People* – 2011년 온라인 서비스 개시

- 사과, 복숭아의 수확 후 유통/저장 중 생산자, 유통업체를 대상으로 품질을 예측, 평가하여 품질향상 방안을 제시함



## People

Decision Support System  
for  
Simulation of Postharvest Quality Changes  
in  
Fruit Supply Chains



*People* is a prototype Decision Support System to:

simulate quality changes  
of apples and peaches  
along different supply chains  
to meet the demands of consumers  
and consequently stimulate the increase of fresh fruit  
consumption.

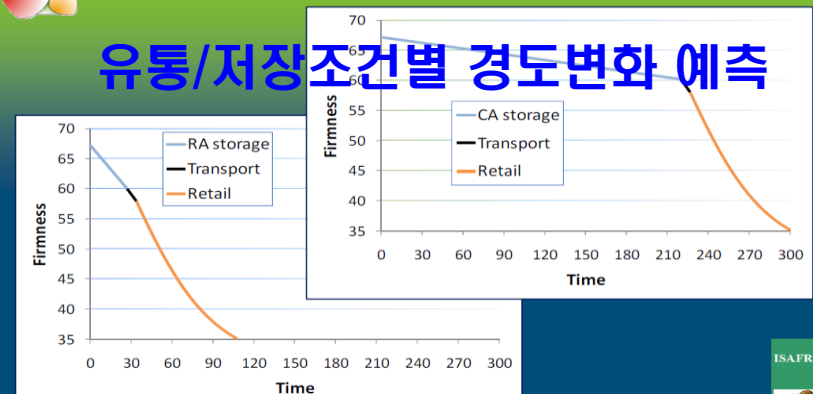


*People* contains models for several apple and peach quality indices:

- firmness
- acidity
- soluble solids content
- skin colour

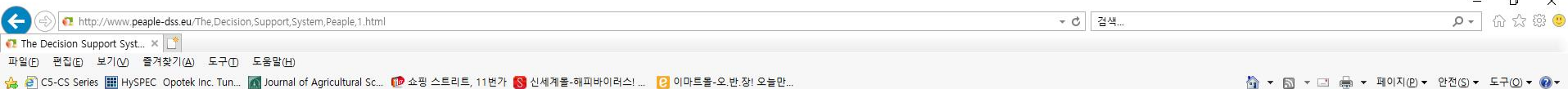


## 유통/저장조건별 경도변화 예측



# 농산물 유통 중 스마트 품질관리기술

네덜란드: 사과, 복숭아 품질변화 예측시스템 (의사결정 지원시스템)  
**People** – 2011년 온라인 서비스 개시



**People**

Home How does People work? Download FAQ People people Search

*Knowledge of mechanisms determining postharvest changes in fruit quality underpins the development of customized strategies for fruit handling.*

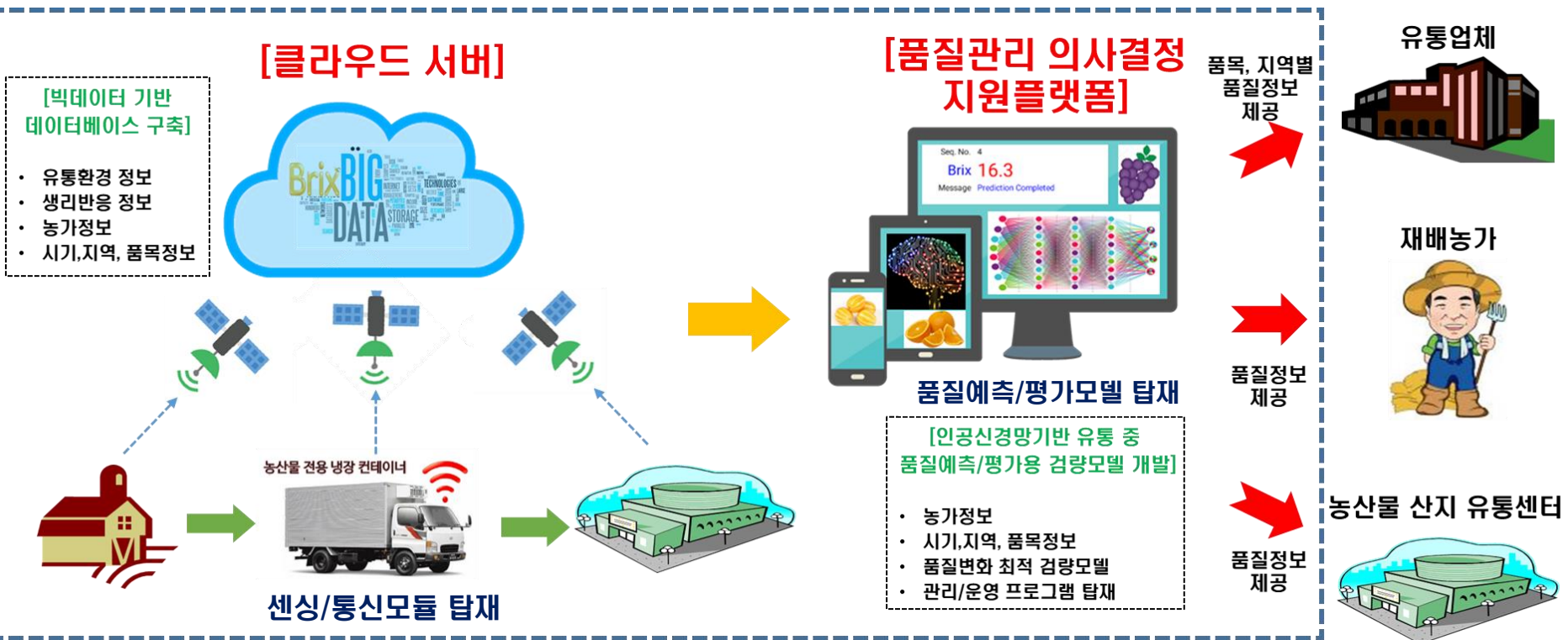
Three line graphs showing Firmness (Y-axis, 35-70) vs Time (X-axis, 0-300) for different stages:

- CA storage:** Firmness starts at approximately 68 and decreases to about 60 at Time 210.
- Transport:** Firmness starts at approximately 68 and decreases to about 40 at Time 120.
- Retail:** Firmness starts at approximately 68 and decreases to about 35 at Time 300.

- “People” 는 사과, 복숭아의 수확 후 공정 중 품질변화를 예측/평가할 수 있는 **품질관리 의사결정 지원시스템**으로 웹 기반으로 운영됨
- 원예산물의 수확 후 유통전략을 품목별로 **최적화**할 수 있는 **데이터-지식기반 플랫폼**

# 농산물 유통 중 스마트 품질관리기술

- 농산물의 **유통/저장환경**과 **품질(신선도, 품질인자)상태**의 실시간 관리 (모니터링) 및 예측이 가능한 **지능형 농산물 안전유통시스템**
- **ICT, 클라우드, 빅데이터 운영/분석기술, 인공지능망기반 모델기술의 융합**으로 농산물 유통 중 품질 (변화)상태를 평가, 예측할 수 있는 **ICT기반 신유통/고부가가치기술**

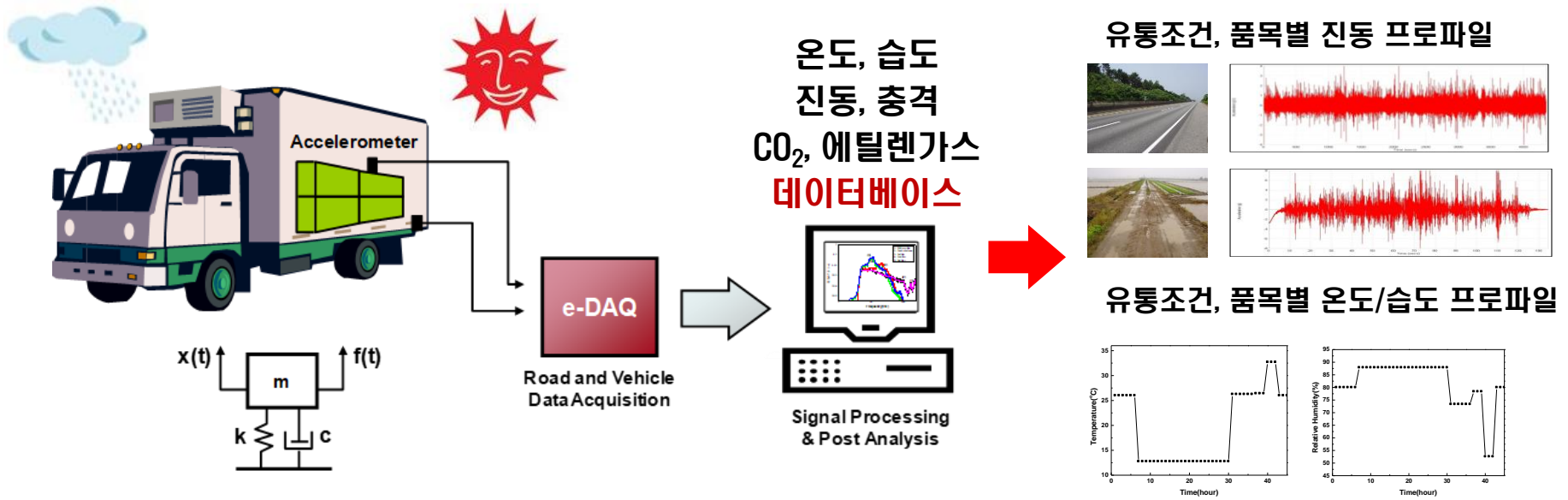




# 농산물 유통 중 스마트 품질관리기술

## 주요 농산물의 저장 및 유통 (수송)환경 분석

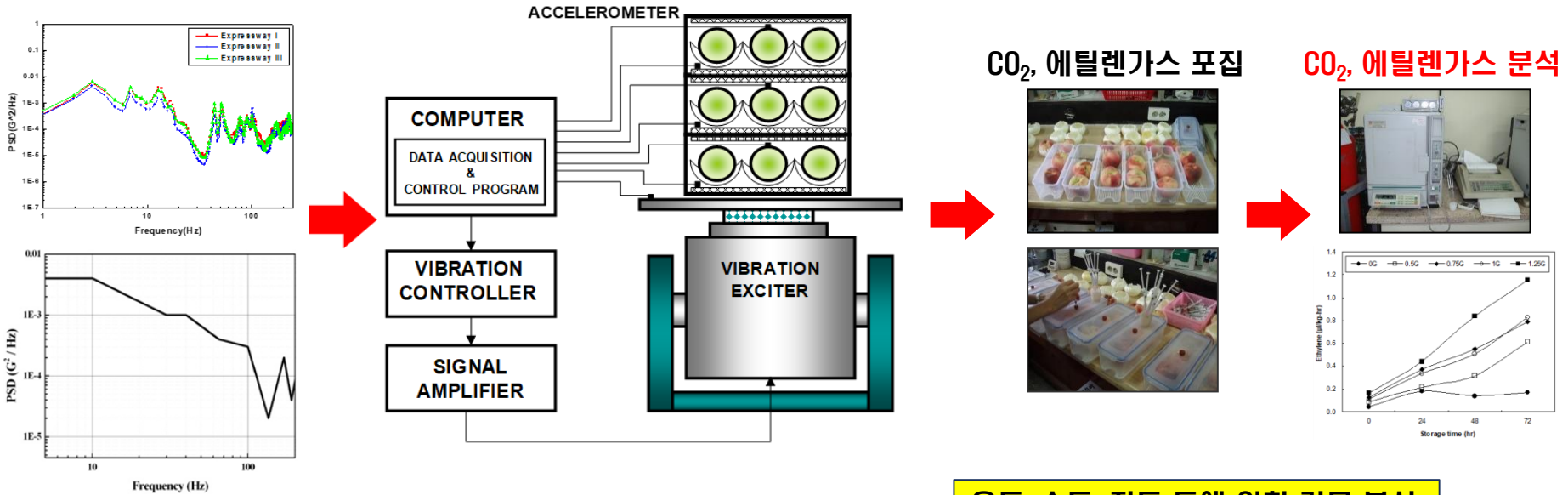
- 저장 및 유통환경 (온도, 습도, 진동, 충격) 및 생리적 반응 ( $\text{CO}_2$ , 에틸렌가스) 측정/분석
- 저장 및 유통 조건, 품목 별 환경 및 생리적 반응 데이터베이스 구축



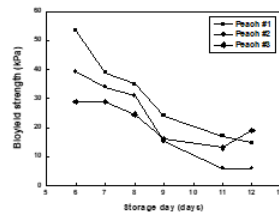
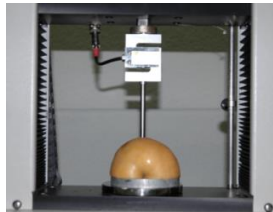
# 농산물 유통 중 스마트 품질관리기술

## 주요 농산물의 유통(수송)환경 분석

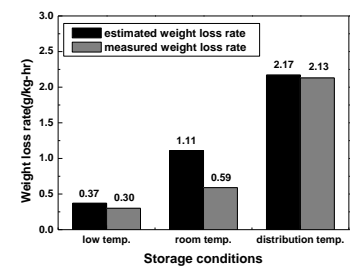
- 저장 및 유통환경 모의실험을 통한 품질저하 인자간 상관분석 연구
- 농산물 품질변화 예측모델 연구



### 온도, 습도, 진동 등에 의한 경도 분석



### 온도, 습도, 진동 등에 의한 감도 분석

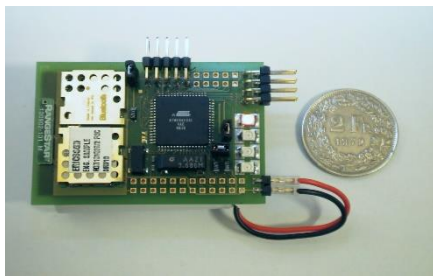


# 농산물 유통 중 스마트 품질관리기술

## 센서 및 통신기술 개발

- 무선 센싱 및 통신모듈 설계/개발
- 미들웨어 및 네트워크 구현

### 저장/유통환경 계측용 초소형 무선센싱모듈



다중 계측용  
무선센싱/통신모듈

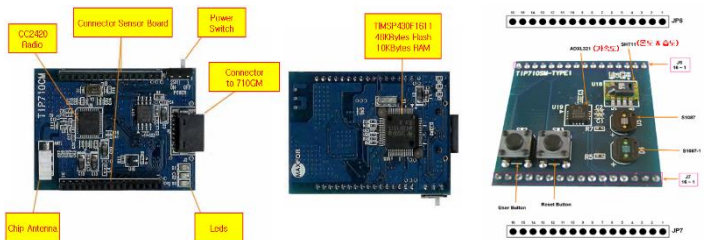
- 온도, 습도
- 진동, 충격
- CO<sub>2</sub>, 에틸렌가스

### 유통환경 및 유통센터 실시간 모니터링

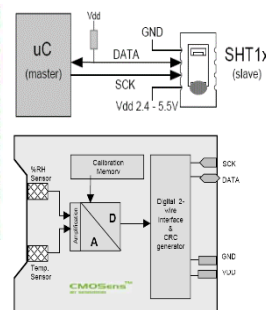


### 클라우드 서버

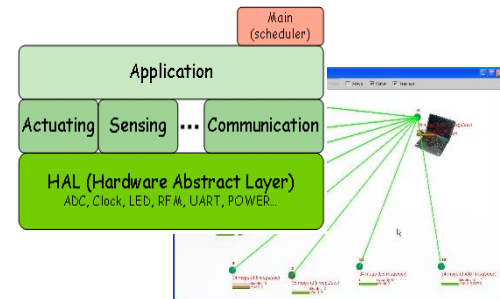
### 다중센서 통합모듈 설계/개발



### Base Station 소형화 설계/개발



### 네트워크 구현 및 성능평가



# PART III.

---

I. 신선농산물 수확 후 스마트 저장관리기술

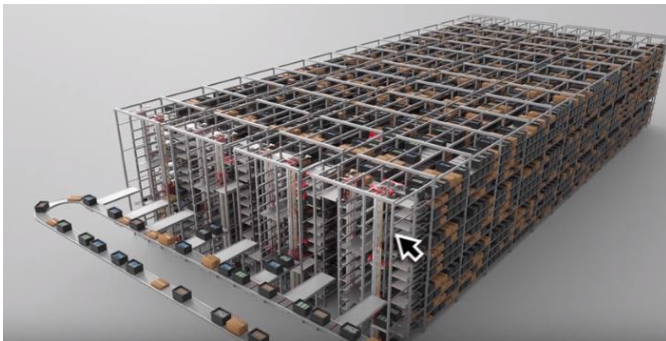
II. 농산물 유통 중 스마트 품질관리기술

**III. 농산물 산지유통센터 첨단적용기술  
(ROBOTICS IN LOGISTICS)**

# 농산물 산지유통센터 첨단적용기술

## AI 로봇 창고

- 4차 산업혁명의 가속화
  - 인공지능, 통신 및 로봇 무인화 기술의 결합
  - 이미 상용화된 대표 사례는 물류창고, 공장, 매장
- ✓ 스마트 창고 KIVA시스템은 2012년 아마존창고에서 도입 된 후, 물류 속도 단축 (75분→15분), 공간 효율 50%, 운영 비용 20% , 인력 1/2 감소시킨 핵심 기술임
- ✓ 아마존은 KIVA 외부판매 금지, 특허장벽으로 보호하고 있으나, 최근 아마존 출신 기술자들이 로봇회사를 설립, 알리바바, 진동, 쑤닝 등에서 프로젝트를 진행하고 있음



셔틀랙



다관절 로봇



자율주행 로봇

# 농산물 산지유통센터 첨단적용기술

## 아마존 창고에서 일어나는 일

- 아마존 창고에서는 AI, 카메라, 로봇 4만5천대를 투입하여, 물류창고의 작업, 재고관리 무인화를 진척하고 있음

### 1. 로봇(KIVA)기반 물류 작업 (13센타 4만5천대)

- ✓ 물류 입출고 속도 75분→15분
- ✓ 공간 효율 50% 증가
- ✓ 운영 비용 20% 감소
- ✓ 인력 1/2 감소



### 2. 무작위 적치 전략 (POD에 DVD, 책, 로션, 피클이 한 공간에)

- ✓ 저장 공간 100% 활용
- ✓ 최단 거리 적치
- ✓ 피킹 오류 'zero' 화



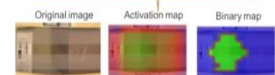
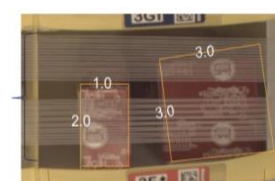
### 3. 카메라를 통한 재고 관리

- ✓ 재고수량 & 결품 파악
- ✓ 오적치 수량 파악
- ✓ 파손/낙상품 파악

선반 속 재고 물건 누락 확인

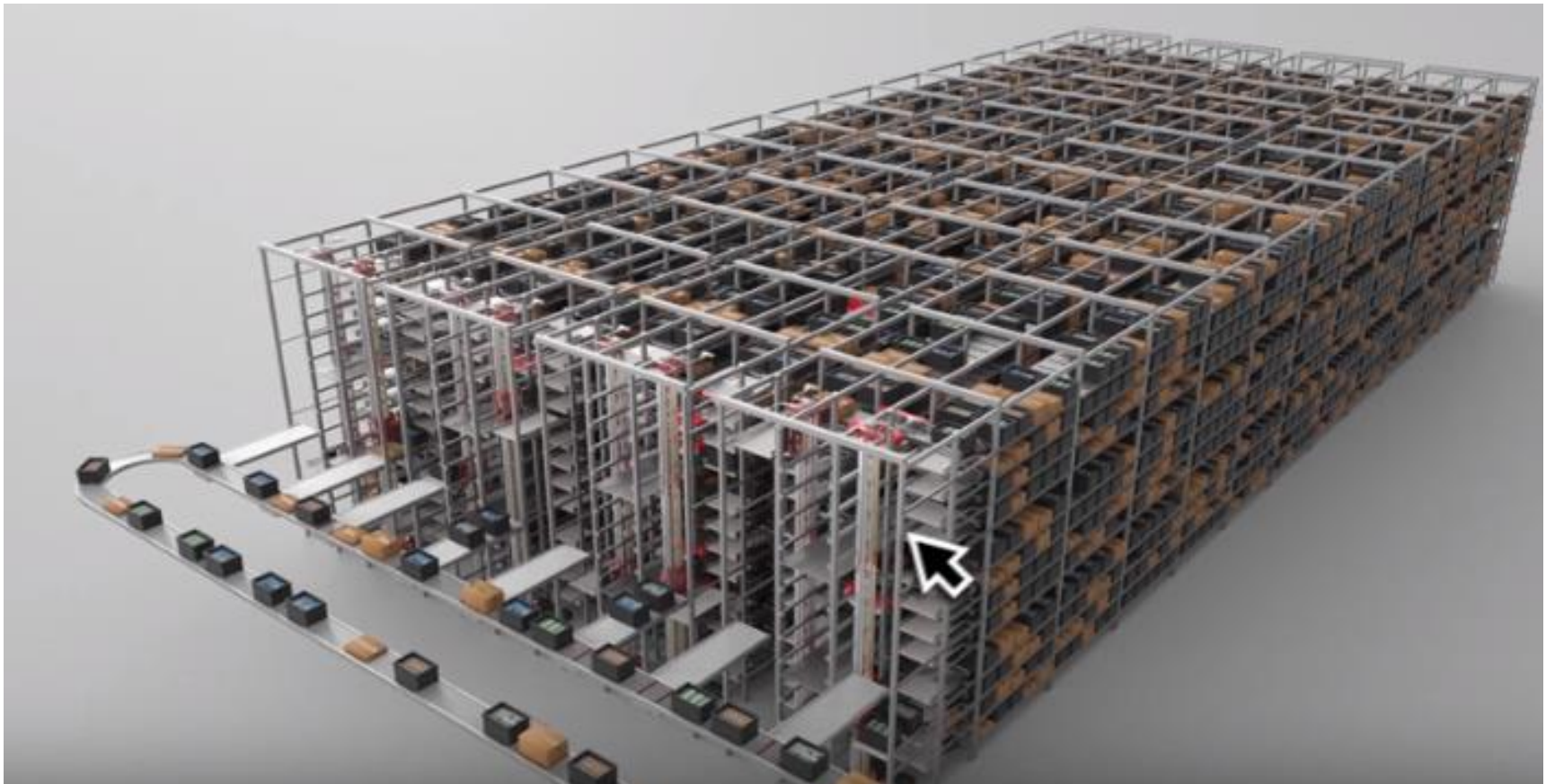


선반 속 재고 물건 갯수 확인



# 셔틀 랙

- ① 핵심 설비 : 선반랙 + DOLLY + 리프트
- ② 효과 : 1 로봇 피킹 360박스/h, 박스보관 66박스/평
- ③ 설치 : 삼성전자
- ④ 설비업체 : Y업체 (한국)
- ⑤ 동영상 (2분 30초) : <https://youtu.be/u-Nwd6RR6zU>



# 자율주행 로봇 (AGV)

- ① **핵심 설비 : AGV + TOTBOX + POD + WorkStation**
- ② **생산성: 1로봇 피킹 60 pod/h, 보관 22박스/평**
- ③ **설치 : 중국 쑤닝전자, 미국 아마존**
- ④ **동영상 (2분 20초): <https://www.youtube.com/watch?v=UtBa9yVZBJM&t=1s>**

## 핵심설비

① POD  
(로봇 운반용 랙)



② QR코드  
(로봇 이동 통로)



③ KIVA  
(AI 피킹/이동/적치)

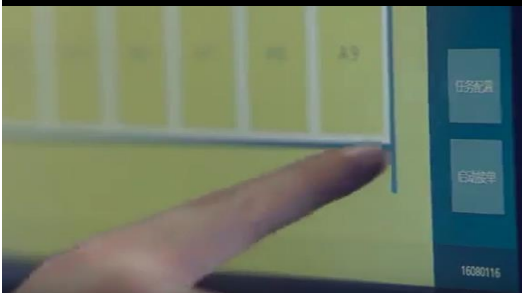


④ Work station  
(고객별 분류 작업)



## 작업프로세스 효과

① 시작 버튼 누르기



- ① 작업준비 시간 '0'
- ② 작업준비 공정 '0'

AI로봇이 최적동선 작업



- ① 실시간 오더 접수/처리
- ② 실시간 최적 동선 작업

② 꺼내기 [인력 공정]

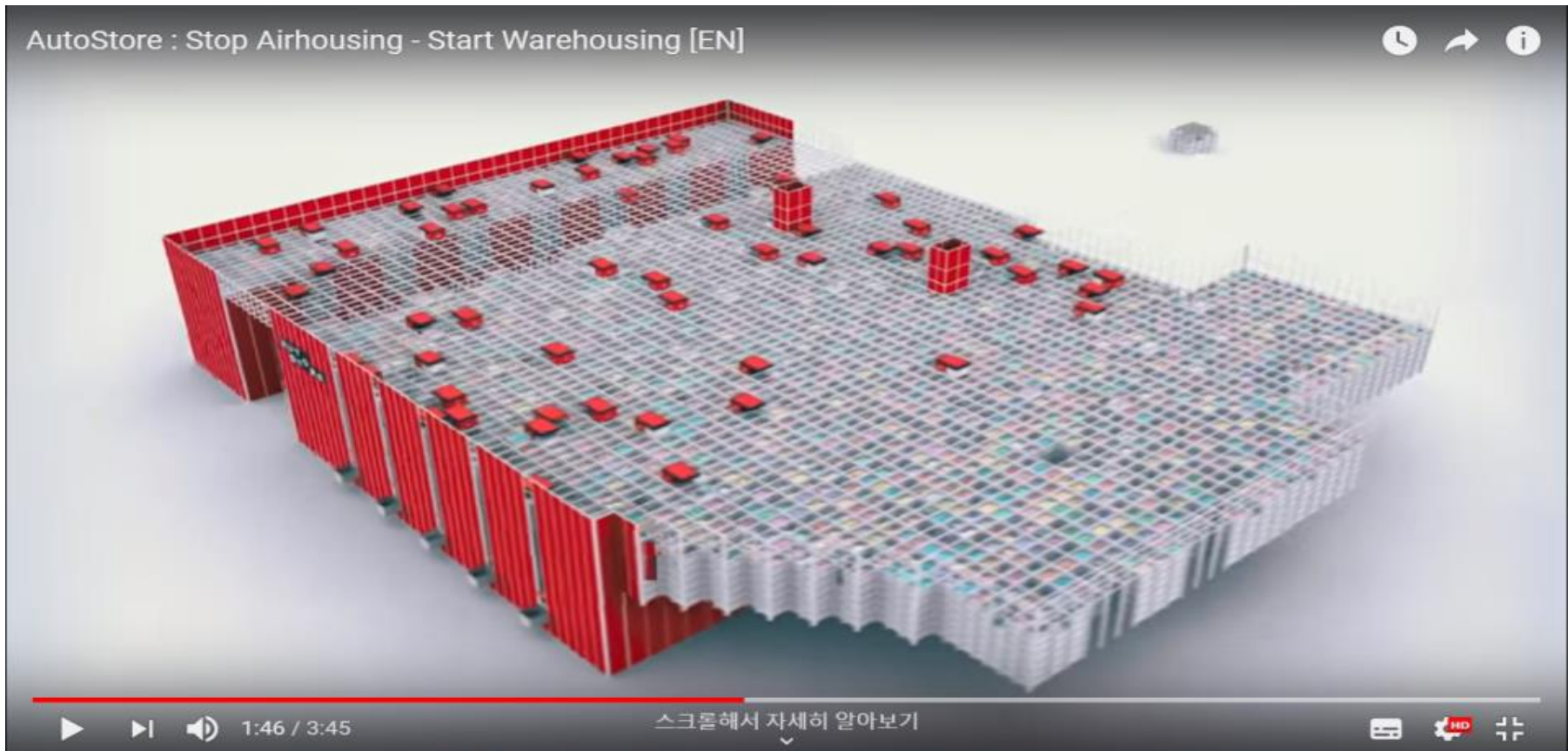


- ① 작업자 이동 거리 0
- ② 작업자 피로도 최소화



# 오토스토어

- ① 핵심 설비 : RGV + TOTBOX + WorkStation (84평)
- ② 효과 : 1로봇 피킹 25box/h, 보관 85box/평
- ③ 설치 : 롯데마트 이커머스 센터, 영국 OCADO
- ④ 설비업체 : L사 (한국)
- ⑤ 동영상 (3분 40초) : <https://youtu.be/Xnyn9l0hxSs>



**감사합니다!**

