

식물공장 환경관리기술 및 적용사례

2023. 4. 20.

PLAN  FARM

AgT 연구소
이공인

PLAN  FARM
MORE THAN TECHNOLOGY

PLANT : 1. 식물 2. 공장

PLAN  FARM

PLAN : n. 계획 (앞으로 하려는 일)

Technology

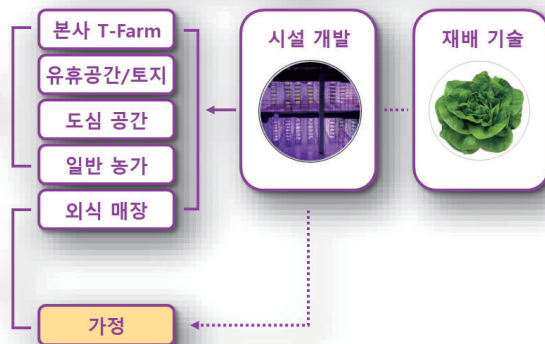
Agri-Tech / Total Controlled Environment



Farm8



PLAN  FARM

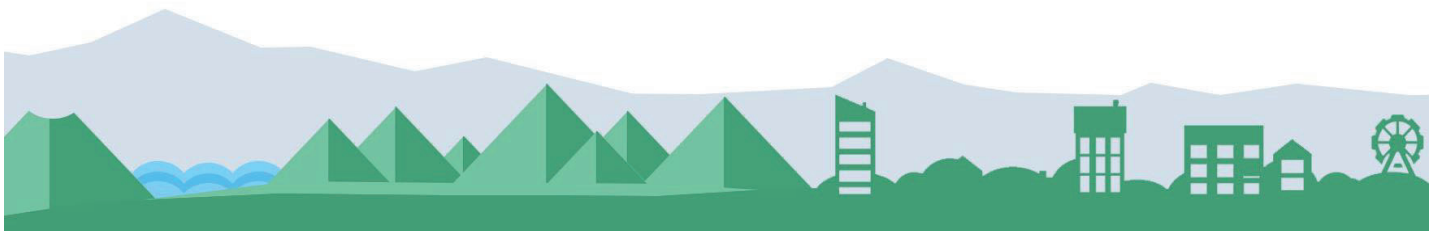


T-Farm 광산 식물공장

PLAN T FARM

◆ 목 차

- I. 식물공장 광원기술 및 적용사례
- II. 식물공장 공조기술 및 적용사례
- III. 식물공장 양액관리기술 및 적용사례



T-Farm Gwang San


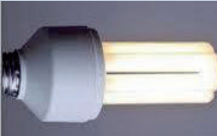


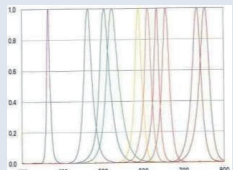
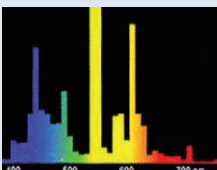
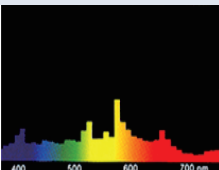
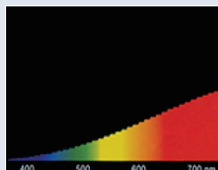
PLAN T FARM

수경재배시설 공정 개념도

PLAN T FARM

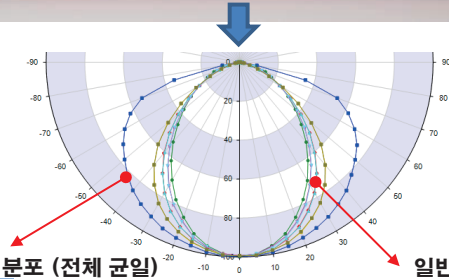
I. 식물공장 광원기술 및 적용사례

◆ 인공광원의 종류 및 특성

구분	LED조명(Blue/Red)	삼파장 (장미전구)	할로겐램프	백열전구
				
식물생장 효율	High	Middle	Middle	Low
소비전력(W)	30W	20W	50W	60~100W
수명(시간)	50,000시간	3,000~6,000시간	2,000시간	1,000시간
조사방향	균일조사	적은 면적	단면적	넓은 면적
광량 유지율	광량변화 적음	시간에 따라 저하됨	시간에 따라 저하됨	시간에 따라 저하됨
램프발열	50°C이하	100°C	300°C~	150°C
화재폭발위험	폭발위험 없음	○	○	○
스펙트럼 특성	Blue~Red	백색	조금 붉은색	백색광
수은함량(환경오염)	X	○	○	○
감전사 위험	감전사 위험 없음	누전차단기 필요	누전차단기 필요	누전차단기 필요
분광 감도				

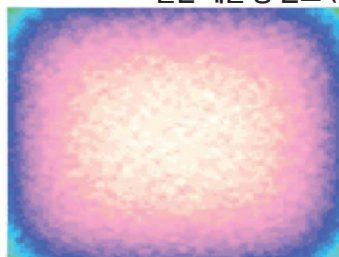
◆ LED 조명

◆ 광 균일도



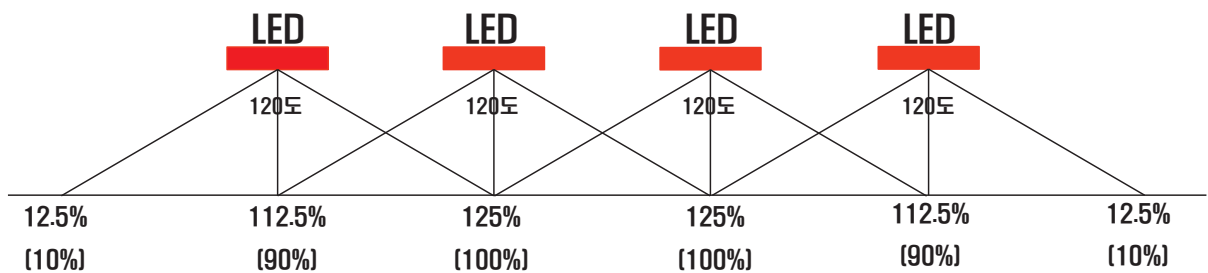
최적화 배열 광 분포 (전체 균일)

일반 배열 광 분포 (중앙 높음)

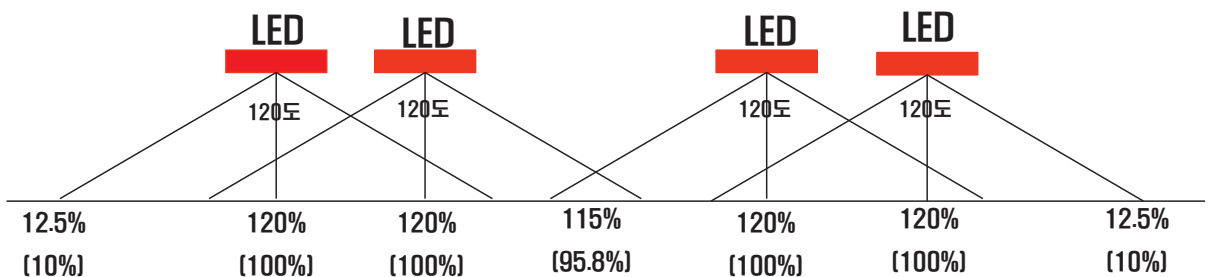


◆ LED 소자의 배열에 따른 배광 특성

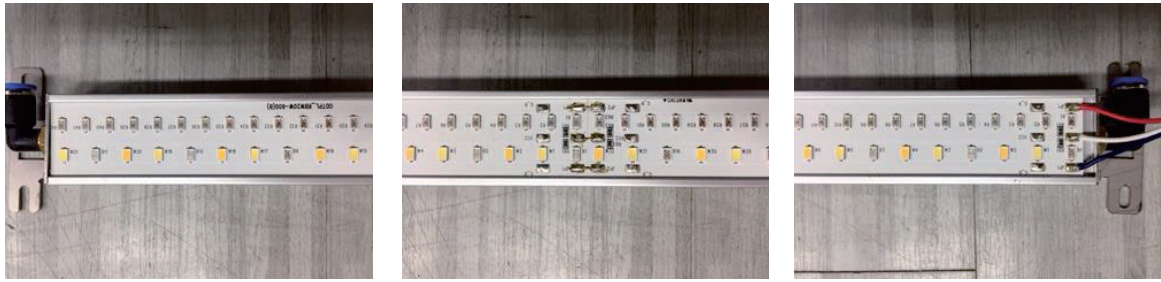
◆ 등간격 배열



◆ 비등간격 배열



◆ LED 소자 배열 상태



<등간격 배열>



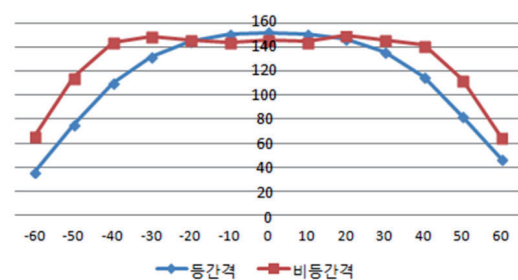
<비등간격 배열>

◆ LED 소자 배열 상태에 따른 위치별 광량

✓ Bar 타입 LED(1개) : 1m, 소비 전력 : 30W, R:G:B=7:1:3

[적하 30cm umol/m²S]

거리(cm)		-60 (베드 뒤)	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60 (베드 뒤)
등간격	광량	35.86	75.17	110	131.8	145.2	150.8	152.2	151.1	146.9	135.9	115	82.15	46.27
	[%]	23.6	49.4	72.3	86.6	95.4	99.1	100.0	99.3	96.5	89.3	75.6	54.0	30.4
비등간격	광량	65.8	115.2	144.5	149.4	146.1	144.4	146.1	145.0	150.0	146.4	142.0	113.1	64.6
	[%]	43.8	76.8	96.3	99.6	97.4	96.3	97.4	96.7	100.0	97.6	94.7	75.4	43.1

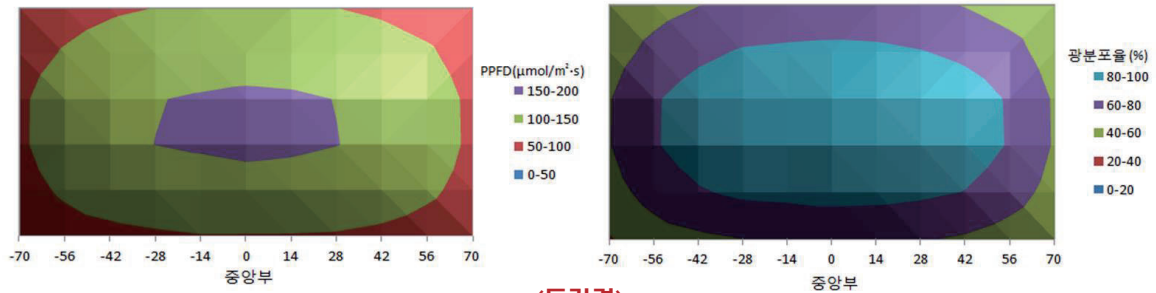


☞ 중앙부 : 100% → 96.3% (3.7% 감소)
가장자리 :: 49.4% 76.8% (27.0% 개선)

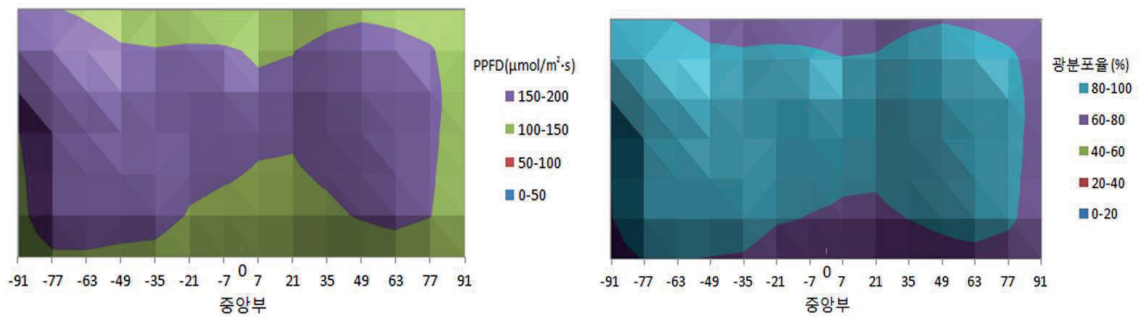
<위치별 광 분포도>

◆ LED 조명시스템 적용사례

◆ 광량 및 광 분포율



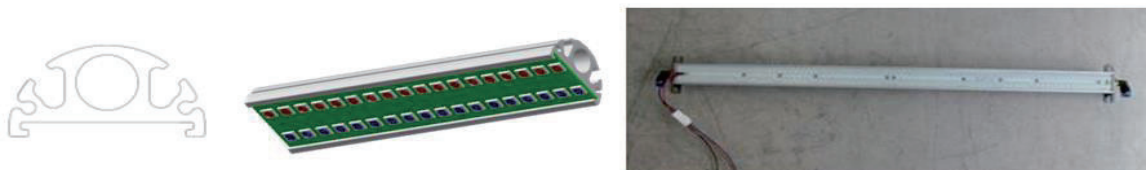
<등간격>



<비등간격>

◆ LED Bar 온도별 광 출력 변화

- ✓ LED : 60W(48V, 1.2A)
- ✓ 냉각방식 : 수랭식

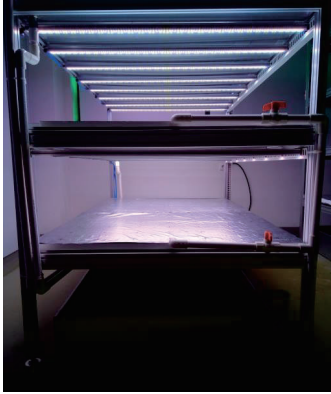


<LED Bar 구조>

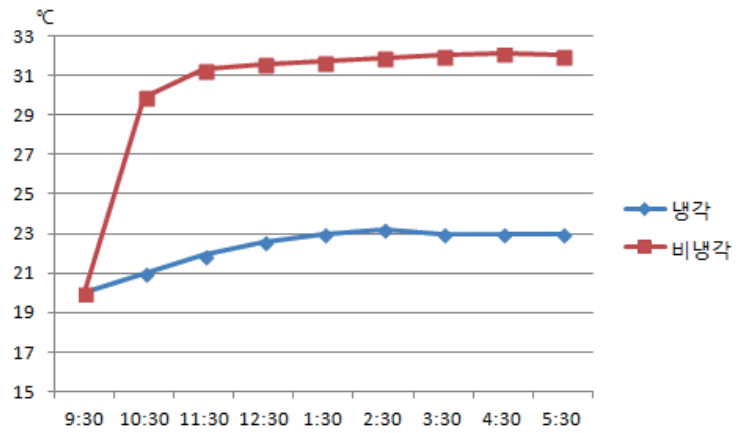
Temp.(°C)	20	35	40	50	65
PPFD(umol/m²s)	121.4	120.1	118.0	110.9	92.6
Ratio(%)	100	98.9	97.1	91.3	76.3

◆ LED 냉각효과

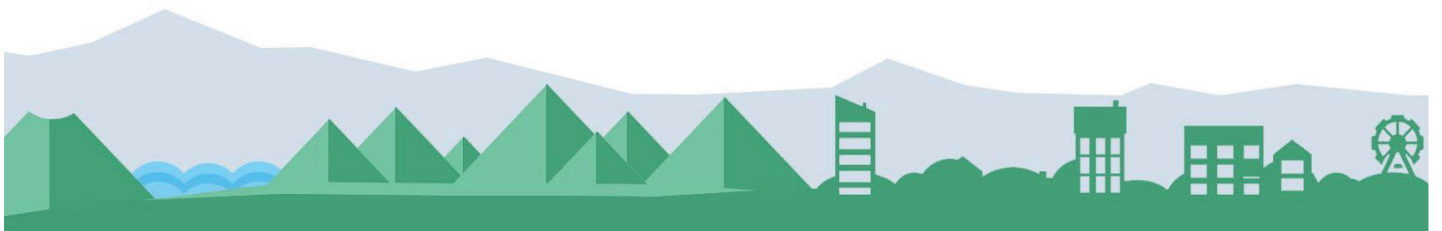
✓ 냉각방식 : 수냉식 (수온 17°C)



<LED 재배시스템>



II. 식물공장 공조기술 및 적용사례



◆ 식물공장 공조관리

- 기존 : 임의 지점의 온 · 습도 제어
- 개선 : 작물 성장, 증발 열부하, 조명 발열, 배양액 열방사 등 고려 설계
- * 시뮬레이터를 이용한 재배환경 최적화 연구(온도, 습도, CO₂, 기류속도 등)

☞ **작물의 품종, 생육단계에 따른 최적 공조설계 필요**



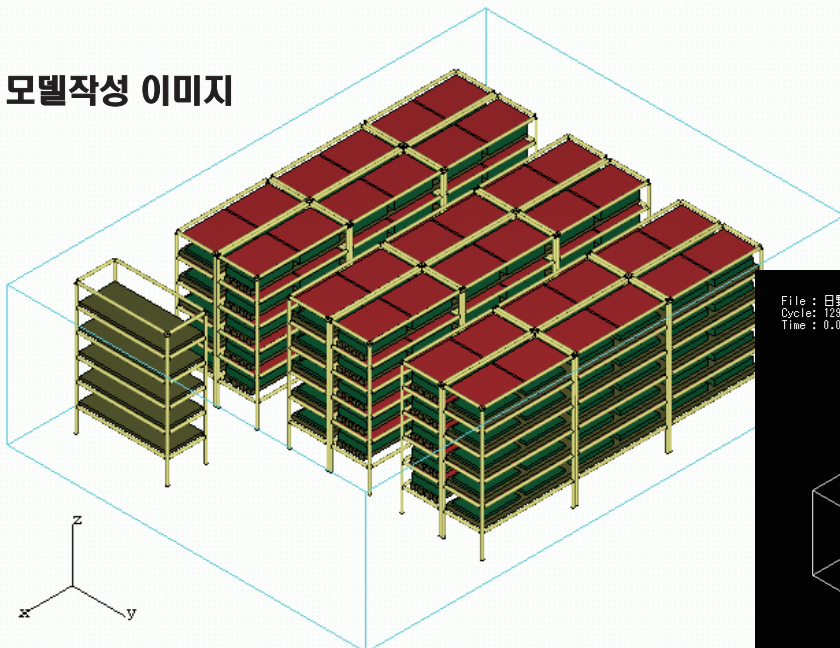
<임의 지점 온 · 습도 측정>



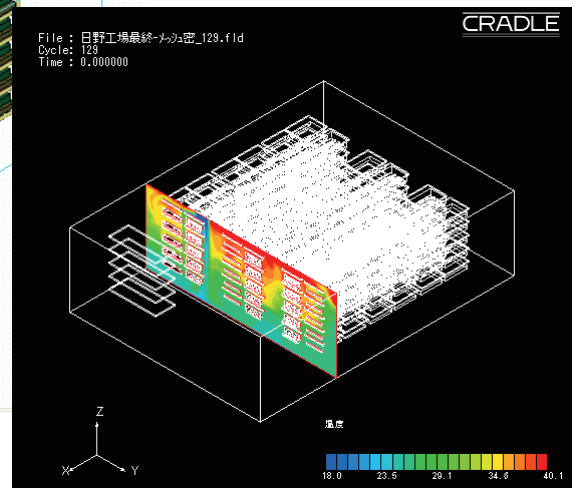
<재배환경 시뮬레이터>
(오사카부립대학)

◆ 식물공장 공조 설계

모델작성 이미지



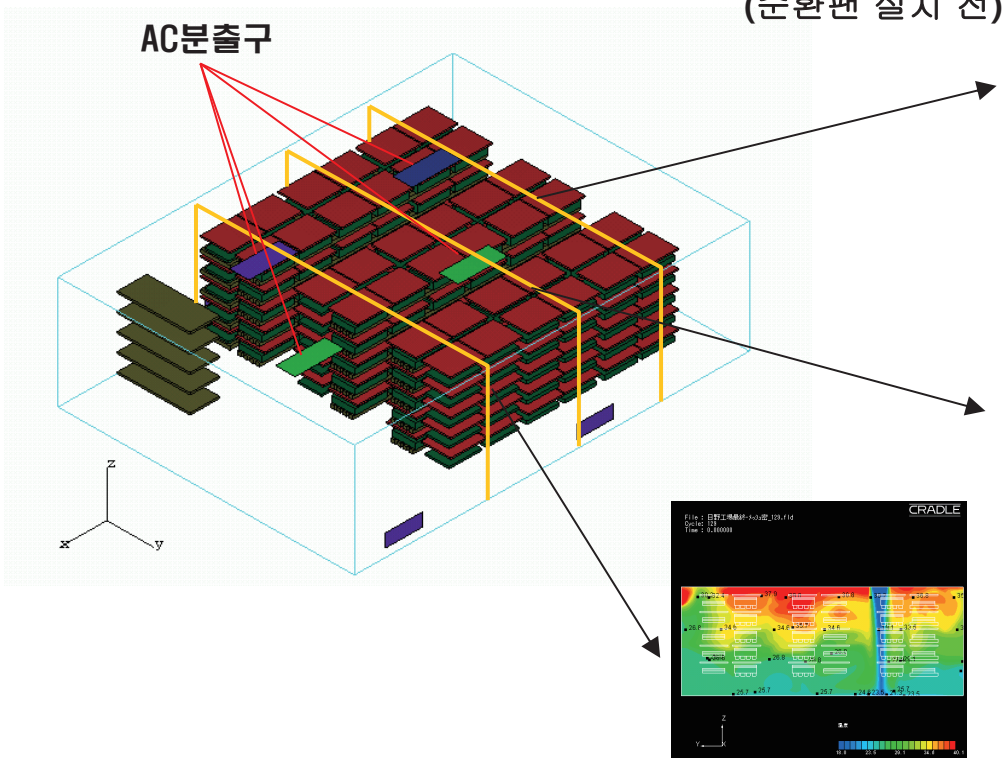
모델분석 이미지



☞ **설계 기준**

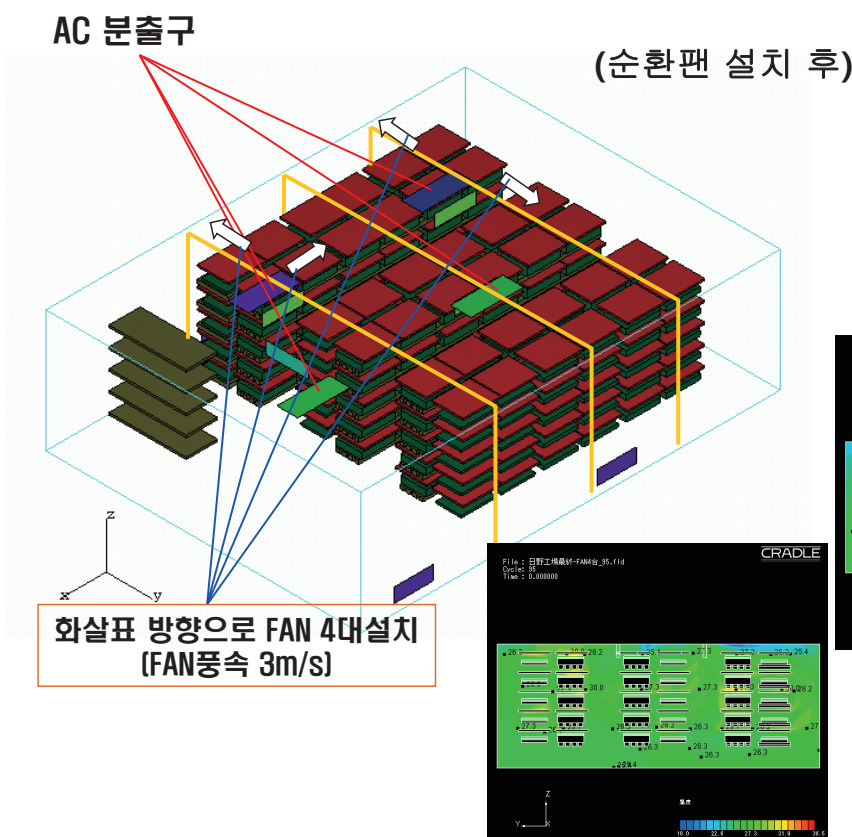
- 베드별 작물의 적정 온도, 습도, 풍속
- 공조기(냉방기, 난방기) 위치
- 순환팬(대수, 용량, 방향)

◆ CFD 시뮬레이션에 의한 온도분포



<Tsuiji, 2010>

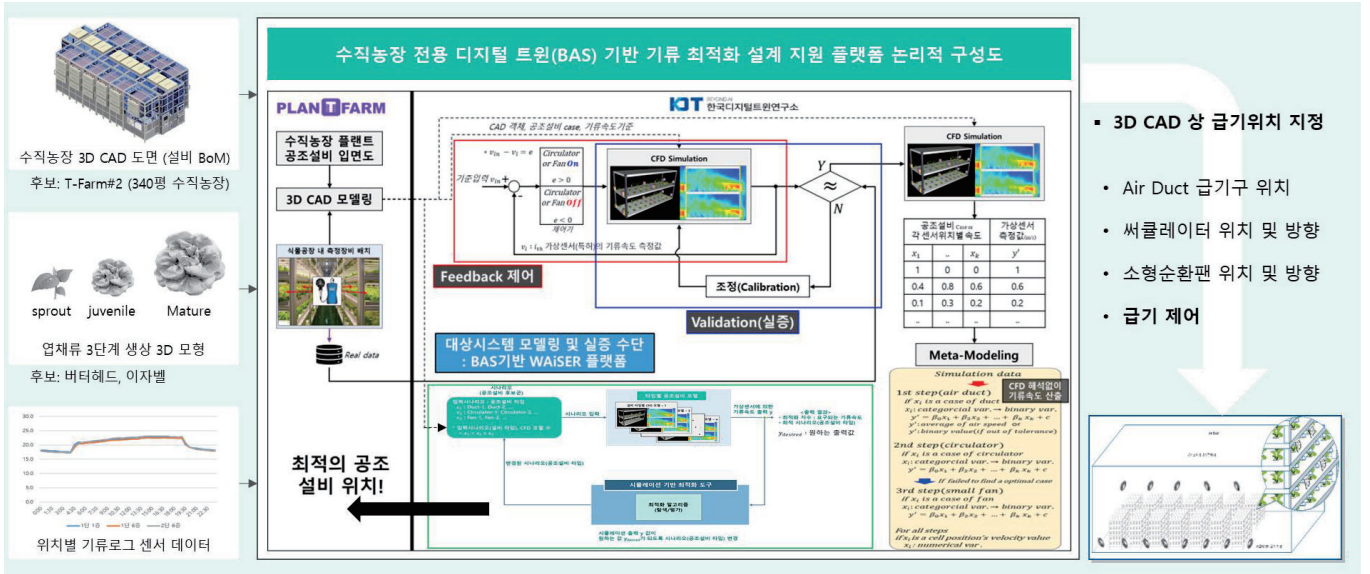
◆ CFD 시뮬레이션에 의한 온도분포



<Tsuiji, 2010>

◆ 식물공장 전용 DT 기반 기류 최적화 설계 지원 플랫폼 개발

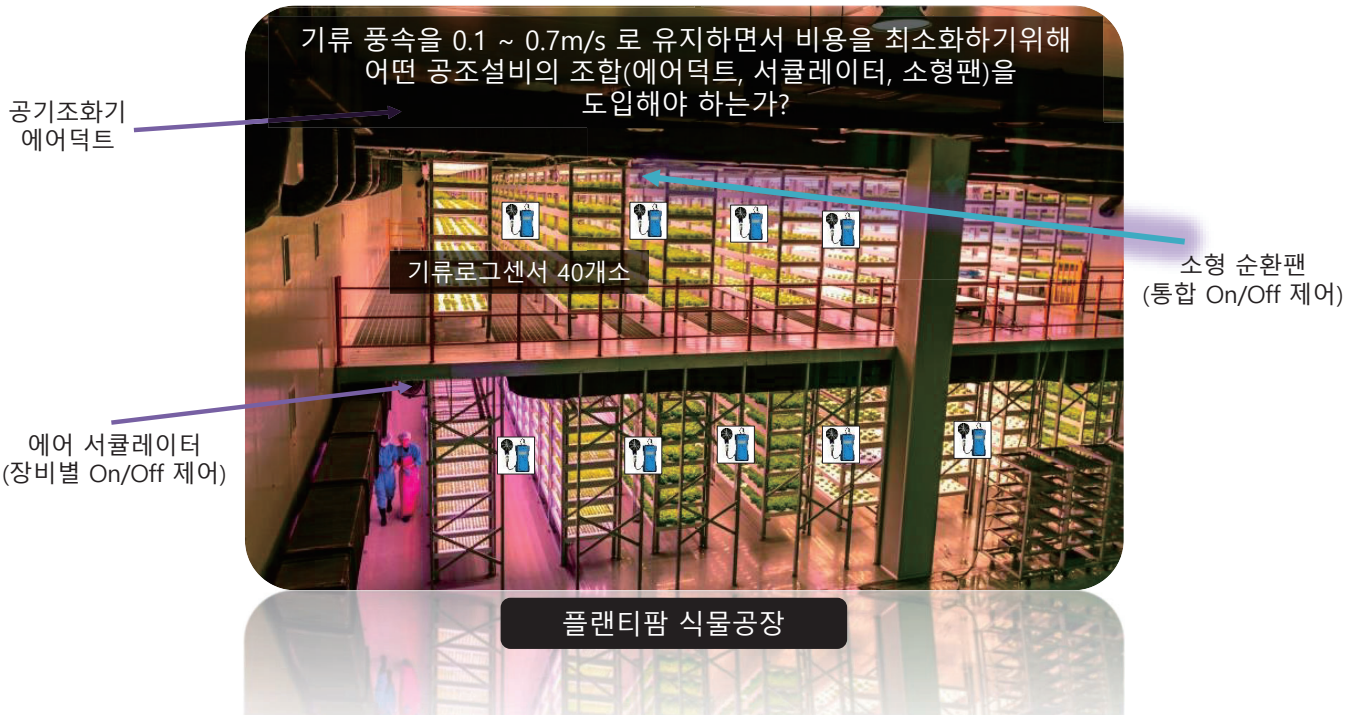
- ✓ 설계단계에서 식물공장 공간기류 최적화
 - 급기구 위치 선정 : 재배생산 정상화, 재배생산량 및 양품을 향상, 시설 구축 및 운영원가 절감
 - ▶ 플랜트 사업 경쟁력 강화



◆ 연구개발 내용

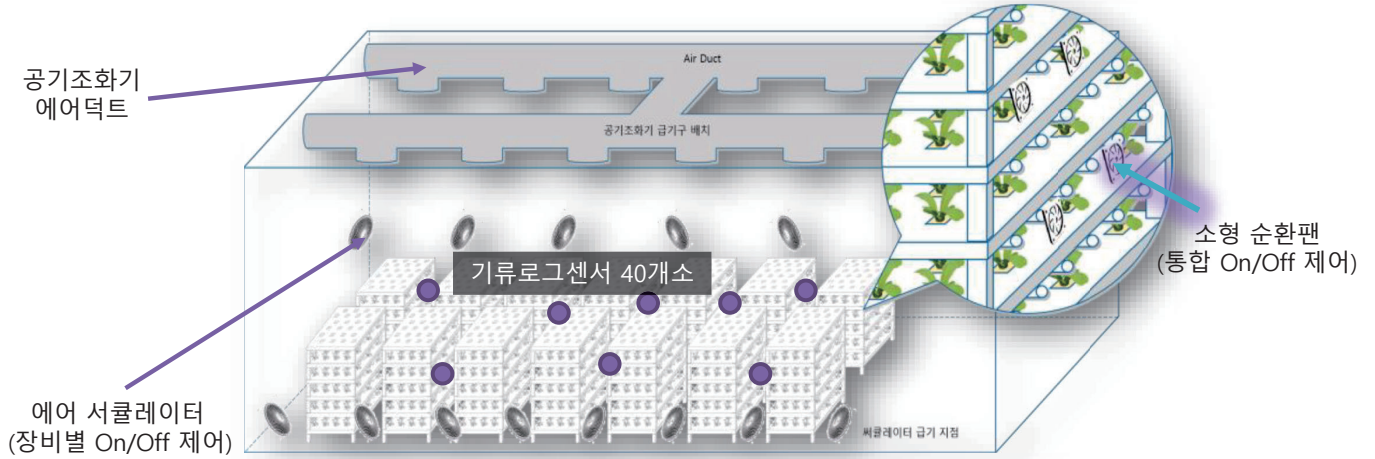
- ✓ 디지털 트윈 구현 목적

최적화 지수 : 기류 풍속, 비용(y) 최적화 $[y = f(\text{에어덕트}_i, \text{써큘레이터}_j, \text{소형팬}_k)]$



◆ 연구개발 내용

✓ 시스템 추상화 (Abstraction)

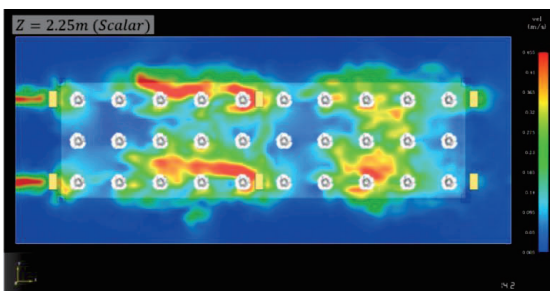


◆ 연구개발 내용

✓ 시뮬레이션 기반 기류 해석, 메타 모델링

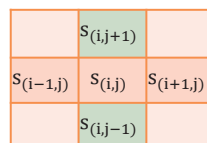
- 실증이 완료된 가상 기류 환경인 CFD 시뮬레이션으로 공조설비에 대한 기류 해석 수행
- 시뮬레이션을 통해 수집된 데이터로 메타 모델링(시뮬레이션 모델의 추상화), 활용 방법 연구

CFD 시뮬레이션 기반 기류 해석



메타 모델링(Meta-Modeling)

CFD 시뮬레이션 측정위치(point)의 인접하는 격자들의 속도(m/s)						측정위치 속도(m/s)
시간	$x_0 = S_{(t, i, j)}$	$x_1 = S_{(t, i-1, j)}$	$x_2 = S_{(t, i+1, j)}$	$x_3 = S_{(t, i, j-1)}$	$x_4 = S_{(t, i, j+1)}$	$y = S_{(t+1, i, j)}$
t = 1	0.3	0.5	0.1	0.4	0.5	0.5
t = 2	0.5	0.4	0.8	0.6	0.4	0.4
t = 3	0.4	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2
..



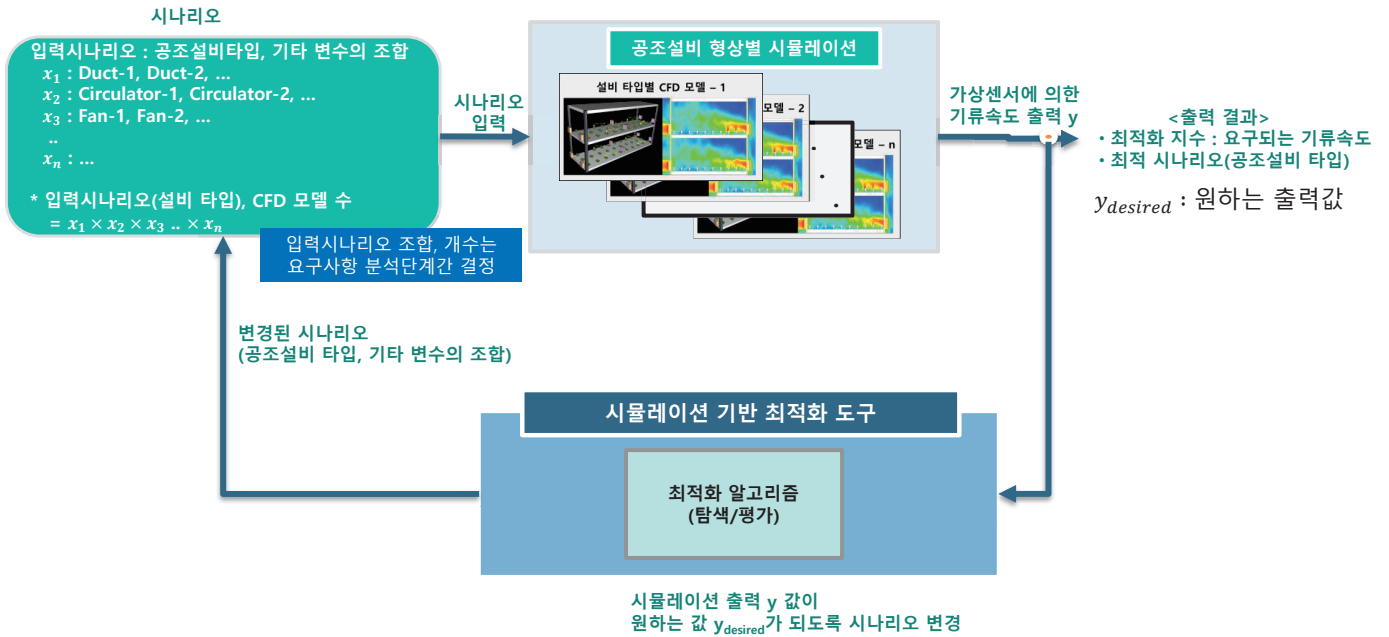
$$y' = f(x_0, x_1, x_2, x_3, x_4)$$

$$S'_{(i, j)} = f(S_{(i, j)}, S_{(i-1, j)}, S_{(i+1, j)}, S_{(i, j-1)}, S_{(i, j+1)})$$

메타 모델 기반 활용방법 연구 및 제공

◆ 연구개발 내용

✓ 공조설비 최적화

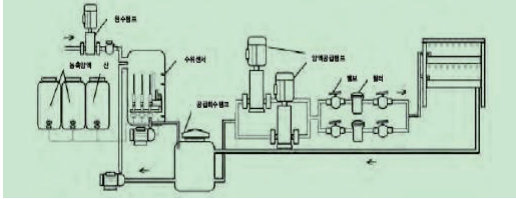


III. 식물공장 양액관리기술 및 적용사례

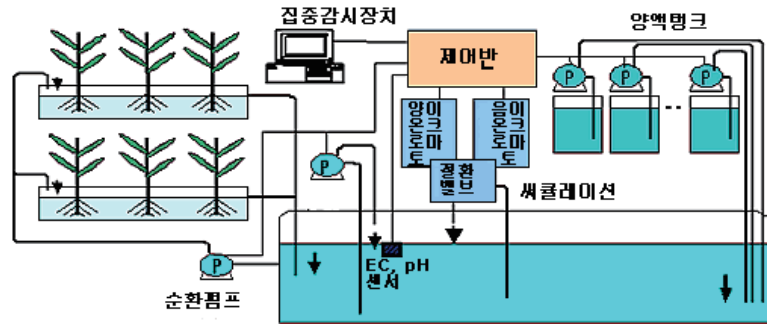


◆ 식물공장 양액관리

- 기존 : EC 기반 양액제어
- 개선 : 이온센서 기반 양액농도 실시간 측정, 개별 양분관리 등



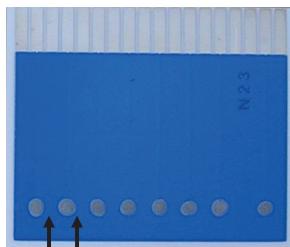
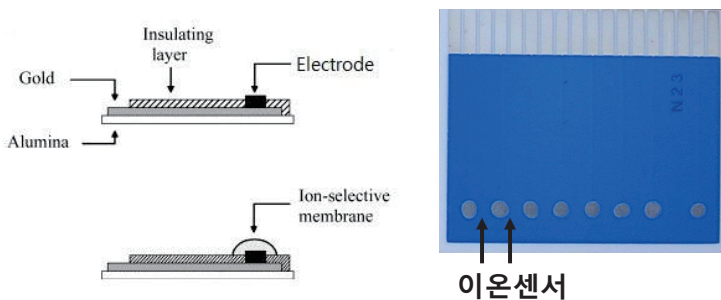
<양액제어시스템>



<이온농도 측정시스템>

◆ 이온 선택성 양액센서

- ✓ 이온 선택성 물질이 포함된 고분자 막을 이용하여 용액 속의 특정 이온농도 측정
- ✓ 적용 분야 : 배양액 이온농도 분석
- ✓ 측정 성분 : NH_4^+ , NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} 등



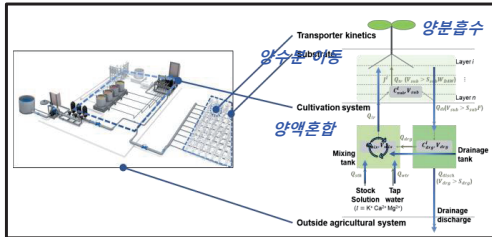
<기존 이온센서> <이온센서 모듈>

◆ 양분 변동 시뮬레이션 및 균형제어 알고리즘

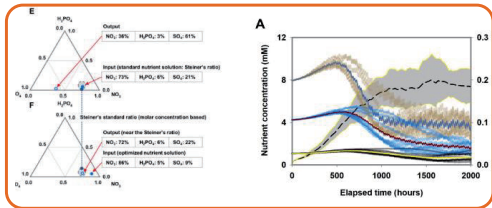
필수요소 관리 시뮬레이션 통합모델 구축

다량, 미량원소 양분 균형제어 알고리즘 개발

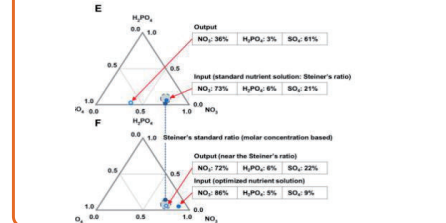
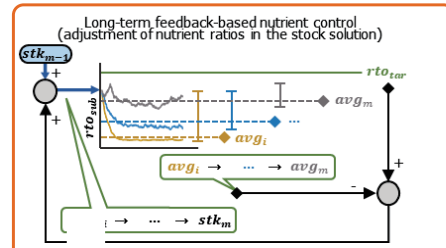
- 순환식 수경재배 상용관수시스템 통합 시뮬레이션 모델



- 시뮬레이션 해석을 통한 양분 균형 안정화 조건 탐색



- 양분 비율 데이터 기반 농축양액 조성 피드백 체계 설계

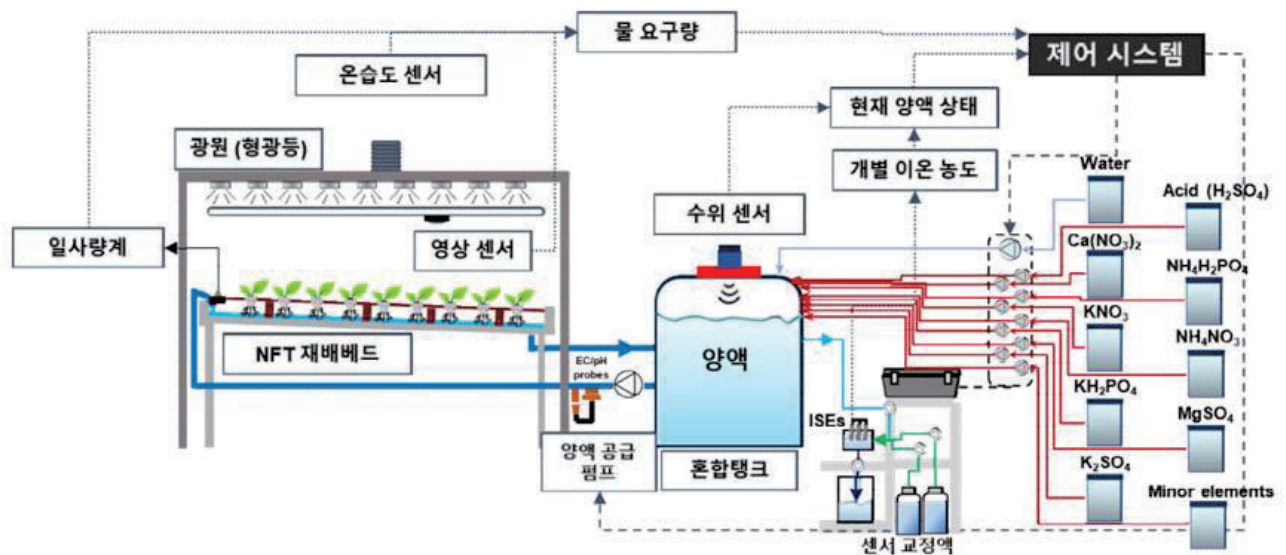


- ✓ 순환식 수경재배 시스템 내 개별 양분 균형 안정화를 위한 농축 양액 조성비 탐색
- ✓ 기존 EC 기반 수경재배 시스템에서 구동 가능
- ✓ 실시간 계측 데이터(ISE) 또는 장주기(분석센터) 데이터에 모두 대응 가능

GHPF Lab
서울대 시설원예 및 식물공정학 연구실

◆ 정밀 양액관리 시스템 개발

- ✓ 연속 모니터링을 통한 작물의 물 요구량(증산량) 예측으로 적정, 적시 양액공급
- ✓ 개별 이온농도 센싱에 의한 양액 내 양분 농도 유지로 양액 재사용 효율 제고





경청해 주셔서 감사합니다!