

# 식물공장용 스마트 조명제어 시스템 개발

이원섭\*, 김성관\*\*

\*공주대학교 대학원 기계공학과

\*\*공주대학교 기계자동차공학부

e-mail:leews@kongju.ac.kr

## Development of the Smart Lighting Control System for Plant Factory

Won-Sub Lee\*, Sung-Gaun Kim\*\*

\*Division of Mechanical Engineering, Kongju National University

\*\*Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

### 요 약

회전식 스마트 조명 시스템은 기존 식물공장에 무수히 많이 설치되는 LED와 형광등을 대신하여 비교적 적은 양으로 설치된 LED와 형광등을 회전시키는 시스템으로써 작물 재식판의 작물들에게 필요한 광을 회전하며 공급하는 방법이다. 이로 인하여 식물공장에 조명 시스템을 설치할 때 발생하는 고가의 초기 설치비용을 해결하고자 하는 시스템이다.

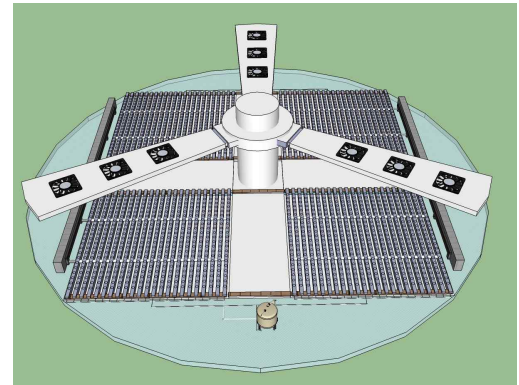
본 논문에서는 식물이 성장하는데 필요한 광량과 광속, 광양자속 밀도를 계산하고 블레이드에 설치되는 LED의 개수를 설정하였으며, 조명 시뮬레이션 프로그램 Relux를 이용하여 조명 장치가 회전함에 따라 조명장치의 중심과 바깥쪽에 생기는 광량의 차이를 확인 하였다.

### 1. 서론

식물공장이란 ‘농작물에 대하여 통제된 일정한 시설 내에서 빛, 온·습도, 이산화탄소 농도 및 배양액 등의 환경 조건을 인공적으로 제어하여 계절이나 장소에 관계없이 자동적으로 연속 생산하는 시스템’을 말한다. 한마디로 온도와 습도를 제어하고 인공광원으로 농작물을 재배하는 시설농업으로서, 날씨나 계절에 관계없이 농작물을 연중 안정적으로 생산할 수 있다. 또한 노지에서 재배가 어려운 기능성 농작물을 재배함으로써 고부가가치 농업을 실현할 수 있고, 식량작물의 연중 재배를 통해 생산성을 비약적으로 높임으로써 식량기지로 활용할 수 있다는 점에서 식물공장 방식은 미래 농업의 대안이 될 수 있다.

식물공장의 회전식 스마트 조명제어 시스템은 식물공장의 건물 중심축을 기준으로 하여 작물의 성장에 따른 높이 조절이 가능하고, 조도센서에 의해 측정된 조도 값에 따라 회전하며, 작물 재식판에 위치한 작물들에게 필요한 광을 조사하는 시스템을 말한다. 기존 식물공장의 조명 시스템은 작물재식판 위에 무수히 많은 LED 또는 형광등을 설치함으로써 인하여 생기는 초기 설치비용의 문제점이 있다. 본 논

문에서는 이와 같은 설치비용의 문제점을 해결하기 위해 개발된 회전식 스마트 조명 시스템을 시뮬레이션을 통하여 타당성을 검증하였다.



[그림 1] 회전식 스마트 조명 시스템 개념도

조명 시뮬레이션 프로그램인 Relux 프로그램을 사용하였으며, 프로그램 상에서 블레이드라고 가정하는 조명의 종류와 조명과 조명사이의 각도를 변수로 설정하고 바꿔가며 시뮬레이션을 실행하고 각각의 결과 값을 얻었다.

또한, 조명의 각도를 90°에서 30°, 15°로 줄여가며 시뮬레이션을 진행한 것은 중앙을 기준으로 조명을 회전시키는 동적인 시뮬레이션이 불가능했기 때문에 5°

씩 이동시키는 방법으로 시뮬레이션을 진행하였다.

## 2. 모델 설계 및 시뮬레이션 과정

### 2.1 이론

[표2-1]은 형광램프를 기준으로 한 각종 식물의 광 포화점과 광 보상점을 나열한 표이다. 광 포화점이란 광합성 속도가 더 이상 증가하지 않을 때의 빛의 세기이며, 광 보상점이란 식물에 의한 이산화탄소의 흡수량과 방출량이 같아져서 식물체가 외부 공기 중에서 실질적으로 흡수하는 이산화탄소의 양이 0이 되는 광의 강도이다.

[표 2-1] 각종 식물의 광 포화점과 광 보상점(형광램프 기준)

재배작물	광 포화점 $lx$ (PPFD)	광 보상점 $lx$ (PPFD)
토마토, 수박	70,000 (847)	3,000 (36)
오이	55,000 (665)	2,000 (24)
완두콩	40,000 (484)	2,000 (24)
양상추, 피망	25,000 (302)	1,500 (18)
포도	40,000 (484)	400 (5)
세인트폴리어	5,000 (60)	500 (6)
인삼	12,000 (145)	500 (6)

따라서 식물에게 조사되는 광량은 광 보상점보다 같거나 높아야하며, 광 포화점보다 같거나 낮아야한다. 예를 들어 양상추를 재배 할 경우에는 광양자속 밀도(Photosynthetic Photon Flux Density, PPFD)가 최대  $302\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , 최소 $18\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 가 필요하다. 광양자속 밀도(PPFD)란 식물은 빛에 포함된 광양자 하나를 받아들여 하나의 광합성을 하기 때문에 이때의 빛의 강도를 나타내는 방법이다.

$$1\text{ lx} = 1\text{ lm}/\text{m}^2$$

위의 식은 조도 단위( $lx$ )와 광속 단위( $lm$ )의 관계 식으로써, 1제곱미터( $\text{m}^2$ )의 면적에 1루멘( $lm$ )의 세기를 내는 광원이 있다면 그것을 1럭스( $lx$ )라고 한다.

[표2-2]는 광원에 따른  $1\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  당  $lx$ 와의 관계를 나타내는 표이다.

[표 2-2]  $1\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  당  $lx$ 와의 관계

광원	$lx$
태양광	54
백열등	50
형광등	74
적색 LED (660nm)	9.94
청색 LED (450nm)	11.9
백색 LED (Warm white)	68.2

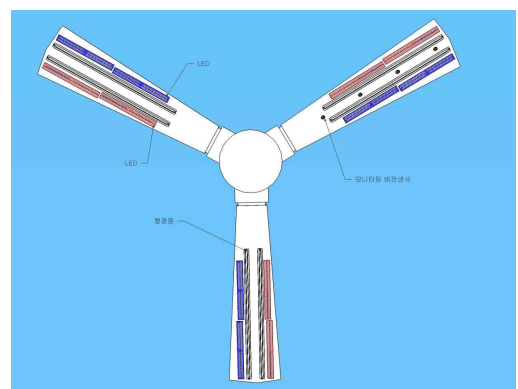
형광등의 경우  $1\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  당  $74lx$ 로 환산되므로 양상추를 재배할 때 공급할 광양자속 밀도(PPFD)의 값을  $200\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 로 설정하였을 때 조도의 값은  $14800lx$ 로 계산된다. 이때 광원이 작물의  $0.2\text{m}$  위에서 조사된다고 가정 한다면 그때의 면적은  $0.04\text{m}^2$ 이 되므로 이때 필요한 광속은  $592lm$ 이라는 값을 얻을 수 있다.

LED의 경우 서울반도체 P5(적색) LED를 예로 선정하였으며, 이 제품의 경우 광속이  $48lm$ 일 때 광양자속 밀도(PPFD)의 값이  $5\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 가 측정된다. 따라서 작물에게  $0.2\text{m}$ 의 높이에서  $200\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 로 광을 조사한다고 하였을 때, 40개의 LED가 필요한 것을 알 수 있다.

### 2.2 모델 설계

식물의 경우  $670\text{nm}$  보다 긴 파장대의 빛은 투과하고,  $610\text{nm}$  보다 짧은 파장대의 빛은 반사한다. 이때  $450\text{nm}$  파장대의 청색 빛은 광합성에 이용을 한다. 따라서 식물은  $660\text{nm}$  대의 적색 빛과  $450\text{nm}$  대의 청색 빛에서 가장 잘 자란다고 알려져 있다.

[그림 2-1]은 회전식 스마트 조명 제어 시스템의 하단면의 구성 개념도를 보여준다. 중앙의 회전축을 중심으로 LED와 형광등이 설치된 조명장치 블레이드로 구성되어있으며, 조명장치 블레이드에는 식물의 광합성에 효율적인 적색 LED와 청색 LED, 형광등의 혼합으로 구성되어 있는 시스템으로 개념 설계하였다.



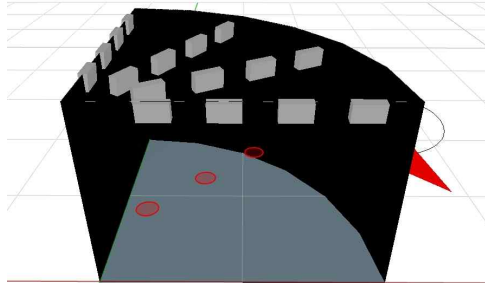
[그림 2-1] 회전식 스마트 조명 시스템의 구성 개념도

### 2.3 시뮬레이션 과정

조명 시뮬레이션 프로그램인 Relux를 이용하여 블레이드에 사용된 조명이 일정한 조명을 사용하였을 때와 각기 다른 조명을 사용하였을 때, 블레이드간의 각도( $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $90^\circ$ )가 다르고 회전한다고 가정한 후 시뮬레이션을

실행하였다.

[그림 2-2]는 Relux 프로그램 상에서 설정한 시뮬레이션 영역이며, [표 2-3]은 시뮬레이션 영역의 외관 파라미터이다. 조명은 4개의 모듈을 하나의 블레이드로 가정하였으며, 3개의 광량 측정 면을 블레이드 안쪽(point 1)에서 바깥쪽(point 3)으로 설정하였다.

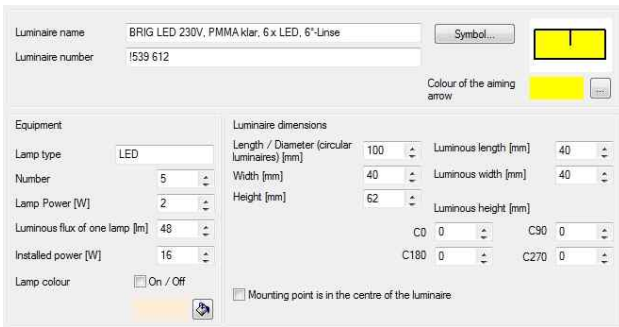


[그림 2-2] 시뮬레이션 영역 설정

[표 2-3] 외관 파라미터 설정

구분	치수
반지름	1000mm
높이	700mm

[그림 2-3]은 한 모듈 당 Lamp Power 2W의 LED가 5로 구성으로 설정하였을 때 LED 조명장치의 파라미터 설정이며, [그림 2-4]는 시뮬레이션에 사용된 LED조명들의 Type이다.



[그림 2-3] LED조명 파라미터 설정

Type No.Make

1	1	NORKA	Order No. : I539 612
		Luminaire name : BRIG LED 230V, PMMA klar, 6 x LED, 6°-Linse	Equipment : 5 x LED 2 W / 48 lm
2	1	NORKA	Order No. : I539 612
		Luminaire name : BRIG LED 230V, PMMA klar, 8 x LED, 6°-Linse	Equipment : 8 x LED 2 W / 48 lm
3	1	NORKA	Order No. : I539 612
		Luminaire name : BRIG LED 230V, PMMA klar, 10 x LED, 6°-Linse	Equipment : 10 x LED 2 W / 48 lm

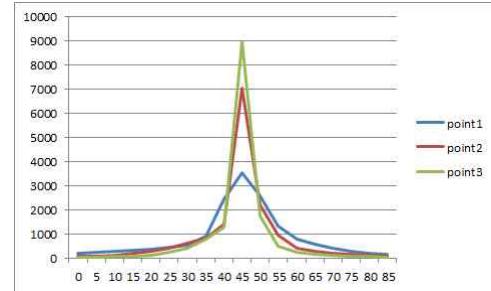
[그림 2-4] LED 조명Type

각 조명들 사이의 각도가 90°의 경우 [그림2-4]의 LED조명 Type에서 볼 수 있는 3가지의 LED 조명을 혼합하여 시뮬레이션을 하였으며, 각 조명들 사이의 각도가 30°와 15°의 경우는 [그림2-3]과 같이

설정된 LED 조명으로 시뮬레이션을 진행하였다.

3. 시뮬레이션 결과

[그림 3-1]은 블레이드 간의 각도가 90°를 가지며 회전한다고 가정하고, 조명을 5°씩 이동시키며 시뮬레이션을 실행하였을 때 각각의 광량 측정 면에서 측정된 광량(lx) 데이터를 그래프로 표시하였다.



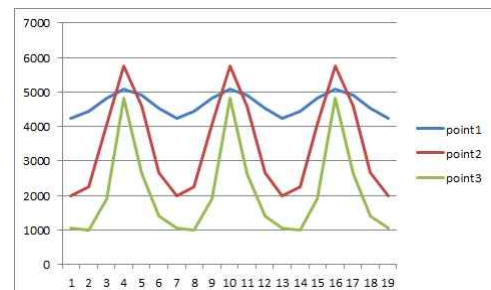
[그림 3-1] 각도 90로 설정하였을 때 측정 면 별 시뮬레이션 결과 값

[표3-1]은 한 개의 블레이드가 0°에서 90°까지 조명을 5°씩 이동시키는 동안 각 측정 면에서 측정된 총 광량을 나타낸다.

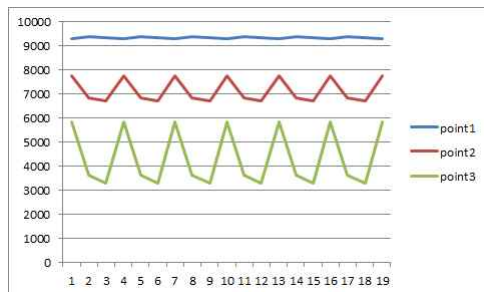
[표 3-1] 측정 면에서 측정된 총 광량

측정 면	lx
point 1	15839
point 2	15615.4
point 3	15135.8

[그림 3-2]는 블레이드 간의 각도가 30°를 가지며 회전한다고 가정하고, 조명을 5°씩 이동시키며 시뮬레이션을 실행하였을 때 각각의 광량 측정 면에서 측정된 광량(lx) 데이터를 그래프로 표현한 것이며, [그림 3-3]은 블레이드 간의 각도가 15°를 가지며 회전한다고 가정하고, 조명을 5°씩 이동시키며 시뮬레이션을 실행하였을 때 각각의 광량 측정 면에서 측정된 광량(lx) 데이터를 그래프로 표현한 것이다.



[그림 3-2] 각도를 30로 설정하였을 때 각 측정 면의 결과 값



[그림 3-3] 각도를 15°로 설정하였을 때 각 측정 면의 결과 값

#### 4. 결론

본 논문에서는 조명 블레이드 간의 각도가 작아짐에 따라 블레이드의 회전 속도는 빠르다는 것을 가정하고 조명 시뮬레이션 프로그램 Relux를 이용하여 조명 블레이드 간의 각도 설정에 따른 시뮬레이션을 실행하고 조명장치가 회전함에 따라 생기는 광량의 차이를 분석하였다. 조명장치 블레이드의 안쪽(point 1)에서 바깥쪽(point 3)으로 갈수록 각 측정면에서 측정되는 광량의 양이 적게 측정되었으며, 각 블레이드간의 각도를 작게 할수록 측정되는 광량은 일정하게 관측되는 것을 알 수 있었다.

#### 후기

본 연구과제는 교육과학기술부의 지역거점연구단 육성사업(에너지자립형그린빌리지 핵심기술사업단) 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

[1] 이상우, “식물공장과 LED 인공광 이용한 식물재배”, 광학과 기술, 제14권, 제3호, pp. 12-19, 7월 2010.

[2] 손정익, “植物工場 - 未來의 都市農業”, 생물환경조절학회지, 제2권, 제1호, pp. 69-76, 6월 1993.

[3] 장우진, 한종성, 홍석기, 홍성욱, 정봉만, “고효율 조명기술”, 아진, 2006.

[4] 김용현, “식물생산과 관련한 광의 물리학적 용어 및 개념”, 한국농업기계학회지, 제22권, 제4호, pp. 503-512, 1997.

[5] 김용현, 김진국, 이상현, 최유화, 이명규 “형광등 배열과 광원으로부터의 수직 거리에 따른 광합성유효광양자속의 분포”, 한국생물환경조절학회 학술발표논문집, pp. 125-130, 2002.