

비전문가를 위한 식물재배용 조명의 설계

- 백색 LED를 중심으로 -

2017.07.13.

박영기

1. 식물 입장에서 빛
2. 인간의 눈으로는 얼마의 밝기일까?
3. 전등은 몇 개가 필요할까?
4. 전기 사용량을 계산해 보자.
5. 전기료를 계산해 보자.

부록

- (1) 조명 설계 flow chart
- (2) LED 등기구의 수명
- (3) 색온도

1. 식물 입장에서의 빛

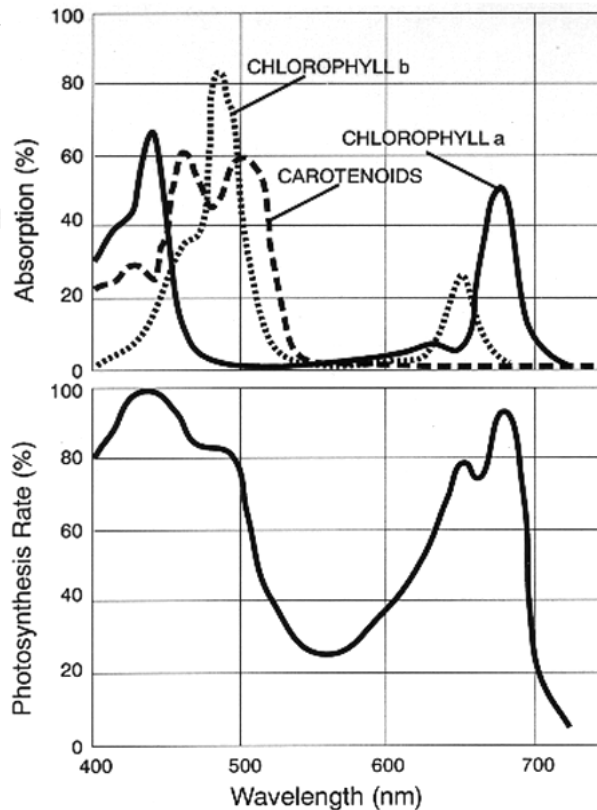


그림 1 가시광선의 파장별 흡수율과 광합성률. 대체로 450nm부근의 파란색 빛과 650nm부근의 빨간색 빛이 흡수가 많이 되고 광합성에도 더 기여한다는 것을 알 수 있다. {wikipedia}

가시광선 중에서 빨간색 빛과 파란색 빛이 많이 흡수되고 광합성에도 기여합니다. 그런데 과학자들은 광합성(photosynthesis)이라는 것이 양자(quantum)가 역할을 하는 과정이고, 광자(photon)가 가진 에너지보다는 광자의 수에 더 영향을 받는다는 것을 알게 되었습니다. 그리하여 식물학자들은 광합성에 기여하는 빛을 조명에서 흔히 쓰는 조도(illuminance)가 아니라 광합성광자속밀도(PPFD; Photosynthetic Photon Flux Density)라는 양을 흔히 사용합니다. 광합성에 관여하는 400-700nm 영역의 광자가 식물의 잎에 도달할 때 광합성광자속밀도는 단위 면적당 단위시간당 광자의 수를 뜻합니다. 면적의 단위는 제곱미터(m^2)이고, 시간의 단위는 초(s; second)입니다. 광자의 수는 화학시간에 배운 몰(mol)을 사용하는데, 광합성광자속밀도를 측정할 때 mol로 하면 너무 작은 수가 나오기 때문에 1mol의 백만분의 1인 μmol 을 사용합니다. 즉, 광합성광자속밀도의 단위는 $\mu\text{mol}/m^2\cdot s$ 가 됩니다. 이것을 $\mu\text{mol}\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$ 로 쓰기도 합니다.

몇몇 식물의 PPFD는 다음과 같습니다.

<표-1> 대상별 PPFD값

대상	PPFD[$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	조건
집안에서 키우는 식물	30~200	
잎채소(상추와 바질)	200~600	
토마토와 다른 열매식물	400~1,000	
여름의 맑은 날의 태양	2,000	정오
겨울 맑은 날 태양	1,200	정오

우리에게 익숙한 상추를 생각해 봅시다. 감이 잘 잡히지는 않지만 $200\sim600\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 빛을 공급하면 되겠다는 것을 알 수 있습니다. 이제 이것을 어떻게 공급하는가 하는 일이 남았습니다. 가장 직관적인 방법은 PPFD값을 측정할 수 있는 계측기로 PPFD값을 측정하면서 LED를 추가했다 뺐다 하는 것입니다. 복잡한 계산도 필요 없고 단순무식하게 할 수 있는 방법이기도 한데 이 방법에는 문제가 있습니다. 우리에게는 낮선 PPFD값을 측정할 계측기가 아주 비싸다는 것입니다. 대중화되어 있지 않기 때문에 인터넷 마켓에서 검색해 봐도 잘 나오지 않습니다. 일반인이 광양자속을 측정할 일이 언제 있겠습니까? 이름만 해도 거창한 광양자속은 과학자나 측정할 그런 것 같습니다. 그래서 그나마 일반인이 노력하면 접할 수 있는 조도(illuminance)라는 밝기 단위를 이용하는 방법을 알아보도록 하겠습니다. 조도의 단위는 렉스(lx; lux)인데, 렉스는 들어본 것 같기도 한 단위입니다. 실제로 LED 램프에는 와트(W), 루멘(lumen) 같은 것이 자잘한 글씨로 쓰여 있는데, 우리는 거의 와트에만 관심이 있고 루멘인가 뭔가 하는 것은 별 관심이 없지요?

2. 인간의 눈으로는 얼마의 밝기일까?

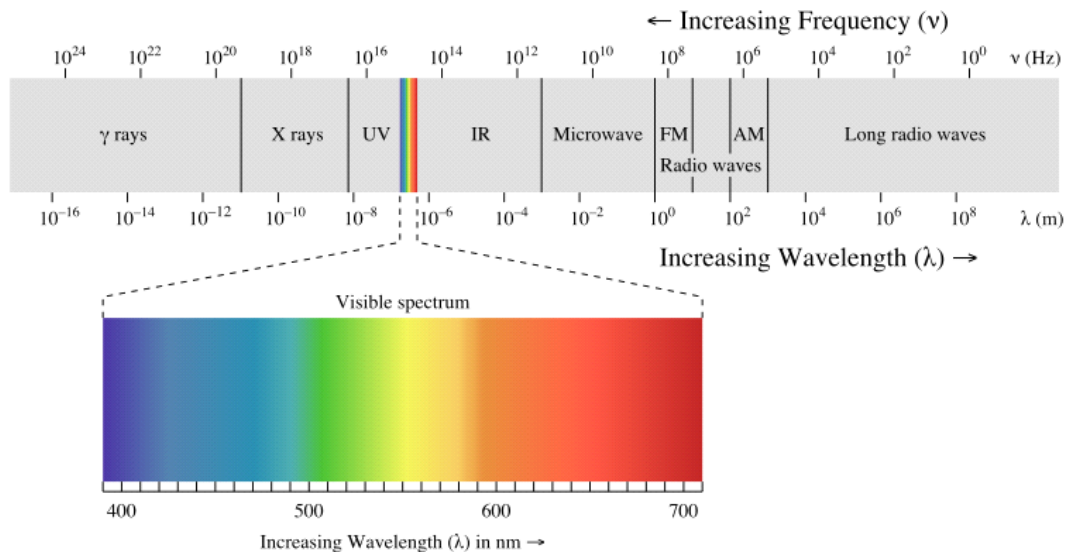


그림 2 가시광선의 스펙트럼. 파장별로 빛의 색깔을 보여준다. 어느 빛이나 골고루 잘 보인다. 이 그림은 전자기파를 측정하는 계측기의 입장에서 본 것이다. 그러나 우리가 이 빛을 보면 이와 같이 모든 색깔의 빛이 다 잘 보이는 것이 아니다. {wikipedia}

위의 그림은 과학 책 등에서 자주 볼 수 있는 것입니다. 우리가 보는 백색광이 사실은 여러 색깔의 빛이 혼합되어 그렇게 보인다는 것을 설명할 때에 자주 등장합니다. 프리즘을 통과한 빛도 저렇다고 하지요? 그런데 실제로 백색광을 프리즘을 통과시켜 분리한 것을 보면 녹색 부근의 빛이 가장 밝게 보이고 빨간색이나 보라색의 빛은 어둡게 보입니다.

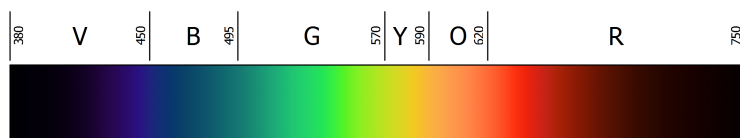


그림 3 인간의 눈이 보는 가시광선. 파장이 짧거나 긴 곳은 어둡게 느껴진다. {wikipedia}

일반적인 조명기기는 사람이 어떻게 느끼느냐에 초점을 맞추어 개발되었기 때문에 여러 값을 사람 눈의 특성에 맞추어 보정합니다. 앞에서 말한 조도(illuminance)도 그러한 값 중의 하나입니다. 어떤 면에 빛을 비추었을 때 단위면적당 단위시간당 그 면이 받는 빛의 양을 조도(illumionance)라고 합니다. 단위는 렉스(lx 또는 lux)를 씁니다.

앞에서 PPFD를 측정하기 곤란하니 일반적으로 많이 쓰는 빛의 밝기를 써 보자고 했는데, PPFD는 식물의 광합성에 맞춘 값이기 때문에 사람의 눈에 맞춘 조명기기의 값들을 쓰려고 하면 서로 맞지가 않아 환산이 필요합니다. 토끼 한 마리에 쌀 2kg과 바꾸는 식으로요. 그

런데 문제는 조명마다 환산 값이 다르다는 것입니다. 인도네시아산 토끼는 덩치가 작아 쌀 1.5kg과 바꾸고 러시아산 토끼는 살이 통통하여 쌀 2.5kg과 바꾸는 식으로요.

<표-2> PPFD[$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]를 조도[lx]로 변환하는 인자

광원	변환인자[lx/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]
태양광	54
쿨 화이트 형광등	74

태양광으로 $1\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 PPFD를 식물에게 공급하기 위해서는 54lx의 조도를 비추어야 하고, 쿨 화이트 형광등으로는 74lx를 비추어야 한다는 뜻입니다. 똑같은 광합성을 하는데 태양보다는 형광등이 더 조도가 높아야 한다는 것을 알 수 있습니다.

그러면 우리가 관심 있는 LED는 어때야 할까요? LED는 색깔이 다른 것들이 있고, 각 색깔마다 변환인자가 다릅니다. 그래서 복잡한 일이 되어 버리지만, 주광색 LED를 쓴다고 하여 결론적인 값만 본다고 하면, 다음과 같이 나타낼 수 있습니다.

$$1\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cong 40\text{lx} \text{ (white LED @T=6,629K)}^1)$$

위의 값은 LED의 메이커, 색온도, LED의 집광 등에 따라 달라지는 값으로, 대략적인 값을 구할 때에 사용할 수 있습니다. 잎채소를 키운다고 했을 때 최소 $200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 PPFD가 필요하니까 백색광 LED를 사용한다면 $200 \times 40 = 8,000\text{lx}$ 정도가 되도록 LED를 설치해야 한다는 것을 알 수 있습니다. 다행히 렉스를 측정하는 조도계는 시중에 많이 팔고 있고 가격도 몇 만원이면 살 수 있습니다(그림 4). 제대로 해 보겠다면 하나 사시는 것이 좋지만, 그렇다 하더라도 처음에 LED를 몇 개쯤 설치해야 하는지를 알기 위해서라도 계산을 통해 설치할 LED의 수를 예측할 수 있어야 합니다.

1) “LED 광원의 광질과 PPFD 변화에 따른 식물성장에 관한 연구”, 표 4-12, 2014년, 양준혁, 원광대학교 대학원 정보통신공학과



그림 4 시중에서 쉽게 구할 수 있는 조도계. 렉스(lx 또는 lux) 단위의 조도를 측정할 수 있다. {wikipedia}

3. 전등은 몇 개가 필요할까?

앞에서 잎채소를 키우기 위해서 최소 8,000lx의 조도를 만들어 주어야 한다고 했습니다. 이만큼의 밝기를 내기 위해서 LED를 몇 개나 달아야 할까요? 예를 들어 T5형 LED 등기구를 단다고 가정해 보겠습니다.



그림 5 T5형 LED 등기구. 회로가 포함되어 있어 220V에 꽂기만 하면 된다. 클립과 나사 등도 포함되어 있기 때문에 설치가 쉽다. {FOREST LIGHTING}

그림 5는 T5형 등기구입니다. 형광등처럼 길쭉하게 생겼고, 220V에 연결하기만 하면 불이 켜지기 때문에 사용하기가 쉽습니다. LED 등기구를 사면 아래 그림 6과 같이 등기구에 붙어있는 사양을 볼 수 있습니다. 등기구 포장이나 등기구에 이러한 사양이 적혀있지 않은 것은 품질을 보장할 수 없으니 사지 않는 것이 좋습니다.

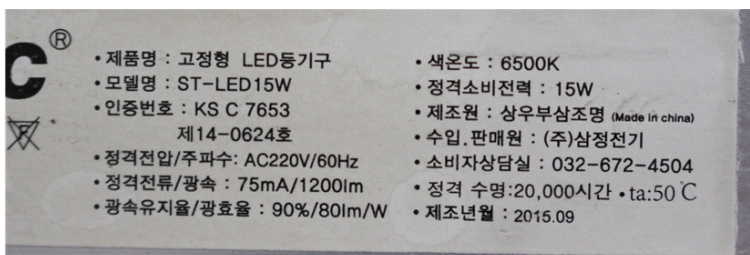


그림 6 T5 LED 등기구에 붙어있는 사양

그런데 아무리 살펴봐도 조도의 단위 lx 또는 lux라고 표시된 것이 없습니다. 그 이유

는 조도와 광원의 관계 때문입니다. LED 등기구(편의상 이후부터는 LED라고 하겠습니다.)는 빛을 내는 광원이므로 전기를 넣어주면 빛이 나오기 시작합니다. 이해를 쉽게 하기 위해 빛이 나오는 것을 샤워기에서 물이 나오는 것으로 비유해 보겠습니다. 빛의 양은 샤워기에서 나오는 물의 양에 비유할 수 있습니다. 그런데 물이 세차게 나올 수도 있고 약하게 나올 수도 있습니다. 즉 시간당 물이 얼마나 나오느냐를 알 필요가 있습니다. 이것이 전등에서는 시간당 나오는 빛의 양에 해당하고 광선속(光線束) 또는 광속(光束)(luminous flux)라 하고, 단위를 루멘(lm; lumen)으로 표현합니다. 그림 6에서 이 LED는 1,200lm의 광속을 낸다는 것을 알 수 있습니다.

머리를 감는 것을 식물에 빛을 쏘이는 것으로 비유하자면, 샤워헤드가 LED가 되고 머리가 식물이 되고, 단위시간당 나오는 물의 양이 광속이 됩니다. 중요한 것은 실제로 머리에 얼마만큼의 물이 도달하는가 하는 것입니다. 샤워헤드에서 물이 아무리 세차게 나와도 방향이 잘못되면 머리 감는 데에는 별 도움이 되지 못할 것입니다. 또 샤워헤드가 머리에서 멀리 있다면 물이 퍼져나가게 되어 머리에 도달하는 물의 양이 줄어든 것입니다. LED와 식물에서도 같은 일이 일어납니다. LED의 방향이 잘 맞추어져야 하고, 식물로부터의 거리가 너무 멀어서도 안됩니다. 결국 중요한 것이 식물에 도달하는 빛의 양인데, 식물이 있는 위치에서 면적당 시간당 도달하는 빛의 양을 조도(illuminance)로 표시합니다. 시간당 도달하는 빛의 양을 광속이라고 했으니, 면적당 도달하는 광속이 조도가 됩니다. 즉, $1\text{lx} = 1\text{lumen}/\text{m}^2$ 이 됩니다.

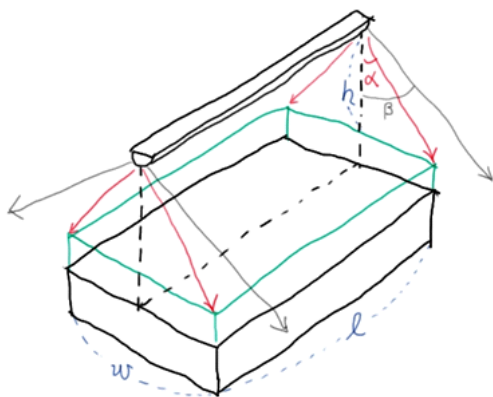


그림 7 폭 w , 길이 l 인 곳에 식물을 키우고, 식물로부터 LED까지의 수직거리가 h 일 때 식물에서의 조도는 얼마일까?
{비추는 각도.jpg, -}

그림 7과 같이 폭이 w , 길이가 l 인 곳에 식물을 기른다고 합시다. 그림에서 초록색 선은 식물이 차지하고 있는 공간을 나타냅니다. 어두운 방에서 기른다고 가정하여 조명을 달아주기로 했습니다. T5 백색 LED를 식물로부터 높이 h 인 곳에 달려고 합니다. LED를 몇 개를

달아야 할까요? 식물에서 8,000lx의 조도가 되어야 한다고 가정합니다. LED의 특성은 그림 6과 같다고 합시다.

우선 LED 하나 가지고 구해 봅시다. LED가 Φ_{LED} 의 광속을 내는데, 이것이 그림 7과 같이 β 만큼의 각으로 양쪽으로 퍼져 나갑니다. 그런데 그 중 식물에게로 가는 것은 α 만큼의 각 밖에 되지 않습니다. 그러므로 식물에게 가는 광속은 $\Phi_{plant} = \frac{\alpha}{\beta} \Phi_{LED}$ 만큼이 됩니다.²⁾ 이 광속은 식물이 자라는 면적 wl 에 흩어져서 도달하므로 단위면적당 광속인 조도는 $E = \frac{\Phi_{plant}}{wl} = \frac{\Phi_{LED}}{wl} \frac{\alpha}{\beta}$ 가 됩니다.³⁾ 그런데 α 는 각도기로 구할 수도 있고, 길이로부터 구할 수도 있습니다. 길이로부터 구할 때는 $\tan \alpha = \frac{w/2}{h}$ 로부터 $\alpha = \tan^{-1} \frac{w}{2h}$ 로 구할 수 있습니다. β 는 LED의 사양에 나와 있기도 한데, 나와 있지 않으면 불을 켜 보아서 대략 몇 도까지 빛이 퍼지는가를 구합니다. 또는 반사판을 달아 β 의 양을 조절할 수도 있습니다.

값을 넣어 구해 보겠습니다. 예를 들어, LED의 사양이 $\Phi_{LED} = 1,200\text{lm}$, $\beta = 60^\circ$ 이고, 재배기의 크기가 $w = 0.3\text{m}$, $l = 1\text{m}$, $h = 0.2\text{m}$ 라고 합시다. 그러면 다음과 같이 값을 구할 수 있습니다.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{w}{2h} = \tan^{-1} \frac{0.3}{2 \times 0.2} = 36.9^\circ$$

$$E = \frac{\Phi_{LED}}{wl} \frac{\alpha}{\beta} = \frac{1200}{0.3 \times 1} \times \frac{36.9}{60} = 2,460\text{lx}$$

그러니까 하나의 LED를 사용하면 2,460lx 정도가 식물에 공급됨을 알 수 있습니다. 목표 조도가 8,000lx이기 때문에 필요한 LED의 수는 $8,000/2,460 \cong 3.3$ 이 나옵니다. 그러니까 LED를 4개를 달아주면 되겠습니다.

광속유지율 고려

실제로 LED는 계속 사용함에 따라 빛이 약해집니다. 어느 정도 약해지는가를 광속유지율로 나타냅니다. 그림 6의 LED는 광속유지율이 90%라고 되어 있습니다. LED를 오래 사용할 것이라면 광속유지율을 고려하는 것이 좋습니다. 광속유지율을 고려한다면 위에서 구한 조도는 $E_{90\%} = 0.9 \times 2,460 = 2,214\text{lx}$ 가 되고 $8,000/2,214 \cong 3.6$ 로 역시 4개의 LED가 필요함을 알 수 있습니다. 광속유지율은 거의 90% 가까이 되기 때문에 고려하지 않더라도 큰 오차가 생기지 않습니다.

2) 계산의 편의상 LED의 축방향으로는 빛이 퍼져나가지 않는다고 가정했다.

3) 실제로는 식물이 있는 각 지점에서 조도가 다르지만 계산의 편의를 위해 균일한 것으로 하였다.

4. 전기 사용량을 계산해 보자

전기 사용량은 결국 사용한 전기에너지를 말합니다. 전기에너지는 전력과 시간을 곱한 값으로 나타내는데, 1와트(W: watt)를 1초(s: second) 동안 사용했을 때의 전기에너지가 1줄(J: joule)입니다. 이 단위는 학문적으로 많이 사용하고, 전기사용료를 부과하는 실생활에서는 전기에너지를 전력량이라는 값을 사용합니다. 전력량의 단위는 와트시(Wh: watt·hour)를 사용합니다. 여기서 알 수 있는 것이 전력을 사용한 시간을 알아야 전력량을 구할 수 있다는 것입니다. 그런데 우리는 지금까지 LED를 얼마동안 켜는지에 대해서는 알아보지 않았습니다. 이제 알아보아야 할 때가 되었군요.

식물에 빛을 공급하는 것과 관련하여 DLI(Daily Light Integral)이라는 값이 있습니다. 이것은 전등을 하루동안 몇 시간을 켜었을 때 PPFD에다 켜 시간만큼을 곱한 값입니다. 예를 들어 PPFD가 $300\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 인데, 이렇게 하루에 14시간을 공급했다고 했을 때 DLI은

$$300\frac{\mu\text{mol}}{\text{m}^2\text{s}} \times \frac{1\text{mol}}{1,000,000\mu\text{mol}} \times \frac{3,600\text{s}}{1\text{hr}} \times \frac{14\text{hr}}{1\text{day}} = 15.12\text{mol}/\text{m}^2\text{day}^4)$$

로 하루동안 1m^2 의 면적에 15.12mol 의 광자를 공급했다는 뜻입니다. 만약 식물별로 DLI값이 제시되어 있다면 광원을 선택했을 때 얼마만큼 켜 두어야 한다는 것을 알 수 있습니다. PPFD가 다른 값들도 계산하기 위해서는 위의 식을 변형하여 PPFD가 $x\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 이고 하루에 y 시간 빛을 비추었을 때의 값을 알면 다루기가 쉬울 것입니다.

$$x\frac{\mu\text{mol}}{\text{m}^2\text{s}} \times \frac{1\text{mol}}{1,000,000\mu\text{mol}} \times \frac{3,600\text{s}}{1\text{hr}} \times \frac{y}{1\text{day}} = 0.0036xy\text{mol}/\text{m}^2\text{day}$$

예로, 상추는 DLI값이 $17\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{day}^5)$ 이 제시되어 있습니다. 앞에서 잎채소를 키우기 위해 $200\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 의 PPFD값이 필요하다고 했습니다 (이때 LED는 4개를 켜야 한다는 계산이 나왔습니다.). $x = 200$ 이니까

$$\begin{aligned} 0.0036 \times 200 \times y &= 17 \\ y &= \frac{17}{0.0036 \times 200} = 23.6 \end{aligned}$$

그러니까 LED 4개로 약 24시간 켜 놓아야 됴을 알 수 있습니다. 켜는 시간을 줄이고 싶으면 LED 수를 늘이고 시간을 줄이면 됩니다. 예를 들어 LED를 6개 켜면 $24 \times \frac{4}{6} = 16$

4) "How much light do you really need", FlytrapCare Forums,

<http://www.flytrapcare.com/phpBB3/how-much-light-do-you-really-need-t31035.html>

5) "Growing horticultural crops indoors vs. in a greenhouse", L.D. Albright, May 2011

로, 16시간을 켜면 됩니다. DLI을 유지하기 위해서는 LED수와 켜는 시간의 곱이 일정하게 유지되어야 합니다. 이것은 사용하는 전기에너지가 같음을 뜻합니다.

15W LED를 24시간 켜다면 하루 사용한 전력량은 $15 \times 24 = 360\text{Wh}$, 즉 0.36kWh를 사용한 것입니다.

주의: 꽃식물에 적용할 때

꽃식물은 어두움의 지속시간에 따라 꽃 피는 것이 영향을 받습니다. 그래서 단순히 DLI만 맞추어서는 안되고 하루 중 빛을 공급하지 않는 시간을 맞추어 주어야 합니다.

5. 전기료를 계산해 보자

전기료는 kWh 단위의 전력량으로 계산하고 월 1회 납부합니다. 앞에서 하루에 0.36kWh를 사용했으므로 한 달 동안 사용하는 전력량은 $0.36 \times 30 = 10.8\text{kWh}$ 가 됩니다.

주택용 전력(저압) 전기요금(적용일자: 2016년 12월 1일)⁶⁾

처음 200kWh까지: 93.3원/kWh

다음 200kWh까지: 187.9원/kWh

400kWh 초과: 280.6원/kWh

만약 한 달에 200kWh 이하로 사용한다면,

$$93.3\text{원}/\text{kWh} \times 10.8\text{kWh}/\text{month} \cong 1,008\text{원}/\text{month}$$

즉, 한 달에 식물 키우기 위해서 사용한 전기료는 1,000원 남짓 들어갑니다. 한 달 전기사용이 200~400kWh 사이일 경우에는 2,030원, 400kWh 초과 사용할 때는 3,030원 정도가 들어갑니다. 재배면적이 $0.3\text{m} \times 1.0\text{m}$ 이니까 이 면적이면 상추를 적어도 12포기 이상을 기를 수 있습니다. 그러니까 상추 12포기 키우는 데에 한 달에 1,000원~3,000원 정도의 전기료가 들어감을 알 수 있습니다.

6) “한글전기요금표”, KEPCO, <http://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/E/E/CYEEHP00101.jsp>

부록1 - 식물을 위한 조명설계 흐름도

본문에서는 조명설계를 이해하는 데에 초점을 맞춘 반면 아래의 흐름도는 계산을 빨리 할 수 있는 데에 초점을 맞추었습니다.

α 를 계산하기 위해서는 $\tan^{-1}$ 를 사용해야 하므로 공학용 계산기가 필요합니다. 공학용 계산기 실물 또는 스마트폰에 공학용계산기 앱을 다운받아 사용할 수 있습니다. α 는 또한 각도기로 측정할 수도 있습니다.

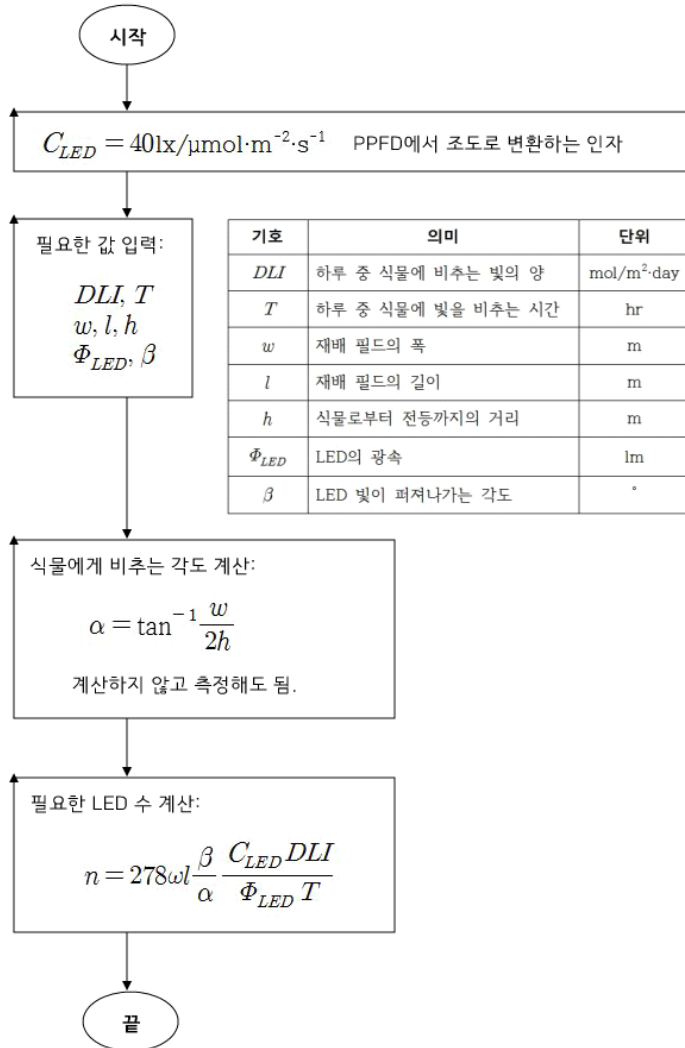


그림 8 식물재배용 조명설계 흐름도
{flowchart.bmp, -}

부록2 - LED 등기구의 수명

등기구(light fixture)⁷⁾란 램프를 구동하고 고정하는 장치를 말합니다. 일반적인 형광등(fluorescent lamp)을 켤 때는 형광등을 켜는 등기구가 천장에 부착되어 있고 형광등은 갈아 끼울 수 있게 되어 있습니다. 이런 구조에서는 형광등의 수명이 다하면 형광등을 갈아 끼울 수 있어 전체적인 수명은 등기구가 결정합니다.

그림 5와 같은 LED 등기구는 등기구와 램프가 일체식으로 되어 있어 LED 램프를 교환할 수 없는 구조입니다. 그래서 등기구나 램프 둘 중 하나가 고장이 나면 그것으로 수명이 다하게 됩니다. 즉 둘 중 수명이 짧은 것이 전체의 수명이 됩니다.

부록3 - 색온도

불에 쇠를 달군다고 생각해 봅시다. 처음에는 별걸게 달아오르다가 온도가 더 높아지면 노란색으로 변하고 점점 흰색에 가까워집니다. 불꽃의 경우 촛불처럼 온도가 낮은 것은 붉은색을 많이 띄지만 온도가 높은 장작불은 조금씩 푸르스름한 빛을 내기 시작합니다. 집에서 쓰는 가스레인은 불꽃의 온도가 아주 높아 푸른빛이 납니다. 빛의 이러한 성질을 이용하여 먼 곳의 별의 온도를 알아낼 수 있습니다. 붉은색을 띠는 태양은 온도가 낮은 별이고 푸른색을 띠는 별은 온도가 높은 별입니다. 6,500K는 아래 그림에서 백색에 가까운 것을 알 수 있습니다. 온도의 단위 중 K로 표시하는 켈빈 온도(Kelvin temperature)는 학교 다닐 때 절대온도(absolute temperature)라고 배웠던 온도의 단위입니다. 우리가 흔히 쓰는 섭씨온도(Celsius temperature)는 절대온도에서 273을 빼서 얻을 수 있습니다. 보통의 LED는 ‘주광색’과 ‘전등색’으로 표시하여 판매합니다. 주광색은 백색에 가까운 빛을 내고 전등색은 옛날 백열등과 같은 붉은 기운을 띠는 색을 낸다는 뜻입니다. 사무실과 같이 일하는 공간에는 주광색을 쓰는 편이고 침실, 커피숍과 같이 부드러운 느낌을 원하는 곳에는 전등색을 쓰는 편입니다. 식물을 재배할 때는 주광식이 좋습니다. 주광색은 여러 색깔의 빛이 골고루 들어 있기 때문입니다. 반면 전등색은 붉은 색의 빛으로 치우쳐 있습니다.

7) “등기구”란 단어는 국립국어원 표준국어대사전을 찾아봐도 나오지 않고, 조명에 관련된 사전에도 나오지 않고, 한국어 위키피디아에도 나오지 않고, 전기용어사전에도 나오지 않습니다. 영어로 된 위키피디아(<https://en.wikipedia.org>)에서 겨우 “light fixture”라고 찾을 수 있었습니다. 조명시장에서 일상적으로 쓰는 말이고, KS승인을 받은 제품에도 쓰고 있고, 조명 관련 논문의 제목에도 쓰고 있는 말인데도 뜻을 찾아보면 나오지 않는 유령 같은 단어입니다. 누가 게으름을 피우고 있는 것일까요?

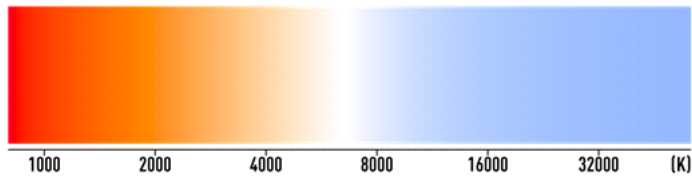


그림 9 색온도. 검은 물체를 가열했을 때 물체의 온도에 따라 나오는 빛의 색깔이다. 온도가 낮을 때는 붉은색이, 온도가 높을 때는 푸른색이 나온다.

{color_temperature.png, wikipedia}

참고

1. 그림-1 “Photosynthetically Active Radiation”, Wikipedia,
https://en.wikipedia.org/wiki/Photosynthetically_active_radiation
2. 표-1 “Understanding Watts Lumens Lux PAR”, E.A.T. With Ecological Agricultural Technologies
<http://organicsoiltechnology.com/understandinglumens-lux-watts-par.html>
3. 그림-2 “Light”, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Light>
4. 그림-3 “Light”, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Light>
5. 표-2 “Conversion - PPFD to lux”, apogee instruments
<https://www.apogeeinstruments.co.uk/conversion-ppfd-to-lux/>
6. 그림-9 “Color temperature”, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Color_temperature
7. “LED 광원의 광질과 PPFD 변화에 따른 식물성장에 관한 연구”, 2014년, 양준혁, 원광대학교 대학원 정보통신 공학과
8. “Lighting Greenhouse Vegetables”, December, 2011, GPN(Grenhouse Product News)
<http://www.gpnmag.com/article/lighting-greenhouse-vegetables/>
9. 여러 식물의 DLI값: “Measuring Daily Light Integral in a Greenhouse”, HO-238-W, Purdue Extension, Purdue University, <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ho/ho-238-w.pdf>

글쓰기

박영기

세 가지 활동을 하고 있다. - 저술 활동, 교육 활동, 도시농업 활동

저술 활동 - “과학으로 만드는 비행기”(지성사), “과학으로 만드는 자동차”(지성사), “우주선 안에서는 방귀조심”(찰리북, 공저)을 썼다. “과학으로 만드는~”은 EBS 교재에 인용되기도 했다. 현재 일반인을 위한 수경재배에 대한 책을 쓰고 있다.

교육 활동 -

- (1) 전자공학을 인터넷으로 강의한다. 과목은 전자기학과 회로이론. 전자기학의 여러 개념은 이 글을 쓰는 데에 많은 도움이 되었다.
- (2) 서울시 성북구를 중심으로 활동하는 성북문화예술교육가 협동조합 “마을온예술”의 이사로 활동한다. 과학과 예술을 융합하는 일을 하고 있다.

도시농업 활동 - 2016년에 성북수경재배네트워크를 설립하고 대표로 활동하고 있다. 2016년부터 수경재배 교육을 진행하고 있고, 2017년에 성북구에서 “나팔꽃 그늘아래 - 청소년시설 그린커튼 조성”사업을 진행하고 있다. 장위동에서 진행하는 “수경재배 - 협동조합 체험교실”에 참여하고 있다. 수경재배 개인 체험을 블로그 “파릇한 수경재배”에 올리고 있다.



[있습니다.](#)

[이 저작물은 "공공누리" 출처표시-상업적이용금지-변경금지 조건에 따라 이용할 수](#)