

หลอดไฟ LED และ การคำนวณ Lumen & Lux

แนวโน้มความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สาเหตุหลักจากประชากรและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่อำนวยความสะดวกในการดำรงชีวิตมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ความต้องการดังกล่าวทำให้หน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องต้องมีโครงการต่างๆ เพิ่มเติม เช่น การสร้างโรงไฟฟ้า หรือ การซื้อพลังงานไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน เพื่อให้มีปริมาณพลังงานไฟฟ้าพอเพียงและเหมาะสมกับความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าของประชากร จึงทำให้เกิดปัญหาด้านงบประมาณ การลงทุน สิ่งแวดล้อม และความยินยอมของประชากรในพื้นที่ก่อสร้างโรงไฟฟ้า

ดังนั้น การเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานลดลง จึงเป็นเรื่องที่จำเป็นและเหมาะสมกับสภาพในปัจจุบัน หลอดไฟ LED จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยประหยัดหรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า

หลอดไฟ LED ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภท Optoelectronics คือ หลอดไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode, LED) ที่พัฒนาให้มีความสว่างมากขึ้น และมีคุณสมบัติที่ประหยัดพลังงานทำให้ไม่ใช้พลังงานมากเหมือนหลอดไฟแบบเดิม คือ

- หลอดมีไส้ (Incandescent Lamp)
- หลอดคายประจุ (Gas Discharge Lamp) เช่น หลอดไฟ ฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) เป็นต้น

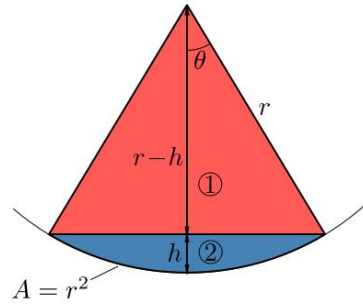
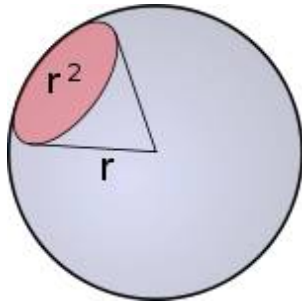
บทความนี้ จะกล่าวถึง

- หลอดไดโอดเปล่งแสง LED หมายถึง เม็ด LED หรือ LED ที่เป็น Discrete Component
- หลอดไฟ LED หมายถึง หลอดไฟสำเร็จรูป ที่เป็น Bulb (หลอดกลม), Tube (หลอดยาวแบบหลอดไฟ Fluorescent เช่น T8 เป็นต้น), หรือหลอดสำเร็จรูปอื่นๆ
- เทคนิคการส่องสว่าง (Illumination) ที่อธิบายเรื่อง ความสว่างของหลอดไฟ

บทความนี้จะสรุปความแบบง่ายเกี่ยวกับหลอดไดโอดเปล่งแสง LED และ หลอดไฟ LED พร้อมการคำนวณ Lumen & Lux ให้ผู้สนใจได้อ่านอย่างย่อ หากต้องการศึกษาในรายละเอียด เราสามารถหาอ่านได้จากหนังสือเทคนิคการส่องสว่าง (Illumination) ทั่วไปเพิ่มเติม

1. มุมเชิงของแข็ง Steradian (sr)

1 สเตอเรเดียน หรือ 1 sr ด้วยย่อ Ω คือ ขนาดของมุมเชิงของแข็งที่วัดจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมียาว r ที่กวาดไปบนพื้นที่ผิวของทรงกลมนั้น เป็นพื้นที่เท่ากับ r^2



(<https://en.wikipedia.org/wiki/Steradian>)

สูตรของมุมเชิงของแข็ง (ในหน่วย สเตอเรเดียน) ที่เกิดจากภาคตัดขวางของรูปทรงกรวย ที่รองรับมุมเรเดียน θ คือ

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos\theta).$$

ในสองมิติ มุมเรเดียน มีความสัมพันธ์กับส่วนของเส้นโค้งที่รองรับดังนี้

เมื่อ 1 แทนส่วนของเส้นโค้ง r แทนรัศมีของวงกลม

$$\theta = \frac{l}{r}$$

ในสามมิติ มุมเชิงของแข็ง ในหน่วย สเตอเรเดียน มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ที่รองรับดังนี้

$$\Omega = \frac{S}{r^2}$$

เมื่อ S แทนพื้นที่ผิว r แทนรัศมีของทรงกลม

ค่ามุมเปิดสำคัญในการคำนวณ

สำหรับค่ามุมเปิดที่ใช้ในการคำนวณดังต่อไปนี้ จะใช้ค่ามุมเปิด (Opening Angle) ของ หลอดไฟ LED เป็นหลัก ส่วนใหญ่แล้วจะใช้ประมาณ 4 ค่า ดังนี้

1.1 ค่า 60° จะได้ค่า $\theta = 60^\circ/2 = 30^\circ$

$$\text{เราจะได้ } \Omega = 2\pi (1 - \cos 30^\circ)$$

$$= 2\pi (1 - \sqrt{3}/2)$$

$$\approx \pi/4$$

$$\text{ดังนั้น } S = \Omega \cdot r^2$$

$$= \pi/4 \cdot r^2$$

$$\text{พื้นที่ ที่ห่างจาก Source 1 เมตร} = \pi/4 \text{ (ค่า } \pi = 3.1415)$$

$$\text{หากมี ระยะห่าง 2 เมตร} = \pi/4 \times 4$$

$$\text{ระยะห่าง 3 เมตร} = \pi/4 \times 9 \text{ ตามลำดับ}$$

1.2 ค่า 120° จะได้ค่า $\theta = 120^\circ/2 = 60^\circ$

$$\text{เราจะได้ } \Omega = 2\pi (1 - \cos 60^\circ)$$

$$= 2\pi (1 - 1/2)$$

$$= \pi$$

$$\text{ดังนั้น } S = \Omega \cdot r^2$$

$$= \pi \cdot r^2$$

$$\text{พื้นที่ ที่ห่างจาก Source 1 เมตร} = \pi \text{ (ค่า } \pi = 3.1415)$$

$$\text{หากมี ระยะห่าง 2 เมตร} = \pi \times 4$$

$$\text{ระยะห่าง 3 เมตร} = \pi \times 9 \text{ ตามลำดับ}$$

1.3 ค่า 180° จะได้ค่า $\theta = 180^\circ/2 = 90^\circ$

$$\text{เราจะได้ } \Omega = 2\pi (1 - \cos 90^\circ)$$

$$= 2\pi (1 - 0)$$

$$= 2\pi$$

$$\text{ดังนั้น } S = \Omega \cdot r^2$$

$$= 2\pi \cdot r^2$$

$$\text{พื้นที่ ที่ห่างจาก Source 1 เมตร} = 2\pi \text{ (ค่า } \pi = 3.1415)$$

$$\text{หากมี ระยะห่าง 2 เมตร} = 2\pi \times 4$$

$$\text{ระยะห่าง 3 เมตร} = 2\pi \times 9 \text{ ตามลำดับ}$$

1.4 ค่า 360° จะได้ค่า $\theta = 360^\circ/2 = 180^\circ$

เราจะได้ $\Omega = 2\pi (1 - \cos 180^\circ)$

$$= 2\pi (1 - (-1))$$

$$= 4\pi$$

ดังนั้น $S = \Omega \cdot r^2$

$$= 4\pi \cdot r^2$$

พื้นที่ ที่ห่างจาก Source 1 เมตร $= 4\pi$ (ค่า $\pi = 3.1415$)

หากมี ระยะห่าง 2 เมตร $= 4\pi \times 4$

ระยะห่าง 3 เมตร $= 4\pi \times 9$ ตามลำดับ

ส่วนค่ามุมเปิดอื่นๆ เราสามารถคำนวณได้จากสูตรที่กล่าวมาข้างต้น

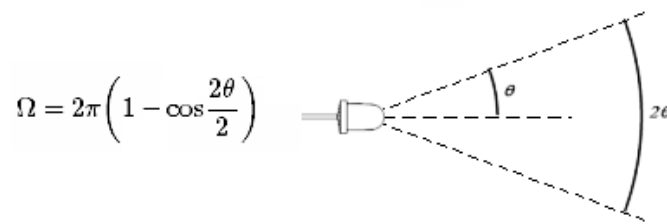
2. หน่วยสำคัญในการคำนวณ

- ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous Intensity) คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์การส่องสว่าง ของแหล่งกำเนิดแสงคิดต่อหน่วยเชิงมุมของแข็ง ในทิศทางหนึ่ง หน่วยเป็น แรงเทียน (Candle Power) หรือ แคนเดลา (Candela) ตัวย่อ cd
 $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm.sr}^{-1}$
- ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux) คือ ฟลักซ์การส่องสว่างของแหล่งกำเนิดความเข้มแห่งการส่องสว่าง ในมุมเชิงของแข็ง หน่วยเป็น ลูเมน (Lumen) ตัวย่อ lm
 $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd.sr}$
- ความสว่าง (Illuminance) คือ ฟลักซ์การส่องสว่างที่เปล่งออกจากส่วนย่อยหนึ่งของพื้นผิวแห่งหนึ่งหารด้วยพื้นที่ของส่วนย่อยนั้น หน่วยเป็น ลักซ์ (Lux) ตัวย่อ lx
 $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm.m}^{-2}$

เราสามารถคำนวณ การแปลงค่าต่างๆ ในวิชา Illumination ได้เพิ่มเติม จาก

http://www.compuphase.com/electronics/candela_lumen.htm เป็นต้น

3. Specification ของหลอดไดโอดเปล่งแสง LED



(http://www.lightart.com.tr/useful_information.php)

3.1 Specification ของหลอดไดโอดเปล่งแสง LED จะบอกค่าต่างๆ ดังนี้

- ค่าความเข้มของการส่องสว่างในหน่วย Candela สัญลักษณ์ cd โดยที่ 1 cd = ขนาดประมาณหนึ่งแรงเทียน (Candle Power) ซึ่งใช้ประมาณความสว่างของเทียนหนึ่งเล่ม
- ค่า Opening Angle หน่วยเป็น องศา

สูตรที่ใช้คำนวณหา Lumen จาก Candela คือ

$$\text{Lumen} = \text{Candela} \times \Omega$$

ตัวอย่าง

- หลอดไดโอดเปล่งแสง LED ที่ใช้เป็น หลอด Indicator เช่น หลอดไดโอดเปล่งแสง LED สี แดง เขียว เหลืองอำพัน น้ำเงิน เป็นต้น จะมีค่า ค่าความเข้มของการส่องสว่าง ประมาณ 50-200 mcd บ้าง 500-1,000 mcd บ้าง และ ค่า Opening Angle ประมาณ $60^\circ - 70^\circ$

ตัวอย่าง หลอดไดโอดเปล่งแสง LED 1,000 mcd ค่า Opening Angle = 60° เราคำนวณค่า Lumen ได้ดังนี้

จากสูตร $\text{Lumen} = \text{Candela} \times \Omega$

$$= 1,000/1,000 \times 2\pi (1 - \cos 30^\circ)$$

$$\approx \pi/4 \approx 0.8 \text{ Lumen}$$

- หลอดไดโอดเปล่งแสง LED แบบ SMD มีค่าความเข้มของการส่องสว่าง 10,000 mcd และค่า Opening Angle 130°

ตัวอย่าง หลอดไดโอดเปล่งแสง LED 10,000 mcd ค่า Opening Angle = 130° เรากำนวณค่า Lumen ได้ดังนี้

จากสูตร $\text{Lumen} = \text{Candela} \times \Omega$

$$= 10,000/1,000 \times 2\pi (1 - \cos 65^\circ)$$

$$\approx 36.3 \text{ Lumen}$$

จากตัวอย่าง หากเราต้องการหลอดไฟ LED ขนาด 300 Lumen

เราต้องใช้ หลอดไดโอดเปล่งแสง LED = $300/36.3 \approx 9$ หลอด

3.2 Color Temperature อุณหภูมิสี

แสงจากหลอดไฟ LED และหลอดไฟทั่วไป มีอุณหภูมิสีต่างๆ ดังนี้

- วอร์มไวท์ (Warm White) มีค่าอุณหภูมิสี (Color Temperature) = $3,000^\circ \text{K}$ (Kelvin)

เป็นแสงที่มีลักษณะเป็นสีส้มทองอ่อนๆ โทนอุ่น เหมาะสำหรับการตกแต่งห้องนอน โต๊ะดินเนอร์ หรืออาจจะประยุกต์ใช้กับการตกแต่งสวนหน้าบ้าน แสงที่ให้โทนอบอุ่นชวนดูแล้วสบายตา เรียกได้ว่าเป็นแสงที่ให้ความโรแมนติก อบอุ่นคลาย

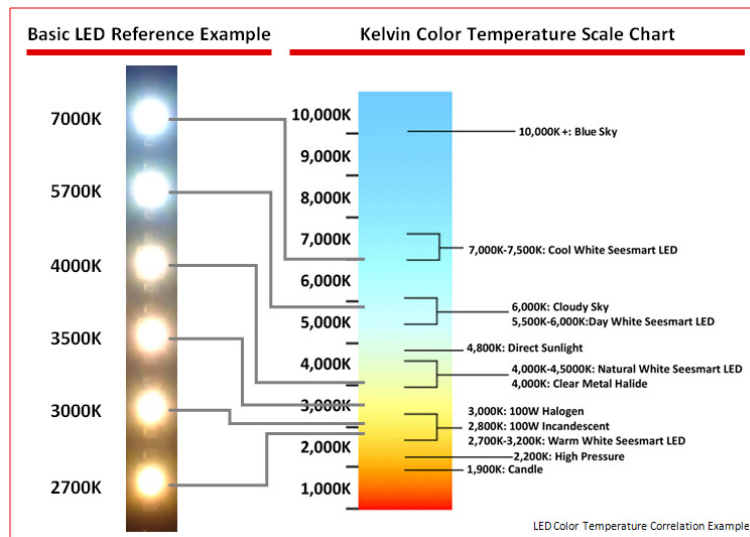
- คูลไวท์ (Cool White) มีค่าอุณหภูมิสี (Color Temperature) = $5,000^\circ \text{K}$ (Kelvin)

เป็นแสงที่อยู่ระหว่างกลาง วอร์มไวท์และเดย์ไลท์ มีลักษณะเป็นโทนสีขาวเย็นๆ คูลไวท์ถือว่าเป็นแสงกลาง เรียกว่า แสงธรรมชาติ

- เดย์ไลท์ (Day Light) มีค่าอุณหภูมิสี (Color Temperature) = $6,500^\circ \text{K}$ (Kelvin)

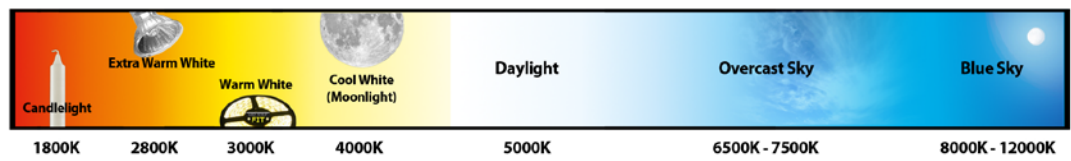
เป็นโทนแสงเดียวกับแสงกลางวัน มีลักษณะเป็นโทนฟ้า สว่าง หรือ สีกลางวัน เหมาะสำหรับใช้ในที่ที่ต้องการแสงสว่างเพียงพออย่าง ออฟฟิศ โรงงาน ห้องครัว

หลอดไฟฟ้าอุณหภูมิ สีเดย์ไลท์ มีสถิติการใช้มากกว่า สีคูลไวท์ และสีวอร์มไวท์



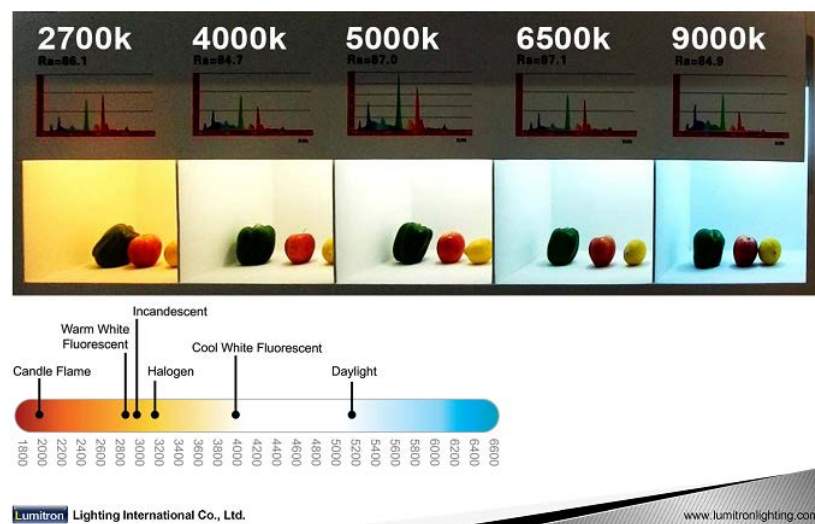
(http://www.seesmartled.com/kb/choosing_color_temperature/)

Colour Temperature Chart

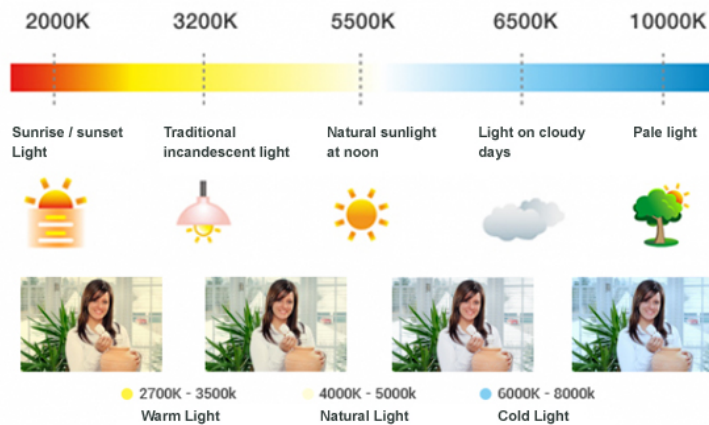


(<https://www.downlights.co.uk/faq-which-colour-temperature-.html>)

COLOR TEMPERATURE



(<https://www.facebook.com/LumitronLighting>)

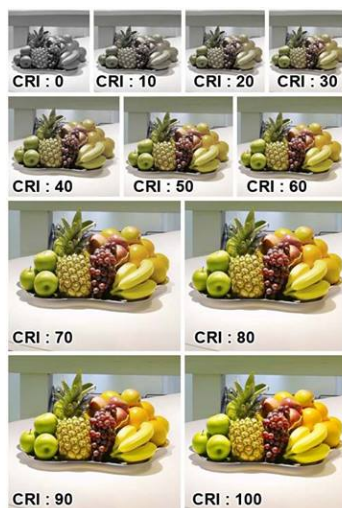


(<http://www.snaidero-usa.com/designliving-blog/2014/11/20/led-kitchen-lights-a-smart-choice-for-your-health-and-your-wallet>)

3.3 Color Rendering Index (CRI หรือ Ra)

CRI คือ ดัชนีความถูกต้องของสี มีค่า 0-100 เมื่อเทียบวัดจากแสงอาทิตย์ตอนเที่ยงจะให้ค่าความถูกต้องที่สุด ถ้า CRI สูง แสดงว่าการมองเห็นสีของวัตถุมีความถูกต้องสูง และในทางกลับกัน CRI ต่ำ การมองเห็นสีก็จะผิดเพี้ยนไป ดังนั้นในพื้นที่ที่ต้องการค่า CRI สูง เราต้องรู้ค่า CRI ของหลอดไฟฟ้าแต่ละประเภทด้วย

COLOR RENDERING INDEX (CRI หรือ Ra)



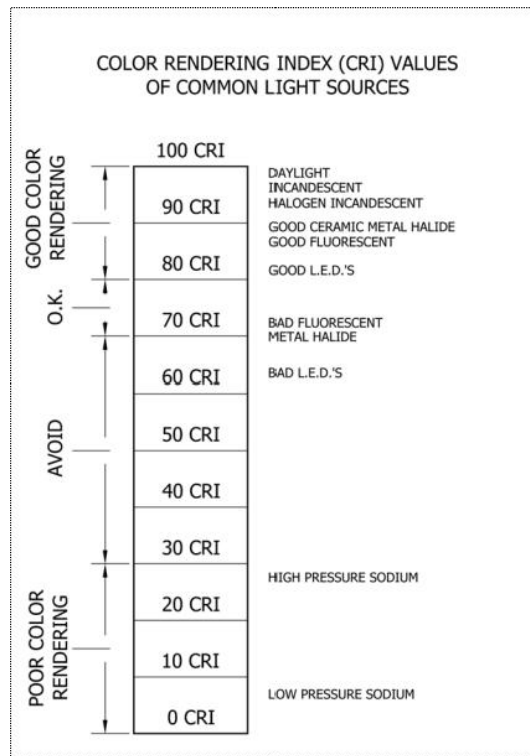
Lumitron Lighting International Co., Ltd.



- CRI (หรือ Ra) คือดัชนีความถูกต้องของสี
- มีค่า 0-100 เทียบวัดจากแสงอาทิตย์ตอนเที่ยง จะให้ค่าความถูกต้องที่สุด = ให้สีสมจริง
- หลอดไฟแต่ละชนิดให้ค่า CRI ต่ำ-สูง ไม่เท่ากัน

www.lumitronlighting.com

(<https://www.facebook.com/LumitronLighting>)



CRI = 51



CRI = 80



CRI = 90

(<http://www.planckleds.com/what-is-cri/>)



CRI: 60



CRI: 75

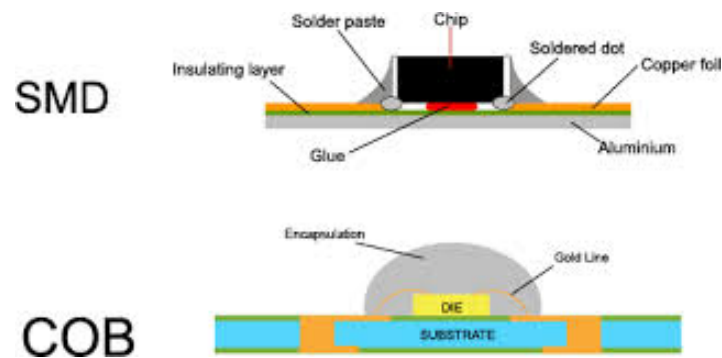


CRI: 90

(<http://my-light-tech.com/color-rendering-index-cri/>)

3.4 หลอดไดโอดเปล่งแสง LED ชนิดต่างๆ ที่ใช้สำหรับการส่องสว่าง

- หลอดไดโอดเปล่งแสง LED แบบ SMD และ COB



(<http://www.baalray.com/blog/cob-advantages/>)

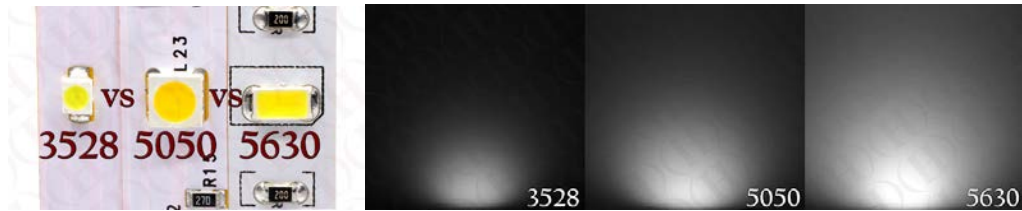
- หลอดไดโอดเปล่งแสง LED แบบ SMD

SMD LED (module)	Dimensions (mm x mm)	Power (watt)	Flux (lumen)	Intensity (candela)	Beam angle (degree)	Heatsink (yes/no)	Efficacy (min) lm/w	Efficacy (max) lm/w
5730	5.7 x 3.0	0.5	45-55	15-18	120	no	90	110
5630	5.6 x 3.0	0.5	40-55	18.4	120	no	80	110
5050	5.0 x 5.0	0.2	16-18	5.1-5.75	120	no	80	90
2835	2.8 x 3.5	0.2	20-26	8.4-9.1	120	yes	100	130
3528	3.5 x 2.8	0.06	5.4	3	120	no	80	90
3020	3.0 x 2.0	0.06	5.4	2.5	120	no	80	90
3014	3.0 x 1.4	0.1	10-13	2.1-3.5	120	yes	100	130
7020	7.0 x 2.0	0.5 & 1						
4014	4.0 x 1.4							
3535	3.5 x 3.5							
3258	3.2 x 5.8							
1206	3.2 x 1.6							
1104	1.1 x 0.4							
0603	0.6 x 0.3							
COB								

Source: manufacturers' or suppliers' specifications (http://www.alibaba.com/trade/search?fb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=smd+led+datasheet)

(https://en.wikipedia.org/wiki/SMD_LED_Module)

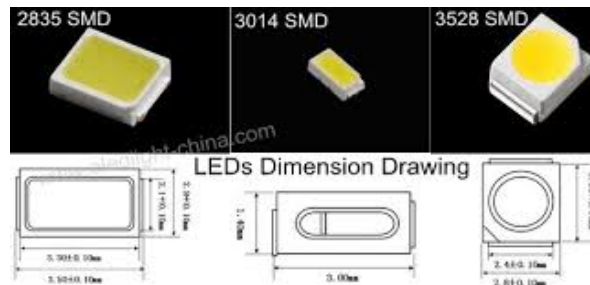
สังเกตได้ว่า รุ่นของหลอดไดโอดเปล่งแสง LED แบบ SMD คือ ขนาดของ SMD นั้นๆ



(<http://heracolights.com/2014/03/10/3528-vs-5050-vs-5630-led-smd-diodes/>)

Model	5050	5630	3528	2835
Comprising				
Front View				
Size				

(<http://www.rs-led.cc/siteen/xwzx/1956.html?cid=107>)



(<http://www.hisupplier.com/product-1494189-120pcs-m-2835-Flexible-LED-stripe/>)



(<http://www.hibikii.com/knowledge/comparison-of-smd3528-and-smd5050-300-led-light-strip/>)



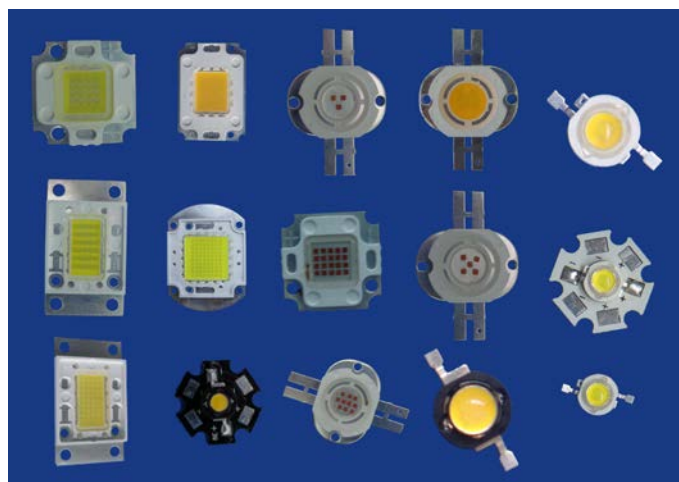
(<https://www.youtube.com/watch?v=fTdUIVWK25I>)

- หลอดไดโอดเปล่งแสง LED แบบ COB (Circuit on Board)

หลอดไดโอดเปล่งแสง LED แบบ COB สามารถป้อนพลังงานได้มากกว่า หลอดไดโอดเปล่งแสง LED แบบ SMD



(http://www.alibaba.com/product-detail/High-Power-10W-300W-Epistar-COB_508308746.html)



(<http://www.ecplaza.net/trade-leads-seller/1w-3w-5w-10w-20w--7184049.html>)

ตัวอย่าง คุณสมบัติทางเทคนิคของหลอดไดโอดเปล่งแสง LED แบบ COB

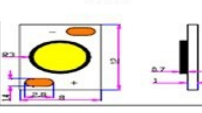
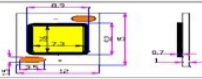
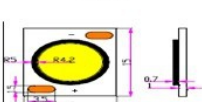
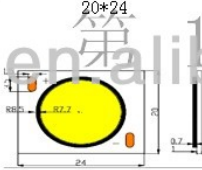
Type	C40			C70			C90		
Dim	4.0mm*4.0mm			7.0mm*7.0mm			9.0mm*9.0mm		
View Angle (2θ½)	160°								
CCT	W/W	NW	CW	W/W	NW	CW	W/W	NW	CW
	3000K	4000K	5650K	3000K	4000K	5650K	3000K	4000K	5650K
CCT Hue Bin	4-step	4-step	7-step	4-step	4-step	7-step	4-step	4-step	7-step
Vf	9.7V			9.6V			9.6V		
Power	3~5W			7~9W			12~14W		
Current	350mA			720mA			1300mA		
CRI	TYP. 80	TYP. 80	TYP.70	TYP. 80	TYP. 80	TYP.70	TYP. 80	TYP. 80	TYP.70
lm/W	>95lm/W	>95lm/W	>110lm/W	>95lm/W	>95lm/W	>110lm/W	>95lm/W	>95lm/W	>110lm/W

(http://www.ledinside.com/products/2012/4/hpl_led_package_201204)

X series COB LED Specification Sheet										
Power	Part No	Current (mA)	Voltage (V)	CCT (K)	Luminous Flux (LM)	Chip brand	LM/W	Ra	Size(mm)	Image
5W	HGCT5W***-6W00	320mA	15-16V	2600-6500	450-500	taiwan chip 20*84	90-100	>65		
6W	HGCT6W***-6W01	320mA	18-22V	2600-6500	540-600	taiwan chip 20*84	90-100	>65		
9W	HGCT9W***-6W02	1050mA	9-10V	2600-6500	810-900	taiwan chip 20*84	90-100	>65		
5W	HGCT*W***-68X2	320mA	15-17V	2600-6500	450-550	taiwan chip 20*84	>100	>80		
5-10W	HGCT*W***-68X3	320mA	15V/30V	2600-6000	>500	taiwan chip 20*84	>100	>80		
10-18W	HGCT*W***-68X3	320mA/640mA	36-39V	2600-6000	>1000	taiwan chip 20*84	>100	>80		
18-22W	HGCT*W***-68X3	320mA/600mA	36-38V	2600-6000	>1800	taiwan chip 20*84	>100	>80		
5W-15W	HGCT*W***-68X4	320mA/640mA	15V/30V	2600-6000	>500	taiwan chip 20*84	>100	>80		
16W-22W	HGCT*W***-68X4	400mA/600mA	36-38V	2600-6000	>1600	taiwan chip 20*84	>100	>80		
23W-30W	HGCT*W***-68X4	600mA/800mA	36-38V	2600-6000	>2300	taiwan chip 20*84	>100	>80		
20W-30W	HGCT*W***-68X4	600mA/800mA	36-38V	2600-6000	>2000	taiwan chip 20*84	>100	>80		
31W-40W	HGCT*W***-68X4	850mA/1000mA	36-38V	2600-6000	>3000	taiwan chip 20*84	>100	>80		
40W-50W	HGCT*W***-68X4	1000mA/1400mA	36-38V	2600-6000	>4000	taiwan chip 20*84	>100	>80		

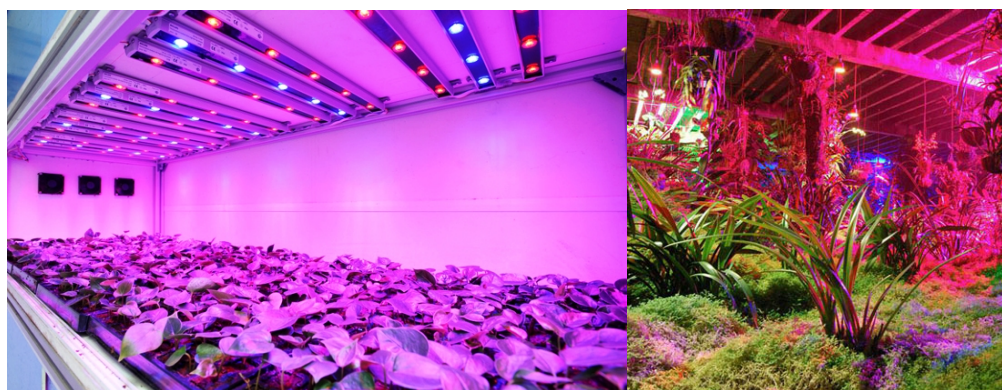
(http://www.alibaba.com/product-detail/Taiwan-epistar-12v-10w-led-chip_1808706612.html)

ceramic COB LEDs

Model	Picture	Specification					
		Size (mm)	Power	Input Voltage	Current	Luminous Flux	Luminous surface
KS-COB-T1			4W	9-10V	400mA	>90LM/W	Φ5.7
			5W		500mA		
KS-COB-T2			5W	15-17V	320mA	>100LM/W	8.9*9.2
			9W	27-30V	320mA	>100LM/W	8.9*9.2
			13W	36-38V	360mA	>95LM/W	8.9*9.2
KS-COB-T3			5W	15-17V	350mA	>100LM/W	Φ10
			7W	21-24V	350mA	>100LM/W	Φ10
			9W	27-30V	350mA	>100LM/W	Φ10
			13W	36-38V	360mA	>95LM/W	Φ10
KS-COB-T4			5W	15-17V	350mA	100LM/W	Φ17
			10W	30-34V	350mA	100LM/W	Φ17
			15W	36-38V	450mA	100LM/W	Φ17
			20W	36-38V	600mA	100LM/W	Φ17
			25W	36-38V	700mA	100LM/W	Φ17
			30W	36-38V	800mA	100LM/W	Φ17

http://www.alibaba.com/product-detail/Taiwan-epistar-12v-10w-led-chip_1808706612.html

- หลอดไฟ Grow Light LED จะใช้ในการปลูกต้นไม้ในที่แสงแดดส่องไม่ถึง เช่น ในตัวอาคาร โดยมีสัดส่วนดังนี้ หลอดไฟ LED สีแดง : หลอดไฟ LED สีน้ำเงิน = 4:1



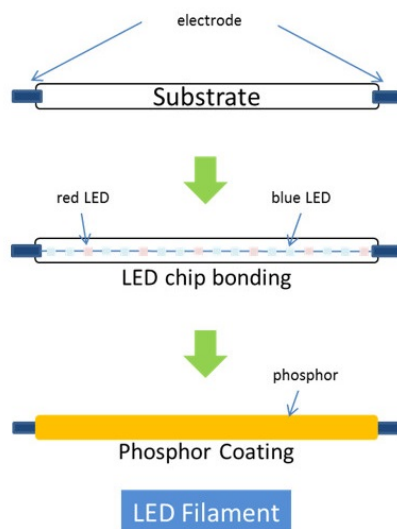
(<http://www.livingearthfarms.net/equipment-and-supplies-2/>)

- แผง Filament LED เป็นการนำ LED ให้เป็นแถวยาวเพื่อทำหลอดไฟ LED (Bulb) คล้ายกับหลอด Incandescent แบบดั้งเดิม ทำให้มุมเปิดของ หลอดไฟ LED ทั่วไป ที่มีค่า 120° หรือ กระจายแสงด้านหน้า เป็น 360° หรือ กระจายแสงรอบด้าน จึงเหมาะกับ โคมไฟระย้า โคมไฟรุ่นเก่า ฯลฯ ที่ต้องการความสวยงามจากแสงสว่างรอบด้าน

ผู้ผลิตจะใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง LED สีแดง สลับกับ สีน้ำเงิน วางบนแผ่น Substrate และทำ Phosphor Coating ต่อไป สีที่ออกมาจะเป็นแสง Warm White



(http://hzlight.en.alibaba.com/product/1742296487-800622691/modern_2014_new_style_A60_Standard_led_filament.html)



(http://www.ledinside.com/knowledge/2015/2/the_next_generation_of_led_filament_bulbs)



หลอดไฟ Filament LED ชนิดต่างๆ

(<http://www.ledsmagazine.com/ugc/iif/2014/10/24/the-ledfilament-by-girardsudron-the-light-bulb-which-will-simplify-everything.html>)

ตัวอย่าง คุณสมบัติทางเทคนิคของหลอดไฟ Filament LED



深圳市源磊科技有限公司
Shenzhen Runlite Technology Co., Ltd

● (Ta=25℃) Absolute maximum ratings at Ta=25℃

Item	Symbol	Absolute Maximum Rating	Unit
Forward Current	I _f	10	mA
Pulse Forward Current	I _{fp}	20	mA
Power Dissipation	P _D	800	mW
Operating Temperature	T _{opr}	-30~85	℃
Storage Temperature	T _{stg}	-10~40	℃
Storage Humidity		60	%
Junction Temperature	T _j	85	℃

Notes: I_{fp} conditions with pulse width ≤2ms and duty cycle ≤2%

● (Ta=25℃) Optical-Electrical Characteristics at Ta=25℃

Parameter	Symbol	Value			Unit	Test condition
		Min.	Typ.	Max.		
Forward Voltage	V _F	60 70	65 75	70 80	V	I _f =10mA
Luminous Flux	Φ	40 100		80 120	LM	I _f =10mA
Color Temperature	CCT	2200		6530	K	I _f =10mA
Color Rendering Index	CRI	80	---		---	I _f =10mA
Reverse Current	I _R	---	---	10	μA	V _R =5V
Viewing angle	2θ _{1/2}	---	360	---	Deg	I _f =10mA
Antistatic ability	ESD	HBM			4000V/ class 2	
		MM			300V/ Class M3	

Notes: Luminous Flux (LM) ±5%
Forward Voltage (V_F) ±0.1V
Wavelength (X,Y) ±0.01 (CCT±5%)
Color Rendering Index (CRI) ±2
Viewing angle (2θ_{1/2}) ±5

电话(Tel): +86-755-29785901(总机)
传真(Fax): +86-755-29785685

Http://www.runlite.cn
邮编(Zip): 518100

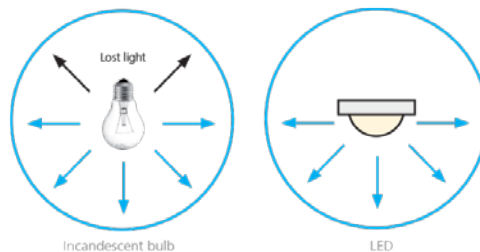
地址: 深圳市宝安区松岗镇西乡工业园A十五栋
Add: Building 15, TanTou West Industrial Zone, SongGang Street, BaoAn District, ShenZhen City, China.

02

(<http://www.runlite.cn/userfiles/5cjerp755q19k1413258994.pdf>)

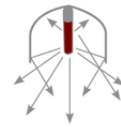
4. ตัวอย่างการคำนวณค่า Lumen กับ Lux

แสงสว่างจากหลอดไฟฟ้าทั่วไปจะส่องสว่างรอบทิศทาง ทำให้มีแสงสว่างที่ไม่ได้ใช้งาน (Lost Light) เกิดความสูญเสียขึ้น แต่หลอดไฟ LED จะออกแบบมาให้ส่องสว่างในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

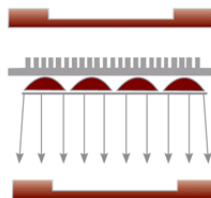


(<http://www.ledacademy.net/5-4-directionality/>)

BULB: HID lamps emit light in every direction; this light is controlled using a reflector or refractor. The result is poor utilization, with efficiencies as low as 40%.



LED: LED directs the light to where it's needed without the use of external optics. This results in efficiencies as high as 80%.



(<http://sustainablemfr.com/energy-efficiency/shedding-light-led-industry>)

ในด้านพลังงาน เราสามารถดูค่าประสิทธิภาพ (Efficacy) หรือ Lumen/Watt ของหลอดไฟฟ้า เช่น

LED		General Lighting	
Directional Light		Non-Directional Light	
	70 lm/W		100 lm/W
	80~90% Utilization efficiency		40~60% Utilization efficiency
	Luminous efficacy 56 lm/W		Luminous efficacy 50 lm/W

(http://www.siamled.co.th/page_preview7.php?id=137)

หลอดไฟ LED อาจจะไม่มียุทธศาสตร์ (Efficacy) หรือ Lumen/Watt เท่ากับ หลอดไฟฟ้าทั่วไป แต่มี ประสิทธิภาพในการใช้งาน (Utilization Efficiency) มากกว่า ทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous Efficiency) โดยรวมดีกว่า จึงสามารถประหยัดพลังงานได้ การพัฒนาหลอดไดโอดเปล่งแสง LED ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

เรามาศึกษา Specification หลอดไฟฟ้า เช่น

- หลอดไฟ LED T8 ความยาว 1.2 เมตร ใช้กำลังไฟฟ้า 18 W มีค่า Lumen ประมาณ 1,600-1,800 Lumen
- หลอดไฟ Fluorescent T8 ความยาว 1.2 เมตร ใช้กำลังไฟฟ้า 36 W มีค่า Lumen ประมาณ 2,600-2,800 Lumen

- การคำนวณโดยใช้ Lumen

ค่า Lumen ของหลอดไฟ Fluorescent คิดที่ 360° จากการส่องสว่างรอบหลอดไฟฟ้า เมื่อนำมาใช้ งาน เช่น ติดตั้งบนเพดาน

ค่า Lumen ที่ใช้งาน ต้องมีการคำนวณใหม่ โดยรวมแสงสว่างด้านตรงกับแสงสะท้อนจากเพดาน หลอดไฟ Fluorescent ที่ใช้งาน จะมีค่า Lumen ที่ใกล้เคียงกับ หลอดไฟ LED ที่ส่องสว่างด้านเดียว

นอกจากนี้ ยังมี Factor อื่นๆ เช่น ความสะอาด อายุใช้งาน ซึ่งเราจะเรียกรวมๆ กันว่า Effective Lumen

- ตัวอย่าง การคำนวณค่า Lumen ที่ใช้งานโดยประมาณของหลอดไฟ Fluorescent T8 เทียบกับ ค่า Lumen ของหลอดไฟ LED T8

หลอดไฟ Fluorescent T8 มีค่า Lumen ประมาณ 2,600-2,800 Lumen เราจะคำนวณที่ค่า 2,700 Lumen มุมการส่องสว่างหรือมุมเปิด 360°

มุม 120° ด้านล่าง มีค่า Lumen = $2,700/3 = 900$ Lumen

มุม 240° ที่เหลือด้านบน คิดเฉลี่ย 50% ที่ส่องสะท้อนลงมาด้านล่าง รวมแสงสะท้อน (50%) = $2,700*2/3*0.5 = 900$ Lumen

รวมทั้งสองค่า = $900+900 = 1,800$ Lumen

- ค่า Lumen ที่ใช้งานของหลอดไฟ Fluorescent T8 มีค่าประมาณเท่ากับหลอดไฟ LED T8
- การใช้กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ Fluorescent T8 มีมากกว่าหลอดไฟ LED T8 ถึง 2 เท่า
- การใช้หลอดไฟ LED T8 จะทำให้ เพดาน ก่อนข้างมืด เมื่อเทียบกับการใช้หลอดไฟ Fluorescent T8

ผู้ใช้งานสามารถประมาณค่า Lumen ของหลอดไฟ Fluorescent T8 ที่ใช้งานจริง โดยคำนวณจากค่า 30%-50% ของค่า Lumen ที่กำหนด

ถ้าเราศึกษาในรายละเอียดแล้ว ยังต้องศึกษาถึงสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ห้อง เราเรียกรวมกันว่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของห้อง เราสามารถประมาณค่า Lumen ของหลอดไฟ Fluorescent T8 ที่ใช้งานจริง โดยคำนวณจากค่า 50%-60% ของค่า Lumen ที่กำหนด

- การคำนวณโดยใช้ Lux

สูตรสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่าง Lumen และ Lux ก็คือ

$$\text{Lux} = \text{Lumen} / \text{พื้นที่}$$

ตัวอย่าง การคำนวณการหาความสว่าง หรือ Lux

4.1 ค่ามุมเปิด 120° ของ หลอดไฟ LED T8

ระยะห่าง 1 เมตร ของ หลอดไฟ LED มีค่าความสว่าง = $1,800 \div \pi = 570 \text{ Lux}$

ระยะห่าง 2 เมตร ของ หลอดไฟ LED มีค่าความสว่าง = $1,800 \div 4\pi = 140 \text{ Lux}$

ระยะห่าง 2.5 เมตร ของ หลอดไฟ LED มีค่าความสว่าง = $1,800 \div 6.25\pi = 90 \text{ Lux}$

4.2 หากคำนวณ ค่ามุมเปิด 180° ของ หลอดไฟ Fluorescent T8 เพราะมุมการส่องสว่างหรือมุมเปิด 360° จากการใช้งานปกติมักจะส่องด้านเดียว เช่น การติดตั้งบนเพดาน (การคำนวณยังไม่ได้คิดค่าการสะท้อนจากเพดาน)

ระยะห่าง 1 เมตร ของหลอดไฟ Fluorescent T8 มีค่าความสว่าง = $2,700 \div 2\pi = 430 \text{ Lux}$

ระยะห่าง 2 เมตร ของหลอดไฟ Fluorescent T8 มีค่าความสว่าง = $2,700 \div (2\pi \times 4) = 110 \text{ Lux}$

ระยะห่าง 2.5 เมตร ของหลอดไฟ Fluorescent T8 มีค่าความสว่าง = $2,700 \div (2\pi \times 6.25) = 70 \text{ Lux}$

หากเราคิดค่า การสะท้อนประมาณ 30%-50% ค่า Lux ที่ได้จากการคำนวณข้อ 4.1 และ 4.2 จะมีค่าใกล้เคียงกัน

4.3 หากคำนวณ ค่ามุมเปิด 360° ของ หลอดไฟ Fluorescent T8 เพราะมุมการส่องสว่างหรือมุมเปิด 360° จากการใช้งานปกติให้ส่องทุกด้าน

ระยะห่าง 1 เมตร ของหลอดไฟ Fluorescent T8 มีค่าความสว่าง = $2,700 \div 4\pi = 210 \text{ Lux}$

ระยะห่าง 2 เมตร ของหลอดไฟ Fluorescent T8 มีค่าความสว่าง = $2,700 \div (4\pi \times 4) = 50 \text{ Lux}$

ระยะห่าง 2.5 เมตร ของหลอดไฟ Fluorescent T8 มีค่าความสว่าง = $2,700 \div (4\pi \times 6.25) = 35 \text{ Lux}$

4.4 ถ้าเราต้องการ ความสว่าง 500 Lux ห่าง 2 เมตร จากหลอดไฟ LED T8 ที่คิดค่า มุมเปิด 120°

ดังนั้น เราต้องการค่า Lumen จากหลอดไฟ LED = $500 \times 4\pi = 6,283 \text{ Lumen}$

หากเรามีหลอดไฟ LED มีค่า 1,800 Lumen เราก็ต้องการจำนวน = $6,283/1,800 \approx 3.5$ หลอด

หากเราต้องการวิธีคำนวณอย่างละเอียด เราสามารถใช้ Software ในการคำนวณได้ เช่น

- Calculux จาก Philips Lighting สามารถ Download ใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

http://www.lighting.philips.com/in_en/connect/tools_literature/downloads.wpd

- DIALux จาก DIAL สามารถ Download ใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

http://www.lighting.philips.com/in_en/connect/tools_literature/downloads.wpd

<http://www.lumitronlighting.com/>

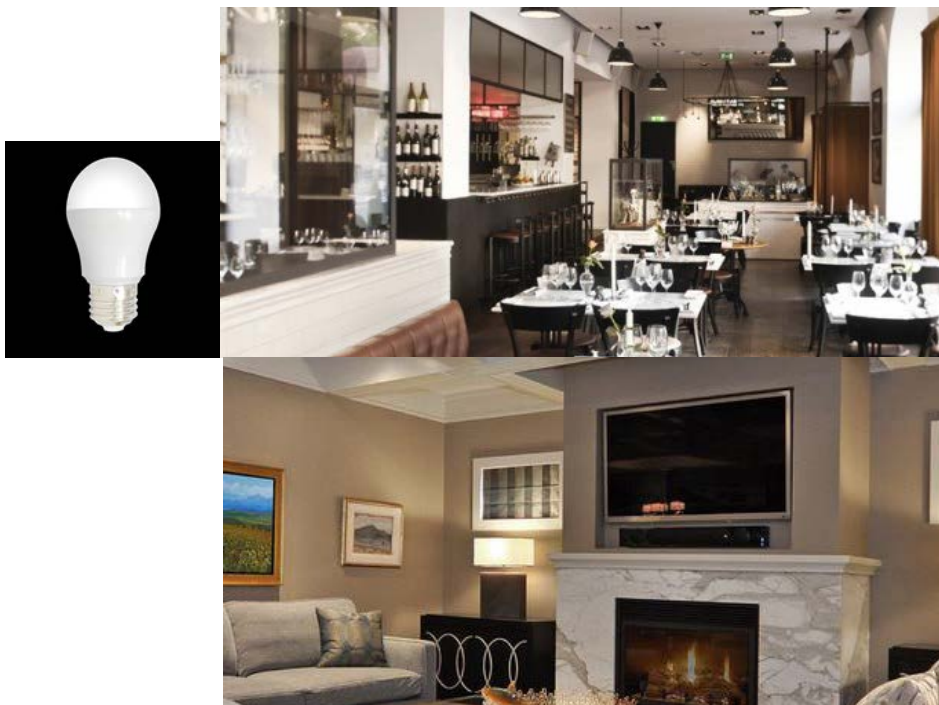
<http://www.dial.de/DIAL/de/dialux/download.html>

5. ตัวอย่างหลอดไฟ LED ชนิดต่างๆ และตัวอย่างการใช้งาน

- หลอดไฟ LED แบบ Light Tubes



- หลอดไฟ LED แบบ Light Bulbs



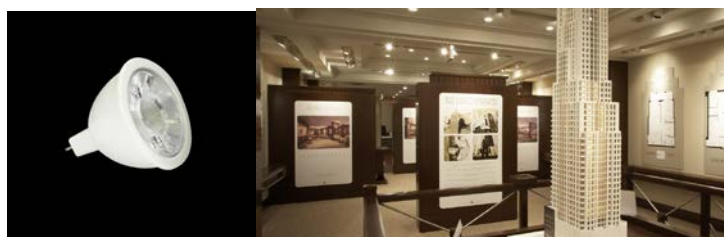
- หลอดไฟ LED แบบ RGB LED Light Bulbs



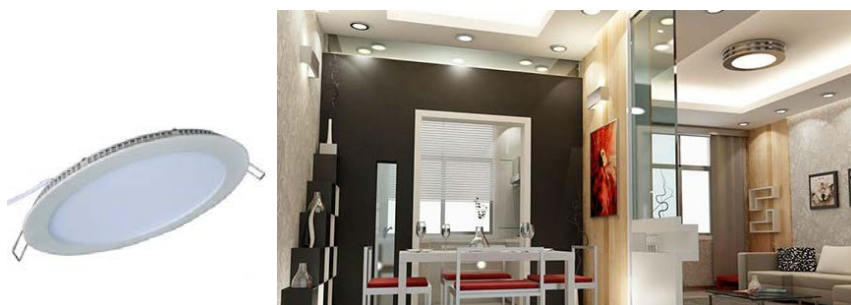
- หลอดไฟ LED แบบ Light Bulbs (Filament)



- หลอดไฟ LED แบบ Spot Lights



- หลอดไฟ LED แบบ Panel Lights



- หลอดไฟ LED แบบ Flood Lights



- หลอดไฟ LED แบบ High Bay Lights



- หลอดไฟ LED แบบ Corn Lights



- หลอดไฟ LED แบบ Street Lights



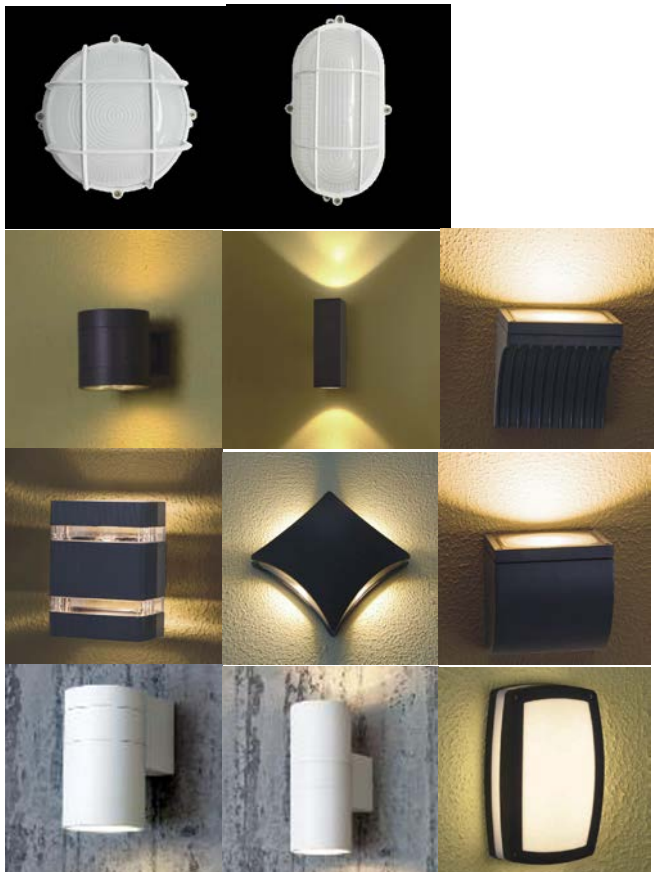
- หลอดไฟ LED แบบ Strip Lights

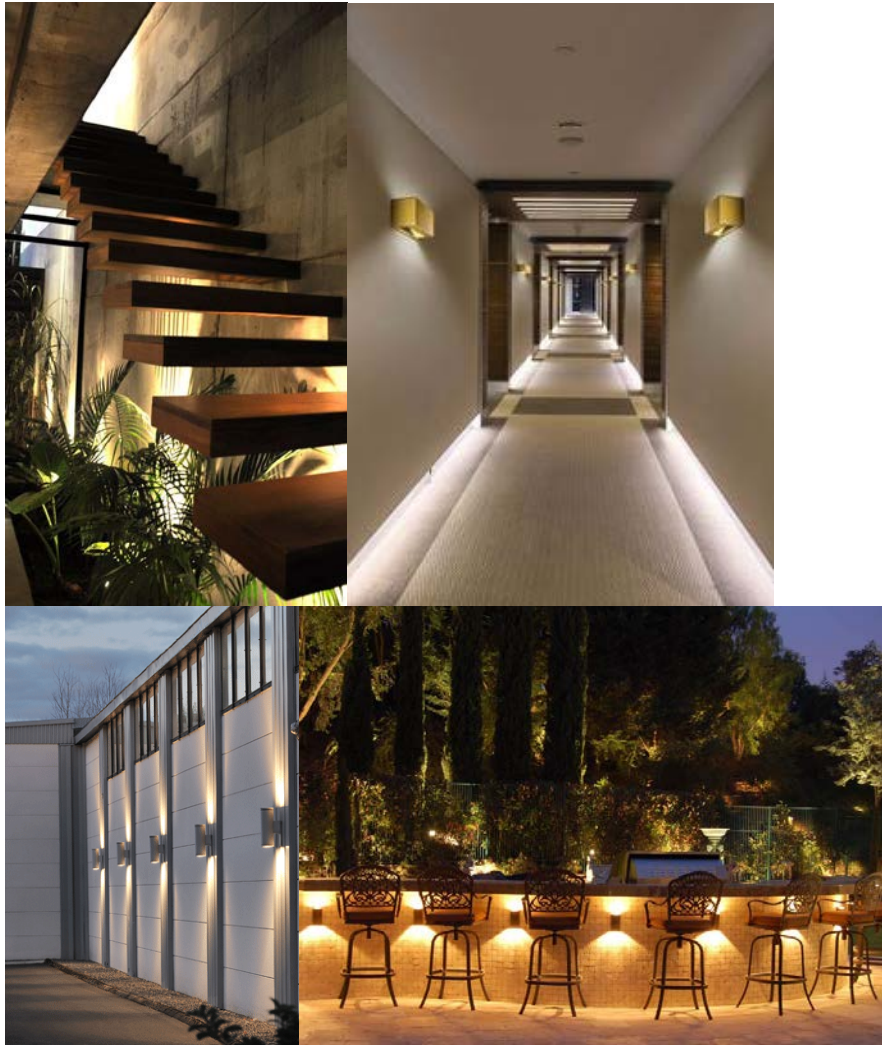


- หลอดไฟ LED แบบ Ceiling Lights



- หลอดไฟ LED แบบ Wall Mounted Lights





(www.wt-realite.com)

6. มาตรฐานค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง ณ บริเวณพื้นที่ทั่วไป

สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับแสงสว่างที่เหมาะสมกับการใช้งาน
คร่าวๆ ดังนี้

ค่าความสว่างในโรงงานตามมาตรฐาน CIE

ลักษณะของงาน	พื้นที่ใช้งาน	ระดับความสว่าง(ลักซ์) CIE
งานทั่วไป	ทางเดินภายใน/นอกอาคาร บันได ห้องเก็บของ	150-200-300
งานหยาบ	บรรจุผลิตภัณฑ์ หัตถกรรม โรงสี ห้องหมักน้ำ	200-300-500
งานละเอียดปานกลาง	ประกอบชิ้นส่วนทั่วไป ขึ้นรูปอย่างหยาบๆ	300-500-750
งานละเอียด	เขียน อ่าน ขึ้นรูปและตรวจสอบทั่วไป	500-750-1000
งานละเอียดมาก	เขียนแบบขึ้นรูปและตรวจสอบละเอียด	1000-1500-2000

ที่มา : สมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย www.tieathai.org

สำหรับรายละเอียดค่าความสว่าง สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก

กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และ
สภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. ๒๕๕๕

<http://www.bsa.or.th/กฎหมาย/กฎกระทรวง-การทำงานเกี่ยวกับความร้อน-แสงสว่าง-และเสียง-พศ-๒๕๕๕.html>

สำหรับความสว่าง (Illuminance) ที่มีหน่วยเป็น Lux (ลักซ์) ในมาตรฐานนี้เรียก ความเข้มของแสง
สว่าง)

7. การติดตั้งหลอดไฟฟ้าหรือโคมไฟฟ้า

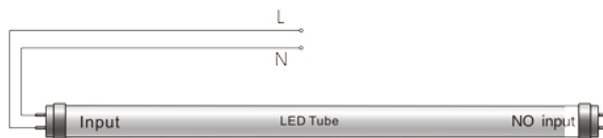
การออกแบบติดตั้งหลอดไฟฟ้าหรือโคมไฟฟ้าในสถานที่ต่างๆ ผู้ออกแบบควรใช้ ศิลปะ ผสมผสาน กับ วิศวกรรม คือ ออกแบบติดตั้งหลอดไฟฟ้าหรือโคมไฟฟ้าให้เหมาะกับห้องที่ใช้งานตาม มาตรฐานแสงสว่างที่กำหนด และคำนึงถึงความสะดวกด้วย

ดังนั้น ในการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้บนเพดานในห้อง วิศวกรและสถาปนิกต้องออกแบบ โดย เริ่มต้นจาก ช่องแอร์, หลอดไฟฟ้า (โคมไฟฟ้า), ลำโพงเสียง, Sensor ของ Fire Alarm และ Springer ตามลำดับ ให้เหมาะสม

- หลอดไฟ LED แบบ Tube

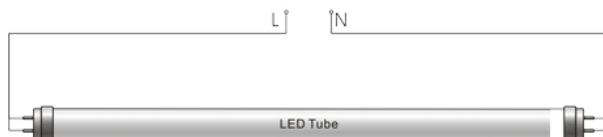
การใช้งาน หลอดไฟ LED แบบ Tube ในอาคารต่างๆ จะมีมากกว่าหลอดไฟ LED ชนิดอื่นๆ หลอด หลอดไฟ LED แบบ Tube ที่ผลิตออกมาจะมี 2 แบบ คือ Single-End Tube และ Double-End Tube

O หลอดไฟ LED แบบ Single-End Tube



(<http://www.wholesale-led.com/blog/installation-guide-led-tube-lights/>)

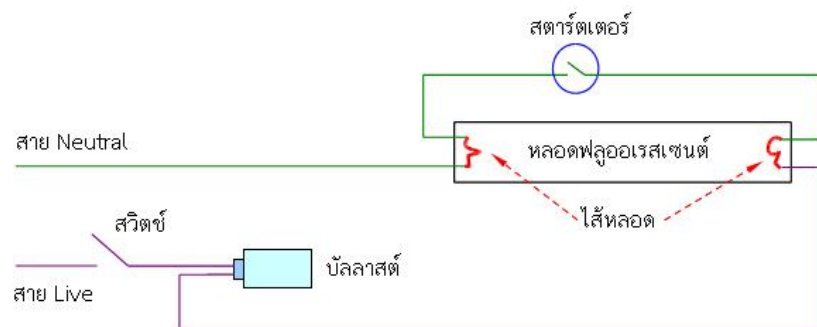
O หลอดไฟ LED แบบ Double-End Tube



(<http://www.wholesale-led.com/blog/installation-guide-led-tube-lights/>)

หลอดไฟ LED แบบ Tube ส่วนใหญ่ออกแบบให้ใช้กับแรงดันไฟฟ้า ได้ตั้งแต่ 90 โวลต์ ถึง 240 โวลต์

- การติดตั้งหลอดไฟ Fluorescent ทัวไป



<http://research.rmutp.ac.th/research/rmutp/Low%20Losses%20Magnetic%20Ballast%20Lower%204.5%20Watt.pdf>

ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ของหลอดไฟ Fluorescent T8 ยาว 1.2 เมตร ขนาดกำลัง 36 Watt

รายละเอียด		
พลังงานที่ใช้ทั้งหมด	แรงดัน (V_1)	220
	กระแส (A_1)	0.42
	กำลังไฟฟ้า (W_1)	44.3
	เพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF_1)	0.45
พลังงานที่ใช้ของหลอด	แรงดัน (V_2)	100.7
	กระแส (A_2)	0.42
	กำลังไฟฟ้า (W_2)	32.5
	เพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF_2)	0.76
พลังงานที่ใช้ของบัลลาสต์	แรงดัน (V_3)	174.7
	กระแส (A_3)	0.42
	กำลังไฟฟ้า (W_3)	9.3
	เพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF_3)	0.13
ปริมาณแสงของหลอด (lumen)		2340
กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่บัลลาสต์ (วัตต์)		9.3

- การเปลี่ยนจากหลอดไฟ Fluorescent เป็น หลอดไฟ LED แบบ Tube

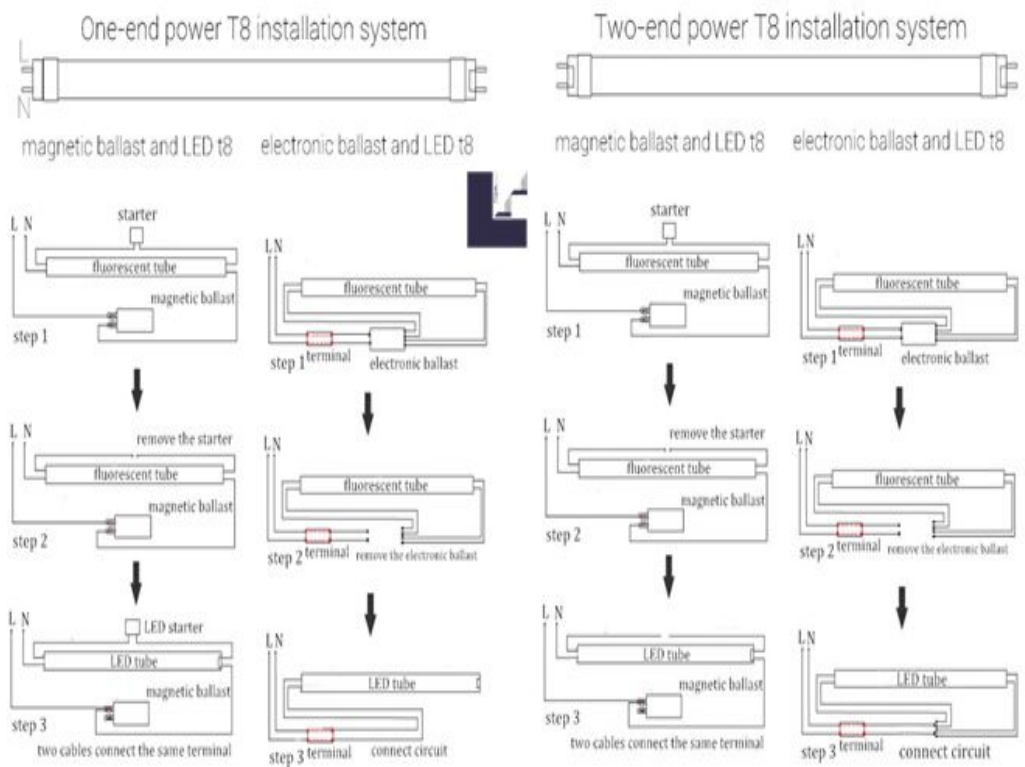
- สำหรับการติดตั้งหลอดไฟ Fluorescent ที่มีอยู่ก่อนแล้ว ให้เราถอดสตาร์ทเตอร์ ออก เราอาจจะใช้ หรือ ไม่ใช้ บัลลาสต์ ก็ได้
 - การถอด บัลลาสต์ ออก จะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มในการถอดโคมไฟ
 - หากไม่ถอด บัลลาสต์ ออก การนำหลอดไฟ Fluorescent กลับมาใช้ ยังสามารถทำได้ โดยเพิ่ม สตาร์ทเตอร์ เข้าไปเท่านั้น

แรงดันคร่อมหลอดไฟ LED ยังคงอยู่ในเกณฑ์ของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด คือ 90 โวลต์ ถึง 240 โวลต์ โดยที่ แรงดันคร่อมหลอดไฟ Fluorescent จะอยู่ที่ ประมาณ 100 โวลต์

เนื่องจาก หลอดไฟ LED มีแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดอยู่ในช่วงกว้าง (จากวงจร LED ไดรเวอร์ (LED Driver) ที่อยู่ภายในหลอด) จึงสามารถใช้งานได้กับ แรงดันไฟฟ้าหลายแบบคือ 110V และ 220V ทั้งแบบมี บัลลาสต์ และ ไม่มี บัลลาสต์ ได้

- หลอดไฟ LED ไม่สามารถใช้กับ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีอยู่เดิมได้ จะต้องถอด บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ออก แต่ก็มี หลอดไฟ LED บางรุ่นที่ ออกแบบมาเพื่อให้ใช้กับ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ได้ แต่ราคาของหลอดไฟ LED ดังกล่าว ยังมีราคาสูง

- รูปแบบการติดตั้ง หลอดไฟ LED แบบ Tube ทั้ง Single-End Tube และ Double-End Tube ที่ใช้ทดแทน หลอดไฟ Fluorescent เดิม
 - บัลลาสต์ธรรมดา
 - บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (ต้องถอดบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ออก)



<http://litewell-lighting.sell.curiousexpeditions.org/pz6cd08d7-lw-tu0003-10w-standard-t8-600mm-led-tube.html>

- สำหรับการติดตั้งใหม่ ไม่จำเป็นต้องใช้ บัลลาสต์ (แต่ต้องสำรองอะไหล่ หลอดไฟ LED แบบ Tube เท่านั้น)

ประเทศไทย ยังไม่ได้กำหนดเป็นที่ชัดเจนของการใช้หลอดไฟ LED แบบ Tube
ว่าจะแบบ Single-End Tube หรือ Double-End Tube ดังนั้น ผู้ออกแบบควร
กำหนดตั้งแต่เริ่มต้นว่า จะใช้หลอดไฟ LED แบบ Tube แบบใด

8. ข้อเสนอแนะทั่วไป

8.1 การวัดค่า Lumen ที่มีค่าถูกต้องของหลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆ จะต้องใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการวัด มีค่าใช้จ่ายมาก และต้องทำในห้อง Laboratory ที่ได้มาตรฐาน

ปัจจุบัน มีหน่วยงานของทางราชการ มหาวิทยาลัย ให้บริการแก่ผู้ประกอบการทั่วไป เช่น สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (<http://www.thaieei.com/2013/th/>)

แต่เราสามารถวัดและคำนวณ ค่า Lumen โดยใช้อุปกรณ์ที่หาได้ในตลาด ได้แก่ Lux Meter โดยเราจะหาค่าประมาณของ Lumen ของหลอดไฟฟ้าได้ ดังนี้

หาห้องที่เหมาะสม อ่านค่า Lux Meter ที่ห่างจากหลอดไฟฟ้า ประมาณ 1 เมตร
แล้ว คูณ ด้วยค่า

π ในกรณี ที่หลอดไฟฟ้า มี Opening angle 120°

4π ในกรณี ที่หลอดไฟฟ้า มี Opening angle 360°

เราก็จะได้ค่า Lumen โดยประมาณของ หลอดไฟฟ้าได้

ตัวอย่างเช่น

เราอ่านค่า Lux Meter ได้ 100 Lux เราพอประมาณ Lumen ของ

หลอดไฟ LED มี Opening angle $120^\circ \approx 314$ Lumen

หลอดไฟ LED มี Opening angle $360^\circ \approx 79$ Lumen

8.2 หลอดไฟ LED แบบ Tube ที่มีพลาสติกปิดหลอดด้านหน้าเป็นสีใส เราเรียกว่า Transparent
หลอดไฟ LED แบบ Tube ที่มีพลาสติกปิดหลอดด้านหน้าเป็นสีขุ่น เราเรียกว่า Translucent

8.3 ยังมีเนื้อหาสาระอีกมาก เกี่ยวกับการผลิต การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ท่าน
ผู้อ่านสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้

9. LED ไดรเวอร์ (LED Driver) และ ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility, EMC)

9.1 LED ไดรเวอร์ (LED Driver)

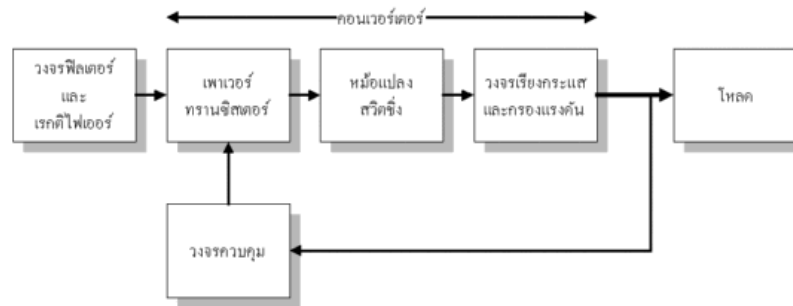
- ไดรเวอร์ (Driver) คืออุปกรณ์ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแรงดันไฟฟ้าสายเมน (Main Voltage) ให้กับหลอดไดโอดเปล่งแสง LED โดยแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดไดโอดเปล่งแสง LED หนึ่งหลอด จะอยู่ที่ค่าประมาณ 2-4 VDC เท่านั้น (แต่ถ้านำหลอดไดโอดเปล่งแสง LED มาต่ออนุกรมกัน ก็จะใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น)

สิ่งสำคัญในการออกแบบคือ ไดรเวอร์ต้องเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current Source) ไม่ว่าแรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร และการจ่ายกระแสไฟต้องเป็นไปตามที่ผู้ผลิตหลอดไดโอดเปล่งแสง LED กำหนดเท่านั้น จึงจะได้ประสิทธิภาพสูงสุด เพราะหากจ่ายกระแสมากเกินไปจะทำให้เกิดความร้อนและอายุของหลอดไดโอดเปล่งแสง LED สั้นลง

สำหรับ LED ไดรเวอร์เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมด (Switched Mode Power Supply) หรือ SMPS โดยมีหลักการทำงานดังนี้ แรงดันไฟฟ้าสายเมน AC (110-220 VAC) จะเปลี่ยนกระแสสลับเป็นกระแสตรง (Rectify) จากนั้นจะกรองด้วยตัวกรองเก็บประจุคาปาซิเตอร์ (Capacitor) ที่ทนแรงดันไฟฟ้าสูง เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตรงที่เกิดขึ้น จะมีการสวิตช์สลับเปลี่ยนให้ ปิดและเปิด ที่ความถี่สูงโดยวงจรสวิตชิงอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้เป็นกระแสสลับความถี่สูงมาก (ประมาณ 10 KHz-1 MHz) ทำให้เราสามารถใช้อะแดปเตอร์ไฟฟ้า และตัวกรองเก็บประจุ คาปาซิเตอร์ (Capacitor) ที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา หลังจากทีกระแสสลับความถี่สูงมากผ่านตัวเหนี่ยวนำหรือหม้อแปลงแล้ว กระแสสลับความถี่สูงจะเปลี่ยนกระแสสลับเป็นกระแสตรง (Rectify) และการกรอง (Filter) ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่เหมาะสมกับการใช้งานอีกครั้งหนึ่ง

แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมด (Switched Mode Power Supply) จะมีขนาดเล็ก และถูกกว่า แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบดั้งเดิม ที่พบในอุปกรณ์แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าเชิงเส้นที่ใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่

<https://th.wikipedia.org/wiki/แหล่งจ่ายไฟ>



(https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching_regulator/)

- การทำงานของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมด (Switched Mode Power Supply) ที่สวิตช์สับเปลี่ยนให้ ปิดและเปิด ที่ความถี่สูงโดยวงจรสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้เป็นกระแสดับความถี่สูงมากนี้ จะทำให้เกิดการแผ่รังสีสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (ElectroMagnetic Interference, EMI) ออกมารบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่นได้ ซึ่งเป็นปัญหาทั่วไปของอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมด (Switched Mode Power Supply)

การแผ่รังสีสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้างกล่าวสามารถแผ่รังสีสัญญาณรบกวนได้หลายทาง เช่น ทางสายตัวนำ (Conducted EMI), ทางอากาศ (Radiated EMI), การรบกวนกระแสฮาร์โมนิกส์ (Current Harmonics Emission), และการกระพริบและการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในระบบจ่ายไฟฟ้า (Flicker)

นอกจากนี้แล้ว แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมด (Switched Mode Power Supply) มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power factor) ค่อนข้างต่ำ เป็นแหล่งผลิตฮาร์โมนิก (Harmonic) จนทำให้เกิดการบิดเบือนรูปคลื่น (Waveform) ของกระแสไฟฟ้าที่เข้ามาจากสายเมนไฟฟ้า สิ่งนี้ก่อให้เกิดผลกระทบด้านลบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นในระบบ กระแสไฟฟ้าที่บิดเบือนนี้ทำให้เกิดความร้อนส่วนเกินในสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมด (Switched Mode Power Supply) ที่มีการออกแบบใช้ตัวกรองหรือขั้นตอนการสวิตช์เพิ่มเติม เพิ่มความซับซ้อนในวงจรเรียงกระแสเพื่อปรับปรุงรูปแบบของคลื่นกระแสไฟฟ้าที่ดึงมาจากแรงดันไฟฟ้าเมน จะทำให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power factor) สูงขึ้น เราเรียกว่า การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor Correction, PFC)

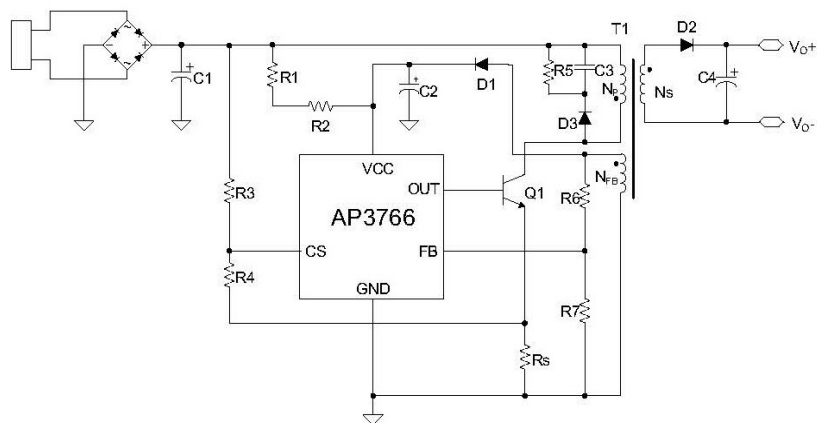
- สำหรับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมด (Switched Mode Power Supply) มีการออกแบบหลายลักษณะ แต่ขอกล่าวถึงคุณลักษณะหนึ่งเกี่ยวกับด้านความปลอดภัย ได้แก่ การออกแบบกราวด์ของวงจรไฟฟ้าด้านแรงสูงและวงจรไฟฟ้าด้านแรงต่ำ คือ แบบแยกกราวด์ (Isolated Ground) และแบบไม่แยกกราวด์ (Non-Isolated Ground) โดยที่แบบแยกกราวด์ (Isolated Ground) มีความปลอดภัยสูงกว่าในการใช้งานแบบไม่แยกกราวด์ (Non-Isolated Ground) แต่การใช้งานทั่วไป เราจะพบ LED ไดรเวอร์ แบบไม่แยกกราวด์ (Non-Isolated Ground) มากกว่าแบบแยกกราวด์ (Isolated Ground) เนื่องจากความจำเป็นด้านราคา แต่หากผู้ใช้งานมีความรู้ความเข้าใจเพียงพอ ก็ยังมีความปลอดภัยในการใช้งาน

ประเทศจีนเป็นประเทศหนึ่งที่มีการใช้หลอดไฟฟ้า LED เป็นจำนวนมาก จึงทำให้การพัฒนา LED ไดรเวอร์ มีความก้าวหน้ามาก โดยมีศักยภาพการออกแบบ IC ใช้งานเฉพาะแบบ (Application Specific IC, ASIC) สำหรับหลอดไฟฟ้า LED โดยเฉพาะ ทำให้การออกแบบ และการผลิตหลอดไฟฟ้า LED มีความง่ายและสะดวกมากขึ้น จนมีราคาที่ลดลงอย่างมาก เมื่อจำนวนการผลิตสูงถึงการประหยัดต่อขนาด (Economics of Scale) ในการผลิต

นอกจากนี้ ยังมีผู้ผลิต IC จากประเทศอื่นๆ เช่น สหรัฐอเมริกา ที่ผลิต IC สำหรับ LED ไดรเวอร์ โดยเฉพาะ ซึ่งจะได้นำเสนอในลำดับต่อไป

ตัวอย่างของ LED ไดรเวอร์ ของ หลอดไฟฟ้า LED แบบต่างๆ

- 9.1.1. กลุ่มที่ใช้ IC เบอร์ AP3766 ของบริษัท BCD Semiconductor ที่ บริษัท Diodes Incorporated ได้ซื้อกิจการไป สำหรับ IC เบอร์ AP2766 นี้ ทำหน้าที่ สวิตซ์ ینگ คอนโทรลเลอร์ (Switching Controller) ควบคุมการสวิตซ์ของทรานซิสเตอร์ (Transistor) หรือ FET



5V/700mA Output for Battery Charger of Mobile Phone

<http://www.diodes.com/>

Datasheet ของ AP3766

<https://drive.google.com/open?id=0B4KDLww9CYIwTzZPVXQxNTFfb1lk>

ตัวอย่าง

- LED ไดรเวอร์ หลอด LED Bulb 3W จ่ายแรงดันไฟฟ้า 10.5VDC 350mA

<https://drive.google.com/file/d/0B4KDLww9CYIwQ3BxT2JwOUVnNUU/view?usp=sharing>

- LED ไดรเวอร์ หลอด LED Bulb 5W จ่ายแรงดันไฟฟ้า 18VDC 350mA

<https://drive.google.com/file/d/0B4KDLww9CYIwb2QtdnM0MkltQUU/view?usp=sharing>

- LED ไดรเวอร์หลอด LED Bulb 7W จ่ายแรงดันไฟฟ้า 27VDC 350mA

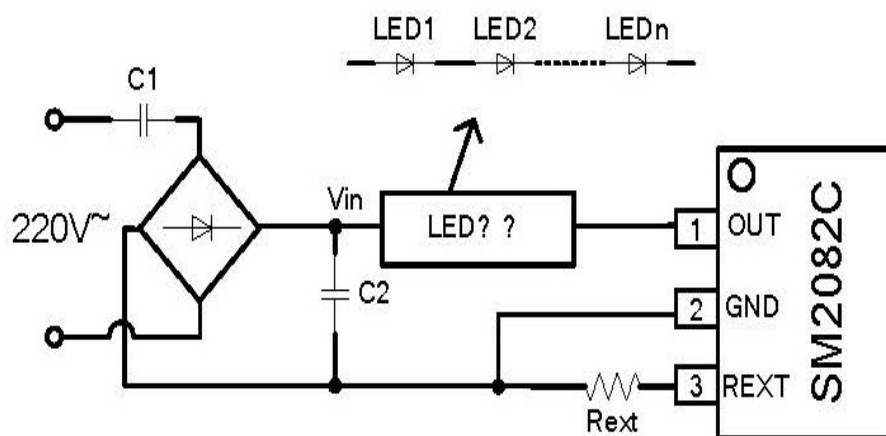
<https://drive.google.com/file/d/0B4KDLww9CYIwYlc5YkY1OUVDdEE/view?usp=sharing>

- LED ไดรเวอร์ จ่ายแรงดันไฟฟ้า 33VDC 1,000mA

<https://drive.google.com/file/d/0B4KDLww9CYIwU3Zjbm04T0dPMDQ/view?usp=sharing>

- 9.1.2. กลุ่มที่ใช้ IC เบอร์ SM2032 ของบริษัท Goston Electronics สำหรับ IC เบอร์ SM2032 ทำหน้าที่เป็น LED ไดรเวอร์ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่แรงดันสูง (High Voltage Constant Current LED Driver) ให้กับหลอดไดโอดเปล่งแสง LED จากแรงดันไฟฟ้าเมนโดยตรง ไม่ได้ใช้วิธีจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบสวิตซ์โหมด SMPS ซึ่งทำให้ลดจำนวน

อุปกรณ์ประกอบลงมาก และยังช่วยลดปัญหาด้านการแพร่สัญญาณรบกวน
แม่เหล็กไฟฟ้า (ElectroMagnetic Interference, EMI) อีกด้วย

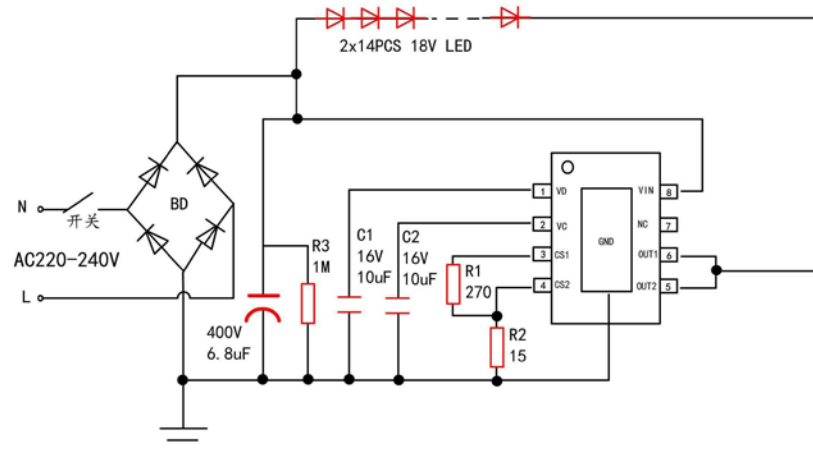


<http://www.linkage.cn>

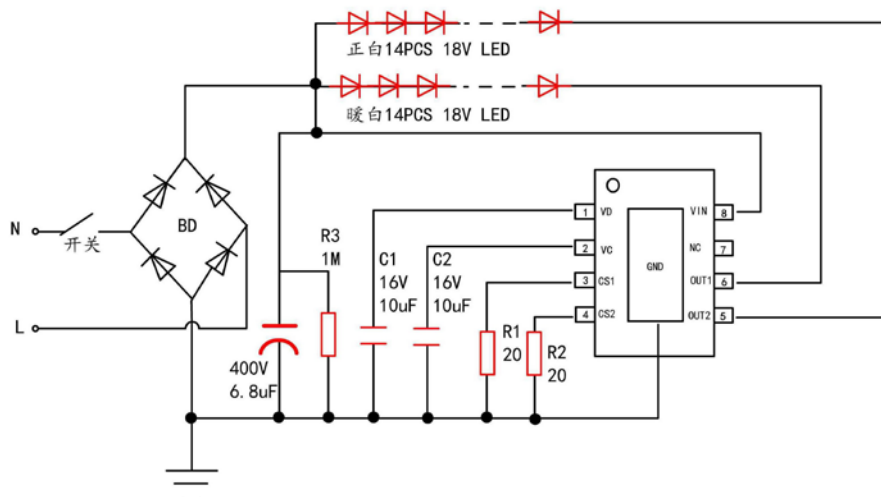
Datasheet ของ SM2032

<https://drive.google.com/file/d/0B4KDLww9CYIwTjRSQXZCR0h6SHM/view?usp=sharing>

- 9.1.3. กลุ่มที่ใช้ IC เบอร์ TH2000A หรือ EG2000A ของบริษัท Thyayd Semiconductor สำหรับ IC เบอร์ TH2000A หรือ EG2000A ทำหน้าที่คล้ายๆ กับ IC เบอร์ SM2032 เป็น LED ไดรเวอร์ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่แรงดันสูง (High Voltage Constant Current LED Driver) ให้กับหลอดไดโอดเปล่งแสง LED จากแรงดันไฟฟ้าเมนโดยตรง และเพิ่มฟังก์ชันการทำงาน โดยสามารถเลือกสวิตช์ใช้งานได้หลายแบบ เช่นการสวิตช์ใช้ อุณหภูมิสี (Color Temperature) ของหลอดไฟฟ้า LED ตามความชอบของผู้ใช้งาน การทำงานสามารถทำงานได้โดยการเปิดปิดสวิตช์ภายใน 3 วินาที เพื่อเลือกโหมดการทำงานได้ทั้งหมด 3 แบบ สูงสุด และจะวนกลับไปอีกครั้งหนึ่ง



แบบใช้สวิทช์ครั้งเดียว



แบบใช้สวิทช์ 3 ครั้ง สวิทช์ครั้งแรก Out 1 และ Out2 จะ ON พร้อมกัน
สวิทช์ครั้งที่ 2 และ 3 Out 1 และ Out2 จะ ON ตามลำดับ

<http://www.thyayd.com/>

Datasheet ของ TH2000A หรือ EG2000A

<https://drive.google.com/file/d/0B4KDLww9CYIwazhVV1VZYW03UkE/view?usp=sharing>

9.1.4. กลุ่มที่ใช้ IC จาก บริษัท Power Integrations, PI จากประเทศสหรัฐอเมริกา (<https://led-driver.power.com/>) โดยมีบริษัท อิเล็กทรอนิกส์ฮอรัส

(<http://www.es.co.th/tabs.asp?keyword=&catc=&t=1&mfr=0195>) เป็นบริษัท

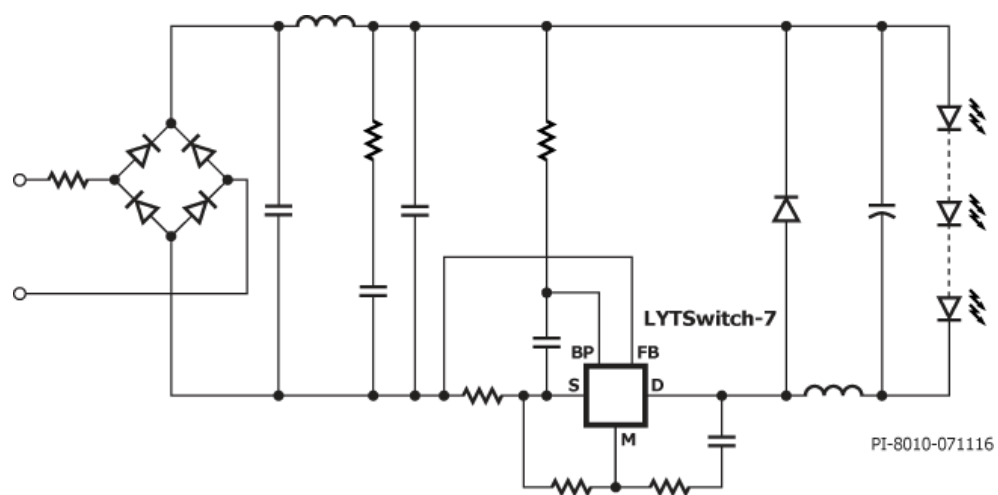
ตัวแทนในประเทศไทย

สำหรับผลิตภัณฑ์ IC สำหรับ LED ไดรเวอร์ ของ PI นี้ อยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์
LYTSwitch (ไลต์สวิตช์) เป็น IC แบบ Monolithic กล่าวคือ ใน ชิป (Chip) จะมีวงจร

รวมของ ชุดควบคุม (Controller) และ ชุด FET เป็นชิ้นเดียวกัน ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของ IC จาก PI นี้

(<https://led-driver.power.com/products/lytswitch-family/>)

นอกจากนี้ PI ยังผลิต IC สำหรับ LED ไดรเวอร์ ที่ต้องการการควบคุมพิเศษ เช่น การหรี่ไฟ (Dimmer) อีกด้วย ตัวอย่างได้แก่ LYTSwitch-7 Phase-Cut Dimmable Single-Stage LED Driver IC with Combined PFC and Constant Current Output for Buck Topology.



9.1.5. กลุ่มอื่นๆ

การพัฒนาที่ไม่หยุดยั้ง จะมี IC สำหรับ LED ไครเวอร์ ออกมาใช้งานอย่างต่อเนื่อง จะได้นำเสนอในโอกาสต่อไป

9.2 การตรวจสอบเพื่อการอนุญาตสำหรับผลิตภัณฑ์ “บริษัทส่องสว่างและบริษัทที่คล้ายกัน : จิตจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ” ตามมาตรฐานเลขที่ มอก.1955-2551

สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ให้แสงสว่างประเภทหลอดไฟฟ้า LED ที่ได้รับ มอก. นั้น ไม่ได้มีข้อกำหนดด้านคุณภาพ อายุการใช้งาน ฯลฯ แต่เป็นข้อกำหนดด้านการแพร่สัญญาณรบกวนของคลื่นวิทยุของผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่แล้ว สัญญาณรบกวนคลื่นวิทยุจะมีมากในหลอดไฟฟ้าประเภทที่มี บัลลาสต์ สตาร์ทเตอร์ และ การให้แสงสว่างแบบการใช้การอาร์ค (Arc)

ส่วนหลอดไฟฟ้า LED เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบสวิตช์โหมด (Switched Mode Power Supply) หรือ SMPS ทำให้มีการแพร่สัญญาณรบกวนต่างๆ ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

การทดสอบความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility, EMC) ดำเนินการตามวิธีการทดสอบที่ระบุไว้ในเอกสารมาตรฐานสากลที่ได้รับการยอมรับ ทั้งในระดับสากลและระดับภูมิภาคต่างๆ ซึ่งอุปกรณ์หรือผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าที่จะได้รับการรับรองตามมาตรฐานด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ต้องไม่สร้างสัญญาณรบกวนออกมาเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน มาตรฐานสากลที่กำหนดให้มีการทดสอบเรื่องการแพร่กระจาย (Emission)

<http://www.la.biotec.or.th/NSTDAServiceWeb/detail.php?id=1>

หลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อการอนุญาตสำหรับผลิตภัณฑ์บริษัทส่องสว่างและบริษัทที่คล้ายกัน : จิตจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ

www.tisi.go.th/PR/pdf/R1955_2551_02.pdf

10. Website ที่แนะนำ

10.1 Website ของรูปภาพต่างๆ

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Steradian> หน้า 2
- http://www.lightart.com.tr/useful_information.php หน้า 5
- http://www.seesmartled.com/kb/choosing_color_temperature/ หน้า 7
- <https://www.downlights.co.uk/faq-which-colour-temperature-.html> หน้า 7
- <https://www.facebook.com/LumitronLighting> หน้า 7,8
- <http://www.snaidero-usa.com/designliving-blog/2014/11/20/led-kitchen-lights-a-smart-choice-for-your-health-and-your-wallet> หน้า 8
- <http://www.planckleds.com/what-is-cri/> หน้า 9
- <http://my-light-tech.com/color-rendering-index-cri/> หน้า 9
- <http://www.baalray.com/blog/cob-advantages/> หน้า 10
- https://en.wikipedia.org/wiki/SMD_LED_Module หน้า 10
- <http://heracolights.com/2014/03/10/3528-vs-5050-vs-5630-led-smd-diodes/> หน้า 11
- <http://www.rs-led.cc/siteen/xwzx/1956.html?cid=107> หน้า 11
- <http://www.hisupplier.com/product-1494189-120pcs-m-2835-Flexible-LED-stripe/> หน้า 11
- <http://www.hibikii.com/knowledge/comparison-of-smd3528-and-smd5050-300-led-light-strip/> หน้า 11
- <https://www.youtube.com/watch?v=fTdUIVWK25I> หน้า 12
- http://www.alibaba.com/product-detail/High-Power-10W-300W-Epistar-COB_508308746.html หน้า 12
- <http://www.ecplaza.net/trade-leads-seller/1w-3w-5w-10w-20w--7184049.html> หน้า 12
- http://www.ledinside.com/products/2012/4/hpl_led_package_201204 หน้า 13
- http://www.alibaba.com/product-detail/Taiwan-epistar-12v-10w-led-chip_1808706612.html หน้า 13,14
- <http://www.livingearthfarms.net/equipment-and-supplies-2/> หน้า 14

- http://hzelight.en.alibaba.com/product/1742296487-800622691/modern_2014_new_style_A60_Standard_led_filament.html หน้า 15
- http://www.ledinside.com/knowledge/2015/2/the_next_generation_of_led_filament_bulbs หน้า 15
- <http://www.ledsmagazine.com/ugc/iif/2014/10/24/the-ledfilament-by-girardsudron-the-light-bulb-which-will-simplify-everything.html> หน้า 16
- <http://www.runlite.cn/userfiles/5cjerp755q19k1413258994.pdf> หน้า 16
- <http://www.ledacademy.net/5-4-directionality/> หน้า 17
- <http://sustainablemfr.com/energy-efficiency/shedding-light-led-industry> หน้า 17
- http://www.siamled.co.th/page_preview7.php?id=137 หน้า 17
- www.wt-realite.com หน้า 21-25
- <http://www.wholesale-led.com/blog/installation-guide-led-tube-lights/> หน้า 27
- <http://research.rmutp.ac.th/research/rmutp/Low%20Losses%20Magnetic%20Ballast%20Lower%204.5%20Watt.pdf> หน้า 28
- <http://litewell-lighting.sell.curiousexpeditions.org/pz6cd08d7-lw-tu0003-10w-standard-t8-600mm-led-tube.html> หน้า 30
- <https://th.wikipedia.org/wiki/แหล่งจ่ายไฟ> หน้า 33
- https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching_regulator/ หน้า 33
- <http://www.diodes.com/> หน้า 35
- <http://www.linkage.cn> หน้า 36
- <http://www.thyayd.com/> หน้า 36
- <https://led-driver.power.com/> หน้า 37
- <http://www.es.co.th/tabs.asp?keyword=&catc=&t=1&mfr=0195> หน้า 37
- <https://led-driver.power.com/products/lytswitch-family/> หน้า 38
- <http://www.la.biotec.or.th/NSTDAServiceWeb/detail.php?id=1> หน้า 39
- www.tisi.go.th/PR/pdf/R1955_2551_02.pdf หน้า 39

10.2 Website ที่น่าสนใจ

- http://www.compuphase.com/electronics/candela_lumen.htm
สำหรับ คำนวณ การแปลงค่าต่างๆ ในวิชา Illumination
- http://www.lighting.philips.com/in_en/connect/tools_literature/downloads.wpd

<http://www.lumitronlighting.com/>

<http://www.dial.de/DIAL/de/dialux/download.html>

สำหรับ Download ใช้งานการออกแบบ Illumination ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

- <http://research.rmutp.ac.th/research/rmutp/Low%20Losses%20Magnetic%20Ballast%20Lower%204.5%20Watt.pdf>
<https://drive.google.com/file/d/0B4KDLww9CYIwekQ4REQyVnNNWWc/view?usp=sharing>

สำหรับการแสดงค่าทางไฟฟ้าต่างๆ สำหรับ หลอดไฟ Fluorescent (เนื่องจาก ลิงค์ ดันลบ มีปัญหาในการเปิดไฟล์ จึงให้อ่านจากไฟล์ที่ได้บันทึกไว้)

- <http://www.thaitron.com/wiring-new-installation/>

ข้อมูลการติดตั้งหลอดไฟ LED แบบ Tube สำหรับโครงการใหม่

- www.wt-realite.com

ข้อมูลของหลอดไฟ LED แบบต่างๆ

- <http://www.thaieei.com/2013/th/>

สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

- <http://www.bsa.or.th/กฎหมาย/กฎกระทรวง-การทำงานเกี่ยวกับความร้อน-แสงสว่าง-และเสียง-พศ-๒๕๔๕.html>

กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. ๒๕๔๕

- http://www.coe.or.th/_coe/_product/20110428083620-2.pdf

ข้อมูลเพิ่มเติมจากสภาวิศวกร (Council of Engineers)

ร่าง “ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพด้านการศึกษาและการติดตั้งอุปกรณ์ส่องสว่างสถานะแข็ง (Solid-State Lighting)” ใช้ประกอบการจัดทำเทคนิคพิจารณา เมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม 2554

- <http://www.ticathai.org/>

สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ให้เป็นข้อมูลทางวิชาการ ดังนั้น รูปภาพที่นำเสนอใช้เพื่อเพิ่มความเข้าใจเท่านั้น ไม่ได้มุ่งหมายในทางการค้า

ขอขอบคุณ

- ข้อมูลต่างๆ จาก Website ที่เกี่ยวข้อง
- กัลยาณมิตร วศ. 17 ทุกๆ ท่าน ที่ได้ให้กำลังใจและความช่วยเหลือจนบทความนี้มี
ความเรียบร้อย

คุณชุต งามธนวิทย์ คุณดำรง ก้องเกียรติไกร และ คุณชนินทร์ ปวีร์วัฒน์

ช่วยเหลือตรวจสอบความถูกต้อง

คุณสุวิทย์ เมฆวิบูลย์ ประชาสัมพันธ์ วศ.17 ช่วยเหลือเผยแพร่บทความ

คมสันต์ สิริวัฒนาพาท วศ.17

ครั้งที่ 1 08/23/2014

แก้ไข (เพิ่มเติมรูปภาพ) ครั้งที่ 2, 10/21/2014

แก้ไข (เพิ่มเติมรูปภาพและ Website ที่เกี่ยวข้อง) ครั้งที่ 3, 08/23/2015

แก้ไข (เพิ่มเติม LED ไครเวอร์ และวงจรเพิ่มเติม และ มอก.1955-2551 ข้อ 9.) ครั้งที่ 4, 08/23/2016

แก้ไข (เพิ่มเติม LED ไครเวอร์ ของ PI) ครั้งที่ 5, 11/21/2016