

คู่มือ วิศวกรไฟฟ้า



โดย... สือชัย ทองนิลา

**TK
park**

Thailand Knowledge Park
อุทยานการเรียนรู้



สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)



คำนำ

ในงานออกแบบ ตรวจสอบ และติดตั้งระบบไฟฟ้า จำเป็นต้องใช้ความรู้ ความชำนาญ ข้อมูลและตารางต่าง ๆ จำนวนมาก ในบางเรื่องที่ไม่ค่อยใช้งานก็อาจหลงลืมได้ และเมื่อต้องการใช้งานก็อาจไม่สะดวกในการค้นคว้าเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้เขียนจึงได้สรุปและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับงานออกแบบ งานติดตั้ง และการควบคุมงาน ไว้เป็นเล่มเดียวกัน เพื่อความสะดวกในการการค้นคว้าและพกติดตัวไว้ใช้เมื่อต้องการ คู่มือวิศวกรไฟฟ้าเล่มนี้จึงเหมาะสำหรับวิศวกรหรือช่างไฟฟ้าที่มีความรู้ความชำนาญไว้ใช้ประกอบการทำงาน และยังสามารถใช้ประกอบกับตำราเล่มอื่นได้เป็นอย่างดี

คู่มือวิศวกรไฟฟ้าเล่มนี้ประกอบด้วยข้อมูลที่เป็นความรู้ทั่วไปเช่นสัญลักษณ์ ตารางแปลงหน่วยและสมการพื้นฐานทางไฟฟ้า ข้อมูลด้านการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบแรงดันสูงและระบบป้องกันฟ้าผ่า และระบบไฟฟ้าออกและป้ายทางออกฉุกเฉิน ซึ่งล้วนจำเป็นสำหรับงานระบบไฟฟ้าทั้งสิ้น

ผู้เขียนหวังว่าคู่มือวิศวกรไฟฟ้าเล่มนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้ประกอบวิชาชีพด้านไฟฟ้าทุกท่านเป็นอย่างมาก และขอขอบคุณสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ที่ให้โอกาสตีพิมพ์หนังสือเล่มนี้

Thailand Knowledge Park
อุทยานการเรียนรู้

นายลือชัย ทองนิล

ความดีของหนังสือเล่มนี้ขอมอบแด่ภรรยาและบุตร

ผู้ซึ่งเป็นกำลังใจให้ผู้เขียนมาโดยตลอด

สัญลักษณ์ หน่วย และตารางต่าง ๆ

1. หน่วยและสัญลักษณ์ตามมาตรฐาน IEC (IEC 27-1 1992-12)

ปริมาณ (Quantity)	หน่วย (Unit)	สัญลักษณ์ (Symbol)
Active power	watt	W
Admittance	siemens	S
Angular acceleration	radian per second squared	rad/s ²
Angular velocity	radian per second	rad/s
Capacitance	farad	F
Concentration (of amount of substance)	mole per cubic meter	mol/m ³
Conductance	siemens, mho	S, mho
Current density	ampere per square meter	A/m ²
Density, mass	kilogram per cubic meter	kg/m ³
Electric charge density	coulomb per cubic meter	C/m ³
Electric field strength	volt per meter	V/m
Electric flux density	coulomb per square meter	C/m ²
Energy density	joule per cubic meter	J/m ³
Entropy	joule per kelvin	J/K
Heat capacity	joule per kelvin	J/K
Heat flux density	watt per square meter	W/m ²
Illuminance	lux	lx
Impedance	ohm	Ω
Inductance	henry	H
Luminance	candela per square meter	cd/m ²
Luminous efficacy	lumen per watt	lm/W
Luminous energy	lumen-hour, lumen-second	lm·h, lm·s
Luminous exitance	lumen per square meter	lm/m ²
Luminous flux	lumen	lm

ปริมาณ (Quantity)	หน่วย (Unit)	สัญลักษณ์ (Symbol)
ความเร็ว	meter per second	m/s
น้ำหนัก, แรง	newton	N
ประจุไฟฟ้า	coulomb	C
ปริมาตร	cubic meter	m ³
พลังงาน (energy)	watthour	Wh
พลังงาน (energy)	joule	J
พื้นที่	Square meter	m ²
มวล	kilogram	kg
แรงดันไฟฟ้า	volt	V
เวลา	second, minute, hour	s, min, h
อุณหภูมิ	degree celsius, kelvin	°C, K

2. Decimal Powers (parts and multiples of units)

Power	Prefix	Symbol	Pronunciation
10 ⁻¹⁸	Atto	a	as in anatomy
10 ⁻¹⁵	Femto	f	fem' oh (fem as in feminine)
10 ⁻¹²	Pico	p	peek' oh
10 ⁻⁹	Nano	n	nan' oh (an as in ant)
10 ⁻⁶	Micro	μ	as in microphone
10 ⁻³	Milli	m	as in military
10 ⁻²	Centi	c	as in centipede
10 ⁻¹	Deci	d	as in decimal
10	Deca	da	deck' a (a as in about)
10 ²	Hecto	h	heck' toe
10 ³	Kilo	k	kill' oh
10 ⁶	Mega	M	as in megaphone
10 ⁹	Giga	G	jig' a (I as in jig, a as in about)
10 ¹²	Tera	T	as in terrace
10 ¹⁵	Peta	P	pet' a (e as in pet, a as in about)
10 ¹⁸	Exa	E	ex' a (a as in about)

ตัวอย่างการใช้งาน

μF, μH, kvar, kW, kWh, MVA, Mvar, MW

3. Greek Alphabet

Capital	Lower case	Greek name
A	α	Alpha
B	β	Beta
Γ	γ	Gamma
Δ	δ	Delta
E	ϵ	Epsilon
Z	ζ	Zeta
H	η	Eta
Θ	θ	Theta
I	ι	Iota
K	κ	Kappa
Λ	λ	Lambda
M	μ	Mu
N	ν	Nu
Ξ	ξ	Xi
O	$\omicron$	Omicron
Π	π	Pi
P	ρ	Rho
Σ	σ	Sigma
T	τ	Tau
Y	υ	Upsilon
Φ	ϕ	Phi
X	χ	Chi
Ψ	ψ	Psi
Ω	ω	Omega

4. การแปลงหน่วยระหว่างนิ้วกับมิลลิเมตร

การแปลงหน่วยจากนิ้วเป็นมิลลิเมตร

Inch	mm	Inch	mm	Inch	mm	Inch	mm	Inch	mm
1/64	0.397	7/32	5.556	27/64	10.716	5/8	15.875	53/64	21.034
1/32	0.794	15/64	5.953	7/16	11.112	41/64	14.272	27/32	21.431
3/64	1.191	1/4	6.350	29/64	11.509	21/32	16.669	55/64	21.828
1/16	1.587	17/64	6.747	15/32	11.906	43/64	17.066	7/8	22.225
5/64	1.984	9/32	7.144	31/64	12.303	11/16	17.452	57/64	22.622
3/32	2.381	19/64	7.541	1/2	12.700	45/64	17.859	29/32	23.019
7/64	2.778	5/16	7.937	33/64	13.097	23/32	18.256	59/64	23.416
1/8	3.175	21/64	8.334	17/32	13.494	47/64	18.653	15/16	23.812
9/64	3.572	11/32	8.731	35/64	13.891	3/4	19.050	61/64	24.209
5/32	3.969	23/64	9.128	9/16	14.287	49/64	19.447	31/32	24.606
11/64	4.366	3/8	9.525	37/64	14.684	25/32	19.844	63/64	25.003
3/16	4.762	25/64	9.922	19/32	15.081	51/64	20.241	1	25.400
13/64	5.159	13/32	10.319	39/64	15.478	13/16	20.637	2	50.800

การแปลงหน่วยจากมิลลิเมตรเป็นนิ้ว

mm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		0.03937	0.07874	0.11811	0.15748	0.19685	0.23622	0.27559	0.31496	0.35433
10	0.39370	0.43307	0.47244	0.51181	0.55118	0.59055	0.62992	0.66929	0.70866	0.74803
20	0.78740	0.82677	0.86614	0.90551	0.94488	0.98425	1.02362	1.06299	1.10236	1.14173
30	1.18110	1.22047	1.25984	1.29921	1.33858	1.37795	1.41732	1.45669	1.49606	1.53543
40	1.57480	1.61417	1.65354	1.69291	1.73228	1.77165	1.81102	1.85039	1.88976	1.92913
50	1.96850	2.00787	2.04724	2.08661	2.12598	2.16535	2.20472	2.24409	2.28346	2.32283

5. การแปลงหน่วยอังกฤษ เมตริก และอเมริกา

หน่วยน้ำหนัก เมตริก อังกฤษ และอเมริกา

ตัน (เมตริก)	กิโลกรัม (kg)	ปอนด์ (lb)	ออนซ์ (oz)	ตัน (อังกฤษ)	ตัน (อเมริกา)
1	1000	2204.6	35274	0.9842	1.1023
0.001	1	2.2046	35.274	0.00098	0.0011
$0.454 \cdot 10^{-3}$	0.454	1	16	0.000447	0.0005
$0.283 \cdot 10^{-4}$	0.0283	0.0625	1	$0.279 \cdot 10^{-4}$	$0.312 \cdot 10^{-4}$
1.016	1016	2240	35840	1	1.120
0.9072	907.19	2000	32000	0.8929	1

หน่วยพื้นที่ เมตริก อังกฤษ และอเมริกา

Square meter	mm ²	sq.mile	sq.ft	sq.in	circular mils
1	1 000 000	$0.386 \cdot 10^{-6}$	10.746	1550	$197.3 \cdot 10^7$
10^{-6}	1	$0.386 \cdot 10^{-12}$	$1076 \cdot 10^{-4}$	0.00155	1973
2589999	$259 \cdot 10^{10}$	1	$27879 \cdot 10^3$	$40145 \cdot 10^5$	$5098 \cdot 10^{12}$
$9.290 \cdot 10^{-2}$	92903.4	$0.0358 \cdot 10^{-6}$	1	144	$183 \cdot 10^6$
$6.452 \cdot 10^{-4}$	645.162	$0.2396 \cdot 10^{-9}$	0.006940	1	$1.27 \cdot 10^6$
$506.7 \cdot 10^{-12}$	$506.7 \cdot 10^6$	$0.196 \cdot 10^{-15}$	$0.00547 \cdot 10^{-6}$	$0.785 \cdot 10^{-6}$	1

หน่วยความยาว เมตริก อังกฤษ และอเมริกา

km	m	mm	mile	yd	ft	inch
1	1000	1 000 000	0.6213	1093.7	3281	39370
0.001	1	1000	$0.6213 \cdot 10^{-3}$	1.0937	3.281	39.370
0.000 001	0.001	1	$0.6213 \cdot 10^{-6}$	0.001094	0.003281	0.03937
1.60953	1609.53	1609528	1	1760	5280	63380
0.000914	0.9143	914.32	$0.5682 \cdot 10^{-3}$	1	3	36
$305 \cdot 10^{-3}$	0.30479	304.79	$0.1894 \cdot 10^{-3}$	0.3333	1	12
$0.254 \cdot 10^{-4}$	0.02539	25.3997	$0.158 \cdot 10^{-4}$	0.02777	0.0833	1

6. หน่วย SI และความสัมพัทธ์

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์	หน่วยพื้นฐาน	ความสัมพัทธ์
Force	Newton	N	$1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$	
Force momentum	Newton metre	Nm	$1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$	
Pressure	Bar	bar	$10^5 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
	Pascal	Pa	$1 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$	$1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ bar}$
Energy, heat	Joule	J	$1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$	$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm}$
Power	Watt	W	$1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$	$W = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{cm}^2}$
Tension		$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$	$1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 10^2 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$
Angle (flat)	Grad	1	$1 \frac{\text{m}}{\text{m}}$	$360^\circ = 1 \text{ pla} = 2\pi \text{ rad}$
	Gon	gon		$400 \text{ gon} = 360^\circ$
	Radian	rad		
	Full circle	pla		$1 \text{ pla} = 2\pi \text{ rad} = 360^\circ$
Voltage	Volt	V	$1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}}$	$1 \text{ V} = 1 \cdot \frac{\text{W}}{\text{A}}$
Resistance	Ohm	Ω	$1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}^2}$	$1 \Omega = 1 \cdot \frac{\text{V}}{\text{A}} = 1 \cdot \frac{\text{W}}{\text{A}^2}$
Conductivity	Siemens	S	$1 \cdot \frac{\text{s}^3 \cdot \text{A}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$	$1 \text{ S} = 1 \cdot \frac{\text{A}}{\text{V}} = 1 \cdot \frac{\text{A}^2}{\text{W}}$
Electric charge	Coulomb	C	$1 \cdot \text{A} \cdot \text{s}$	
Capacitance	Farad	F	$1 \cdot \frac{\text{s}^4 \cdot \text{A}}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$	$1 \text{ F} = 1 \cdot \frac{\text{C}}{\text{V}} = 1 \cdot \frac{\text{s} \cdot \text{A}^2}{\text{W}}$
Field force		$\frac{\text{V}}{\text{m}}$	$1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^3 \cdot \text{A}}$	$1 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 1 \cdot \frac{\text{W}}{\text{A} \cdot \text{m}}$
Flux	Weber	W_b	$1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{A}}$	$1 \text{ W}_b = 1 \cdot \text{V} \cdot \text{s} = 1 \cdot \frac{\text{W} \cdot \text{s}}{\text{A}}$
Flux density	Tesla	T	$1 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \cdot \text{A}}$	$1 \text{ T} = \frac{\text{W}_b}{\text{m}^2} = 1 \cdot \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = 1 \cdot \frac{\text{W} \cdot \text{s}}{\text{m}^2 \text{A}}$
Inductance	Henry	H	$1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{A}^2}$	$1 \text{ H} = \frac{\text{W}_b}{\text{A}} = 1 \cdot \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}} = 1 \cdot \frac{\text{W} \cdot \text{s}}{\text{A}^2}$

7. ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วย SI กับหน่วยอื่น ๆ

แรง (Mechanical force)

1 N	= 1 J/m	= 1 kg m/s ²	= 0.102 kp	= 10 ⁵ dyn
1 J/m	= 1 N	= 1 kg m/s ²	= 0.102 kp	= 10 ⁵ dyn
1 kg m/s ²	= 1 N	= 1 J/m	= 0.102 kp	= 10 ⁵ dyn
1 kp	= 9.81 N	= 9.81 J/m	= 9.81 kg m/s ²	= 0.981 · 10 ⁶ dyn
1 dyn	= 10 ⁻⁵ dyn	= 10 ⁻⁵ J/m	= 10 ⁻⁵ kg m/s ²	= 1.02 · 10 ⁻⁵ kp

ความดัน (Pressure)

1 Pa	= 1 N/m ²	= 10 ⁻⁵ bar		
1 Pa	= 10 ⁻⁵ bar	= 10.2 · 10 ⁻⁶ at	= 9.87 · 10 ⁻⁶ at	= 7.5 · 10 ⁻³ Torr
1 bar	= 10 ⁵ Pa	= 1.02 at	= 0.987 at	= 750 Torr
1 at	= 98.1 · 10 ³ Pa	= 0.981 bar	= 0.968 at	= 736 Torr
1 atm	= 101.3 · 10 ³ Pa	= 1.013 bar	= 1.033 at	= 760 Torr
1 Torr	= 133.3 Pa	= 1.333 · 10 ⁻³ bar	= 1.359 · 10 ⁻³ at	= 1.316 · 10 ⁻³ atm

งาน (Work)

1 Ws	= 1 J	= 1 Nm	10 ⁷ erg		
1 Ws	= 278 · 10 ⁻⁹ kWh	= 1 Nm	= 1 J	= 0.102 kpm	= 0.239 cal
1 kWh	= 3.6 · 10 ⁶ Ws	= 3.6 · 10 ⁶ Nm	= 3.6 · 10 ⁶ J	= 367 · 10 ⁶ kpm	= 860 kcal
1 Nm	= 1 Ws	= 278 · 10 ⁻⁹ kWh	= 1 J	= 0.102 kpm	= 0.239 cal
1 J	= 1 Ws	= 278 · 10 ⁻⁹ kWh	= 1 Nm	= 0.102 kpm	= 0.239 cal
1 kpm	= 9.81 Ws	= 272 · 10 ⁻⁶ kWh	= 9.81 Nm	= 9.81 J	= 2.34 cal
1 kcal	= 4.19 · 10 ³ Ws	= 1.16 · 10 ⁻³ kWh	= 4.19 · 10 ³ Nm	= 4.19 · 10 ³ J	= 427 kpm

8. สมการทางไฟฟ้าและอื่น ๆ

Ohm's Law		
$U = I \times R \text{ [V]}$	$I = \frac{U}{R} \text{ [A]}$	$R = \frac{U}{I} \text{ [\Omega]}$
Resistance of a piece of wire		
$R = \frac{l}{\chi \times A} \text{ [\Omega]}$	Copper : $\chi = 57 \frac{\text{m}}{\Omega\text{mm}^2}$	
$l = \text{Length of conductor (m)}$	Aluminium : $\chi = 33 \frac{\text{m}}{\Omega\text{mm}^2}$	
$\chi = \text{Conductivity (m}/\Omega\text{mm}^2)$	Iron : $\chi = 8.3 \frac{\text{m}}{\Omega\text{mm}^2}$	
$A = \text{Conductor cross-section (mm}^2)$	Zinc : $\chi = 15.5 \frac{\text{m}}{\Omega\text{mm}^2}$	
Resistance		
Transformer	$X_L = 2 \times \pi \times f \times L \text{ (\Omega)}$	
Capacitors	$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C} \text{ (\Omega)}$	
Impedance	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	$Z = \frac{R}{\cos \phi} \text{ [\Omega]}$
$L = \text{Inductance (H)}$	$f = \text{Frequency (Hz)}$	
$C = \text{Capacitance (F)}$	$\phi = \text{Phase angle}$	
$X_L = \text{Inductive resistance (\Omega)}$		
$X_C = \text{Capacitive resistance (\Omega)}$		
Parallel connection of resistance		
With 2 parallel resistances :	With 3 parallel resistances :	
$R_g = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \text{ [\Omega]}$	$R_g = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3}{R_1 \times R_2 + R_2 \times R_3 + R_1 \times R_3} \text{ [\Omega]}$	
General calculation of resistance :		
$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots [1/\Omega]$	$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots [1/\Omega]$	
$\frac{1}{X} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \dots [1/\Omega]$		
Electric power		
Power	Current consumption	
DC	$P = U \times I \text{ [W]}$	$I = \frac{P}{U} \text{ [A]}$
Single-phase AC	$P = U \times I \times \cos \phi \text{ [W]}$	$I = \frac{P}{U \times \cos \phi} \text{ [A]}$
Three-phase AC	$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \phi \text{ [W]}$	$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \phi} \text{ [A]}$

9. ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของวัสดุ

Specific electric resistance of conductors at 20°C

Conductor	Specific electric resistance ρ (mm ² Ω/m)	Electric conductivity $\kappa = 1/\rho$ (m/mm ² Ω)	Temperature coefficient α (K ⁻¹)	Density (kg/dm ³)
Aluminium, 99.5% Al, soft	0.0278	36	$4 \cdot 10^{-3}$	2.7
Al-Mg-Si	0.03...0.033	33...30	$3.6 \cdot 10^{-3}$	2.7
Al-Mg	0.06...0.07	17...14	$2.0 \cdot 10^{-3}$	2.7
Al bronze, 90% Cu, 10% Al	0.13	7.7	$3.2 \cdot 10^{-3}$	8.5
Bismuth	1.2	0.83	$4.5 \cdot 10^{-3}$	9.8
Brass	0.07	14.3	$1.3...1.9 \cdot 10^{-3}$	8.5
Bronze, 88% Cu, 12% Sn	0.18	5.56	$0.5 \cdot 10^{-3}$	8.6...9
Cast iron	0.60...1.60	1.67...0.625	$1.9 \cdot 10^{-3}$	7.86...7.2
Conductor copper, soft	0.01754	57	$4.0 \cdot 10^{-3}$	8.92
Conductor copper, hard	0.01786	56	$3.92 \cdot 10^{-3}$	8.92
Constantan	0.49...0.51	2.04...1.96	$-0.05 \cdot 10^{-3}$	8.8
CrAl 20 5	1.37	0.73	$0.05 \cdot 10^{-3}$	-
CrAl 30 5	1.44	0.69	$0.01 \cdot 10^{-3}$	-
Dynamo sheet	0.13	7.7	$4.5 \cdot 10^{-3}$	7.8
Dynamo alloy (1 to 5% Si)	0.27...0.67	3.7...1.5	-	7.8
Graphite and retort carbon	13...100	0.077...0.01	$-0.8...-0.21 \cdot 10^{-3}$	2.5...15
Lead	0.208	4.8	$4.0 \cdot 10^{-3}$	11.35
Magnesium	0.046	21.6	$3.8 \cdot 10^{-3}$	1.74
Manganin	0.43	2.33	$0.01 \cdot 10^{-3}$	8.4
Mercury	0.958	1.04	$0.90 \cdot 10^{-3}$	13.55
Molybdenum	0.054	18.5	$4.3 \cdot 10^{-3}$	10.2
Monel metal	0.42	2.8	$0.19 \cdot 10^{-3}$	-
Nickel silver	0.33	3.03	$0.4 \cdot 10^{-3}$	8.5
Ni Cr 30 20	1.04	0.96	$0.24 \cdot 10^{-3}$	8.3
Ni Cr 60 15	1.11	0.90	$0.13 \cdot 10^{-3}$	8.3
Ni Cr 80 20	1.09	0.92	$0.04 \cdot 10^{-3}$	8.3
Nickel	0.09	11.1	$6.0 \cdot 10^{-3}$	8.9
Nickeline	0.4	2.5	$0.18...0.21 \cdot 10^{-3}$	8.3
Platinum	0.1	10	$3.8...3.9 \cdot 10^{-3}$	21.45
Red brass	0.05	20	-	8.65
Silver	0.0165	60.5	$41 \cdot 10^{-3}$	10.5
Steel, 0.1% C, 0.5% Mn	0.13...0.15	7.7...6.7	$4...5 \cdot 10^{-3}$	7.86
Steel, 0.25% C, 0.3% Si	0.18	5.5	$4...5 \cdot 10^{-3}$	7.86
Steel, spring, 0.8% C	0.20	5	$4...5 \cdot 10^{-3}$	7.86
Tantalum	0.16	6.25	$3.5 \cdot 10^{-3}$	16.6
Tin	0.12	8.33	$4.4 \cdot 10^{-3}$	7.14
Tungsten	0.055	18.2	$4.6 \cdot 10^{-3}$	19.3
Zinc	0.063	15.9	$3.7 \cdot 10^{-3}$	7.23

Resistance varies with temperature. For any temperature between - 50°C and 200°C

$$\rho_{\theta} = \rho_{20} \times [1 + \alpha (\theta - 20)]$$

$$\kappa_{\theta} = \kappa_{20} \times [1 + \alpha (\theta - 20)]$$

10. Standard symbols (อ้างอิง IEC 617 ANSI Y32.2(1995) และ NEMA ICS-1 (1983))

หมายเลข ตาม IEC	รายการ	IEC	ANSI
03-02-01	Connection of conductors		
03-02-02	Terminal		
03-02-04 03-02-05	Junction of conductors		
03-02-03	Terminal strip / block		
03-01-01	Conductor		
103-01-01	Conductor (for later expansion)		
02-12-01	Line of application, general system		
02-12-04	Line of application, optional, denoting small interval		
02-01-06	Separation between two fields		
02-01-06	Line of separation between functional unit		
02-01-07	Screen		
02-15-01	Earth, general symbol Ground, general symbol		
02-15-03	Protective earth Protective ground		
03-03-05	Connector with plug and socket		
03-03-06	Connector with plug and socket		
03-03-18	Isolating point, lug, closed		
04-01-01 04-01-02	Resistor, general symbol		
04-01-09	Resistor with fixed tapings		

11. Device Function Number for Electric Power System (ANSI C 37.2)

Device Number	Definition and Function
1	master element is the initiating device, such as a control switch, voltage relay, float switch, etc., which serves either directly, or through such permissive devices as protective and time-delay relays to place an equipment in or out of operation.
2	time-delay starting, or closing, relay is a device which functions to give a desired amount of time delay before or after any point or operation in a switching sequence or protective relay system, except as specifically provided by device functions 62 and 79 described later.
3	checking or interlocking relay is a device which operates in response to the position of a number of other devices, or to a number of predetermined conditions in an equipment to allow an operating sequence to proceed, to stop, or to provide a check of the position of these devices or of these conditions for any purpose.
4	master contactor is a device, generally controlled by device No. 1 or equivalent, and the necessary permissive and protective devices, which serves to make and break the necessary control circuits to place an equipment into operation under the desired conditions and to take it out of operation under other or abnormal conditions.
5	stopping device functions to place and hold an equipment out of operation.
6	starting circuit breaker is a device whose principal function is to connect a machine to its source of starting voltage.
7	anode circuit breaker is one used in the anode circuits of a power rectifier for the primary purpose of interrupting the rectifier circuit if an arc back should occur.
8	control power disconnecting device is a disconnecting device—such as a knife switch, circuit breaker or pullout fuse block—used for the purpose of connecting and disconnecting, respectively, the source of control power to and from the control bus or equipment. Note : control power is considered to include auxiliary power which supplies such apparatus as small motors and heaters.
9	reversing device is used for the purpose of reversing a machine field or for performing any other reversing functions.
10	unit sequence switch is used to change the sequence in which units may be placed in and out of service in multiple-unit equipments.
11	Reserved for future application.
12	over-speed device is usually a direct-connected speed switch which functions on machine overspeed.
13	synchronous-speed device , such as a centrifugal speed switch, a slip-frequency relay, a voltage relay, an undercurrent relay or any type of device, operates at approximately synchronous speed of a machine.
14	under-speed device functions when the speed of a machine falls below a predetermined value.

12. International Specification

Devices	Country	Standard
Control circuit devices	International/Europe	IEC/EN 60 947-4-1
Enclosures	International/Europe	IEC/EN 60 439...
	International/Europe	IEC/EN 60 529
	Canada	CAS C 22.2-14 CAS C 22.2-9.4
	USA	NEMA ICS 6 NEMA 250 UL 50
Switches	International/Europe	IEC/EN 61 058
Industrial electronics	Germany	VDE 0160
Industrial machines	International/Europe	IEC/EN 60 204-1
	Canada	CSA C 22.2-73 CSA C 22.2-105
	USA	JIC EGP-1 JIC EMP-1 NFPA 79
Installations	International	IEC 364-...
	Australia	AS 3000
	Belgium	A.R.E.I./R.G.I.E.
	Germany	VDE 0100
	France	NF C 15-100
	Great Britain	BS 7671
	Canada	CSA C 22.1 (CEC)
	Netherlands	NEN 1010
	Switzerland	SEV HV 1000
	USA	NEC (=NFPA 70)
Switch disconnectors	International/Europe	IEC/EN 60 947-3
Circuit breakers	International/Europe	IEC/EN 60 947-2
	Australia	AS 3858
	Japan	JIS C 8370
	Canada	CSA C 22.2-5.1
	USA	UL 489
	Japan	JEM 1071 JIS C 8370

13. Approval Authorities

Abbreviation	Full Title	Country
ABS	American Bureau of Shipping	USA
AEEMA	Australian Electrical and Electronic Manufacturers' Association	Australia
AEI	Associazione Elettrotecnica Italiana	Italy
ALPHA	Gesellschaft zur Prüfung und Zertifizierung von Niederspannungsgeräten	Germany
ANSI	American National Standards Institute	USA
AS	Australian Standard	Australia
ASTM	American Society for Testing and Materials	USA
BBJ-SEP	Biuro Badawcze d/s Jakosci	Poland
BS	British Standards	Great Britain
BV	Bureau Veritas	France
CAMA	Control and Automation Manufacturers' Association	Great Britain
CAPIEL	Comité de coordination des association de constructeurs d'appareillage industriel électrique du Marché Commun européen	Europe
CEBEC	Comité Electrotechnique Belge	Belgium
CEC	Canadian Electrical Code	Canada
CECC	CENELEC Electronic Components Committee	Europe
CEE	Commission of Rule for the Approval of Electrical Equipment	Europe
CEI	Comitato Elettrotecnico Italiano	Italy
CEMA	Canadian Electrical Manufacturers' Association	Canada
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique	Europe
CISPR	International Special Committee Radio Interference	-
CNOMO	Commission for standardization of tools and machine tools in the French Automotive industry	France
CSA	Canadian Standards Association	Canada
DEMKO	Danmarks Elektriske Materieelkontrol	Denmark
DIN	Deutsches Institut für Normung	Germany
DNV	Det Norske Veritas	Norway
EEMAC	Electrical and Electronic Manufacturers Association of Canada	Canada
EI	Elektriska Inspektoratet	Finland
EIEMA	Electrical Installation Equipment Manufacturers' Association	Great Britain
EN	Europäische Norm	Europe
EZU	Elektrotechnický Zkušební Ústav	Czech Republic
FIMKO	Word formed as in DEMKO, NEMKO, SEMKO	Finland

14. Test and Approval Authorities

Country	Test Authority	Stamp
Belgium	Comité Electrotechnique Belge Belgisch Elektrotechnisch Comité (CEBEC)	
Denmark	Danmarks Elektriske Materielkontrol (DEMKO)	
Germany	Verband Deutscher Elektrotechniker	
Finland	FIMKO	
France	Union Technique de l'électricité (UTE)	
Canada	Canadian Standards Association (CSA)	
Croatia	Zavod za Ispitivanje Kvalitete Robe	
Netherlands	Naamloze Vennootschap tot Keuring van Electrotechnische Materialen (KEMA)	
Norway	Norges Elektriske Materiel kontroll (NEMKO)	
Poland	Biuro Badawcze d/s Jakosci	
Russia	GOST R	
Sweden	Svenska Elektriska Materielkontrollanstalten (SEMKO)	
Switzerland	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (SEV)	
Czechoslovakia	Elektrotechnický Zkušební Ústav	
Hungary	Magyar Elektrotechnikai Ellenőrző Intézet	
USA	Underwriters Laboratories	 

15. รายชื่อมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้า (มาตรฐานบังคับ)

1. **มอก. 23-2521** บัลลัสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์
วันที่มีผลใช้บังคับ 1 เม.ย. 2522
2. **มอก. 293-2541** สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวนโพลีไวนิลคลอไรด์
วันที่มีผลใช้บังคับ 27 ธ.ค. 2542
3. **มอก. 366-2528** เตารีดไฟฟ้า
วันที่มีผลใช้บังคับ 6 มิ.ย. 2529
4. **มอก. 183-2528** สตาร์ทเตอร์สำหรับฟลูออเรสเซนต์
วันที่มีผลใช้บังคับ 29 ก.ย. 2529
5. **มอก. 4 เล่ม 1-2529** หลอดไฟฟ้า
วันที่มีผลใช้บังคับ 1 พ.ค. 2530
6. **มอก. 10-2529** ฟิวส์ก้ามปู
วันที่มีผลใช้บังคับ 21 พ.ย. 2530
7. **มอก. 344-2530** ขั้วรับหลอดฟลูออเรสเซนต์และขั้วรับสตาร์ทเตอร์
วันที่มีผลใช้บังคับ 25 ต.ค. 2531
8. **มอก. 11-2531** สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยโพลีไวนิลคลอไรด์
วันที่มีผลใช้บังคับ 1 ธ.ค. 2532
9. **มอก. 956-2533** หลอดฟลูออเรสเซนต์ เฉพาะด้านความปลอดภัย
วันที่มีผลใช้บังคับ 25 ก.ย. 2534
10. **มอก. 934-2533** พัดลมไฟฟ้ากระแสสลับ เฉพาะด้านความปลอดภัย
วันที่มีผลใช้บังคับ 25 ธ.ค. 2534
11. **มอก. 870-2532** เต้าไฟฟ้าชนิดตัวทำความร้อนแบบเปลือย เฉพาะด้านความปลอดภัย
วันที่มีผลใช้บังคับ 21 ก.ย. 2536
12. **มอก. 1463-2540** เครื่องซักผ้า : เฉพาะด้านความปลอดภัย
วันที่มีผลใช้บังคับ 23 ธ.ค. 2544
13. **มอก. 1389-2539** เครื่องอบผ้า : เฉพาะด้านความปลอดภัย
วันที่มีผลใช้บังคับ 23 มี.ค. 2545
14. **มอก. 1195-2536** เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์เกี่ยวข้องที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าประปราน
สำหรับใช้ในที่อยู่อาศัยและงานทั่วไปที่มีลักษณะคล้ายกัน เฉพาะด้านความปลอดภัย
วันที่มีผลใช้บังคับ 31 ส.ค. 2545
15. **มอก. 1955-2542** บริภัณฑ์ส่องสว่างและบริภัณฑ์ที่คล้ายกัน : ชีตจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ
วันที่มีผลใช้บังคับ 11 ส.ค. 2545

16. ตารางเปรียบเทียบระดับการป้องกันระหว่าง NEMA กับ IP

NEMA Enclosure Type Number	IEC Enclosure Classification Designation
1	IP10
2	IP11
3	IP54
3R	IP14
3S	IP54
4 and 4X	IP56
5	IP52
6 and 6P	IP67
12 and 12K	IP52
13	IP54

หมายเหตุ ระดับการป้องกันตามระบบของ NEMA กับ IP ในแต่ละระดับการป้องกันไม่ตรงกันพอดี ในตารางนี้เป็นการเปลี่ยนระดับการป้องกันของเครื่องหล่อหุ้มจากระบบของ NEMA ให้สอดคล้องกับระบบ IP ตามการแบ่งกลุ่มของ IEC เท่านั้น กรณีเปลี่ยนจากระบบของ IP ให้สอดคล้องกับระบบ NEMA บางรายการอาจแตกต่างออกไป

17. ดัชนีแสดงค่ามาตรฐานการป้องกัน

ค่า IP (Index of Protection) กำหนดโดยมาตรฐาน IEC 529 และ มอก. 513 กำหนดเป็นตัวเลข 2 หรือ 3 หลัก หลังตัวอักษร IP แต่โดยทั่วไปนิยมกำหนดเพียง 2 หลักเท่านั้น ความหมายของแต่ละหลักแสดงไว้ในตาราง การแสดงความหมายเขียนได้ดังนี้

IP12

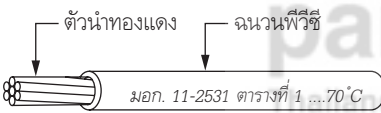
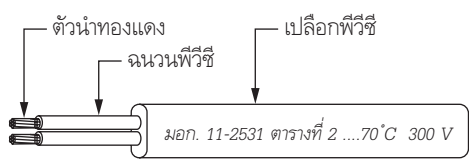
- แสดงความสามารถในการป้องกันของเหลว
- แสดงความสามารถในการป้องกันวัตถุเล็ดลอดเข้าภายใน
- Index of Protection

สายไฟฟ้า และตัวนำไฟฟ้า



2.1 ข้อกำหนดการใช้งานสายไฟฟ้าแรงต่ำ

สำหรับสายไฟฟ้าที่ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 11-2531 (อ้างอิงมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย)

สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2531	ชนิดของสาย	ข้อกำหนดการติดตั้ง
สายตารางที่ 1 ชื่อเรียก IV, HIV แรงดัน 300 โวลต์ 	สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนแกนเดียว	- เดินลอยต้องยึดด้วยวัสดุฉนวน - เดินในช่องเดินสายในสถานที่แห้ง - ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
สายตารางที่ 2 ชื่อเรียก VAF, VAF-S แรงดัน 300 โวลต์ 	สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนมีเปลือกนอกแกนเดียว สายแบน 2 แกน และสายแบน 3 แกน	สายกลม - เดินลอย - เดินเกาะผนัง - เดินซ่อน (conceal) ในผนัง - เดินในช่องเดินสาย - ห้ามฝังดินโดยตรง - เดินร้อยท่อฝังดินได้แต่ต้องป้องกันไม่ให้น้ำเข้าภายในท่อและป้องกันไม่ให้สายมีโอกาสแช่น้ำ สายแบน - เดินเกาะผนัง - เดินซ่อน (conceal) ในผนัง - ห้ามเดินในช่องเดินสาย ยกเว้น วางเดินสาย - ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง



2.2 อิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้าเดินในท่อหรือเป็นสายเคเบิล สำหรับสายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2531

ขนาดสายไฟฟ้า (ตร.มม.)	ความต้านทาน กระแสตรงที่ 20 °C (มิลลิโห์ม/ม.)	ความต้านทาน กระแสสลับที่ 40 °C (มิลลิโห์ม/ม.)	ความต้านทาน กระแสสลับที่ 70 °C (มิลลิโห์ม/ม.)	รีแอ็กแตนซ์ ในท่อโลหะ (มิลลิโห์ม/ม.)	รีแอ็กแตนซ์ ในท่อโลหะหรือ เป็นเคเบิล (มิลลิโห์ม/ม.)
0.5	36.0000	38.75798	42.89760	0.14230	0.17788
1.0	18.1000	19.48669	21.56800	0.12660	0.15825
1.5	12.1000	13.02702	14.41840	0.11950	0.14938
2.5	7.4100	7.97763	8.82970	0.11013	0.13766
4.0	4.6100	4.96320	5.49330	0.10686	0.13358
6.0	3.0800	3.31594	3.67010	0.10269	0.12836
10	1.8300	1.97017	2.18060	0.09988	0.12485
16	1.1500	1.23807	1.37030	0.09508	0.11885
25	0.7270	0.78279	0.86640	0.09464	0.11830
35	0.5240	0.56469	0.62500	0.08665	0.10831
50	0.3870	0.41739	0.46197	0.08722	0.10903
70	0.2680	0.28999	0.32096	0.08433	0.10541
95	0.1930	0.20988	0.23230	0.08345	0.10431
120	0.1530	0.16739	0.18527	0.08002	0.10003
150	0.1240	0.13682	0.15143	0.07969	0.09961
185	0.0991	0.11075	0.12258	0.07948	0.09935
240	0.0754	0.08633	0.09555	0.07788	0.09735
300	0.0601	0.07004	0.07752	0.07738	0.09673
400	0.0470	0.05829	0.06452	0.07658	0.09573
500	0.0366	0.04863	0.05382	0.07723	0.09654



2.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้า

2.3.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรวมฉนวน (และเปลือก) ของสายไฟฟ้าที่ผลิตตาม มอก. 11-2531

ขนาดสายไฟฟ้า (ตร.มม.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้ารวมฉนวน (และเปลือก) เป็นมิลลิเมตร									
	สายตารางที่ 4	สายตารางที่ 6	สายตารางที่ 7			สายตารางที่ 8	สายตารางที่ 9			
	THW	NYY 1-C	NYY 2-C	NYY 3-C	NYY 4-C	NYY-N	VCT-1C	VCT-2C	VCT-3C	VCT-4C
0.5	3.0	-	-	-	-	-	5.4	8.8	9.2	10.5
1.0	3.3	8.8	12.5	13.0	14.0	-	6.2	9.6	10.5	12.0
1.5	3.6	9.2	13.0	13.5	14.5	-	6.6	11.0	11.5	12.5
2.5	4.0	9.8	14.0	15.0	16.0	-	7.4	12.5	13.0	15.0
4	4.8	10.5	15.5	16.5	17.5	-	8.6	14.5	15.5	17.0
6	5.8	11.0	17.0	18.0	19.0	19.0	9.4	16.0	17.5	19.5
10	7.2	12.0	19.5	20.5	23.0	23.0	12.0	20.0	21.5	24.0
16	8.4	13.0	22.5	24.5	26.5	26.5	13.5	23.0	25.0	28.0
25	10.5	14.5	27.0	28.5	31.0	31.0	16.0	27.5	30.0	33.0
35	11.5	16.0	29.5	31.5	35.0	35.0	17.5	31.0	33.5	37.0
50	13.5	17.0	33.5	36.0	39.5	39.5	21.0	-	-	-
70	15.5	19.0	38.0	40.5	44.5	44.5	23.0	-	-	-
95	18.0	21.5	42.5	46.0	51.5	51.5	26.5	-	-	-
120	19.5	23.0	46.5	50.5	56.0	56.0	-	-	-	-
150	21.5	26.0	52.0	56.0	62.0	62.0	-	-	-	-
185	24.0	28.0	57.0	61.5	68.0	68.0	-	-	-	-
240	27.0	31.5	64.0	69.0	76.5	76.5	-	-	-	-
300	30.0	35.0	70.7	76.0	85.0	84.0	-	-	-	-
400	33.5	38.5	-	-	-	-	-	-	-	-
500	38.0	43.0	-	-	-	-	-	-	-	-



2.4 พื้นที่ภาคตัดขวางรวมฉนวนและเปลือก (และเปลือก) ของสายไฟฟ้า ตาม มอก. 11-2531

ขนาดสาย (ตร.มม.)	พื้นที่ภาคตัดขวางรวมฉนวนและเปลือก (ตร.มม.)					
	ชนิดของสายไฟฟ้า					
	THW (สายตารางที่ 4)	NYY 1-C (สายตารางที่ 6)	NYY 2-C (สายตารางที่ 7)	NYY 3-C (สายตารางที่ 7)	NYY 4-C (สายตารางที่ 7)	NYY-N (สายตารางที่ 8)
0.5	7.1	-	-	-	-	-
1.0	8.1	58.1	113	123	143	-
1.5	10.2	63.6	123	133	154	-
2.5	12.6	75.4	154	177	201	-
4	18.1	86.6	189	214	241	-
6	26.4	95	227	255	284	284
10	40.7	113	299	330	415	415
16	55.4	133	398	471	552	552
25	86.6	165	573	638	755	755
35	104	201	684	779	962	962
50	143	227	882	1018	1225	1225
70	189	284	1134	1288	1555	1555
95	254	363	1419	1662	2083	2083
120	299	416	1698	2003	2463	2463
150	363	531	2124	2463	3019	3019
185	452	616	2552	2970	3632	3632
240	573	779	3217	3739	4596	4596
300	707	962	3904	4536	5675	5675
400	881	1164	-	-	-	-
500	1134	1452	-	-	-	-



2.5 ตารางพื้นที่หน้าตัดรวมสูงสุดของสายไฟทุกเส้นคิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ

(อ้างอิงมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ใช้สำหรับการเดินสายร้อยท่อ)

จำนวนสายในท่อร้อยสาย	1	2	3	4	มากกว่า 4
สายไฟทุกชนิดยกเว้นสายชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม	53	31	40	40	40
สายไฟชนิดมีปลอกตะกั่วหุ้ม	55	30	40	38	35



2.6 ตารางแสดงพื้นที่ภาคตัดขวางภายในของท่อร้อยสายไฟฟ้า (มอก. 770-2531)

ขนาดท่อ (มม.)	พื้นที่ภาคตัดขวางภายใน (ตร.มม.)		
	ชนิดของท่อ		
	ท่อโลหะบาง	ท่อโลหะหนาปานกลาง	ท่อโลหะหนา
15	195	230	201
20	343	390	355
25	555	637	572
32	967	1091	986
40	1313	1467	1338
50	2164	2382	2196
65	3776	3367	3137
80	5706	5175	4837
90	7447	6907	6458
100	9520	8871	8309
125	-	-	13041
150	-	-	18786



2.7 จำนวนสูงสุดของสายไฟฟ้าในท่อร้อยสาย (ท่อโลหะ ตาม มอก. 770-2531)

(อ้างอิงมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย)

2.7.1 สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2531 สายตารางที่ 4 (THW) ขนาดเดียวกัน ในท่อร้อยสาย

ขนาดสายไฟฟ้า (ตร.มม.)	จำนวนสูงสุดของสายไฟฟ้าขนาดเดียวกันในท่อร้อยสาย												
1	7	13	20	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	6	11	17	28	44	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	4	8	13	22	34	-	-	-	-	-	-	-	-
4	3	5	9	15	23	36	-	-	-	-	-	-	-
6	2	4	7	12	19	29	-	-	-	-	-	-	-
10	1	3	4	7	12	19	32	-	-	-	-	-	-
16	1	1	3	5	9	14	23	36	-	-	-	-	-
25	1	1	1	3	5	9	15	23	29	-	-	-	-
35	-	1	1	3	4	7	12	19	24	30	-	-	-
50	-	-	1	1	3	5	9	14	17	21	34	-	-
70	-	-	1	1	2	4	7	10	13	16	26	37	-
95	-	-	1	1	1	3	5	7	10	12	19	27	-
120	-	-	-	1	1	2	4	6	8	10	16	23	-
150	-	-	-	1	1	1	3	5	7	8	13	19	-
185	-	-	-	-	1	1	2	4	5	6	10	15	-
240	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	8	12	-
300	-	-	-	-	-	1	1	2	3	4	6	10	-
400	-	-	-	-	-	1	1	1	2	3	5	8	-
500	-	-	-	-	-	-	1	1	1	2	4	6	-
ขนาดท่อ	มม.	15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150
	นิ้ว	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6



2.8 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

(อ้างอิงมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย)

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี ที่ผลิตตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 11-2531 ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.2 และ 2.3

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงค์โพลีเอททีลีน ระบบแรงดัน 600 โวลต์ ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.4 และ 2.5

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิงค์โพลีเอททีลีน ระบบแรงดัน 11 ถึง 33 เควี ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.6 และ 2.7

ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (sheath) ทำด้วยทองแดง กรณีมีพีวีซีหุ้ม (covered) และเปลือกต่อการสัมผัสได้ อุณหภูมิของเปลือกโลหะ 70°C ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.8

ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (sheath) ทำด้วยทองแดง กรณีไม่มีพีวีซีหุ้ม อุณหภูมิของเปลือกโลหะ 105°C ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.9

ขนาดกระแสตามที่กำหนดในตารางไม่ได้กำหนดตามค่าแรงดันตก

ขนาดกระแสตามที่กำหนดในตาราง ใช้สำหรับอุณหภูมิโดยรอบ 30°C และ 40°C แล้วแต่กรณี สำหรับค่าอุณหภูมิอื่นให้ใช้ตัวคูณเพื่อปรับค่าตามที่กำหนดไว้ในหมายเหตุต่อท้ายตาราง

ถ้ามีสายในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกันมากกว่า 3 เส้น (สายเคเบิลหลายแกนให้ถือว่าจำนวนแกนคือจำนวนเส้น) โดยไม่นับตัวนำสำหรับต่อลงดินให้ใช้ตัวคูณเพื่อลดค่าขนาดกระแสตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวคูณลดค่ากระแสเนื่องจากจำนวนสายหลายเส้นในช่องเดินสายไฟฟ้าเดียวกัน

จำนวนสาย	ตัวคูณ
4 - 6	0.82
7 - 9	0.72
10 - 20	0.56
21 - 30	0.48
31 - 40	0.44
เกิน 40	0.38



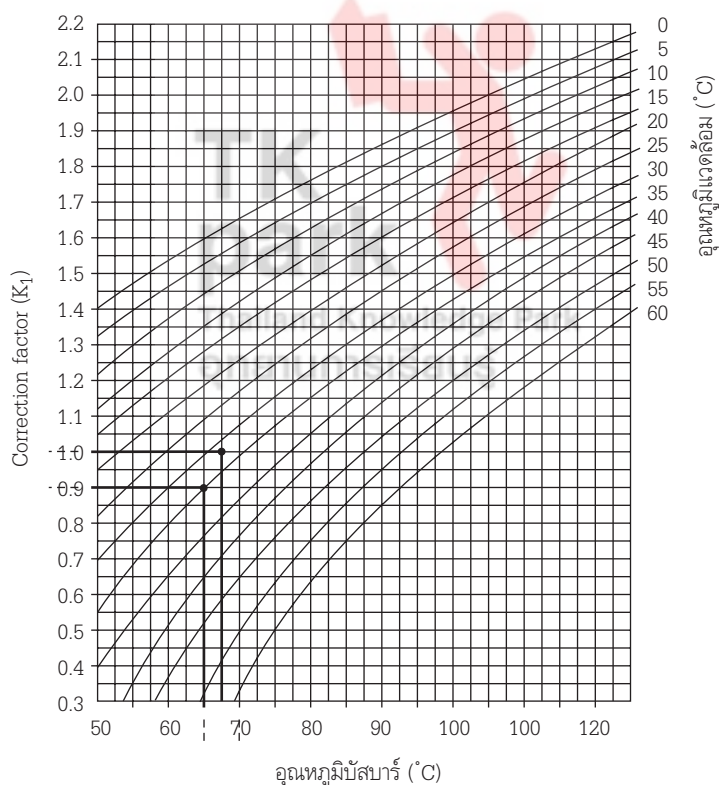
2.9 ขนาดกระแสของบัสบาร์

(อ้างอิงมาตรฐาน DIN 43 670 และ 43 671)

ขนาดกระแสของบัสบาร์เป็นไปตามตารางที่ 2.10 ถึง 2.11 สำหรับค่าที่อ่านได้จากตารางต้องมีการคูณปรับค่า เนื่องจากสภาพการติดตั้งใช้งานต่างไปจากที่กำหนด ดังนี้

$$\text{ขนาดกระแส} = \text{ค่าที่อ่านได้} \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$$

ตัวปรับค่า K_1 เป็นตัวปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิของบัสบาร์และ/หรืออุณหภูมิแวดล้อมเปลี่ยนไปจากค่าที่กำหนด



รูปที่ 2.1 กราฟตัวปรับค่า (K_1) เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนไปจากที่กำหนด
(อุณหภูมิที่กำหนดคือ อุณหภูมิแวดล้อม 35°C และอุณหภูมิตัวนำ 65°C)

ตัวอย่างการใช้กราฟ คือถ้าอุณหภูมิแวดล้อมเปลี่ยนเป็น 40°C ค่าที่อ่านได้จากตารางต้องคูณด้วย 0.9 แต่ถ้าอุณหภูมิแวดล้อมเป็น 40°C และอุณหภูมิบัสบาร์เป็น 70°C ค่าที่อ่านได้จากตารางต้องคูณด้วย 1.0



2.10 แรงดันตก

1. วงจร 3 เฟส

$$V_D = \sqrt{3} \times I (R + jX_L) \times L \quad \text{โวลต์}$$

ถ้าระบบไฟฟ้าที่ใช้มีแรงดัน 380 โวลต์ จะทำเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

$$\%V_D = (V_D / 380) \times 100\%$$

2. วงจร 1 เฟส

$$V_D = 2 \times I (R + jX_L) \times L \quad \text{โวลต์}$$

ในระบบแรงดัน 220 โวลต์ จะได้

$$\% V_D = (V_D / 220) \times 100\%$$

กำหนดให้

- V_D = แรงดันตก เป็นโวลต์
- I = กระแสที่ไหลในวงจร เป็นแอมแปร์
- R = ความต้านทานของสายไฟฟ้า เป็นโอห์ม/เมตร
- X_L = รีแอกแตนซ์และสายไฟฟ้า เป็นโอห์ม/เมตร
- L = ความยาวของสายไฟฟ้า เป็นเมตร

2.10.1 การหาค่าแรงดันตกโดยใช้ตาราง

การหาค่าแรงดันตกโดยใช้ตารางจะใช้ตารางที่ 2.12 ทั้งสำหรับวงจร 1-เฟส และวงจร 3-เฟส

ในตารางจะแสดงค่าแรงดันตกเป็นค่ามิลลิโวลต์ หรือเป็นเปอร์เซ็นต์ แรงดันตกเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับแรงดันของระบบ 380 โวลต์ สำหรับวงจร 3 เฟส และ 220 โวลต์ สำหรับวงจร 1 เฟส แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าไม่ใช่ดังที่กล่าวมาแล้ว ก็สามารถหาค่าแรงดันตกเป็นค่ามิลลิโวลต์ได้ และหากต้องการค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ก็หารด้วยค่าแรงดันที่ต้องการ

ระยะห่างทางไฟฟ้า



3.1 ระยะห่างระหว่างสายไฟฟ้ากับสิ่งก่อสร้าง ถนน และแหล่งน้ำ

การติดตั้งสายไฟฟ้าต้องมีระยะห่างจากอาคาร สิ่งก่อสร้าง และอื่น ๆ ไม่น้อยกว่าที่กำหนดในตารางที่ 3.1 และ 3.2 (อ้างอิงมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย)

หมายเหตุสำหรับตารางที่ 3.1 และ 3.2

1. ระยะห่างตามตารางใช้สำหรับอาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่ไม่มีการเข้าไปบำรุงรักษาหรือทำงาน หากมีความจำเป็นต้องเข้าไปบำรุงรักษาหรือทำงานในระยะห่างดังกล่าว ผู้ที่เข้าไปดำเนินงานจะต้องมีการป้องกันที่เหมาะสม
2. แรงดันไฟฟ้าในที่นี้ หมายถึง แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเส้นไฟ (เฟส-เฟส)
3. ชื่อของสายไฟฟ้า ชนิดต่าง ๆ ในตารางเทียบกับสายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ ดังนี้
 - (1) สายหุ้มฉนวนแรงต่ำดีเกี่ยวกับสายนิวทรัลเปลือย = Service drop Conductor (SC)
 - (2) สายหุ้มฉนวนแรงต่ำ = Weather proof Conductor (AWC)
 - (3) สายหุ้มฉนวนแรงสูงไม่เต็มพิกัด = Partially insulated Conductor (APC หรือ PIC)
 - (4) สายหุ้มฉนวนแรงสูง 2 ชั้นไม่เต็มพิกัด = Spaced aerial Cable (ASC)
 - (5) สายหุ้มฉนวนแรงสูงเต็มพิกัดดีเกี่ยวกับ = Fully insulated Cable (AFC)
 - (6) สายเปลือย = Bare Conductor (BC)
4. ผนังด้านปิดของอาคาร คือ ผนังอาคารที่บุคคลไม่สามารถยื่นส่วนของร่างกายหรือวัตถุมาสัมผัสสายไฟฟ้าได้โดยพลั้งเผลอ
5. ผนังด้านเปิดของอาคาร คือ ผนังอาคารที่บุคคลสามารถยื่นส่วนของร่างกายหรือวัตถุมาสัมผัสสายไฟฟ้าได้โดยพลั้งเผลอ



3.2 ระยะห่างจากการทำงานใกล้สายไฟฟ้า

1. **นั่งร้านและสิ่งก่อสร้าง** การก่อสร้างนั่งร้านเพื่อทำงาน ระยะห่างของนั่งร้านกับสายไฟฟ้าที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ ต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดต่อไปนี้

แรงดันไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	ระยะห่าง (เมตร)
แรงต่ำ	2.40
12	2.40
24	3.00
69	3.30
115	3.90
230	5.30

2. **บันจันชนิดติดตั้งกับตัวรถ** ระยะห่างจากสายไฟฟ้า ต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดต่อไปนี้

แรงดันไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	ระยะห่าง (เมตร)
แรงต่ำ	3.00
12 และ 24	3.00
69	3.20
115	3.65
230	4.80

3. **บันจันชนิดติดตั้งบนพื้น** ระยะห่างจากสายไฟฟ้าต้องไม่ต่ำกว่าที่กำหนดต่อไปนี้ โดยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมว่าบันจันจะต้องไม่มีการขนส่งวัสดุขณะที่ทำการเคลื่อนที่เพื่อย้ายตำแหน่งการติดตั้ง

แรงดันไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	ระยะห่าง (เมตร)
แรงต่ำ	1.25
12 และ 24	1.25
69	3.00
115	3.00
230	3.00

เครื่องป้องกันกระแสเกิน



4.1 พิวส์แรงต่ำ

ลักษณะสมบัติของฟิวส์ที่ควรทราบ

พิกัดแรงดัน (Voltage Rating) เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งานของฟิวส์ กำหนดมาที่ตัวฟิวส์และห้ามนำฟิวส์ไปใช้งานกับแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าค่าที่กำหนดมานี้ ค่าแรงดันที่กำหนดเป็นค่ารากเฉลี่ยกำลังสองของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (ACrms) หรือค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

พิกัดกระแส (Current Rating) คือค่ากระแสไฟฟ้าต่อเนื่องที่ไหลผ่านฟิวส์โดยไม่ทำให้ฟิวส์เสียสภาพการใช้งานหรือไม่ทำให้อุณหภูมิสูงเกินกำหนด ค่าที่กำหนดนี้เป็นค่ารากเฉลี่ยกำลังสองกระแสสลับหรือกระแสตรง

มาตรฐาน ANSI และ UL กำหนดให้ฟิวส์แรงต่ำต้องนำกระแสได้ 110% ของพิกัดกระแสเมื่ออยู่ในที่เปิดโล่งและวางอยู่ในแนวนอนที่อุณหภูมิโดยรอบ 18-32 °C

โหลดเกิน (Overload) หมายถึงการใช้งานที่เกินพิกัดของกระแสของฟิวส์ ค่านี้ต่างจากค่ากระแสลัดวงจรเพราะมีค่าไม่สูงนัก คือประมาณ 100% ถึง 500% ของพิกัดกระแสของฟิวส์ ค่าโหลดเกินนี้มีไว้สำหรับการใช้งานกับเครื่องอุปกรณ์บางชนิด หรือแสงสว่างบางประเภทรวมทั้งเพื่อสำหรับกระแสล็อกโรเตอร์ของมอเตอร์ด้วย ฟิวส์จะใช้งานโหลดเกินได้ระยะเวลาหนึ่ง

หน่วงเวลา (Time Delay) หมายถึงระยะเวลาที่ฟิวส์ขาดช้ากว่าที่กำหนด ฟิวส์ตามมาตรฐานอเมริกันให้ถือตามมาตรฐาน ANSI และ UL ซึ่งกำหนดค่าหน่วงเวลาสูงสุดไว้ที่ 10 วินาที เมื่อกระแสโหลดเกินมีค่า 5 เท่าของพิกัดกระแสของฟิวส์ เพื่อใช้สำหรับกระแสเริ่มเดินมอเตอร์ เป็นต้น บางผู้ผลิตจะกำหนดค่าเป็น Time - Lag เพื่อระบุว่าฟิวส์จะขาดช้ากว่าค่ากระแสโหลดเกินที่กำหนดสำหรับฟิวส์ทั่วไป ซึ่งค่านี้เป็นมาตรฐานของผู้ผลิต

ระยะเวลาการหลอมละลาย (Melting Time) คือช่วงระยะเวลาที่ฟิวส์เริ่มหลอมละลายหลังจากที่มีกระแสไหลผ่านฟิวส์เกินค่าพิกัดกระแสของฟิวส์ ต่อจากนี้อีกชั่วระยะเวลาหนึ่งฟิวส์จะขาด

ระยะเวลาดัดกระแส (Clearing Time) เป็นช่วงเวลาที่นับจากที่ฟิวส์เริ่มมีกระแสไหลเกินจนถึงเวลาที่ฟิวส์ขาด และอาร์กถูกดับแล้ว

Operating Class (VDE-0636)

- L = Cable and Bus Bar (Line)
- S = Switch Protection
- R = Rectifier Protection (Semiconductor Protection)
- M = Mining Installation (Motor)

Operating Class (IEC 269-1)

- G = General Application
- M = Motor Circuit
- D = Time Delay
- N = Non-time Delay

Function of Fuse (IEC & VDE)

- Class g = General Fuse (Full Range)
- Class a = Accompanied Fuse (Partial Range)

ตัวอย่างการกำหนดรหัสอักษร

- รหัสอักษร gL หมายถึง General Line Protection
- รหัสอักษร gM หมายถึง General Motor Protection

**4.2 ฟิวส์จำกัดกระแส (Current Limiting Fuse)**

เป็นฟิวส์ที่สามารถลดกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในวงจรที่ต่ออนุกรมต่อจากจุดที่ติดตั้งฟิวส์ได้ มีข้อดีที่สามารถลดพิกัดตัดกระแสลัดวงจรของเครื่องป้องกันกระแสเกินในวงจรได้ รวมทั้งพิกัดทนกระแสลัดวงจรของอุปกรณ์อื่น ๆ เช่นสายไฟฟ้า และบัสบาร์ เป็นต้น



4.3 ฟิวส์แรงสูง

ฟิวส์คัตเอาต์ (Fuse Cutout) หรือเรียกว่า Drop Fuse Cutout เป็นฟิวส์ที่ติดตั้งใช้งานตามกระแสไฟฟ้าทั่วไป ประกอบด้วยตัวฟิวส์ที่ทำด้วยกระเบื้องเซรามิก กระบอกฟิวส์และไส้ฟิวส์

ไส้ฟิวส์ (Fuse Link) ไส้ฟิวส์ที่ใช้แบ่งเป็นชนิดทำงานเร็ว (Fast Link) หรือเรียกว่า Type K และทำงานช้า (Slow Link) หรือเรียกว่า Type T ปกติที่มีใช้งานจะเป็นชนิด Type K เมื่อกระแสเกินฟิวส์จะขาดจะต้องเปลี่ยนไส้ฟิวส์ใหม่ ขนาดที่มีใช้ตามมาตรฐาน EEI-NEMA คือ ขนาด 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 140, 200 แอมแปร์ แต่ในท้องตลาดอาจมีขายไม่ทุกขนาด

ปกติไส้ฟิวส์ตามมาตรฐาน EEI-NEMA จะขาดที่กระแสประมาณ 200% แต่ในการใช้งานต้องมีตัวคูณลดขนาดกระแสเนื่องจากตัวแปรต่าง ๆ คือ Preloading, Ambient Temperature และ Predamage ปกติจะใช้ตัวคูณลดขนาดกระแสประมาณ 0.75 ดังนั้นฟิวส์จึงนำกระแสต่อเนื่องได้ประมาณไม่เกิน 150% ของฟิวส์ที่ระบุ



4.4 เซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐาน IEC

IEC แบ่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามสภาพการใช้งานออกเป็น 2 ชนิด คือมาตรฐาน IEC 60898 และ IEC 60947-2 ข้อมูลหลักสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐาน IEC 60947-2 (Appendix K) เป็นดังนี้

Voltage data	Ue	Rated operational voltage
	Ui	Rated insulation voltage
	Uimp	Rated impulse withstand voltage
Current data	In	Rated operational current
	Ith	Conventional free air thermal current
	Ithe	Conventional enclosed thermal current
	Iu	Rated uninterrupted current
Short-circuit data	Icm	Rated short-circuit making capacity
	Icu	Rated ultimate short-circuit breaking capacity
	Ics	Rated service breaking capacity
	Icw	Rated short time withstand current
Trip unit data	Ir	Adjustable overload setting current
	1.05 × Ir	Conventional non-tripping current
	1.30 × Ir	Conventional tripping current
	Ii	Instantaneous tripping setting current
	Isd	Short time tripping setting current



4.5 เครื่องป้องกันกระแสเกินตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย

อุปกรณ์ตัดตอนและเครื่องป้องกันกระแสเกินต้องมีมาตรฐานและคุณสมบัติไม่น้อยกว่าที่กำหนดดังนี้

1. ตัวฟิวส์และขั้วรับฟิวส์ เป็นไปตาม มอก. 506-2527 และ มอก. 507-2527
2. สวิตช์ที่ทำงานด้วยมือ เป็นไปตาม มอก. 824-2531
3. สวิตช์ใบมีด เป็นไปตาม มอก. 706-2530
4. อุปกรณ์ตัดตอนและเครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่การไฟฟ้าฯ ยอมรับ

เช่น UL, BS, DIN, JIS และ IEC

5. **ฟิวส์และขั้วรับฟิวส์ (Fuse and Fuse Holder)** พิกัดกระแสของฟิวส์ต้องไม่สูงกว่าของขั้วรับฟิวส์ ทำจากวัสดุที่เหมาะสม มีการป้องกันหรือหลีกเลี่ยงการผุกร่อน (Corrosion) เนื่องจากการใช้โลหะต่างชนิดกัน ระหว่างฟิวส์กับขั้วรับฟิวส์ และต้องมีเครื่องหมายแสดงพิกัดแรงดันและกระแสให้เห็นได้อย่างชัดเจน

6. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

- (1) ต้องเป็นแบบปลดได้โดยอิสระ (Trip Free) และต้องปลดกลับได้ด้วยมือ ถึงแม้ว่าปกติการปลดกลับจะทำโดยวิธีอื่นก็ตาม
- (2) ต้องมีเครื่องหมายแสดงอย่างชัดเจนว่าอยู่ในตำแหน่งสับหรือปลด
- (3) ถ้าเป็นแบบปรับตั้งได้ต้องเป็นแบบการปรับตั้งค่ากระแสหรือเวลา โดยในขณะที่ใช้งานกระทำได้เฉพาะผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้อง
- (4) ต้องมีเครื่องหมายแสดงพิกัดของแรงดัน กระแส และความสามารถในการตัดกระแสให้เห็นได้ชัดเจนและถาวรหลังจากติดตั้งแล้ว หรือเห็นได้เมื่อเปิดแผ่นกันหรือฝาครอบ
- (5) เซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับระบบแรงต่ำให้เป็นไปตามมาตรฐานดังนี้
 - เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในสถานที่อยู่อาศัยหรือสถานที่คล้ายคลึงกัน ขนาดไม่เกิน 125 แอมแปร์ ให้เป็นไปตาม IEC 60898
 - เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในสถานที่อื่น ๆ ให้เป็นไปตาม IEC 60947-2

7. **เซฟตี้สวิตช์ (Safety Switch)** ต้องปลดหรือสับวงจรได้พร้อมกันทุก ๆ ตัวนำเส้นไฟ และต้องประกอบด้วยฟิวส์รวมอยู่ในกล่องเดียวกันและจะเปิดฝาได้ต่อเมื่อได้ปลดวงจรแล้ว หรือการเปิดฝานั้นเป็นผลให้วงจรถูกปลดด้วย และต้องสามารถปลดและสับกระแสใช้งานในสภาพปกติได้

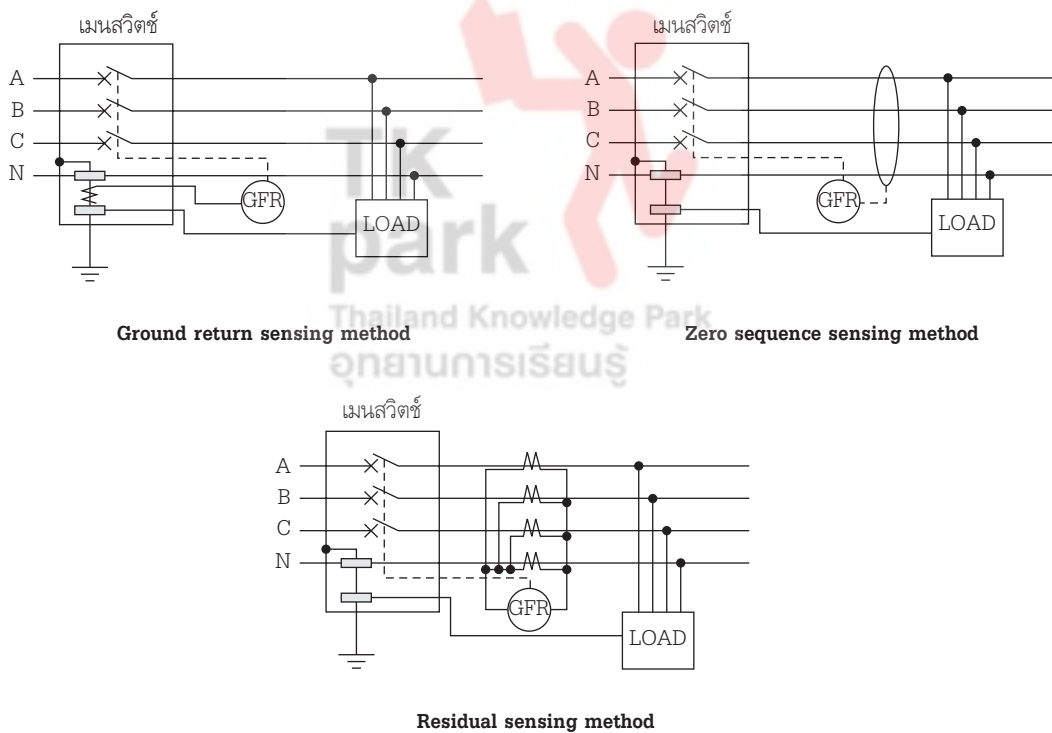
8. เครื่องตัดไฟรั่ว (Residual Current Device หรือ RCD)

เครื่องตัดไฟรั่วที่ใช้ลดอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด สำหรับแรงดันไม่เกิน 440 โวลต์ สำหรับบ้านอยู่อาศัยหรือสถานที่คล้ายคลึงกันต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน IEC 60755, IEC 61008, IEC 61009, IEC 61543 มีรายละเอียดดังนี้

- (1) เครื่องตัดไฟรั่วควรมีค่ากระแสรั่วที่กำหนด (Rated Residual Operating Current, $I_{\Delta n}$) ไม่เกิน 30 มิลลิแอมแปร์ และมีช่วงระยะเวลาในการตัด (Break Time หรือ Operating Time) ไม่เกิน 0.04 วินาที เมื่อกระแสรั่วมีค่า $5 I_{\Delta n}$ (อาจใช้ค่า 0.25 แอมแปร์แทนค่า $5 I_{\Delta n}$ ก็ได้) และไม่ทำงานเมื่อกระแสรั่วมีค่า $0.5 I_{\Delta n}$
- (2) เครื่องตัดไฟรั่วต้องเป็นชนิดที่ปลดสายไฟเส้นที่มีไฟทุกเส้นออกจากวงจรรวมทั้งสายนิวทรัล (Neutral) ยกเว้นว่าสายนิวทรัลนั้นจะแน่ใจได้ว่าปลอดภัยและมีแรงดันเท่ากับดิน
- (3) ห้ามต่อวงจรลัดคร่อมผ่าน (By Pass) อุปกรณ์ตัดตอนและเครื่องป้องกันกระแสเกิน



4.6 วิธีการติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสรั่วลงดิน (เครื่องตัดไฟรั่ว)



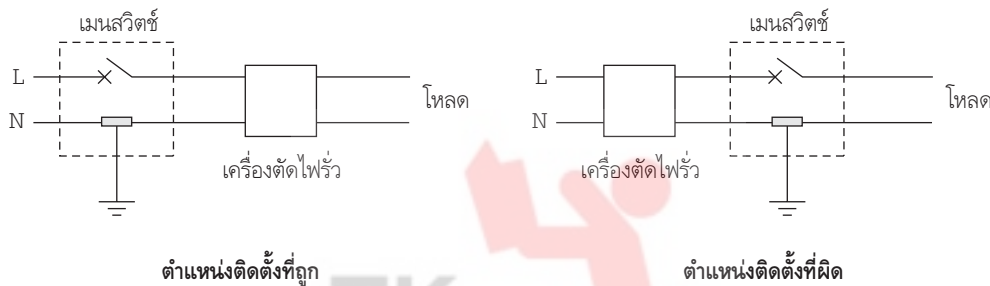
รูปที่ 4.4



4.7 ข้อเสนอแนะการติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วเพื่อป้องกันบุคคลในที่อยู่อาศัย

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย กำหนดให้ต้องมีการป้องกันวงจรไฟฟ้าหรือตัวรับ โดยใช้เครื่องตัดไฟรั่วสำหรับการใช้ไฟฟ้าในบริเวณดังนี้ ห้องน้ำ ห้องใต้ดิน ห้องครัว อ่าง (บริเวณพื้นที่เคาน์เตอร์ที่มีการติดตั้งตัวรับในระยะ 1.50 เมตร ห่างจากขอบด้านนอกของอ่าง) รวมทั้งการใช้ไฟฟ้าด้านนอกอาคาร

อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วได้แก่ เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องทำน้ำร้อน และ อ่างน้ำวน อุปกรณ์อื่น ๆ อาจติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วได้ตามความจำเป็น



รูปที่ 4.5 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วเพื่อป้องกันบุคคล



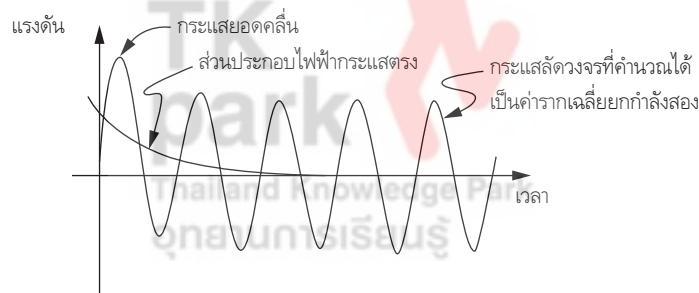
4.8 หน่วยจ่ายไฟวงแหวน (Ring Main Unit)

เป็นอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าในระบบแรงสูง ที่ทำหน้าที่ป้องกันกระแสเกินและเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟได้ในตัวเดียวกัน เพิ่มประสิทธิภาพในการจ่ายไฟสูงขึ้น จึงเหมาะที่จะใช้กับระบบไฟฟ้าที่มีสายป้อนมากกว่าหนึ่งสาย ป้อน ปกติจะเป็นระบบสายป้อนใต้ดินแต่ก็สามารถใช้ในระบบสายป้อนอากาศได้ หน่วยจ่ายไฟวงแหวนจึงช่วยให้การออกแบบระบบการจ่ายไฟสามารถจ่ายเป็นแบบวงแหวน (Ring) และลูป (Loop) ทำได้ง่ายขึ้น

ส่วนประกอบ หน่วยจ่ายไฟวงแหวนประกอบด้วยหลายยูนิตหรือหลายตู้ด้วยกันประกอบกันเป็นชุด ในแต่ละตู้ประกอบด้วยเครื่องปลดวงจรและอาจมีเครื่องป้องกันกระแสเกินหรือไม่ก็ได้ตามความต้องการ เครื่องป้องกันกระแสเกินมีทั้งชนิดที่เป็นฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์บรรจุในเครื่องห่อหุ้มอย่างมิดชิด จึงปลอดภัยในการใช้งาน แบบที่มีใช้งานทั่วไปจะใช้ก๊าซ SF_6 เป็นตัวกลางดับอาร์ก ดังนั้นภายในหน่วยจ่ายไฟวงแหวนจึงบรรจุก๊าซ SF_6 ที่มีความดันประมาณ 3 บาร์ ซึ่งจะมีค่าความดันสูงกว่าน้ำมันหม้อแปลงในตู้ที่มีเครื่องป้องกันกระแสเกินอยู่ด้วย จึงเหมือนกับตู้ไฟฟ้าที่สามารถทำหน้าที่เป็นสวิตช์แรงสูงได้นั่นเอง

กระแสลัดวงจร*

กระแสลัดวงจรสามารถคำนวณได้หลายวิธี แต่ละวิธีจะได้คำตอบใกล้เคียงกัน วิธีที่แนะนำนี้เป็นวิธีตามมาตรฐาน VDE 0102 Part 2 ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกในการใช้งาน แยกการคำนวณเป็นแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส ค่าที่คำนวณได้เป็นค่ารากเฉลี่ยยกกำลังสองของกระแสในช่วงคงตัว (Steady State)



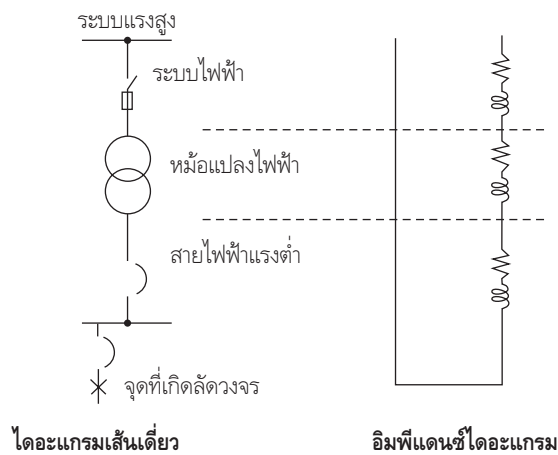
รูปที่ 5.1 คลื่นของกระแสลัดวงจรไม่สมมาตร (Asymmetrical)
(เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ห่างไปจากจุดที่เกิดลัดวงจร)



5.1 ไดอะแกรมการจ่ายไฟและตัวแปรการคำนวณค่ากระแสลัดวงจร

กระแสลัดวงจรคือกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรเมื่อมีอิมพีแดนซ์ของวงจรเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยทั่วไปประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และสายไฟฟ้าหรือตัวนำอื่น ๆ ตามลำดับเรื่อยไปจนถึงจุดที่เกิดลัดวงจร

(* ที่มา : การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า โดยลือชัย ทองนิล)



รูปที่ 5.2 ไดอะแกรมไฟฟ้าเมื่อเกิดลัดวงจร



5.2 อิมพีแดนซ์ในแต่ละส่วนของวงจร

1. ระบบจ่ายไฟฟ้า

$$Z_N = C \times V_2 / (MVA_{SC} \times 1000) \quad \text{มิลลิโอห์ม}$$

กำหนดให้

Z_N = อิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า เป็นมิลลิโอห์ม

C = ค่าคงที่ มีค่า 1.1 สำหรับระบบจ่ายไฟเข้าหม้อแปลงเป็นแรงสูงและ
1.0 สำหรับระบบจ่ายไฟเข้าหม้อแปลงเป็นแรงต่ำ

V = แรงดันไฟฟ้าด้านไฟออก (ด้านแรงต่ำ) เป็นโวลต์

MVA_{SC} = ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดของระบบไฟฟ้า เป็นเอ็มวีเอ
(ใช้ค่าระหว่าง 350 ถึง 500 เอ็มวีเอ)

ปกติค่าความต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์ของระบบไฟฟ้ามีค่าไม่แน่นอน ในการคำนวณจะใช้ค่าโดยประมาณ ดังนี้

$$X_N = 0.995 \times Z_N$$

$$R_N = 0.1 \times X_N$$



5.3 กระแสลัดวงจร 3 เฟส

$$I_{SC} = V / (\sqrt{3} \times Z_K) \text{ กิโลแอมแปร์}$$

กำหนดให้

I_{SC} = กระแสลัดวงจรค่ารากเฉลี่ยยกกำลังสองสมมาตร 3-เฟส เป็นกิโลแอมแปร์

V = แรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงเมื่อไม่มีโหลด เป็นโวลต์

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2}$$

R_K และ X_K คือความต้านทานรวมและอินดักทีฟรีแอกแตนซ์รวมของวงจรขณะเมื่อเกิดลัดวงจร

การใช้ตารางคำนวณกระแสลัดวงจร

ในการคำนวณกระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส จะใช้ “ตารางคำนวณค่ากระแสลัดวงจร 3-เฟส” การกรอกค่าต่าง ๆ ลงตารางมีรายละเอียดดังนี้

- ระบบไฟฟ้า V_{NT}^2** เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ(ด้านไฟออก)ของหม้อแปลงเมื่อไม่มีโหลด สำหรับระบบไฟฟ้า 220/380 โวลต์ หัวไปแรงดันเมื่อไม่มีโหลดของหม้อแปลงที่ใช้ในพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงเท่ากับ 416 โวลต์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเท่ากับ 400 โวลต์ หม้อแปลงที่มีแรงดันต่างไปจากนี้ ให้ใช้ค่าตามจริง
- หม้อแปลงไฟฟ้า** ค่าอิมพีแดนซ์ที่กำหนดตามในตารางเป็นอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงทั่วไปที่มีแรงดันด้านไฟออก 400 โวลต์ หรือ 416 โวลต์ กรณีที่ใช้หม้อแปลงขนาด หรือค่าอิมพีแดนซ์ต่างไปจากนี้ ให้ใช้ค่าตามจริง
- สายไฟฟ้า** ใช้ค่า $R = \rho \times L / A$ เมื่อ A คือพื้นที่หน้าตัดของสายเส้นเฟสนับรวมทุกเส้นที่อยู่ในเฟสเดียวกัน และค่า $X_L = 0.08 \text{ m}\Omega / \text{เมตร/เส้น}$ สำหรับสายที่เดินในท่อ หรือเป็นสายเคเบิล และเท่ากับ $0.33 \text{ m}\Omega / \text{เมตร/เส้น}$ สำหรับสายที่เดินในอากาศ กรณีที่มีการเดินสายไฟฟ้าต่อกันหลายช่วงและมีการเปลี่ยนขนาดสาย จะต้องหาอิมพีแดนซ์ของสายในแต่ละช่วงแล้วนำมารวมเข้าด้วยกัน ในตารางมีช่องสำหรับหาอิมพีแดนซ์ไว้ทั้งหมด 3 ช่วง หากต้องการหาต่ออีกก็สามารถเพิ่มได้ตามต้องการ



5.4 กระแสลัดวงจร 1 เฟส

การคำนวณกระแสลัดวงจร 1 เฟส เป็นการหาค่ากระแสลัดวงจรระหว่างสายเส้นเฟสกับสายนิวทรัล (Line-to-neutral) จึงมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายนิวทรัลเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_{SC-LN} = \sqrt{3} \times V / Z_K \text{ กิโลแอมแปร์}$$

กำหนดให้

I_{SC-LN} = กระแสลัดวงจรค่ารากเฉลี่ยยกกำลังสอง 1-เฟส (Line-to-neutral) เป็นกิโลแอมแปร์

V = แรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงเมื่อไม่มีโหลด เป็นโวลต์

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2}$$

และ

$$R_K = 2R_N + 2R_T + 2R_L + R_{TO} + R_{LO}$$

$$X_K = 2X_N + 2X_T + 2X_L + X_{TO} + X_{LO}$$

เมื่อ

$$R_N, X_N = \text{อิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า}$$

$$R_T, X_T, R_{TO}, X_{TO} = \text{อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า}$$

$$R_L, X_L, R_{LO}, X_{LO} = \text{อิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้า (หรือตัวนำอื่น)}$$

การกรอกค่าต่าง ๆ ลงในตาราง

การดำเนินการจะเหมือนกับการคำนวณกระแสลัดวงจร 3 เฟส มีรายละเอียดเพิ่มเติมคือ

- ระบบไฟฟ้า** อิมพีแดนซ์ใช้ค่า 2 เท่า ของการคำนวณ 3 เฟส
- หม้อแปลงไฟฟ้า** อิมพีแดนซ์ใช้ค่า 2 เท่า ของการคำนวณ 3 เฟส สำหรับค่า Zero Sequence Impedance ที่เพิ่มขึ้นมาจะเปลี่ยนแปลงตามกลุ่มเวกเตอร์ของหม้อแปลง ตามที่กำหนดไว้ในตารางหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไปมีกลุ่มเวกเตอร์เป็น Dy
- สายไฟฟ้าเส้นเฟส** การคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ทำเหมือนกับแบบ 3 เฟส แต่อิมพีแดนซ์ใช้ค่า 2 เท่า ของการคำนวณ 3 เฟส
- สายไฟฟ้าเส้นนิวทรัล (R_{LO}, X_{LO})** หาได้จากสมการที่กำหนดในตาราง สำหรับค่า $R_{NEUTRAL}$ คือความต้านทานของสายนิวทรัลที่หาตามวิธีการเดียวกับของ 3 เฟส ข้อสำคัญคืออิมพีแดนซ์ของสายนิวทรัลกับสายเส้นเฟสจะต้องเป็นสายไฟฟ้าช่วงเดียวกัน

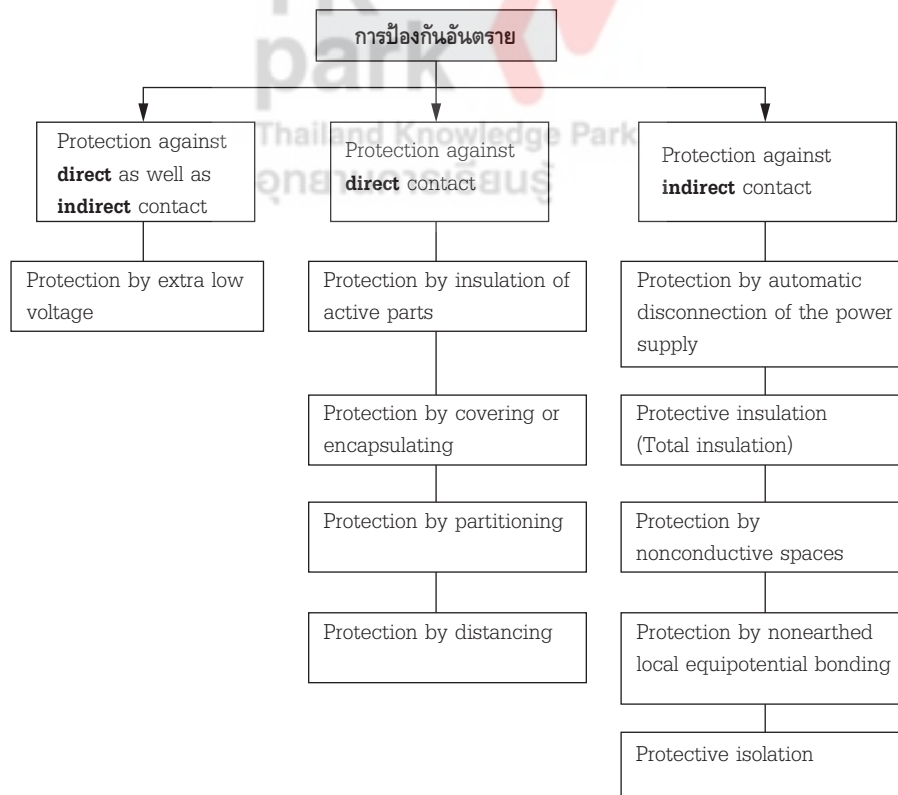
การต่อลงดิน



6.1 การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดตามมาตรฐาน IEC 364-4-41

การป้องกันการสัมผัสโดยตรง (Protection against direct contact) คือการป้องกันการสัมผัสส่วนซึ่งปกติมีไฟฟ้า

การป้องกันการสัมผัสโดยอ้อม (Protection against indirect contact) คือการป้องกันจากการสัมผัสส่วนที่ปกติไม่มีไฟฟ้า



ไดอะแกรมแสดงวิธีการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดตามมาตรฐาน IEC 364-4-41

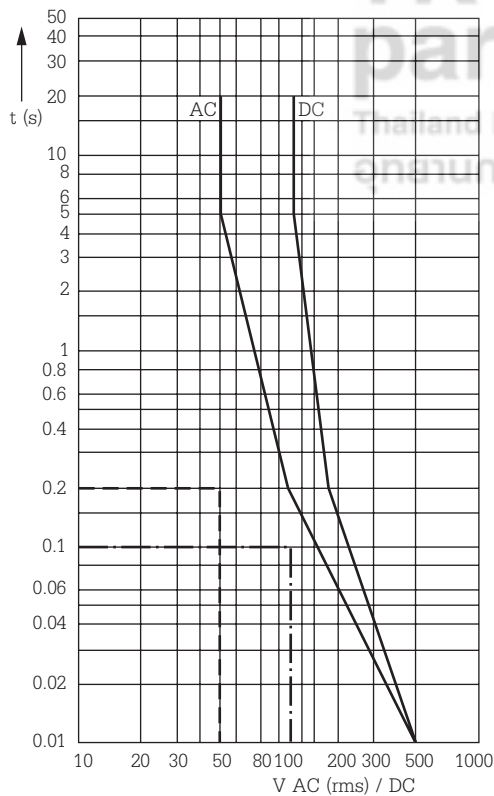
Maximum disconnecting time for TN systems (IEC364-4-41)

Nominal voltage (volts)	Disconnecting time (seconds)
120	0.8
230	0.4
277	0.4
400	0.2
Over 400	0.1



6.2 แรงดันสัมผัส (Touch Voltage) ตามมาตรฐาน IEC 364-4-41

จากการทดลองผลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายมนุษย์ มาตรฐาน IEC จึงกำหนดแรงดันสัมผัสที่เกิดกับส่วนที่เป็นตัวนำไฟฟ้าเนื่องจาก Fault ไว้ โดยกำหนดเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและช่วงเวลาสัมผัส เครื่องป้องกันวงจรไฟฟ้าต้องปลดวงจรโดยอัตโนมัติ ปกติเครื่องปลดวงจรต้องปลดวงจรภายในเวลา 5 วินาที ที่แรงดัน 50 โวลต์ สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ และ 120 โวลต์ สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง



Anticipated touch voltage		Max. permissible disconnection time
AC rms (V)	DC (V)	Second
ต่ำกว่า 50	ต่ำกว่า 120	ไม่จำกัด
50	120	5.0
75	140	1.0
90	160	0.5
110	175	0.2
150	200	0.1
220	250	0.05
280	310	0.03
380	400	0.02
500	500	0.01



6.3 การต่อลงดินแบบต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า (Type of System Earthing)

มาตรฐาน IEC 364-3 ได้แบ่งการต่อลงดินของระบบจ่ายไฟฟ้าด้วยตัวอักษร 2 ตัว และกรณีที่ทำเป็นอาจเพิ่มอักษรอีก 2 ตัว เพื่อแสดงการจัดเรียงของนิวทรัลกับตัวนำป้องกัน (Protective Conductor)

อักษรตัวแรก แสดงความสัมพันธ์ของระบบจ่ายไฟฟ้ากับการต่อลงดิน ดังนี้

T หมายถึง ต่อลงดินโดยตรง

I หมายถึง ส่วนที่มีไฟฟ้าทั้งหมดแยกออก (ฉนวน) จากดินหรือมีการต่อลงดินจุดเดียวโดยต่อผ่านอิมพีแดนซ์

อักษรตัวที่สอง แสดงความสัมพันธ์ของการติดตั้งส่วนที่เป็นตัวนำไฟฟ้าเปิดโล่งกับดิน

T หมายถึง ต่อลงดินโดยตรง

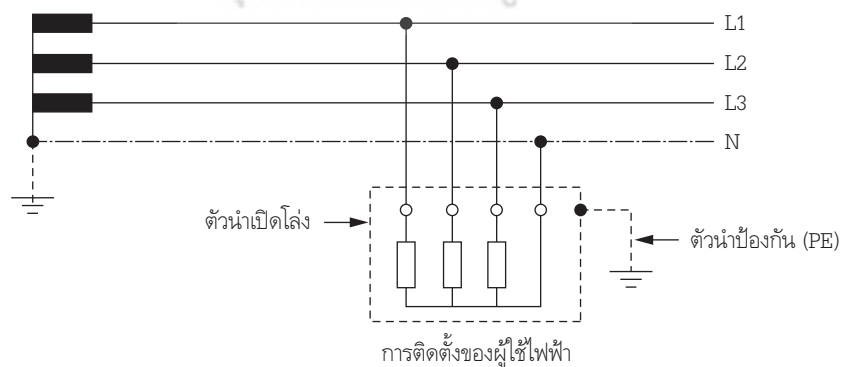
N หมายถึง ส่วนที่มีไฟฟ้าเปิดโล่งต่อโดยตรงกับจุดที่ต่อลงดินของระบบจ่ายไฟฟ้าด้วยตัวนำป้องกัน (สายดิน)

ในระบบ TN-System จะมีตัวอักษรเพิ่มเติมหนึ่งหรือสองตัวเป็นตัวกำหนดการจัดเรียงของสายนิวทรัลกับตัวนำป้องกันดังนี้

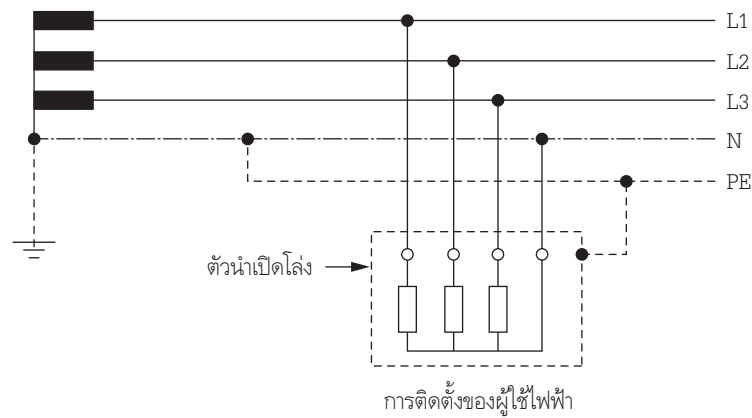
C หมายถึง สายนิวทรัลและตัวนำป้องกันต่อใช้งานร่วมกัน (สายเดียวกัน)

S หมายถึง สายนิวทรัลและตัวนำป้องกันทำงานแยกกัน

CS หมายถึง สายนิวทรัลและตัวนำป้องกันต่อใช้งานร่วมกันเฉพาะส่วนที่เป็นระบบไฟฟ้าเท่านั้น



รูปที่ 6.1 การต่อลงดินระบบ TT System



รูปที่ 6.5 การต่อลงดินระบบ TN-CS System

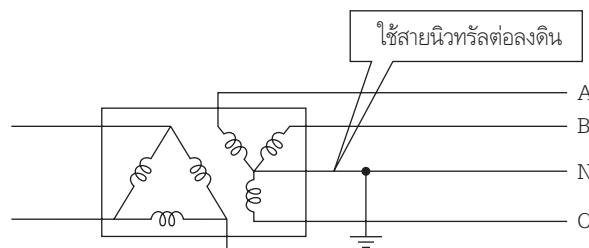


6.4 การต่อลงดินตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย

6.4.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

1. ระบบไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 50 โวลต์แต่ไม่ถึง 1000 โวลต์ ต่อไปนี้ต้องต่อลงดิน

- (1) เป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย ซึ่งสายนิวทรัล (Neutral) ใช้เป็นสายเส้นหนึ่งของวงจรด้วย กรณีนี้ให้ใช้สายนิวทรัลเป็นสายต่อลงดิน
- (2) เป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย และจุดกึ่งกลางของเฟสใดเฟสหนึ่งใช้เป็นสายวงจรด้วย ให้ใช้เส้นที่ต่อจากจุดกึ่งกลางนั้นเป็นเส้นต่อลงดิน
- (3) เป็นระบบ 3 เฟส 3 สาย ใช้สายเฟสใดก็ได้ต่อลงดิน
- (4) เป็นระบบ 1 เฟส 2 สาย หรือ 3 สาย ใช้สายนิวทรัลเป็นเส้นต่อลงดิน



รูปที่ 6.6 การต่อลงดินของระบบ 3 เฟส 4 สาย (เดลตา-วาย)

ถ้ามีกับดักฟ้าผ่า (Lightning Arrester) หรือลลิตเซอร์เรสเตอร์ (Surge Arrester) สายต่อลงดินของอะเรสเตอร์ต้องต่อร่วมกับซีลด์ของสายเคเบิลแรงสูงในแผงสวิตช์ และต้องแยกออกจากบัสต่อลงดินของแผงสวิตช์ สายต่อลงดินของอะเรสเตอร์ต้องเป็นสายทองแดงหุ้มฉนวน ที่ทนแรงดันไม่น้อยกว่า 750 โวลต์ มีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 16 ตร.มม. ติดตั้งบนฉนวนที่มีระดับแรงดัน (Voltage Class) ไม่น้อยกว่า 1,000 โวลต์

ตู้ของแผงสวิตช์แรงสูงต้องต่อลงดิน โดยใช้สายต่อฝากดินที่กราวด์บัส บานประตูตู้แผงสวิตช์ต้องต่อฝากเข้ากับตู้แผงสวิตช์ด้วย สายต่อฝากต้องทนกระแสลัดวงจรค่ามากที่สุดที่อาจเกิดขึ้นที่แผงสวิตช์นั้น หรือใช้สายทองแดงที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 10 ตร.มม. หรือมีหนังสือรับรองจากผู้ผลิตว่าได้ผ่านการทดสอบในเรื่องนี้แล้ว สายดินของตู้แผงสวิตช์แรงสูงกับแผงสวิตช์แรงต่ำต้องแยกจากกันและใช้หลักดินแยกจากกันด้วย

การต่อลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่า (กับดักฟ้าผ่า)

การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่ากรณีติดตั้งที่หม้อแปลงไฟฟ้า

การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าที่ติดตั้งที่หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งปกติจะติดตั้งที่ทางด้านแรงสูงของหม้อแปลง สายต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าต้องต่อร่วมกับสายต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลง และให้สั้นที่สุดเพื่อลดแรงดันคร่อมในสายไฟฟ้า สายต่อลงดินนี้ต้องแยกต่างหากจากสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้าด้านแรงต่ำ (สายนิวทรัล)

การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่ากรณีติดตั้งที่สายเคเบิลใต้ดิน

ในระบบสายเคเบิลใต้ดินแรงสูงจะมีซีลด์ซึ่งต้องต่อลงดิน การต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าจะต่อร่วมกับสายซีลด์ของเคเบิลใต้ดิน เพื่อลดแรงดันคร่อมระหว่างสายซีลด์กับตัวนำของเคเบิลใต้ดินเมื่อมีฟ้าผ่าได้



Thailand Knowledge Park
อุทยานการเรียนรู้

6.5 ความรู้เรื่องความต้านทานการต่อลงดิน

6.5.1 ความต้านทานของดิน

ผิวโลกส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกา (Silica) และอะลูมินา (Alumina) ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารละลายเกลือและความชื้นซึ่งเป็นตัวนำที่ดี ค่าความต้านทานจำเพาะของดินจึงมีค่าเปลี่ยนแปลงมาก ระหว่าง 2 ถึง 30,000 โอห์ม-เมตร คุณสมบัติของดินจะมีผลให้ค่าความต้านทานจำเพาะของดินเปลี่ยนไปด้วย ความต้านทานของดินหาได้จากค่าความต้านทานจำเพาะของดินซึ่งมีตัวแปรหลายตัวด้วยกัน ค่าความต้านทานจำเพาะของดินกำหนดเป็นค่าโอห์ม-เมตร โอห์ม-เซนติเมตร หรือโอห์ม-นิ้ว เขียนแทนด้วยอักษร ρ (rho)

การคำนวณโหลด

(อ้างอิงมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย)



7.1 การคำนวณโหลดสำหรับอาคารทั่วไป

7.1.1 วงจรรย่อย

การคำนวณโหลดของวงจรรย่อย คือการนำโหลดทั้งหมดที่ต่อในวงจรรย่อยมารวมกัน และห้ามใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ ขนาดโหลดดำเนินการดังนี้

1. โหลดแสงสว่างและโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นที่ทราบโหลดแน่นอนแล้ว คิดตามที่ติดตั้งจริง
2. โหลดของเต้ารับใช้งานทั่วไป คิดโหลดเต้ารับละ 180 วัตต์ ทั้งชนิด Single, Duplex และ Triplex
3. โหลดของเต้ารับอื่นที่มีได้ใช้งานทั่วไป ให้คิดโหลดตามขนาดของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น ๆ

พิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน เครื่องป้องกันกระแสเกินต้องสามารถใช้งานในภาวะปกติได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ปลดลงจร แต่เนื่องจากเครื่องป้องกันกระแสเกินอาจทำงานต่ำกว่าพิกัดจากสาเหตุต่าง ๆ ในทางปฏิบัติเมื่อคำนวณโหลดได้ การกำหนดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินอาจต้องเผื่อไว้บ้าง ปกติจะเผื่อไว้ประมาณ 25% จะได้ว่า

$$\text{พิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน} = 1.25 \times \text{โหลดในวงจรรย่อย}$$

สายไฟฟ้า สายไฟฟ้าของวงจรรย่อยต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินที่ใช้งาน และต้องไม่เล็กกว่า 2.5 ตร.มม.

สายไฟฟ้าที่ต่อแยกเข้าเต้ารับจุดเดียวต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 1.5 ตร.มม. และมีขนาดกระแสไม่น้อยกว่ากระแสของโหลดที่ใช้เต้ารับ สำหรับสายไฟฟ้าที่ต่อแยกเข้าดวงโคมชุดเดียวต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.5 ตร.มม. และมีขนาดกระแสไม่น้อยกว่ากระแสของดวงโคมนั้น

7.1.3 สายเมน

การคำนวณโหลด คือการนำโหลดทั้งหมดของอาคารมารวมกันโดยใช้ดีมานแฟกเตอร์เหมือนกับสายป้อน และดำเนินการดังนี้

1. นำโหลดที่คำนวณได้ไปกำหนดขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า ตามตารางที่ 7.4 สำหรับการไฟฟ้านครหลวง และตารางที่ 7.5 สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
2. ถ้าโหลดที่คำนวณได้สูงกว่าโหลดในตาราง ต้องติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเอง

พิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน กำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน ตามตารางที่ 7.4 สำหรับการไฟฟ้านครหลวง และตารางที่ 7.5 สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กรณีติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า ให้กำหนดตามขนาดหม้อแปลงในเรื่องหม้อแปลงไฟฟ้า

สายเมนหรือสายประธาน ต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน (ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดูจากตารางที่ 7.5) แต่ต้องไม่เล็กกว่า 4 ตร.มม. สำหรับสายเดินในอากาศ และไม่เล็กกว่า 10 ตร.มม. สำหรับสายเดินฝังดิน ขนาดสายนิวทรัลกำหนดเช่นเดียวกับสายป้อน



7.2 การคำนวณโหลดสำหรับอาคารชุด

อาคารชุด หมายถึงอาคารชุดทุกประเภทที่จดทะเบียนตามพระราชบัญญัติอาคารชุด พ.ศ. 2522

อาคารสูง และอาคารขนาดใหญ่พิเศษ หมายถึงอาคารที่เป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ซึ่งให้คำจำกัดความของอาคารสูง และอาคารขนาดใหญ่พิเศษไว้ดังนี้

อาคารสูง หมายถึงอาคารที่บุคคลอาจเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้ โดยมีความสูงตั้งแต่ 23.0 เมตร ขึ้นไป การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

อาคารขนาดใหญ่พิเศษ หมายถึงอาคารที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารเป็นที่อยู่อาศัยหรือประกอบกิจการประเภทเดียวกันหรือหลายประเภท โดยมีพื้นที่รวมกันทุกชั้น หรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันตั้งแต่ 10,000 ตร.ม. ขึ้นไป



7.3 ตารางข้อมูลเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

ตารางที่ 7.16 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน
(เป็นตารางแนะนำเท่านั้น ไม่ใช่ตารางตามที่กำหนดในมาตรฐาน)

แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 1 เฟส (เครื่องปรับอากาศ เบอร์ 5)

ขนาด (บีทียู/ชั่วโมง)	กระแส (แอมป์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
12,500	5.1	1,100
13,000	5.4	1,150
17,000	7.2	1,600
20,000	8.75	1,900
25,000	11.65	2,400
30,000	14.5	2,700
35,000	16.5	3,400
40,000	19.5	4,000

แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 1 เฟส (เครื่องปรับอากาศทั่วไป)

ขนาด (บีทียู/ชั่วโมง)	กระแส (แอมป์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
13,000	7.5	1,320
16,000	9.2	1,630
18,000	10.3	1,860
20,000	11.2	2,020
25,000	13.5	2,590
30,000	14	2,900
35,000	17	3,510
38,000	17.8	3,820

หมายเหตุ ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าตามตารางที่ 7.16 เป็นค่าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด

วิธีเดินสาย

(อ้างอิงมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย)



8.1 ข้อกำหนดทั่วไปในการเดินสาย

8.1.1 การติดตั้งใต้ดิน

ความลึกในการติดตั้งต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดในตารางที่ 8.1 แต่ถ้าเป็นบริเวณที่มีรถยนต์วิ่งผ่าน ความลึกต้องไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร ในการติดตั้งที่มีแผ่นคอนกรีตปิดหุ้มต้องเป็นแผ่นคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 50 มม. สำหรับสายแรงสูงความลึกต้องไม่ต่ำกว่า 0.90 เมตร ทุกกรณี

ตารางที่ 8.1 ความลึกในการติดตั้งใต้ดิน สำหรับระบบแรงต่ำ

วิธีการเดินสาย	ความลึกต่ำสุด (ม.)	
	ไม่มีแผ่นคอนกรีตกัน	มีแผ่นคอนกรีตกัน
เคเบิลฝังดินโดยตรง	0.60	0.45
ท่อโลหะหนา และท่อโลหะหนานปานกลาง	0.15	0.15
ช่องเดินสายอื่น ๆ ซึ่งได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้า	0.45	0.30

8.1.2 การจับยึดสายไฟฟ้าในแนวดิ่ง

สายไฟในช่องเดินสายแนวดิ่งต้องมีการจับยึดที่ปลายบนของช่องเดินสายและต้องมีการจับยึดเป็นช่วง ๆ โดยมีระยะห่างไม่เกินตามที่กำหนดในตารางที่ 8.2 แต่ถ้าระยะตามแนวดิ่งน้อยกว่าร้อยละ 25 ของระยะที่กำหนดในตารางที่ 8.2 ก็ไม่ต้องจับยึด การจับยึดมีจุดประสงค์เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำหนักของสายไฟฟ้าไปดึงอุปกรณ์ที่สายยึดอยู่ชำรุดเช่น เครื่องป้องกันกระแสเกิน

ตารางที่ 8.2 ระยะห่างสำหรับการจับยึดสายไฟในแนวดิ่ง

ขนาดสายไฟฟ้า (ตร.มม.)	ระยะจับยึดต่ำสุด (เมตร)
ไม่เกิน 50	30
70 - 120	24
150 - 185	18
240	15
300	12
เกินกว่า 300	10

8.1.3 การป้องกันกระแสเหนี่ยวนำ

กรณีที่เดินสายไฟฟ้าผ่านท่อโลหะที่เป็นสารแม่เหล็ก หรือร้อยท่อโลหะ ต้องมีการป้องกันความร้อนจากการเหนี่ยวนำเช่น ร้อยสายทุกเส้นรวมทั้งนิวทรัลและสายดินของวงจรเดียวกันในช่องเดียวกัน หรือในท่อร้อยสายเดียวกัน

สายแกนเดี่ยวทุกเส้นของวงจรเดียวกันรวมทั้งสายนิวทรัลและสายดิน ต้องติดตั้งในท่อร้อยสายเดียวกัน หรือถ้าวางในรางเดินสายหรือรางเคเบิล ต้องวางเป็นกลุ่มเดียวกัน

8.1.4 การเดินสายควบ

การเดินสายควบต้องใช้สายไฟฟ้าชนิดเดียวกัน มีขนาดและความยาวเท่ากัน และใช้วิธีการต่อสายเหมือนกัน เพื่อให้มีความต้านทานใกล้เคียงกันมากที่สุด การเดินสายควบต้องใช้สายขนาดไม่เล็กกว่า 50 ตร.มม.



8.2 วิธีเดินสาย

วิธีเดินสายแบ่งออกเป็นหลายวิธี ผู้ออกแบบและติดตั้งอาจเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งก็ได้ตามความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานและสถานที่ วิธีเดินสายที่นิยมใช้กันมากมีดังนี้

8.2.1 การเดินสายเปิดบนวัสดุฉนวนสำหรับระบบแรงต่ำ

การเดินสายเปิดสำหรับระบบแรงต่ำมีข้อกำหนดที่สำคัญคือ

1. การเดินสายเปิดบนวัสดุฉนวนต้องเดินภายนอกอาคาร การเดินภายในอาคารทำได้เฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม งานเกษตรกรรม และแสดงสินค้าเท่านั้น
2. ต้องมีการป้องกันความเสียหายทางกายภาพที่เหมาะสม และสายที่เกาะไปตามผนังต้องอยู่สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 2.50 เมตร และมีระยะห่างตามที่กำหนดในเรื่องระยะห่างทางไฟฟ้า

มอเตอร์ คาปาซิเตอร์ และหม้อแปลงไฟฟ้า

(อ้างอิงมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย)



9.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

9.1.1 ขนาดสายไฟฟ้า

1. วงจรย่อยมอเตอร์

วงจรย่อยมอเตอร์หมายถึงวงจรที่มีเครื่องป้องกันกระแสเกินตัวสุดท้ายก่อนที่จะต่อเข้ามอเตอร์ มอเตอร์ที่ต่อใช้งานจากเครื่องป้องกันกระแสเกินนี้อาจมีหลายตัวได้ตามที่อนุญาตในมาตรฐาน

มอเตอร์ใช้งานทั่วไป

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ≥ 1.25 เท่าของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

ถ้ามอเตอร์เป็นชนิดความเร็วหลายค่าจะเลือกใช้ค่าที่มีกระแสสูงสุด และสายไฟฟ้าต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 1.5 ตร.มม. พิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ดูได้จากแผ่นป้ายประจำเครื่องของมอเตอร์

มอเตอร์ชนิดเวดโรเตอร์ (Wound Rotor Motor)

สายไฟฟ้าด้าน Primary สายไฟฟ้าต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่า 125% ของกระแสโหลดเต็มที่ด้าน Primary ของมอเตอร์

สายไฟฟ้าด้าน Secondary คือสายไฟฟ้าที่ต่อระหว่างวงจรด้าน Secondary ของมอเตอร์กับเครื่องควบคุมด้าน Secondary ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 125% ของกระแสโหลดเต็มที่ด้าน Secondary ของมอเตอร์

มอเตอร์ที่มีตัวต้านทานแยกออกจากเครื่องควบคุม ขนาดกระแสของสายที่ต่ออยู่ระหว่างเครื่องควบคุมและตัวต้านทานขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งานของตัวต้านทานซึ่งปกติจะระบุไว้ที่ตัวต้านทาน ขนาดกระแสกำหนดเป็นค่าร้อยละของกระแสด้าน Secondary ตามตารางที่ 9.1

ตารางที่ 9.7 ขนาดสายไฟฟ้าที่แนะนำให้ใช้ สำหรับอินดักชันมอเตอร์ระบบ 3 เฟส 380 โวลต์

(เป็นตารางแนะนำเท่านั้นไม่ใช่ตารางที่กำหนดในมาตรฐาน)

แรงม้า	กระแส (แอมแปร์)	ขนาดสายไฟฟ้า (ตร.มม.)			
		วิธีเดินสาย 1 (ดูหมายเหตุ)		วิธีเดินสาย 2 (ดูหมายเหตุ)	
		ท่อโลหะ	ท่อโลหะ	ท่อโลหะ	ท่อโลหะ
1/2	1.2	1.5	1.5	1.5	1.5
3/4	1.7	1.5	1.5	1.5	1.5
1	2.2	1.5	1.5	1.5	1.5
1 1/2	3.1	1.5	1.5	1.5	1.5
2	4.1	1.5	1.5	1.5	1.5
3	5.8	1.5	1.5	1.5	1.5
5	9.2	1.5	1.5	1.5	1.5
7 1/2	13.0	2.5	2.5	1.5	2.5
10	17.0	4.0	4.0	2.5	4.0
15	25.0	10	10	4	6
20	33.0	10	0	6	10
25	41.0	16	16	10	16
30	49.0	25	25	16	16
40	63.0	35	35	25	25
50	79.0	50	50	25	35
60	93.0	50	70	35	50
75	116.0	70	95	50	70
100	150.0	120	120	70	95
125	189.0	150	150	95	150
150	218.0	185	240	120	185
200	291.0	300	300	185	300

หมายเหตุ

วิธีเดินสาย 1 สายแกนเดียวหุ้มฉนวนไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 แกน เดินในท่อในอากาศ ในท่อฝังในผนังปูนฉาบ หรือเดินในท่อในฝ้าเพดาน

วิธีเดินสาย 2 สายแกนเดียวหุ้มฉนวนไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 แกน เดินในท่อฝังดิน



9.2 คาปาซิเตอร์

9.2.1 การกำหนดขนาดคาปาซิเตอร์

คาปาซิเตอร์ในระบบไฟฟ้ากำลังมีหน่วยเป็นกิโลวาร์ (kvar) เขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{kvar}_{1\text{-เฟส}} = 2\pi fCV^2 \times 10^{-9}$$

$$\text{kvar}_{3\text{-เฟส}} = 6\pi fCV^2 \times 10^{-9}$$



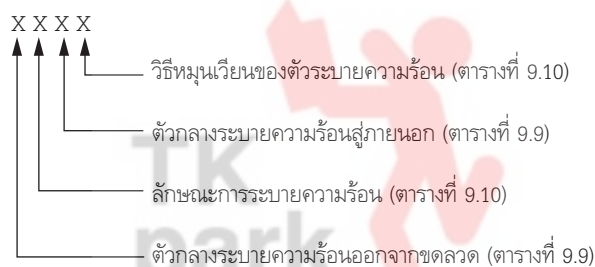
9.3 หม้อแปลงไฟฟ้า

9.3.1 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

1. หม้อแปลงชนิดแห้ง
2. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้
3. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟยาก
4. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ

9.3.2 การระบายความร้อน

การระบายความร้อนของหม้อแปลงแสดงเป็นอักษรภาษาอังกฤษ 4 ตัว ดังนี้



ตารางที่ 9.9 สัญลักษณ์แสดงการระบายความร้อน

ตัวกลางระบายความร้อน	สัญลักษณ์
น้ำมัน	O
ก๊าซ	G
น้ำ	W
อากาศ	A

ตารางที่ 9.10 ลักษณะการระบายความร้อน

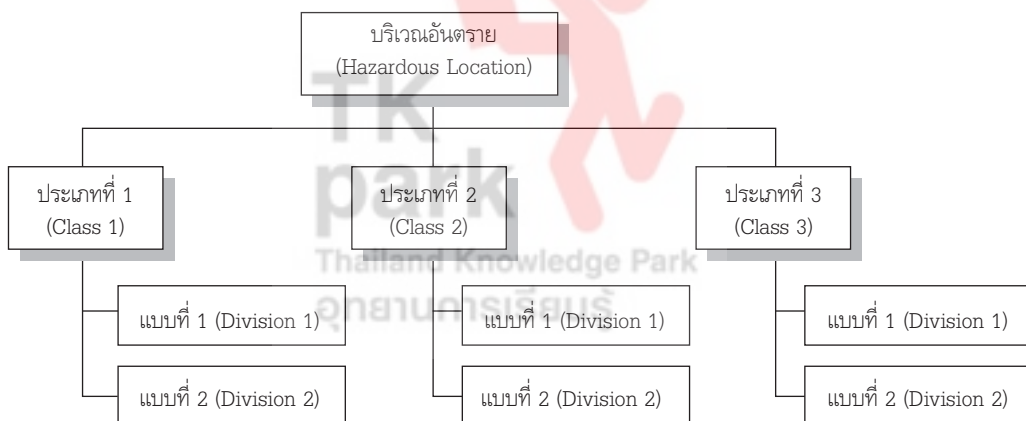
วิธีการหมุนเวียนของตัวระบายความร้อน	สัญลักษณ์
โดยวิธีธรรมชาติ (Natural)	N
โดยวิธีอัดหรือขับ (Forced)	F

บริเวณอันตราย

(อ้างอิงมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย)



10.1 บริเวณอันตรายตามการจำแนกเป็นประเภทและแบบ



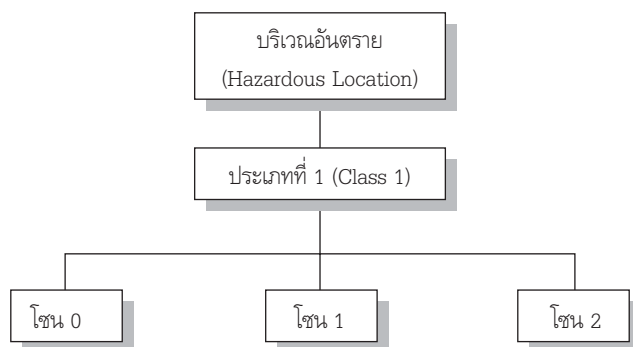
แผนภูมิการจำแนกบริเวณอันตรายเป็นประเภทและแบบ

บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 คือบริเวณที่มีก๊าซหรือไอที่ติดไฟได้ผสมอยู่ในอากาศปริมาณมากพอที่จะทำให้เกิดการระเบิดได้ ดังนี้

1. บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 คือบริเวณที่ในภาวะการทำงานตามปกติมีก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้ หรือบริเวณที่อาจมีก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้อยู่บ่อย ๆ เนื่องจากการซ่อมแซม บำรุงรักษาหรือรั่ว หรือเมื่ออุปกรณ์เกิดความเสียหายหรือทำงานผิดพลาด ซึ่งการระเบิดอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าขัดข้องและกลายเป็นแหล่งกำเนิดประกายไฟได้



10.2 บริเวณอันตรายตามการจำแนกเป็นประเภทและโซน



แผนภูมิการจำแนกบริเวณอันตรายเป็นประเภทและโซน

บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 โซน 0 คือบริเวณดังต่อไปนี้

1. บริเวณที่มีก๊าซหรือไออย่างต่อเนื่องและความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้
2. บริเวณที่มีก๊าซหรือไอตลอดเวลาและความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้

มาตรฐาน IEC กำหนดระยะเวลาว่าเป็นบริเวณที่มีสารไวไฟนานเป็นเวลาดังต่อไปนี้ 1,000 ชั่วโมงขึ้นไป

บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 โซน 1 คือบริเวณดังต่อไปนี้

1. สถานที่ซึ่งในภาวะการทำงานปกติ อาจมีก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้
2. สถานที่ซึ่งอาจมีก๊าซหรือไอ ที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้อยู่บ่อย ๆ เนื่องจากการซ่อมแซม บำรุงรักษา หรือรั่ว

ซ่อมแซม บำรุงรักษา หรือรั่ว

3. สถานที่ซึ่งเมื่ออุปกรณ์เกิดความเสียหายหรือทำงานผิดพลาดอาจทำให้เกิดก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะเกิดการระเบิดได้ และในขณะเดียวกันอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าขัดข้องซึ่งเป็นสาเหตุให้อุปกรณ์ไฟฟ้าดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดของการระเบิดได้

4. สถานที่ซึ่งอยู่ใกล้กับบริเวณอันตรายประเภทที่ 1 โซน 0 และอาจได้รับการถ่ายเทก๊าซหรือไอที่มีความเข้มข้นพอที่จะจุดระเบิดได้ แต่ถ้ามีการป้องกันโดยการระบายอากาศโดยดูดอากาศสะอาดเข้ามาและมีระบบรักษาความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพการระบายอากาศทำงานผิดพลาดก็ไม่จัดเป็นโซน 0

มาตรฐาน IEC กำหนดระยะเวลาว่าเป็นบริเวณที่มีสารไวไฟนานเป็นเวลาดังต่อไปนี้ ไม่น้อยกว่า 10 ชั่วโมง แต่ไม่ถึง 1,000 ชั่วโมง



10.3 ระบบที่ปลอดภัยอย่างแท้จริง (Intrinsically Safe System)

เป็นระบบที่ทั้งวงจรและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบริเวณอันตรายมีความปลอดภัยอย่างเพียงพอไม่ต้องมีการป้องกันเพิ่มเติมอีก กรณีเป็นวงจรไฟฟ้าหมายถึงวงจรที่ผลของประกายไฟหรือความร้อนที่เกิดในวงจรจะมีพลังงานไม่มากพอที่จะทำให้สารไวไฟเกิดการจุดระเบิดได้ทั้งในสภาวะทำงานปกติและเมื่อทำงานไม่ปกติ

สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องมีการทดสอบและรับรองก่อนจึงจะสามารถนำมาใช้งานได้ อุปกรณ์บางตัวอาจเป็นอุปกรณ์ที่มีพลังงานน้อย เช่น เทอร์โมคัปเปิลที่ผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นไมโครแอมแปร์ แต่ในการใช้งานอาจต้องต่อกับวงจรขยายกำลังที่มีกำลังสูง จึงไม่ถือเป็นอุปกรณ์ที่ปลอดภัยโดยแท้จริง การตัดสินใจต้องพิจารณาองค์ประกอบให้ครบถ้วนด้วย อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจะแยกออกเป็นอุปกรณ์ที่ปลอดภัยอย่างแท้จริง และอุปกรณ์ประกอบ

อุปกรณ์ที่ปลอดภัยอย่างแท้จริง คืออุปกรณ์ที่ทั้งชิ้นส่วนและวงจรมีความปลอดภัยอย่างแท้จริง

อุปกรณ์ประกอบ หมายถึงอุปกรณ์ที่ตัวมันเองไม่ใช่อุปกรณ์ที่ปลอดภัยอย่างแท้จริงซึ่งต่ออยู่ในวงจรที่ปลอดภัยอย่างแท้จริง แต่ตัวมันเองมีวงจรที่มีผลให้วงจรที่มันอยู่นั้นยังคงมีความปลอดภัยอย่างแท้จริง อุปกรณ์ประกอบนี้อาจเป็นอุปกรณ์ที่มีเทคนิคการป้องกันเหมาะสมกับบริเวณอันตรายนั้น หรือเป็นอุปกรณ์ทั่วไปที่ปกติห้ามใช้ในบริเวณอันตรายก็ได้ อุปกรณ์เหล่านี้จะระบุด้วยเครื่องหมาย [ia] หรือ [ib]

การแบ่งลำดับชั้นของอุปกรณ์

1. ลำดับชั้น “ia” อุปกรณ์ไฟฟ้าที่แสดงสัญลักษณ์ “ia” คืออุปกรณ์ที่ในสภาพการทำงานปกติหรือเมื่อเกิดการกระแสดังวงจรเพียงจุดเดียวหรือสองจุดพร้อมกันจะต้องไม่เป็นสาเหตุให้สารไวไฟเกิดการจุดระเบิดได้
2. ลำดับชั้น “ib” อุปกรณ์ไฟฟ้าที่แสดงสัญลักษณ์ “ib” คืออุปกรณ์ที่ในสภาพการทำงานปกติหรือเมื่อเกิดการกระแสดังวงจรเพียงจุดเดียว จะต้องไม่เป็นสาเหตุให้สารไวไฟเกิดการจุดระเบิดได้

ไฟฟ้าแสงสว่าง



11.1 ความรู้ทั่วไปในการส่องสว่าง

(ที่มา: สมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย)

คำจำกัดความที่สำคัญ

ค่าฟลักการส่องสว่าง (Luminous Flux) หมายถึง ปริมาณแสงสว่าง หน่วยเป็นลูเมน

ค่าประสิทธิภาพ (Efficacy) หมายถึง ปริมาณแสงที่ออกมาต่อวัตต์ที่ใช้ (ลูเมนต่อวัตต์) หลอดที่มีค่าประสิทธิภาพสูงคือหลอดที่ให้ปริมาณแสงออกมามากแต่ใช้วัตต์ต่ำ

ความถูกต้องของสี (Color Rendering) หมายถึง แสงที่ส่องไปถูกวัตถุให้ความถูกต้องของสีมากน้อยเพียงใด มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ หลอดที่มีความถูกต้อง 100% หมายความว่าเมื่อใช้หลอดนั้นส่องสว่างวัตถุชิ้นหนึ่งแล้ว สีของวัตถุที่เห็นไม่มีความเพี้ยนของสี

อุณหภูมิสี (Color Temperature) หมายถึง สีของหลอดเทียบได้กับสีที่เกิดจากการเผาวัตถุดำอุดมคติให้ร้อนที่อุณหภูมินั้น เช่นหลอดอินแคนเดสเซนต์มีอุณหภูมิสีประมาณ 3,000 องศาเคลวิน สีของแสงจะเหมือนกับการเผาวัตถุดำอุดมคติให้ร้อนที่อุณหภูมิ 3,000 องศาเคลวิน

มุมมองในการใช้งานหลอด (Burning Position) หมายถึง มุมองศาในการการติดตั้งใช้งานหลอดตามคำแนะนำของผู้ผลิต

อายุการใช้งาน (Life Time) หมายถึง อายุการใช้งานของหลอดโดยเฉลี่ย หน่วยเป็นชั่วโมง

พื้นที่รอบข้าง (Immediate Surrounding) หมายถึง ขอบเขตพื้นที่อย่างต่ำ 0.5 เมตรโดยรอบพื้นที่ ณ จุดการทำงาน หรือ ปฏิบัติกิจกรรม (Task Area) ซึ่งอยู่ในรัศมีของสายตา

ระดับความส่องสว่างขั้นต่ำที่เหมาะสม (E_m : Maintained Illuminance) หมายถึง ระดับความส่องสว่างขั้นต่ำ (โดยเฉลี่ย) ที่วัดได้ และต้องคงไว้ ณ พื้นที่หรือจุดทำงาน (Task Area) มีหน่วยเป็น lx (ลักซ์)

เช่น ไฟถนน ไฟบริเวณ ซึ่งต้องการความส่องสว่างประมาณ 5-30 ลักซ์ และอายุการใช้งานประมาณ 24,000 ชม. มีขนาดวัตต์ 50, 70, 100, 150, 250, 400 และ 1,000 วัตต์

หลอดปรอทความดันไอสูง หรือที่ชาวบ้านเรียกว่าหลอดแสงจันทร์ มีประสิทธิภาพสูงพอๆกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ คือ มีประสิทธิภาพประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ แสงที่ออกมามีความถูกต้องของสีประมาณ 60% ส่วนใหญ่ใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อต้องการวัตต์สูงๆ ในพื้นที่ที่มีเพดานสูง อุณหภูมิสีประมาณ 4,000-6,000 เคลวิน แล้วแต่ชนิดของหลอด และอายุการใช้งานประมาณ 8,000-24,000 ชม. มีขนาดวัตต์ 50, 80, 125, 250, 400, 700 และ 1,000 วัตต์

หลอดเมทัลฮาไลด์ หลอดเมทัลฮาไลด์ก็เหมือนกับหลอดปล่อยประจุอื่น ๆ แต่มีข้อดีตรงที่มีสเปกตรัมแสงทุกสี ทำให้ทุกชนิดเด่นภายใต้หลอดชนิดนี้ นอกจากความถูกต้องของสีสูงแล้ว แสงที่ออกมาก็อาจมีตั้งแต่ 3,000-4,500 เคลวิน (ขึ้นอยู่กับขนาดของวัตต์) ส่วนใหญ่นิยมใช้กับสนามกีฬาที่มีการถ่ายทอดโทรทัศน์ มีอายุการใช้งานประมาณ 6,000-9,000 ชม. และมีขนาดวัตต์ 100, 125, 250, 300, 400, 700 และ 1,000 วัตต์



11.2 ค่าความส่องสว่างที่แนะนำ

11.2.1 ระดับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ ณ จุดทำงาน หรือปฏิบัติการ

ค่าระดับความส่องสว่างที่ระบุไว้ในตารางที่ 11.2 เป็นค่าระดับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ ณ จุดทำงาน หรือปฏิบัติการบนพื้นที่ผิวที่อ้างอิง ซึ่งอาจเป็นพื้นผิวในแนวระนาบ แนวตั้ง หรือแนวเอียง ค่าในตารางใช้ได้กับการใช้สายตาโดยทั่วไป โดยพิจารณาองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. ความต้องการของการใช้สายตา สำหรับการทำงานหรือปฏิบัติการ
2. ความปลอดภัย
3. ความสบายของสายตา
4. ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์
5. ประสบการณ์ในทางปฏิบัติ

การติดตั้งอาจปรับตั้งให้มีค่าระดับความส่องสว่างสูงหรือต่ำกว่าค่าที่แนะนำได้ ตามระดับขั้นมาตรฐานระดับความส่องสว่าง (Scale of Illuminance) ในกรณีนี้องค์ประกอบของการใช้สายตาแตกต่างไปจากข้อสมมติฐานปกติที่กล่าวมาแล้ว

11.2.2 ระดับความส่องสว่างของพื้นที่โดยรอบ (Immediate Surroundings)

ระดับความส่องสว่างของพื้นที่โดยรอบจะต้องสัมพันธ์กับระดับความส่องสว่างของพื้นที่ ณ จุดทำงาน หรือปฏิบัติการ และควรจะทำให้เกิดความสมดุลของการกระจายความสว่าง (Illuminance Distribution) ในขอบเขตของแนวสายตา

ตารางที่ 11.2 (ต่อ)

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	$\bar{E}_m$ lux	UGR _L	R _{a(min)}	หมายเหตุ
พื้นที่นั่งรอ	200	22	80	
ห้องเก็บกระเป๋าเดินทาง	200	28	60	
พื้นที่ควบคุมของเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย	300	19	80	
หอควบคุมจราจรทางอากาศ	500	16	80	1. ระบบการส่องสว่างควรจะสามารถปรับที่แสงได้ 2. หลีกเลียงแสงบาดตาจากแสงแดด
พื้นที่ทดสอบตรวจซ่อมอากาศยาน ทดสอบเครื่องยนต์ เครื่องวัดสำหรับอากาศยาน พื้นที่ซามาลาสถานีสำหรับผู้โดยสาร	500	22	80	
ชั้นรถไฟ (ใต้ดิน)	50	28	40	
พื้นที่ขายตั๋วโดยสาร	300	19	80	
พื้นที่นั่งรอ	200	22	80	
31. วัด โบลต์				
พื้นที่โดยรอบ	100	25	80	
ที่นั่ง แท่นบูชา แท่นยืน นั่งเทิร์น	300	22	80	
การส่องเน้น (พระพุทธรูป พระรูป)	750		90	ประมาณ 3 เท่าของแสงสว่างรอบข้าง



11.3 Maintenance Factor

ตารางที่ 11.3 Maintenance Factor (เป็นคำแนะนำสำหรับกรณีที่ไม่ได้ข้อมูลจากผู้ผลิต)

Recommended illuminance	Lamp luminous flux	Lamp lumen maintenance factor	Room category	Luminaire and room surface dirt maintenance factor	Total maintenance factor
Service value of illuminance	100 hrs value	0.9	Clean	0.9	0.8
			Average	0.8	0.7
			Dirty	0.7	0.6
	2,000 hrs value	1.0	Clean	0.9	0.9
			Average	0.8	0.8
			Dirty	0.7	0.7
Minimum value of illuminance	100 hrs value	0.8	Clean	0.85	0.7
			Average	0.75	0.6
			Dirty	0.6	0.5



11.4 หน่วยที่ใช้งานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

Standard Units Symbols and Defining Equations for Photometric Quantities

Quantity	Symbol	Defining Equation	Unit	Symbolic Abbreviation
Luminous Energy (Quantity of Light)	Q	$Q = \int \Phi dt$	lumen-hour lumen-second	lm.h lm.s
Luminous Flux	Φ	$\Phi = dQ/dt$	lumen	lm
Luminous Exitance	M	$M = d\Phi/dA$	lumen per square metre	lm/m ²
Illuminance	E	$E = d\Phi/dA$	lux	lx
Luminous Intensity (Candlepower)	I	$I = d\Phi/d\Omega$ (Ω = Solid angle through which flux from point source is radiated)	candela	cd
Luminance	L	$L = dI/dA \cos \Theta$ (Θ = Angle between line of sight and normal to surface considered)	candela per square metre	cd/m ²
Luminous Efficacy	K	$K = \Phi_v/\Phi_e$	lumen per watt	lm/W
Luminous Efficiency	V	$V = K/K_{\max}$ ($K_{\max}$ = Maximum value of K (λ) function)	(percentage)	
Scalar Illuminance	E_{sc}	$E_{sc} = \int E/4\pi dW$	lux	lx
Light Exposure	H	$H = dQ/dA$	lux-second	lx.s

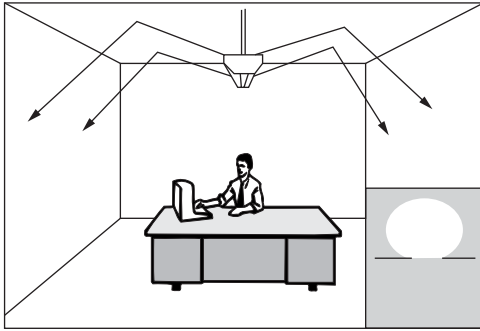
Standard Units Symbols and Defining Equations for Radiometric Quantities

Quantity	Symbol	Defining Equation	Unit	Symbolic Abbreviation
Radiant Energy	Q		joule kilowatt-hour	J kWh
Radiant Flux	Φ	$\Phi = dQ/dt$	watt	W
Radiant Exitance	M	$M = d\Phi/dA$	joule persecond	J/s
Irradiance	E	$E = d\Phi/dA$	watt per square metre	W/m ²
Radiant Intensity	I	$I = d\Phi/d\Omega$ (Ω = Solid angle through which flux from point source is radiated)	watt per square metre	W/m ²
Radiance	L	$L = dI/dA \cos \Theta$ (Θ = Angle between line of sight and normal to surface considered)	watt per steradian	W/sr
Absorptance	α	$\alpha = d\Phi_a/d\Phi_o^*$	watt per steradian and square metre	W/sr.m ²
Reflectance	ρ	$\rho = d\Phi_r/d\Phi_o^*$	(numerical ratio)	
Transmittance	τ	$\tau = d\Phi_t/d\Phi_o^*$	(numerical ratio)	
Radiant Exposure	H	$H = dQ/dA$	(numerical ratio)	
			joule per square metre watt-second per square metre	J/m ² Ws/m ²

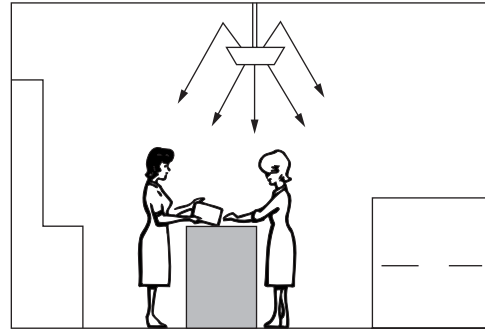
* Φ_a = Absorbed flux, Φ_r = Reflected flux, Φ_t = Transmitted flux, Φ_o = Incident flux



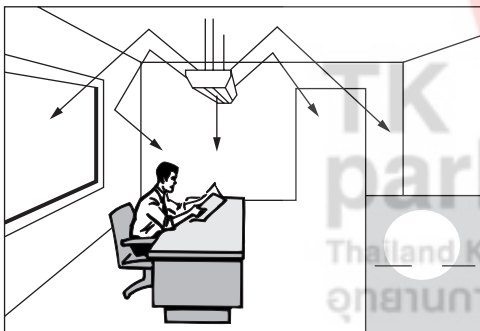
11.5 การให้ความส่องสว่างแบบต่าง ๆ



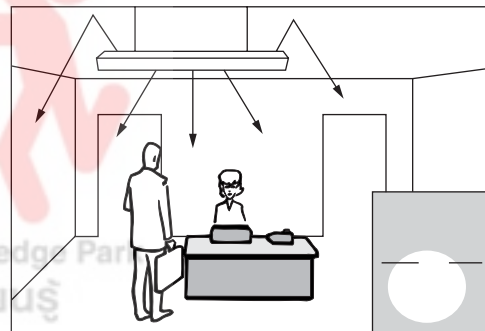
I. Indirect



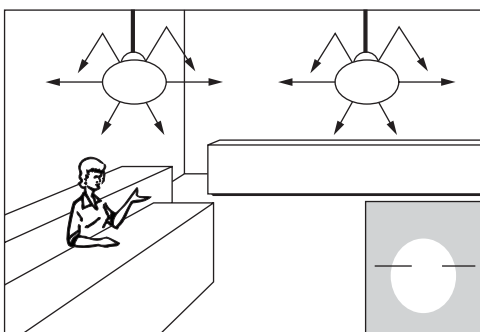
IV. Direct-indirect



II. Semi-indirect



V. Semidirect



III. General Diffuse



VI. Direct



11.6 Utilization Factors

(แหล่งที่มา: หนังสือ Interior lighting design, D.W. Durrant, F. Illum, E.S.)

Description of Luminaire, and Typical Downward Light Output Ratio %	Typical Outline	Basic DLOR %	Reflectance %									
			Ceiling	70			50			30		
			Walls	50	30	10	50	30	10	50	30	10
			Room Index									
(M) Reflectorized colour-corrected mercury lamp MBFR		85	0.6	0.4	0.34	0.3	0.39	0.33	0.29	0.37	0.32	0.29
			0.8	0.53	0.46	0.41	0.51	0.45	0.4	0.49	0.43	0.4
			1	0.62	0.55	0.49	0.58	0.52	0.48	0.56	0.51	0.46
			1.25	0.68	0.6	0.55	0.64	0.58	0.53	0.61	0.56	0.51
			1.5	0.72	0.65	0.59	0.68	0.62	0.57	0.65	0.59	0.54
			2	0.81	0.73	0.67	0.75	0.69	0.64	0.69	0.65	0.61
			2.5	0.85	0.78	0.72	0.79	0.73	0.69	0.73	0.68	0.65
			3	0.9	0.83	0.78	0.83	0.78	0.75	0.77	0.73	0.7
			4	0.94	0.89	0.84	0.87	0.83	0.8	0.8	0.77	0.75
			5	0.97	0.92	0.89	0.9	0.87	0.84	0.83	0.79	0.77
(F) Open-end enamel trough		75	0.6	0.36	0.31	0.28	0.35	0.31	0.28	0.35	0.31	0.28
			0.8	0.45	0.4	0.37	0.44	0.4	0.37	0.44	0.4	0.37
			1	0.49	0.45	0.4	0.49	0.44	0.4	0.48	0.43	0.4
			1.25	0.55	0.49	0.46	0.53	0.49	0.45	0.52	0.48	0.45
			1.5	0.58	0.54	0.49	0.57	0.53	0.49	0.55	0.52	0.49
			2	0.64	0.59	0.55	0.61	0.58	0.55	0.6	0.56	0.54
			2.5	0.68	0.63	0.6	0.65	0.62	0.59	0.64	0.61	0.58
			3	0.7	0.65	0.62	0.67	0.64	0.61	0.65	0.63	0.61
			4	0.73	0.7	0.67	0.7	0.67	0.65	0.67	0.66	0.64
			5	0.75	0.72	0.69	0.73	0.7	0.67	0.7	0.68	0.67
(F) Closed-end enamel trough		75	0.6	0.36	0.31	0.28	0.35	0.31	0.28	0.35	0.31	0.28
			0.8	0.45	0.4	0.37	0.44	0.4	0.37	0.44	0.4	0.37
			1	0.49	0.45	0.4	0.49	0.44	0.4	0.48	0.43	0.4
			1.25	0.55	0.49	0.46	0.53	0.49	0.45	0.52	0.48	0.45
			1.5	0.58	0.54	0.49	0.57	0.53	0.49	0.55	0.52	0.49
(T) Standard dispersive industrial reflector		75	0.6	0.36	0.31	0.28	0.35	0.31	0.28	0.35	0.31	0.28
			0.8	0.45	0.4	0.37	0.44	0.4	0.37	0.44	0.4	0.37
			1	0.49	0.45	0.4	0.49	0.44	0.4	0.48	0.43	0.4
			1.25	0.55	0.49	0.46	0.53	0.49	0.45	0.52	0.48	0.45
			1.5	0.58	0.54	0.49	0.57	0.53	0.49	0.55	0.52	0.49



11.7 ข้อมูลหลอดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

(แหล่งที่มา: Philips)

Lamp Type	Supply Voltage	Lamp Wattage	Lamp Base	Colour Temperature °K	Colour Rendering Ra	Luminous Flux lm	Luminous Intensity cd	Beam Spread	Burning Position	Life Time Average
● STANDARD GLS LAMPS										
GLS Clear 25W	220V	25W	B22, E27	2700	100	230	-	-	UNIV	1000 HRS
GLS Clear 40W	220V	40W	B22, E27	2700	100	430	-	-	UNIV	1000 HRS
GLS Clear 60W	220V	60W	B22, E27	2700	100	730	-	-	UNIV	1000 HRS
GLS Clear 100W	220V	100W	B22, E27	2700	100	1380	-	-	UNIV	1000 HRS
GLS Frosted 25W	220V	25W	E27	2700	100	230	-	-	UNIV	1000 HRS
GLS Frosted 40W	220V	40W	E27	2700	100	430	-	-	UNIV	1000 HRS
GLS Frosted 60W	220V	60W	E27	2700	100	730	-	-	UNIV	1000 HRS
GLS Frosted 100W	220V	100W	E27	2700	100	1380	-	-	UNIV	1000 HRS
● ARGENTA SUPERLUX LAMPS										
ASL 25W	220V	25W	E27	2700	100	215	-	-	UNIV	1000 HRS
ASL 40W	220V	40W	E27	2700	100	400	-	-	UNIV	1000 HRS
ASL 60W	220V	60W	E27	2700	100	670	-	-	UNIV	1000 HRS
ASL 100W	220V	100W	E27	2700	100	1280	-	-	UNIV	1000 HRS
● DAYLIGHT BLUE LAMPS										
DLB 40W	220V	40W	E27	2700	100	200	-	-	UNIV	1000 HRS
DLB 60W	220V	60W	E27	2700	100	400	-	-	UNIV	1000 HRS
DLB 100W	220V	100W	E27	2700	100	700	-	-	UNIV	1000 HRS
● CANDLE LAMPS										
Candle Clear	220V	25W	E14	2700	100	215	-	-	UNIV	1000 HRS
Candle Clear	220V	40W	E14	2700	100	415	-	-	UNIV	1000 HRS
Candle Frosted	220V	25W	E14	2700	100	215	-	-	UNIV	1000 HRS
Candle Frosted	220V	25W	E27	2700	100	205	-	-	UNIV	1000 HRS
Candle Frosted	220V	40W	E14	2700	100	415	-	-	UNIV	1000 HRS
Candle Frosted	220V	40W	E27	2700	100	395	-	-	UNIV	1000 HRS
Candle Frosted	220V	40W	B15	2700	100	415	-	-	UNIV	1000 HRS

ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้

(อ้างอิงมาตรฐานระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ของ ว.ส.ท.)



12.1 การแบ่งพื้นที่สำหรับออกแบบการป้องกัน

พื้นที่ที่ออกแบบเพื่อป้องกันชีวิต อาคารที่มีบุคคลอาศัยอยู่ การออกแบบต้องเน้นเรื่องการป้องกันชีวิตเป็นหลัก อุปกรณ์ตรวจจับต้องทำงานได้เร็วที่นิยมใช้คืออุปกรณ์ตรวจจับควัน การกำหนดพื้นที่ที่ต้องออกแบบเพื่อป้องกันชีวิตมีดังนี้

1. พื้นที่ทางเดินร่วมหนีไฟหรือช่องทางเดินที่เมื่อเกิดควันไฟจากเพลิงไหม้แล้วไปขวางทางหนีไฟหรือทางออกเช่น ทางเดินแบบปิด เป็นต้น
2. พื้นที่ที่อาจเกิดไฟหรือควันไฟลุกลามได้อย่างรวดเร็ว เช่นห้องเก็บของขนาดเกิน 12 ตารางเมตร ห้องเก็บสารไวไฟ ช่องเปิดระหว่างชั้น (ช่องท่อ หรือ Atrium) ห้องเครื่องส่งลม เป็นต้น ช่องเปิดระหว่างชั้นและห้องเครื่องส่งลมเป็นส่วนที่ควันไฟสามารถกระจายไปส่วนต่าง ๆ ของอาคารได้รวดเร็ว
3. พื้นที่หรือห้องที่มีอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในยามฉุกเฉิน เช่น ห้องเครื่องสูบน้ำดับเพลิง ห้องเครื่องลิฟต์ ห้องเครื่องพัดลมอัดอากาศ ศูนย์สั่งการดับเพลิง ห้องควบคุมไฟฟ้า ห้องหม้อแปลงไฟฟ้า ห้องเครื่องควบคุมควันไฟ พื้นที่หลบภัยฉุกเฉิน และช่องบันไดหนีไฟแบบปิด เป็นต้น
4. พื้นที่อาศัยหลับนอน เช่น ห้องพักในโรงแรม ห้องพักรักษาตัวในโรงพยาบาล ห้องนอนในอาคารชุด เป็นต้น

พื้นที่ที่ออกแบบเพื่อป้องกันทรัพย์สิน การออกแบบระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ที่ใช้เพื่อป้องกันชีวิตสามารถใช้เพื่อป้องกันทรัพย์สินได้ พื้นที่นอกเหนือจากที่ระบุให้เป็นพื้นที่ที่ออกแบบเพื่อป้องกันชีวิต ผู้ออกแบบสามารถพิจารณาได้ตามความเหมาะสม



12.2 การแบ่งประเภทของอาคาร

1. อาคารขนาดเล็ก หมายถึง อาคารที่ไม่เข้าข่ายที่จัดเป็นอาคารขนาดใหญ่ อาคารขนาดใหญ่พิเศษ อาคารสูง หรืออาคารที่เป็นบ้านพักอาศัยที่มีขนาดพื้นที่ทั้งหมดไม่เกิน 500 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 2,000 ตารางเมตร หรืออาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 15.0 เมตร แต่ไม่เกิน 23.0 เมตร

2. อาคารสูง หมายถึงอาคารที่บุคคลอาจเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้ โดยมีความสูงตั้งแต่ 23.0 เมตร ขึ้นไป การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยา ให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

3. อาคารขนาดใหญ่ หมายถึงอาคารที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารเป็นที่อยู่อาศัยหรือประกอบกิจการประเภทเดียวหรือหลายประเภท มีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 2,000 ตารางเมตร หรือเป็นอาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 15.0 เมตรขึ้นไปแต่ไม่เกิน 23.0 เมตร และมีพื้นที่อาคารรวมกันทุกชั้น หรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 1,000 ตารางเมตร

4. อาคารขนาดใหญ่พิเศษ หมายถึงอาคารที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารเป็นที่อยู่อาศัยหรือประกอบกิจการประเภทเดียวหรือหลายประเภท โดยมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตร ขึ้นไป

5. สถานประกอบการพิเศษ หมายถึงสถานที่ที่ใช้เป็นอาคารหรือส่วนหนึ่งในอาคารเพื่อประโยชน์ในการชุมนุมคนได้โดยทั่วไปเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ เช่น โรงมหรสพ หอประชุม โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา หอสมุด ศูนย์กีฬา ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานบริการบันเทิง ท่าอากาศยาน สถานีขนส่งและกิจกรรมอื่น ๆ ที่มีลักษณะการใช้งานแบบเดียวกัน



12.3 แหล่งจ่ายไฟของระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้

พิกัดของแหล่งจ่ายไฟ

$$\text{พิกัดแหล่งจ่ายไฟ} \geq \text{ผลรวมโหลดทั้งหมดของแผงควบคุมและอุปกรณ์ที่ใช้ไฟจากแผงควบคุม} \\ + \text{กระแสสูงสุดของเครื่องประจุแบตเตอรี่}$$

โหลดที่ใช้ไฟจากแผงควบคุมแบ่งเป็นโหลดที่ใช้งานในสภาวะปกติ และในสภาวะแจ้งเหตุ ในการคำนวณจะหาโหลดทั้งสองสภาวะและเลือกใช้ค่าที่มากกว่า

พิกัดของแหล่งจ่ายไฟสำรอง การคำนวณพิกัดของแบตเตอรี่ เป็นดังนี้

$$Ah_{REQ} \geq [(I_Q \times T_Q) + (I_A \times 0.25)] \times 1.25$$

กำหนดให้

- Ah_{REQ} = พิกัดที่ต้องการของแบตเตอรี่ เป็นแอมแปร์-ชั่วโมง
 I_Q = ผลรวมกระแสไฟฟ้าของโหลดในสภาวะใช้งานปกติ เป็นแอมแปร์
 T_Q = จำนวนชั่วโมงสำรองที่ต้องการ (ไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง)
 I_A = ผลรวมกระแสไฟฟ้าของโหลดในสภาวะแจ้งเหตุ เป็นแอมแปร์
0.25 = จำนวนชั่วโมงแจ้งเหตุ (ค่าคงที่ เท่ากับ 15 นาที)



12.4 อุปกรณ์เริ่มสัญญาณ

อุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยมือ (Manual Station) เป็นสวิตช์ที่ทำงานจากการกดหรือดึงด้วยบุคคล สวิตช์ทั่วไปจะผลิตเป็นชนิดที่เมื่อทำการกดหรือดึงแล้วจะไม่สามารถปรับตั้งใหม่ (Reset) ได้ง่าย

อุปกรณ์เริ่มสัญญาณอัตโนมัติ (Automatic Detector) เป็นอุปกรณ์ที่ตรวจสอบการเกิดเพลิงไหม้ และทำการแจ้งสัญญาณไปที่แผงควบคุมได้โดยอัตโนมัติเช่น อุปกรณ์ตรวจจับควัน อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน อุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิง อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซ สวิตช์ตรวจการไหล (Water Flow Switch) และท่อระบบดับเพลิง เป็นต้น



12.5 วงจรเริ่มสัญญาณ

วงจรแบบ 2 สาย อุปกรณ์เริ่มสัญญาณทุกตัวจะต่อกันเป็นแบบขนาน ตัวที่อยู่ปลายสุดจะเป็นตัวต้านทานเรียกว่าอุปกรณ์ปลายสายวงจร (End-of-line Device) มาตรฐาน NFPA เรียกว่าเป็นวงจรแบบ Class B

วงจรแบบ 4 สาย วงจรแบบนี้ความต้านทานปลายสายจะอยู่ในแผงควบคุมจึงต้องเดินสายย้อนกลับไปที่แผงควบคุมด้วย ระบบจึงมีความเชื่อถือได้สูงขึ้น วงจรจะยังคงสามารถทำงานได้เมื่อเกิดข้อขัดข้องเพียงจุดเดียว มาตรฐาน NFPA เรียกว่าเป็นวงจรแบบ Class A



12.6 หลักเกณฑ์ทั่วไปในการแบ่งโซน

การแบ่งโซนต้องคำนึงถึงความสะดวกในการค้นหาจุดต้นเพลิง การค้นหาต้องทำได้อย่างรวดเร็ว การแบ่งโซนจึงควรให้โซนเดียวกันอยู่ในชั้นเดียวกัน ในพื้นที่เดียวกัน และอยู่ในเส้นทางที่เดินถึงกันได้สะดวก

พื้นที่ที่ต้องจัดเป็นโซนเดียวกัน ถ้าพื้นที่ของโซนครอบคลุมมากกว่าหนึ่งเขตพื้นที่ แนวเขตของโซนต้องเป็นแนวเขตผนังทึบของส่วนปิดล้อมทึบไฟ หมายความว่าอนุญาตให้หนึ่งโซนครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของส่วนปิดล้อมทึบไฟ หรือครอบคลุมหลายส่วนปิดล้อมทึบไฟ หรือพื้นที่ทั้งหมดของสองหรือหลายโซนอยู่ในส่วนปิดล้อมทึบไฟเดียวกัน แต่ไม่อนุญาตให้พื้นที่ของหนึ่งโซนครอบคลุมเฉพาะบางส่วนของสองส่วนปิดล้อมทึบไฟ หรือพื้นที่บางส่วนของสองโซนครอบคลุมส่วนปิดล้อมทึบไฟเดียวกัน

ส่วนปิดล้อมทึบไฟหมายถึง ปริมาตร หรือพื้นที่ หรือส่วนใด ๆ ในอาคารที่ถูกปิดล้อมด้วยวัสดุทึบไฟ ซึ่งประกอบกันเป็นส่วนปิดล้อมด้วยผนัง เพดาน พื้น เสา คาน และอุปกรณ์หรือวัสดุทึบไฟตามที่มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ฉบับล่าสุดกำหนด

การกำหนดขนาดและจำนวนโซน

ขนาดและจำนวนโซนในอาคาร ต้องแบ่งให้เป็นไปตามข้อกำหนด ดังนี้

1. การแบ่งโซนต้องไม่ทำให้ระยะค้นหาเกิน 30 เมตร
2. พื้นที่แต่ละโซนในชั้นเดียวกันต้องไม่เกิน 1,000 ตารางเมตร ในขณะเดียวกัน ระยะค้นหาจะต้องไม่เกิน 30 เมตรด้วย
3. พื้นที่อาคารทั้งหมดหากมีขนาดไม่เกิน 500 ตารางเมตร อนุญาตให้จัดเป็นหนึ่งโซนได้ ถึงแม้ว่าอาคารมีหลายชั้น
4. อาคารที่มีพื้นที่ทั้งอาคารเกิน 500 ตารางเมตร และเกิน 3 ชั้น พื้นที่อาคารแต่ละชั้นจะต้องแบ่งเป็นอย่างน้อยหนึ่งโซน และแต่ละโซนก็จะต้องครอบคลุมพื้นที่ไม่เกิน 1,000 ตารางเมตรด้วย
5. สำหรับอาคารสูง คืออาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 23.0 เมตร ขึ้นไป อุปกรณ์ตรวจจับที่ติดตั้งในช่องบันไดช่องเปิดต่าง ๆ ให้กำหนดเป็นโซนอิสระสำหรับแต่ละช่องบันไดหรือช่องเปิดต่าง ๆ ห้ามนำพื้นที่ในส่วนที่เป็นช่องบันไดไปรวมเป็นโซนเดียวกับพื้นที่อื่นทั่วไป
6. พื้นที่หรือห้องที่มีอันตรายเป็นพิเศษ เช่น ห้องเครื่องไฟฟ้า ห้องเครื่องจักรกลทุกประเภท ห้องเก็บสารไวไฟหรือเชื้อเพลิง เป็นต้น ต้องแยกเป็นโซนอิสระสำหรับแต่ละพื้นที่หรือห้อง
7. ห้องหรือโรงปลดควันทูบไฟหน้าลิฟต์ดับเพลิง เส้นทางหนีไฟ พื้นที่บนฝ้าเพดาน พื้นที่ใต้พื้นยก ระดับ และพื้นที่ใต้หลังคา ซึ่งถูกกำหนดให้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ ต้องแยกเป็นโซนอิสระแต่ละพื้นที่หรือห้อง

ระยะค้นหา (Searching Distance)

ระยะค้นหาหมายถึง ระยะทางของการเดินค้นหาจุดต้นเพลิง นับตั้งแต่จุดเริ่มต้นทางเข้าของโซนตรวจจับนั้น ๆ จนกระทั่งเห็นจุดต้นเพลิง



12.7 อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไหม้

12.7.1 อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจจับความร้อนของวัตถุที่ถูกไฟไหม้ ความร้อนจากการเผาไหม้ของวัตถุ อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสามารถตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ที่ให้ความร้อนสูงอย่างรวดเร็วและมีควันน้อยได้เร็วกว่าอุปกรณ์ตรวจจับควัน แต่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนไม่ถือเป็นอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อป้องกันชีวิต ในการออกแบบติดตั้งจึงใช้เพื่อป้องกันทรัพย์สินเท่านั้น หรือใช้เพื่อป้องกันเพิ่มเติมจากอุปกรณ์ตรวจจับควันก็ได้

1. ระยะห่างและตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนต้องติดตั้งในตำแหน่งที่มีระดับความสูงไม่เกิน 4.0 เมตร และห้ามติดตั้งใช้งานในพื้นที่หรือทางเดินร่วมหนีไฟ

2. ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสำหรับเพดานหรือพื้นผิวแนวนราบ อุปกรณ์ตรวจจับต้องติดตั้งให้สามารถตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ได้รวดเร็ว ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการป้องกัน อุปกรณ์ตรวจจับจะมีรัศมีการตรวจจับไม่เกิน 5.1 เมตร เมื่อเขียนวงกลมให้ครอบคลุมพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมดจะได้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับไม่เกิน 7.2 เมตร สำหรับบริเวณช่องทางเดินที่มีความกว้างไม่เกิน 3.6 เมตร จะได้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับไม่เกิน 9.5 เมตร สำหรับพื้นที่ที่มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมใด ๆ จะสามารถกำหนดตำแหน่งติดตั้งได้โดยใช้หลักการเดียวกับข้างต้น

3. ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสำหรับเพดานหรือพื้นผิวเอียง เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับความร้อนติดตั้งกับเพดานหรือพื้นผิวที่มีลักษณะลาดเอียงที่มีระดับความลาดเอียงตั้งแต่ 1 ต่อ 20 ขึ้นไป ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับที่วัดในแนวนอน เป็นดังนี้

- (1) ระยะห่างตามแนวยาวที่ขนานไปกับजूหลังคา แถวที่บริเวณजूหลังคา ต้องห่างกันไม่เกิน 7.2 เมตร
- (2) แถวของอุปกรณ์ตรวจจับที่อยู่ล่างสุด (ใกล้ชายคา) ต้องอยู่ห่างไม่เกิน 7.2 เมตร จากผนังหรือฉากกั้นและจากแถวของอุปกรณ์ตรวจจับที่อยู่ใกล้กัน และต้องมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับในแนวเดียวกันไม่เกิน 14.4 เมตร การวัดระยะห่างให้วัดตามแนวระดับ ห้ามวัดตามแนวเอียงของเพดานหรือหลังคา
- (3) แถวของอุปกรณ์ตรวจจับที่อยู่ระหว่างแถวบนสุดกับแถวที่อยู่ล่างสุด ต้องมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ไม่เกิน 14.4 เมตร และมีระยะห่างระหว่างแถวไม่เกิน 7.2 เมตร



12.8 อุปกรณ์แจ้งเหตุ

ความดังเสียงที่ต้องการ อุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยเสียงจะต้องมีเสียงดังเพียงพอที่จะส่งสัญญาณเตือนผู้อาศัยให้ทราบ กรณีที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดเสียงอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้สัญญาณเสียงอพยพ ในสถานที่ใด ๆ ที่มีสัญญาณ ความดังของเสียงสัญญาณต้องดังกว่าเสียงรบกวนเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 10 เดซิเบล (dBA) เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 60 วินาที และระดับความดังของเสียงที่จุดใด ๆ ต้องไม่น้อยกว่า 65 เดซิเบล และไม่เกิน 105 เดซิเบล การติดตั้งจึงต้องกระจายให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมทั่วทั้งพื้นที่ สำหรับสัญญาณเสียงที่ต้องการปลุกผู้อยู่อาศัยที่กำลังหลับอยู่ ต้องมีระดับความดังของเสียงไม่น้อยกว่า 70 เดซิเบล การวัดความดังเสียงให้วัดในตำแหน่งซึ่งต้องการให้ได้ยินเสียงที่อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงมากที่สุดสำหรับในสถานที่หลับนอนให้วัดในตำแหน่งที่หลับอยู่

สำหรับสถานที่ซึ่งค่าเฉลี่ยของระดับเสียงรบกวนมากกว่า 95 เดซิเบล หรือในสถานที่ที่ใช้อุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยเสียงแล้วมีปัญหา เช่นห้องผู้ป่วย สถานที่สำหรับผู้มีปัญหการได้ยิน ต้องติดตั้งอุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยแสงแทน ในบางสถานที่อาจติดตั้งทั้งสองแบบ

การติดตั้ง ต้องจัดให้มีกระดิ่งอย่างน้อยหนึ่งตัวที่ภายนอกอาคาร และกระดิ่งนี้ต้องสามารถได้ยินหรือและเห็นได้ทั้งทางเข้าหลักของอาคาร และต้องให้อยู่ใกล้กับทางเข้าอาคารที่เจ้าหน้าที่ดับเพลิงจะเดินผ่านเพื่อไปดูแผนผังควบคุมแจ้งเหตุเพลิงไหม้ การติดตั้งอุปกรณ์แจ้งเหตุควรปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิต และติดตั้งในตำแหน่งที่เห็นได้ชัดเจน มีเสียงดังได้ทั่วทั้งพื้นที่ การติดตั้งลำโพงสามารถติดตั้งได้ทั้งที่เพดานและที่ผนัง สำหรับการติดตั้งที่ผนัง ถ้าเพดานสูงพอควรติดตั้งที่ความสูงไม่น้อยกว่า 2.30 เมตร และห่างจากเพดานไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร (NFPA 72)

การแจ้งเหตุด้วยแสง คือการส่งสัญญาณเตือนด้วยแสงกระพริบที่มีความสว่างเพียงพอที่จะกระตุ้นเตือนให้ผู้อาศัยในอาคารทราบการเกิดเหตุ สถานที่ที่มีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยแสงคือ บริเวณที่มีเสียงรบกวนดังมาก การกระตุ้นเตือนด้วยเสียงอาจไม่เพียงพอ จึงใช้ในพื้นที่ที่มีเสียงดังเกิน 95 เดซิเบล และบริเวณที่การใช้อุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยเสียงอาจมีปัญหาเช่น ห้องผู้ป่วย สถานที่สำหรับผู้มีปัญหการได้ยิน ต้องมีการแจ้งเหตุด้วยอุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยแสง อุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยแสงจะใช้เป็นแสงสีขาวกระพริบด้วยอัตรา 1-2 ครั้งต่อวินาที

ระยะห่างในการติดตั้ง อุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยแสงต้องติดตั้งในตำแหน่งที่มองเห็นได้ง่ายในทุกพื้นที่ และครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์แจ้งเหตุขึ้นอยู่กับความเข้มแสงของอุปกรณ์ แต่ต้องไม่เกิน 30 เมตร การติดตั้งอุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยแสงตามที่กำหนดในมาตรฐานระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ กำหนดให้แบ่งพื้นที่ครอบคลุมออกเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส อุปกรณ์ที่มีความเข้มแสงสูงจะครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่กว่าที่มีความเข้มแสงต่ำ

สำหรับจำนวนอุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยแสงที่ระดับความเข้มแสงต่าง ๆ ซึ่งติดตั้งในพื้นที่ขนาดต่าง ๆ เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 12.1



12.9 การตรวจสอบ ทดสอบ และบำรุงรักษา

ตารางที่ 12.3 ความถี่ในการตรวจสอบอุปกรณ์ระบบแรงดันไฟฟ้า

ลำดับที่	รายการ	ตรวจซ้ำ ขั้นต้น	ประจำ เดือน	ทุก 3 เดือน	ทุกครึ่งปี	ประจำปี
1	อุปกรณ์แรงดัน					
	(ก) เสี่ยง และลัดไฟ	X				X
	(ข) แสง	X				X
2	แบตเตอรี่ (เปลี่ยนใหม่เมื่อจำเป็น)					
	(ก) ชนิดน้ำกรด					
	- ทดสอบเครื่องประจุ	X				X
	- ทดสอบการคายประจุ (30 นาที)	X	X			
	- ทดสอบค่าแรงดันขณะมีโหลด	X	X			
	- ทดสอบความถี่จำเพาะน้ำกรด	X			X	
	(ข) ชนิดนิเกิล-แคดเมียม					
	- ทดสอบเครื่องประจุ	X				X
	- ทดสอบการคายประจุ (30 นาที)	X				X
	- ทดสอบค่าแรงดันขณะมีโหลด	X	X			
	(ค) แบตเตอรี่แห้งปฐมภูมิ					
	- ทดสอบค่าแรงดันขณะมีโหลด	X				X
	(ง) ชนิดน้ำกรดแบบปิด					
	- ทดสอบเครื่องประจุ	X				X
	- ทดสอบการคายประจุ (30 นาที)	X				X
	- ทดสอบค่าแรงดันขณะมีโหลด	X			X	
3	ตัวนำโลหะ	X				
4	ตัวนำ/โลหะ	X				
5	บริษัทควบคุม: ระบบแรงดันไฟฟ้า ชนิดมี มอเตอร์สำหรับสัญญาณแรงดันควบคุมและ สัญญาณขัดข้อง					
	(ก) การทำงาน	X				X
	(ข) ฟิวส์	X				X
	(ค) บริษัทเชื่อมต่อ	X				X



12.10 ส่วนประกอบของระบบสำหรับอาคารขนาดต่าง ๆ

มาตรฐานระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้มีข้อกำหนดให้แต่ละขนาดของอาคารต้องมีอุปกรณ์ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้อย่างน้อย ดังนี้

1. บ้านอยู่อาศัยหรืออาคาร ที่มีพื้นที่อาคารรวมกันทั้งหมดไม่เกิน 500 ตารางเมตรและมีความสูงไม่เกิน 15.00 เมตร

อนุญาตให้ใช้อุปกรณ์ที่มีทั้งส่วนตรวจจับและส่วนแจ้งเหตุอยู่ในตัวเดียวกัน และทำงานด้วยแบตเตอรี่ที่สามารถใช้งานได้ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 1 ปี และต้องมีสัญญาณเตือนเป็นระยะเมื่อประจุไฟฟ้าในแบตเตอรี่ใกล้หมด

2. อาคารขนาดเล็ก

ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ต้องประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญเป็นอย่างต่ำ ดังต่อไปนี้

- (1) แผงควบคุมระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้
- (2) อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไหม้อัตโนมัติ
- (3) อุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยมือ
- (4) อุปกรณ์แจ้งเหตุเตือนภัย

ข้อยกเว้น ไม่ต้องมีอุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไหม้อัตโนมัติสำหรับอาคารขนาดเล็กที่เป็นอาคารชั้นเดียว และโปร่งโล่งที่สามารถมองเห็นได้ทั่วทุกพื้นที่ในอาคาร

3. อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่ หรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ

ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ต้องประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญเป็นอย่างต่ำ ดังต่อไปนี้

- (1) แผงควบคุมระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้
- (2) อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไหม้อัตโนมัติ
- (3) อุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยมือ
- (4) อุปกรณ์แจ้งเหตุเตือนภัย
- (5) อุปกรณ์โทรศัพท์ฉุกเฉิน
- (6) อุปกรณ์ประกาศเรียกฉุกเฉิน
- (7) แผงแสดงผลเพลิงไหม้ที่ศูนย์สั่งการดับเพลิง

4. สถานประกอบการพิเศษ

ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ต้องประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญเป็นอย่างต่ำ ดังต่อไปนี้

- (1) แผงควบคุมระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้
- (2) อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไหม้อัตโนมัติ
- (3) อุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยมือ
- (4) อุปกรณ์แจ้งเหตุเตือนภัย

ตารางที่ 12.9 อัตราการทนไฟสำหรับผนังและฝ้าที่ไม่ใช้น้ำหนัก

(อ้างอิงมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของ ว.ส.ท.)

เชิงประกอบของผนังหรือฝ้า	ความหนาดำ (มม.)			
	4 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง
อิฐ				
- ทำด้วยดิน คอนกรีต หรือปูนทราย เป็นแท่งตันไม่ฉาบ	200	200	200	100
- ทำด้วยดิน คอนกรีต หรือปูนทราย ฉาบด้วยพลาสติก 12 มม. ทั้งสองข้าง	200	200	100	
- ทำด้วยดินเหนียว			150	
อิฐกลวง				
- ไม่ฉาบพลาสติก	300	200	200	
- ฉาบทั้งสองข้าง	200	200	200	
คอนกรีต				
- ไม่ฉาบพลาสติก เสริมเหล็ก 0.2% ตะแกรงใหญ่สุดของมวลรวม 20 มม.	150	125	100	75
- ฉาบทั้งสองข้าง	150	125	75	75
กระเบื้องดินเผา				
- ไม่ฉาบพลาสติก ชนิดเต็มแผ่น 3 ช่อง ตามความหนาของผนัง	300			
- ชนิดเต็มแผ่น 4 ช่อง ตามความหนาของผนัง		200		
- 3 ช่อง ตามความหนาของผนัง		300	200	
- ฉาบพลาสติก				
2 ช่อง ตามความหนาของผนังฉาบทั้งสองข้าง	200		150	
2 ช่อง ตามความหนาของผนังฉาบข้างเดียว			200	
ผนังหินก่อตัน				
- ฉาบหรือไม่ฉาบพลาสติก	300			200



12.11 สายทนไฟ

มาตรฐานสายทนไฟที่นิยมใช้อ้างอิงคือมาตรฐาน IEC (International Electrotechnical Commission) มาตรฐาน BS (British Standard) และมาตรฐาน AS (Australian Standard)

สายทนไฟตามมาตรฐาน IEC 331 มาตรฐานกำหนดให้สายชนิดนี้ต้องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 750 °C ได้นานไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง โดยไม่มีการกำหนดความสามารถในการทนน้ำและทนแรงทางกล โครงสร้างของสายไฟฟ้ามียหลายแบบตามผู้ผลิตและความต้องการใช้งาน

ระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง

(อ้างอิงมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้างของ ว.ส.ท.)



13.1 ระดับการป้องกันฟ้าผ่า

ระดับการป้องกันเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของระบบป้องกันฟ้าผ่า ระบบที่มีระดับการป้องกันที่ดีจะมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงขึ้น ในการออกแบบจึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับสภาพความเสี่ยงของอาคาร ขนาดอาคาร สถานที่ตั้งอาคาร รวมทั้งความถี่และความรุนแรงของการเกิดฟ้าผ่าในแต่ละสถานที่ด้วย

มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง แบ่งระดับการป้องกันออกเป็น 4 ระดับ ตามประสิทธิภาพการป้องกัน ตามตารางที่ 13.1

ตารางที่ 13.1 ระดับการป้องกันและประสิทธิภาพการป้องกัน

ระดับการป้องกัน	ประสิทธิภาพของการป้องกันฟ้าผ่า
1	0.98
2	0.95
3	0.90
4	0.80



13.2 ตัวนำล่อฟ้า

ตัวนำล่อฟ้าจะเป็นโลหะที่มีค่าความต้านทานต่ำ ทนทานต่อกระแสฟ้าผ่า ตัวนำฟ้าผ่าสามารถแบ่งตามการออกแบบและติดตั้งได้เป็น 3 แบบ คือ แท่งตัวนำ สายตัวนำขึง ตัวนำแบบตาข่าย ในการติดตั้งใช้งานอาจติดตั้งแบบใดแบบหนึ่ง หรือหลายแบบผสมกันก็ได้ เพื่อให้สามารถป้องกันได้ตามที่ต้องการ

1. แท่งตัวนำ เรียกว่าหลักล่อฟ้าหรือเสาล่อฟ้า มีลักษณะเป็นหลักหรือเสาโลหะที่ติดตั้งให้มีความสูงเหนืออาคาร หรือติดตั้งบนส่วนที่สูงของอาคารเพื่อให้มีพื้นที่การป้องกันกว้าง เหมาะสำหรับอาคารที่มีลักษณะไม่ซับซ้อน ที่ปลายเสาล่อฟ้ามักทำให้มีรูปร่างแหลมคมเพื่อเพิ่มความเข้มของสนามไฟฟ้า ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการล่อฟ้าให้สูงขึ้น

2. สายตัวนำซึ่ง ปกติจะใช้สายโลหะที่มีความแข็งแรงสูง เช่น สายเหล็กชุบสังกะสีป้องกันการเกิดสนิม หรือเป็นสายทองแดง สายตัวนำนี้จะซึ่งอยู่กับเสาหรือสิ่งปลูกสร้าง แต่โดยทั่วไปจะซึ่งกับเสาล่อฟ้า จึงเป็นการป้องกันแบบผสมกันระหว่างเสาล่อฟ้ากับสายตัวนำซึ่ง ช่วยให้ความสามารถในการป้องกันดีขึ้น มีพื้นที่การป้องกันมากขึ้นกว่าการใช้เสาล่อฟ้าเพียงอย่างเดียว

3. ตัวนำแบบตาข่าย เป็นการใส่สายตัวนำติดตั้งบนส่วนที่สูงของอาคารเป็นรูปตาข่าย ขนาดของตาข่ายกำหนดตามระดับการป้องกัน เมื่อติดตั้งเสร็จแล้วจึงเหมือนกับมีตาข่ายครอบอยู่บนอาคาร การติดตั้งตัวนำนี้อาจวางติดกับตัวอาคารเลยหรืออาจมีตัวรองรับเพื่อยกให้สูงเหนือพื้นอาคารเล็กน้อยก็ได้

วัสดุที่ใช้เป็นตัวนำล่อฟ้าอาจเป็นเหล็ก อะลูมิเนียม หรือทองแดงก็ได้ ต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะไม่ชำรุดเสียหายเนื่องจากกระแสฟ้าผ่า ในมาตรฐานกำหนดว่าถ้าเป็นเหล็กต้องมีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่เล็กกว่า 120 ตร.มม. ถ้าเป็นอะลูมิเนียมต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 70 ตร.มม. หรือถ้าเป็นทองแดงต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 50 ตร.มม.



13.3 ตัวนำลงดิน

ตัวนำลงดินจะที่ทำหน้าที่นำกระแสฟ้าผ่าในตัวนำล่อฟ้าลงพื้นดิน การติดตั้งตัวนำลงดินต้องพยายามจัดให้มีเส้นทางไหลของกระแสหลายชุด ให้มีความยาวของเส้นทางที่กระแสไหลสั้นที่สุดและตรงที่สุด และต่อฝากแต่ละตัวนำลงดินเข้าด้วยกันให้มากที่สุด การต่อฝากนี้ควรทำที่ทุก ๆ ระยะความสูงไม่เกิน 20 เมตร ระบบตัวนำลงดินแบ่งตามการติดตั้งออกเป็น 2 แบบคือ ระบบตัวนำลงดินแบบแยกอิสระและแบบไม่แยกอิสระ

ระบบตัวนำลงดินแบบแยกอิสระ หมายถึงตัวนำลงดินที่เดินลงดินมาตามผนังอาคารโดยเดินบนวัสดุที่เป็นฉนวนเช่นอิฐ ไม้ เป็นต้น และไม่มีการต่อเชื่อมเข้ากับส่วนที่เป็นตัวนำของอาคาร และเมื่อเดินถึงดินจะมีการต่อเชื่อมตัวนำลงดินนี้เข้าด้วยกันที่ระดับดินหรือใต้ดิน

ระบบตัวนำลงดินแบบไม่แยกอิสระ ปกติจะฝังในผนังหรือกำแพงของอาคารโดยเฉพาะอาคารที่มีโครงสร้างเป็นเหล็กหรือคอนกรีตเสริมเหล็ก ตัวนำลงดินนี้จะต่อเข้ากับสิ่งปลูกสร้างส่วนที่เป็นตัวนำหลาย ๆ จุด ทำให้ส่วนที่เป็นตัวนำของอาคารทำหน้าที่เป็นตัวนำลงดินด้วย ลักษณะนี้จะเป็นการประสานศักยภาพให้เท่ากันและเมื่อเกิดฟ้าผ่าจะสามารถลดแรงดันไฟฟ้าและลดการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในอาคารได้

ตัวนำลงดินควรเชื่อมถึงกันโดยใช้ตัวนำแนวราบต่อกันในลักษณะเป็นวงแหวนที่ระดับพื้นดินและทุก ๆ ระยะไม่เกิน 20 เมตร เพื่อลดแรงดันเกินในตัวนำลงดินจนเป็นอันตราย และช่วยป้องกันฟ้าผ่าด้านข้างได้ด้วย ระยะห่างระหว่างตัวนำลงดินเปลี่ยนตามระดับการป้องกันซึ่งไม่ควรมากกว่าที่กำหนดในตารางที่ 13.2



13.4 ระบบหลักดิน

ในระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับอาคาร ปกติจะประกอบด้วยหลักดินจำนวนหลายแท่งหรือหลายชุด มีจุดประสงค์ให้แรงดันฟ้าผ่าไหลลงดินได้โดยไม่เกิดแรงดันเกินจนเป็นอันตราย ระบบหลักดินอาจมีรูปร่างหลายแบบตามความเหมาะสมคือ แบบวงแหวน แบบแนวตั้ง แบบแนวรัศมี และแบบฐานราก (ใช้ฐานรากของอาคารเป็นหลักดิน) ข้อสำคัญคือระบบหลักดินต้องมีความต้านทานการต่อลงดินต่ำที่สุด

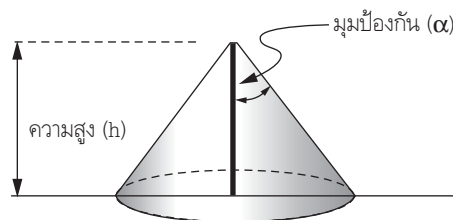


13.5 แนวทางการออกแบบการป้องกัน

มาตรฐานฯ แบ่งวิธีการออกแบบออกเป็น 3 วิธี ในการออกแบบอาจใช้วิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีผสมกันก็ได้ แต่ละวิธีอาจเหมาะกับบางรูปแบบของอาคาร

13.5.1 วิธีมุมป้องกัน

เป็นวิธีที่กำหนดมุมสำหรับการป้องกันไว้แล้ว ในการออกแบบจะถือว่าอาคารหรือส่วนของอาคารที่อยู่ภายในมุมป้องกันจะปลอดภัยจากฟ้าผ่า การกำหนดมุมป้องกันจะแปรผันตามระดับการป้องกันและความสูงของหลักล่อฟ้า วิธีมุมป้องกันนี้เหมาะที่จะใช้กับสิ่งปลูกสร้างอย่างง่าย หรือส่วนเล็ก ๆ ของสิ่งปลูกสร้างขนาดใหญ่ และไม่เหมาะสำหรับสิ่งปลูกสร้างที่มีความสูงกว่ารัศมีของทรงกลมกลิ้ง ตามวิธีทรงกลมกลิ้งในตารางที่ 13.3 หรือตามรูปที่ 13.3 ที่สัมพันธ์กับระดับการป้องกันของระบบป้องกันฟ้าผ่า และวิธีมุมป้องกันนี้จะใช้ได้กับตัวนำล่อฟ้าแบบแท่งตัวนำและแบบตัวนำซึ่งเท่านั้น ไม่สามารถใช้กับตัวนำแบบตาข่ายได้



รูปที่ 13.2 มุมป้องกันของหลักล่อฟ้า

มุมป้องกันจะเปลี่ยนตามความสูงของตัวนำล่อฟ้าเหนือพื้นที่ป้องกันตามระดับการป้องกัน ตามที่แสดงในรูปที่ 13.3 กรณีความสูงที่เลยเส้นกราฟของแต่ละระดับการป้องกันหมายความว่าไม่สามารถใช้วิธีมุมป้องกันในการออกแบบได้ ต้องใช้วิธีอื่นแทน

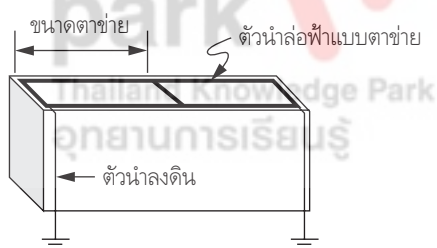
13.5.3 วิธีตาข่าย

วิธีนี้เป็นการใช้ตัวนำล่อฟ้าแนวราบซึ่งบนส่วนของอาคารส่วนที่สูงที่สุด การติดตั้งที่ให้การป้องกันที่ดีจะต้องติดตั้งตัวนำแนวราบโดยรอบอาคารและเพิ่มเติมตัวนำระหว่างกลางให้เป็นรูปตาข่ายคลุมทั้งส่วนบนและด้านข้างอาคาร ความกว้างของตาข่ายไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 13.4

ตารางที่ 13.4 ขนาดความกว้างตาข่ายของตัวนำล่อฟ้าตามระดับการป้องกัน

ระดับการป้องกัน	ขนาดตาข่าย (เมตร)
1	5
2	10
3	15
4	20

เมื่อออกแบบติดตั้งด้วยวิธีนี้แล้วจะไม่สามารถนำวิธีมุมป้องกันหรือวิธีทรงกลมกลิ้งมาจับได้ ถ้านำทรงกลมมากลิ่งจะพบว่าพื้นที่ที่ไม่สามารถป้องกันได้มาก เพราะวิธีตาข่ายนี้ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในระดับเดียวกับส่วนบนของอาคารหรือสูงกว่าเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 13.9 การป้องกันด้วยวิธีตาข่าย



13.6 ระยะปลอดภัย

ระบบป้องกันฟ้าผ่าทั้งที่เป็นตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดินที่เดินใกล้โครงสร้างโลหะ ต้องมีการประสานศักยภาพโดยการต่อประสานเข้าด้วยกัน กรณีที่ไม่สามารถต่อประสานได้ควรจัดให้มีระยะห่างกันมากกว่าระยะปลอดภัย "d" สามารถทำได้ดังนี้ (เหมาะสำหรับระยะห่างระหว่างตัวนำลงดินไม่เกิน 20 เมตร)

$$d = k_1 \times k_c \times l / k_m$$

กำหนดให้

k_i = ค่าสัมประสิทธิ์ตามระดับการป้องกันฟ้าผ่า ดังนี้

$k_i = 0.1$ สำหรับระดับการป้องกัน 1

$k_i = 0.075$ สำหรับระดับการป้องกัน 2

$k_i = 0.05$ สำหรับระดับการป้องกัน 3 และ 4

k_c = ค่าสัมประสิทธิ์ตามมิติของรูปแบบ ดังนี้

$k_c = 1.0$ สำหรับรูปแบบ 1 มิติ

$k_c = 0.66$ สำหรับรูปแบบ 2 มิติ

$k_c = 0.44$ สำหรับรูปแบบ 3 มิติ

k_m = ค่าคงที่ตามวัสดุที่คั่น (เท่ากับ 0.5 กรณีเป็นของแข็ง และเท่ากับ 1 กรณีเป็นอากาศ)

l = ความยาวตามแนวตัวนำลงดิน จากจุดที่อยู่ใกล้สุดจนถึงจุดประสาณให้ศักย์เท่ากัน



13.7 อันตรายเนื่องจากแรงดันสัมผัส

บริเวณที่ใกล้กับตัวนำลงดินอาจเกิดแรงดันสัมผัสสูงจนเป็นอันตรายได้ ถึงแม้จะติดตั้งตามมาตรฐานก็ตาม การติดตั้งที่ถือว่าพ้นจากความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายควรเป็นไปตามอย่างน้อยข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1. เป็นบริเวณที่ไม่มีหรือมีโอกาสน้อยมากที่บุคคลจะเข้าใกล้สายตัวนำลงดินนอกสิ่งปลูกสร้าง
 2. ตัวนำมีหุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้าที่ทนแรงดัน 1.2/50 ไมโครวินาที 100 kV ได้ เช่นฉนวน XLPE หนาไม่น้อยกว่า 3 มม.
 3. ความต้านทานจำเพาะที่ผิวของชั้นดินในช่วงระยะ 2 เมตร จากตัวนำ มีค่าไม่น้อยกว่า 5,000 โอห์ม-เมตร
 4. ระบบตัวนำลงดินประกอบด้วยเสาโลหะของสิ่งปลูกสร้างหลายต้น
- กรณีที่พบว่ามีความเสี่ยงต่อแรงดันสัมผัส ควรมีการป้องกันโดยการติดตั้งให้พ้นจากการสัมผัสของบุคคล หรือมีการกั้นที่เหมาะสม



13.8 อันตรายเนื่องจากแรงดันอย่างก้าว

บริเวณที่ใกล้กับตัวนำลงดินนอกสิ่งปลูกสร้าง อาจเกิดแรงดันอย่างก้าวที่เป็นอันตรายได้ ถึงแม้จะติดตั้งตามมาตรฐานก็ตาม บริเวณที่ติดตั้งหลักดินควรมีความต้านทานจำเพาะที่ผิวของชั้นดินในช่วงระยะ 2 เมตร จากตัวนำไม่น้อยกว่า 5,000 โอห์ม-เมตร หรือป้องกันโดยการกั้นที่เหมาะสมโดยให้บุคคลอยู่ในระยะห่างจากตัวนำลงดินไม่น้อยกว่า 2 เมตร



13.9 การตรวจสอบและบำรุงรักษา

ระบบป้องกันฟ้าผ่าต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่เหมาะสม การตรวจสอบระบบป้องกันฟ้าผ่ามีวัตถุประสงค์ 3 ประการคือ

1. เพื่อให้มั่นใจว่าระบบป้องกันฟ้าผ่าเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้
2. เพื่อให้มั่นใจว่าองค์ประกอบทั้งหมดของระบบอยู่ในสภาพที่ดี สามารถทำหน้าที่ได้ตามที่ออกแบบและไม่ผุกร่อน
3. ระบบยังสามารถใช้งานได้ดีกรณีที่มีการก่อสร้างหรือติดตั้งเพิ่มเติมระบบสาทรูปโภค

ลำดับขั้นการตรวจสอบ แบ่งเป็นดังนี้

1. การตรวจสอบระหว่างการก่อสร้าง
2. การตรวจสอบหลังการติดตั้ง
3. การตรวจสอบตามเวลาที่กำหนด ควรมีการตรวจสอบทุกปี หากเป็นบริเวณที่อาจเกิดการผุกร่อนได้มาก ควรมีการเพิ่มการตรวจสอบให้ถี่ขึ้น
4. การตรวจสอบเมื่อมีการปรับปรุง เพิ่มเติม หรือดัดแปลงอาคารหรือระบบป้องกันฟ้าผ่า

ไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน และป้ายทางออกฉุกเฉิน

14
ไฟฟ้า
ฉุกเฉิน

(อ้างอิงมาตรฐานระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินและป้ายทางออกฉุกเฉินของ ว.ส.ท.)

การให้แสงสว่างฉุกเฉินหมายถึงการให้แสงสว่างเมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าปกติล้มเหลว รวมถึงการให้แสงสว่างเพื่อการหนีภัย และการให้แสงสว่างสำรอง



14.1 ความส่องสว่างเพื่อการหนีไฟ

ไฟฟ้าส่องสว่างฉุกเฉินต้องให้แสงสว่างได้ทั่วทั้งพื้นที่ที่เป็นทางหนีไฟ เพื่อให้สามารถหาทางออกได้อย่างปลอดภัย ความสว่างไม่ควรต่ำกว่าต่อไปนี้

ทางหนีภัย ความสว่างที่ระดับพื้นตรงกึ่งกลางเส้นทางหนีภัย ต้องไม่น้อยกว่า 1 ลักซ์ และที่จุดอื่น ๆ ตรงเส้นทางหนีไฟต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 ลักซ์

พื้นที่โล่งใหญ่ บริเวณที่เป็นพื้นที่โล่ง ที่ไม่มีเส้นทางหนีไฟที่ชัดเจน ต้องมีความสว่างไม่น้อยกว่า 0.5 ลักซ์ ทั่วพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง

พื้นที่งานอันตราย ต้องมีความสว่างไม่น้อยกว่า 15 ลักซ์ และสว่างต่อเนื่องไม่ขาดช่วง แต่ระยะเวลาการส่องสว่างอาจใช้ในช่วงเวลาสั้น ๆ



14.2 ความสม่ำเสมอของการส่องสว่าง

อัตราส่วนระหว่างความส่องสว่างเฉลี่ยกับความส่องสว่างต่ำสุด ต้องไม่เกิน 10 : 1

อัตราส่วนระหว่างความส่องสว่างสูงสุดกับความส่องสว่างต่ำสุดต้องไม่เกิน 40 : 1



14.3 ข้อกำหนดทั่วไปของการส่องสว่างฉุกเฉิน

1. โคมไฟฟ้าฉุกเฉินที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์สำหรับให้แสงสว่าง ต้องเป็นชนิดที่ไม่ใช้สตาร์ทเตอร์
2. โคมไฟฟ้าฉุกเฉินต้องให้ปริมาณแสงเต็มพิกัดตามที่ผู้ผลิตแจ้งภายในเวลา 60 วินาที หลังจากแหล่งจ่ายไฟปกติล้มเหลว
3. โคมไฟฟ้าฉุกเฉินที่ใช้สำหรับพื้นที่งานความเสี่ยงสูง ต้องให้ปริมาณแสงได้เต็มพิกัดภายในเวลา 0.25 วินาที หลังจากแหล่งจ่ายไฟปกติล้มเหลว
4. โคมไฟฟ้าฉุกเฉินต้องสามารถทำงานได้ในภาวะฉุกเฉินที่อุณหภูมิแวดล้อม 70°C โดยช่วงระยะเวลาการส่องสว่างไม่น้อยกว่า 45 นาที
5. เครื่องประจุแบตเตอรี่ต้องสามารถประจุแบตเตอรี่ได้เต็มในเวลา 24 ชั่วโมง
6. โคมไฟฟ้าฉุกเฉิน ต้องมีอุปกรณ์ทดสอบระบบ หรือต่อกับอุปกรณ์สำหรับการทดสอบระยะไกลได้ เพื่อจำลองความล้มเหลวของระบบจ่ายไฟปกติ โคมไฟฟ้าฉุกเฉินต้องส่องสว่างนานไม่ต่ำกว่า 30 นาที และกลับสู่สภาพปกติโดยอัตโนมัติ
7. ในกรณีที่แบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายไฟได้นาน 30 นาที ในระหว่างการทดสอบระบบจะต้องมีสัญญาณความล้มเหลวของแบตเตอรี่



14.4 ตำแหน่งติดตั้งโคมไฟฟ้าฉุกเฉิน

โคมไฟฟ้าฉุกเฉิน ต้องติดตั้งสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 2.0 เมตร กรณีที่จำเป็นสามารถติดตั้งต่ำกว่าได้แต่ต้องไม่กีดขวางเส้นทางหนีไฟ บริเวณที่ต้องติดตั้งโคมไฟฟ้าฉุกเฉินคือเส้นทางหนีไฟ และควรติดตั้งเพิ่มเติมอีกคือ

1. ที่หน้าป้ายทางออกชนิดส่องสว่างจากภายนอกหรือบริเวณทางออก
2. บริเวณภายนอก หลังจากที่ออกจากอาคารแล้วควรมีความส่องสว่างระดับเดียวกับความส่องสว่างก่อนออกจากอาคาร เพื่อให้สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างปลอดภัย
3. บริเวณทางแยก ให้ติดตั้งโคมไฟฟ้าห่างจากทางแยกไม่เกิน 2.0 เมตร
4. บริเวณทางเลี้ยว ให้ติดตั้งโคมไฟฟ้าห่างจากจุดเปลี่ยนทิศทางหรือจากทางเลี้ยว ไม่เกิน 2.0 เมตร
5. พื้นเปลี่ยนระดับ ให้ติดตั้งโคมไฟฟ้าห่างจากจุดเปลี่ยนระดับไม่เกิน 2.0 เมตร
6. ที่จุดแจ้งเหตุเพลิงไหม้และจุดติดตั้งอุปกรณ์ดับเพลิง
7. ในห้องเครื่อง ห้องควบคุม ห้องต้นกำลัง ห้องสวิตช์ และบริเวณใกล้กับอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าแสงสว่างปกติและไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน
8. ห้องน้ำ ให้ติดตั้งในห้องน้ำทั่วไปที่มีพื้นที่มากกว่า 8 ตร.ม. และห้องน้ำสำหรับคนพิการ
9. ที่บันไดเลื่อนและทางเลื่อน ในกรณีที่ยึดถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของทางหนีไฟ



14.5 สายไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน

สายไฟฟ้าที่เดินจากโคมไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินชนิดต่อพ่วงไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้าส่วนกลาง ต้องเป็นชนิดทนไฟ และมีการป้องกันความเสียหายทางกายภาพ ยกเว้นในที่ปิดล้อมทนไฟไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง หรือใช้ระบบการเดินสายอื่นที่มีความสามารถในการป้องกันเทียบเท่า

สายไฟฟ้าต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 1.0 ตร.มม. และมีแรงดันตกไม่เกิน 10% สายสำหรับโคมไฟฟ้าต่อพ่วงต้องแยกจากสายวงจรอื่น



14.6 ป้ายทางออกฉุกเฉิน

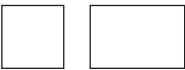
ขนาดป้ายทางออกฉุกเฉินต้องมีความสูงไม่น้อยกว่า 100 มม. กรณีที่ใช้ตัวอักษร ตัวอักษรต้องสูงไม่น้อยกว่า 100 มม. สัญลักษณ์ที่ใช้ต้องมีขอบบนและขอบล่างของสัญลักษณ์หรือตัวอักษรห่างจากขอบป้ายไม่ต่ำกว่า 25 มม.

ขนาดตัวอักษรต้องมีระยะห่างระหว่างตัวอักษรไม่น้อยกว่า 10 มม. และความหนาตัวอักษรไม่น้อยกว่า 12 มม. ความกว้างตัวอักษรทั่วไป 50 ถึง 60 มม.

สีของป้าย ให้ใช้ตัวอักษรหรือสัญลักษณ์สีขาวบนพื้นเขียว พื้นสีเขียวต้องมีอย่างน้อย 50% ของพื้นที่ป้าย

ระยะห่างระหว่างป้าย ป้ายต้องติดตั้งตามเส้นทางที่นำไปสู่ทางออกโดยมีระยะห่างระหว่างป้ายไม่เกิน 24 เมตร สำหรับสัญลักษณ์ที่มีความสูง 100 มม. กรณีที่ติดตั้งให้มีระยะห่างมากกว่านี้สามารถทำได้แต่ต้องเพิ่มขนาดป้ายโดยให้สัญลักษณ์มีความสูงไม่น้อยกว่าระยะทางเป็นเซนติเมตร/240

ตารางที่ 14.1 รูปแบบของสีป้ายที่เกี่ยวกับเรื่องความปลอดภัย

รูปร่าง	ความหมาย
	การห้าม หรือต้องทำ เตือน
	เตือน
	การห้าม หรือต้องทำ เตือน

บรรณานุกรม



1. ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้**, พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพมหานคร : 2544.
2. ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า**, พิมพ์ครั้งที่ 8, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร : 2545.
3. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, **มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร : 2543.
4. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร : 2545.
5. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, **มาตรฐานระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร : 2543.
6. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, **มาตรฐานระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินและป้ายทางออกฉุกเฉิน**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร : 2544.
7. ABB Calor Emag Schaltanlagen AG, **Switchgear Manual**, 10th Edition, Central-Druck Trost GmbH & Co., Germany : 2001.
8. D. W. Durrant, F.Illum.E.S., **Interior Lighting Design**, 4th Edition, Lighting Industry Federation Limited and The Electricity Council : 1974.
9. IEC Standard, **Electrical Installations of Buildings**, Part 4, Protection for safety, IEC Standard Publication No. 364-4-41, Suisse : 1992.
10. Klockner-Moeller, **Wiring Manual Automatic and Power Distribution**, 1st Edition, Germany : 1998.
11. Mark W. Earley, P.E. **National Electrical Code Handbook**, 9th Edition, National Fire Protection Association, Massachusetts : 2002.