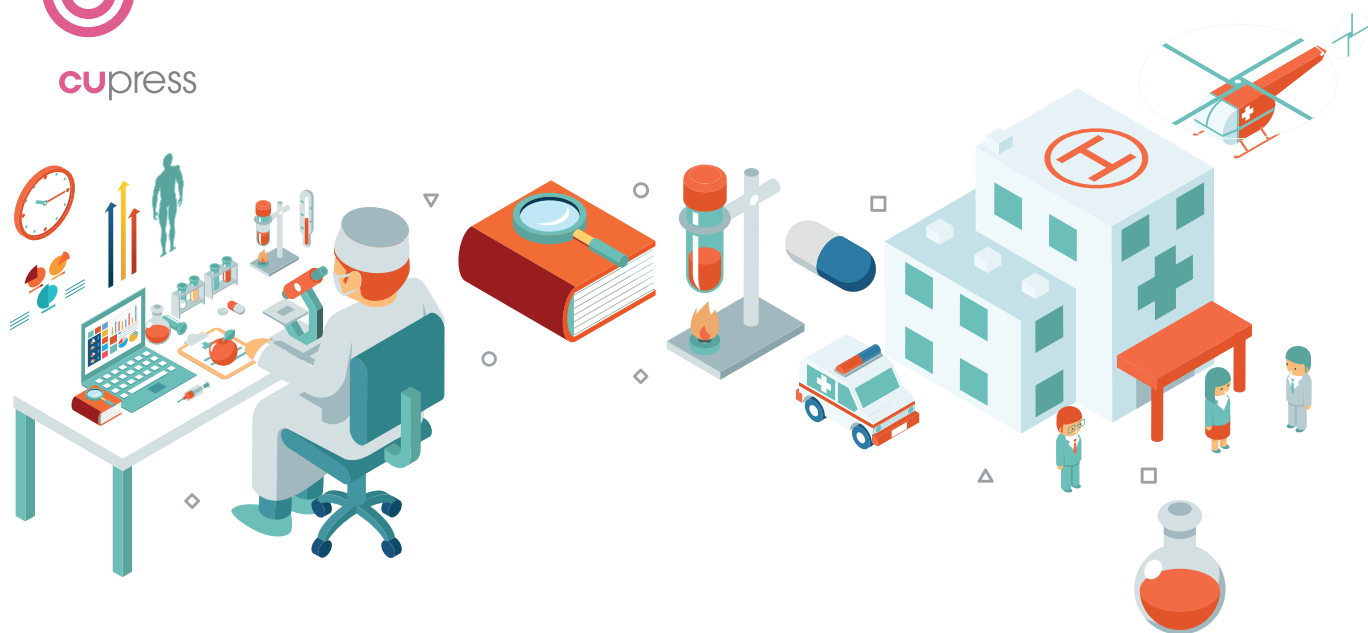




วิศวกรรมโรงพยาบาล Hospital Engineering

ทวิชัย อวยพรภักชกร



วิศวกรรมโรงพยาบาล

Hospital Engineering

วิศวกรรมโรงพยาบาล (Hospital Engineering)

ทวีชัย อวยพรภักขกร

 **สำนักพิมพ์**
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2567

ทวิชัย อวยพรกชกร

วิศวกรรมโรงพยาบาล / ทวิชัย อวยพรกชกร

1. อาคารโรงพยาบาล -- การออกแบบและการสร้าง.
2. อาคารโรงพยาบาล -- วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.

725.51

ISBN (e-book) 978-974-03-4336-3

สพจ. 2687



assคุณคำวิชาการ ผู้สังคม
Knowledge to All
www.cupress.chula.ac.th

สิทธิในการผลิตและพิมพ์หนังสือเล่มนี้เป็นของสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแต่ผู้เดียว
การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น
ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จัดทำโดย สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2567

www.cupress.chula.ac.th [CUB6705-019]

โทร. 0-2218-3562-3

บรรณาธิการอำนวยการ : ศาสตราจารย์ ดร.อรรณพ หาญสืบสาย นางอรทัย นันทนาดิษฐ์

กองบรรณาธิการฝ่ายวิชาการ : ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.ปิยนดา บุณนาค

ศาสตราจารย์ นายแพทย์ชิษณุ พันธุ์เจริญ

รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์

รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์

ผู้ประสานงาน : วาสนา ชำชื่น

พิสูจน์อักษร : พัชรณัฐ คณาน

ออกแบบปกและรูปเล่ม : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สั่งซื้อได้ที่

ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

<http://www.chulabook.com>

โทร. 08-6323-3703-4

customer@cubook.chula.ac.th, info@cubook.chula.ac.th

Apps: CU-eBook Store

คำนำ

โรงพยาบาลเป็นสถานที่ที่มีการให้บริการหลาย ๆ อย่างในสถานที่เดียว ทั้งการให้บริการทางการแพทย์ การจัดจำหน่ายสินค้าในรูปแบบของการจ่ายยา/อาหาร การให้บริการตรวจวัดสำหรับห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยา ห้องตรวจทางรังสีวิทยา การให้บริการผู้ป่วยค้างคืน การผลิตจัดจ่ายอาหาร การซักล้างทำความสะอาด การจัดการขยะและบำบัดน้ำเสีย รวมถึงการจัดการข้อมูลที่ต้องมีการรายงานต่อหน่วยงานภาครัฐ รูปแบบการให้บริการที่หลากหลายนี้อาจจัดได้ว่าโรงพยาบาลถือเป็น “ชุมชน” เล็ก ๆ ซึ่งมีความหลากหลายของกิจกรรมสูง ด้วยลักษณะของกิจกรรมเหล่านี้ทำให้โรงพยาบาลมีระบบวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก โดยบางระบบวิศวกรรมมีใช้เฉพาะในโรงพยาบาลเท่านั้น บางระบบมีความเกี่ยวข้องกับความต้องการของระบบการให้บริการทางการแพทย์จากประสบการณ์ของผู้เขียน การที่วิศวกรจะสามารถเข้าใจระบบวิศวกรรมในโรงพยาบาลทั้งหมดได้นั้นเป็นไปได้โดยยาก โดยเฉพาะหากไม่มีประสบการณ์การทำงานในโรงพยาบาลมาก่อน

วัตถุประสงค์ของหนังสือเล่มนี้ จึงต้องการรวบรวมหลักการทำงานของระบบวิศวกรรมที่มีใช้ในโรงพยาบาล มาตรฐานหรือข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ รวมถึงงานชีวอนามัยที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบงานวิศวกรรมในโรงพยาบาลไว้ในเล่มเดียว เพื่อให้วิศวกร ช่างเทคนิคที่เกี่ยวข้องหรือผู้สนใจได้มีความเข้าใจและนำไปช่วยใช้ในการงานทำงานได้ สามารถใช้ศึกษาเพื่อตรวจสอบการทำงานของผู้รับเหมาที่อาจมีการทำสัญญาดูแลรักษาระบบในโรงพยาบาลอยู่ หลักการทางวิศวกรรมที่กล่าวในหนังสือเล่มนี้ ถูกเรียบเรียงให้กระชับเพื่อให้ผู้อ่านที่อาจไม่ใช่วิศวกรหรือช่างเทคนิคสามารถทำความเข้าใจได้ด้วย ซึ่งจะมีประโยชน์เป็นอย่างมากโดยเฉพาะกับฝ่ายชีวอนามัยของโรงพยาบาลซึ่งปกติแล้วจะทำหน้าที่ใกล้ชิดกับวิศวกรของโรงพยาบาล รวมถึงแพทย์ พยาบาล หรือบุคลากรทางการแพทย์ที่สนใจ ที่ต้องการทำความเข้าใจกับระบบงานที่ตนเองเกี่ยวข้องอยู่ โดยผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งด้วยว่า หนังสือเล่มนี้จะสามารถเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการทำความเข้าใจระหว่างวิศวกรและบุคลากรทางการแพทย์ ที่อาจยังไม่เข้าใจความต้องการที่มีต่อระบบวิศวกรรมของแต่ละฝ่ายด้วย

จากที่กล่าวข้างต้น หนังสือเล่มนี้เป็นการรวบรวมหลักการทำงานของระบบวิศวกรรมต่าง ๆ ที่ถูกใช้ในโรงพยาบาล ในแต่ละระบบวิศวกรรมนั้น ยังมีรายละเอียดอีกมากที่ผู้เขียนยังไม่ได้กล่าวถึง รวมถึงมาตรฐานต่าง ๆ ก็ยังมีรายละเอียดปลีกย่อยซึ่งผู้เขียนไม่สามารถใส่รายละเอียดทั้งหมดในพื้นที่ที่จำกัดนี้ได้ ผู้อ่านควรพึงระลึกด้วยว่าเนื้อหาในหนังสือเล่มนี้อาจถูกปรับเปลี่ยนให้ทันสมัยขึ้นในอนาคตได้เช่นกัน ทั้งนี้ผู้เขียนหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นในการทำความเข้าใจในหลักการทำงานเบื้องต้นก่อน เพื่อให้ผู้อ่านมีความพร้อมในการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมด้วยตนเองในอนาคตได้

สารบัญ

บทที่ 1	ระบบวิศวกรรมในโรงพยาบาล	1
1.1	บทนำ	1
1.2	ประเภทของสถานพยาบาล	3
1.3	ผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบงานวิศวกรรมโรงพยาบาล	10
	คำถามท้ายบท	11
บทที่ 2	ระบบงานวิศวกรรมอาคารพื้นฐาน	13
2.1	ระบบไฟฟ้า (electrical systems)	13
2.1.1	ระบบส่งกำลังไฟฟ้า (power distribution system)	13
2.1.2	ระบบแจ้งเตือนอัคคีภัย (fire alarm system)	17
2.1.3	ระบบป้องกันฟ้าผ่า (lightning arrester)	20
2.1.4	ระบบแสงสว่าง (lighting system)	22
2.1.5	ระบบควบคุมการเข้าออกประตู (access control system)	28
2.1.6	ระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ (solar cell system)	29
2.1.7	ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ระบบโทรศัพท์ ระบบกระจายเสียง ระบบทีวีรวม และระบบกล้องวงจรปิด	39
2.1.8	ระบบอาคารอัตโนมัติ (building automation system, BAS)	42
2.2	ระบบทางกลและสุขาภิบาล (mechanical and sanitary systems)	46
2.2.1	ระบบดับเพลิง (fire fighting system หรือ fire suppression system)	46
2.2.2	ระบบสุขาภิบาล (sanitary system)	54
2.2.3	ระบบถังและท่อแอลพีจี (liquid petroleum gas system, LPG)	64
2.2.4	ระบบลิฟต์ (lift (elevator) system)	66
2.2.5	ระบบบันไดเลื่อน (escalator system) และระบบทางเดินเลื่อน (walkway escalator system)	68
2.3	ระบบ heating ventilation and conditioning (HVAC)	68
2.3.1	ระบบปรับอากาศ (air conditioning system)	68
2.3.2	ระบบระบายอากาศ (ventilation system)	74
2.4	การผลิตน้ำประปา	77
2.5	การเก็บและกำจัดขยะ	79
	คำถามท้ายบท	80

บทที่ 3	ระบบงานวิศวกรรมเฉพาะในโรงพยาบาล	81
3.1	ระบบกราวด์ (grounding system)	81
3.1.1	การแบ่งพื้นที่ในสถานพยาบาลและพื้นที่ที่ต้องคำนึงถึงระบบกราวด์เป็นพิเศษ	81
3.1.2	ระบบการต่อลงดิน	83
3.1.3	หลักการพื้นฐานของการเกิดไฟรั่วและการป้องกันด้วยการต่อลงดิน	86
3.1.4	ระบบไฟฟ้าในพื้นที่สถานพยาบาลกลุ่มที่ 2	99
3.2	การติดตั้งบริภัณฑ์ไฟฟ้าในสถานพยาบาล	106
3.2.1	ระบบแสงสว่าง	106
3.2.2	ระบบจ่ายไฟฟ้า	107
3.2.3	การติดตั้งระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า	108
3.2.4	มาตรฐานการสำรองไฟฟ้าฉุกเฉินสำหรับสถานพยาบาล	109
3.3	ระบบห้องสะอาดในโรงพยาบาล	111
3.3.1	ความจำเป็นที่ต้องมีห้องสะอาด	111
3.3.2	การกรองอากาศ	114
3.3.3	การแลกเปลี่ยนอากาศ	117
3.3.4	มาตรฐานของห้องสะอาด	117
3.3.5	รูปแบบการไหลของอากาศในห้องสะอาด	122
3.3.6	ห้องปฏิบัติการชีวอนามัย (biosafety laboratory)	126
3.3.7	ข้อกำหนดเพิ่มเติมในการปรับอากาศและระบายอากาศสำหรับสถานพยาบาล	133
3.3.8	การกำจัดจุลินทรีย์ในอากาศ	147
3.4	การทำลายเชื้อ/ทำให้ปราศจากเชื้อสำหรับอุปกรณ์การแพทย์ (sterilization)	150
3.4.1	ขั้นตอนในการทำลายเชื้อ/ทำให้ปราศจากเชื้อ	150
3.4.2	วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อ	155
3.5	การกำจัดจุลินทรีย์บนพื้นผิววัตถุที่ใช้ทางการแพทย์	161
3.5.1	การกำจัดจุลินทรีย์ด้วยสารเคมี	161
3.5.2	การกำจัดจุลินทรีย์ด้วยการเคลือบให้เป็น antimicrobial surfaces	163
3.6	การจัดการมูลฝอยติดเชื้อ (infectious waste)	165
3.7	การทำความสะอาดผ้าในโรงพยาบาล	168

3.8	การทำความสะอาดภาชนะในงานโภชนาการ	169
3.9	ระบบก๊าซทางการแพทย์	170
3.9.1	ก๊าซที่ใช้ทางการแพทย์	170
3.9.2	ระบบการจ่ายก๊าซที่ใช้ทางการแพทย์ (medical gas distribution system)	173
3.10	ระบบผลิตน้ำด้วยรีเวอร์ส ออสโมซิส (reverse osmosis) และระบบผลิตน้ำอ่อน (water softener)	179
3.10.1	ระบบผลิตน้ำด้วยรีเวอร์ส ออสโมซิส (reverse osmosis)	179
3.10.2	ระบบผลิตน้ำอ่อน (water softener)	182
3.11	ระบบผลิตน้ำร้อน (hot water system)	183
3.12	ระบบท่อลมขนส่ง (pneumatic tube system, PTS), ระบบพาหนะขนส่งด้วยรางไฟฟ้า (electrical track vehicle system, ETV), และระบบรถนำทางอัตโนมัติ (automated guided vehicle, AGV)	186
3.12.1	ระบบท่อลมขนส่ง (pneumatic tube system, PTS)	186
3.12.2	ระบบพาหนะขนส่งด้วยรางไฟฟ้า (electrical track vehicle system, ETV)	189
3.12.3	ระบบรถนำทางอัตโนมัติ (automated guided vehicle, AGV)	189
3.13	ระบบควบคุมความชื้น (dehumidification system)	190
3.14	ระบบและอุปกรณ์ในพื้นที่เฉพาะของโรงพยาบาล	192
3.14.1	อ่างล้างมือแบบเปิดปิดด้วยเท้า/เข่า (foot/knee-operated surgical sink) ชุตล้างตัว (emergency shower station) และล้างตา (emergency eyewash station)	192
3.14.2	ห้องเย็นสำหรับเก็บศพ (mortuary corpse refrigerator/freezer) โต๊ะชันสูตร (autopsy table/ dissecting table) และโต๊ะผ่าชันสูตร (wall mount autopsy station)	192
3.14.3	ตู้เย็นสำหรับเก็บรักษายาและเลือด (pharmaceutical and medical refrigerator)	195
3.14.4	หน่วยทันตกรรม (dental unit)	196
	คำถามท้ายบท	198

บทที่ 4	รังสีในโรงพยาบาล	199
4.1	ความหมายของรังสีและคลื่น	199
4.2	ผลกระทบต่อรังสีที่มีผลต่อมนุษย์	204
4.2.1	สนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำ (extremely low frequency electromagnetic field หรือ ELF-EMF)	204
4.2.2	คลื่นวิทยุ (radio frequency)	204
4.2.3	คลื่นไมโครเวฟ (microwave)	205
4.2.4	คลื่นรังสีอินฟราเรด (Infrared radiation หรือ IR radiation)	205
4.2.5	คลื่นแสง (visible light หรือ visible radiation)	205
4.2.6	คลื่นอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet radiation หรือ UV radiation)	206
4.2.7	เลเซอร์ (light amplification by stimulated emission of radiation หรือ Laser)	207
4.2.8	รังสีที่ก่อให้เกิดไอออน (ionizing radiation)	209
4.3	ระบบรังสีวินิจฉัยในโรงพยาบาล	212
	คำถามท้ายบท	217
 บทที่ 5	 ระบบสารสนเทศโรงพยาบาล	 219
5.1	ระบบงานที่เกี่ยวข้องกับระบบ HIS	220
5.2	การกำหนดรหัสโรคและอาการ	224
5.3	การกำหนดรหัสยา	227
5.4	ระบบสารสนเทศในห้องปฏิบัติการทางการแพทย์	233
5.5	ระบบสารสนเทศทางรังสีวิทยา	234
5.6	มาตรฐาน HL7	237
5.7	ระบบสารสนเทศการบริหารอาคารและเครื่องมือแพทย์	239
	คำถามท้ายบท	240
 บทที่ 6	 คุณภาพสิ่งแวดล้อมในโรงพยาบาล	 241
6.1	คำจำกัดความ	241
6.2	แหล่งกำเนิดของมลพิษในอาคาร	241
6.3	รูปแบบของมลพิษ	242

6.4	การประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมในอาคาร	245
6.4.1	การเก็บตัวอย่างอากาศ	246
6.4.2	การวัดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยรวม (total volatile organic compounds, TVOC)	249
6.4.3	การเก็บตัวอย่างเสียง	250
6.4.4	การวัดอุณหภูมิและความชื้น	251
6.4.5	การวัดแสงสว่างภายในอาคาร	253
6.4.6	การวัดการหมุนเวียนอากาศ	254
6.5	องค์กรควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อม	255
	คำถามท้ายบท	258
บทที่ 7	งานชีวนามัยสำหรับวิศวกรรมชีวการแพทย์	259
7.1	ความหมายของอาชีวอนามัยและความเกี่ยวข้องกับระบบวิศวกรรมโรงพยาบาล	259
7.2	หน่วยงานบริการอาชีวอนามัยในสถานประกอบการ	260
7.3	ปัจจัยเสี่ยงในการทำงานในโรงพยาบาล	262
7.3.1	ปัจจัยเสี่ยงด้านชีวภาพ	262
7.3.2	ปัจจัยเสี่ยงด้านกายภาพ	262
7.3.3	ปัจจัยเสี่ยงด้านเคมีหรืออาการแพ้	262
7.3.4	ปัจจัยเสี่ยงด้านจิตสังคม	263
7.3.5	ปัจจัยเสี่ยงจากท่าทางการทำงาน	264
7.3.6	ปัจจัยเสี่ยงจากอุบัติเหตุ	264
	คำถามท้ายบท	264
บทที่ 8	มาตรฐานของเครื่องมือแพทย์	265
8.1	ประเภทของเครื่องมือแพทย์	265
8.2	องค์กรและมาตรฐานของเครื่องมือแพทย์	269
8.3	สัญลักษณ์ที่นำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์	276
8.3.1	สัญลักษณ์ทั่วไป	276
8.3.2	เครื่องหมายความปลอดภัย	280
8.3.3	รหัสทั่วไป	282

8.3.4	สัญลักษณ์ด้านความปลอดภัยอื่นที่พบที่ทำงานได้ในมาตรฐาน ISO 7010	283
	คำถามท้ายบท	286
บทที่ 9	มาตรฐานคุณภาพสถานพยาบาลและหน่วยงานในโรงพยาบาล	287
9.1	วัตถุประสงค์ของมาตรฐานคุณภาพในสถานพยาบาล	287
9.2	มาตรฐาน JCI	288
9.3	มาตรฐาน HA	291
9.4	มาตรฐาน ISO	295
9.5	การแบ่งหน่วยงานในโรงพยาบาล	297
	คำถามท้ายบท	306
บทที่ 10	สถานพยาบาลในอนาคต	307
10.1	รูปแบบของสถานพยาบาลในปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคต	307
10.2	เทคโนโลยีที่สนับสนุนการให้บริการด้านสุขภาพในอนาคต	308
10.2.1	ความก้าวหน้าด้านเครื่องมือทางการแพทย์	309
10.2.2	ความก้าวหน้าด้านข้อมูลข่าวสารและระบบการจัดการ	309
10.2.3	ความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูล	310
10.2.4	ความก้าวหน้าด้านการออกแบบ และภูมิสถาปัตยกรรม	312
10.3	สภาพแวดล้อมในการฟื้นฟูสภาพของผู้ป่วยที่เกี่ยวข้องกับการพยาบาลและการจัดการด้านวิศวกรรม	315
10.3.1	พฤติกรรมในการให้บริการกับคนไข้ที่เตียงนอน (bedside manner)	315
10.3.2	สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ (physical factor)	315
10.3.3	ความรู้สึกเกี่ยวข้องในกระบวนการพักฟื้น (being involved)	316
10.3.4	ความรู้สึกถึงความเป็นตัวของตัวเอง (integrity)	316
10.4	ความต้องการในการพยาบาลและการพัฒนาด้านวิศวกรรม	319
	คำถามท้ายบท	320
บทที่ 11	กรณีศึกษาการตรวจสิ่งแวดล้อมในโรงพยาบาล	321
11.1	ข้อมูลการสำรวจค่าคุณภาพสิ่งแวดล้อมในโรงพยาบาล	322
11.2	ข้อมูลการสำรวจค่าคุณภาพสิ่งแวดล้อมแบบต่อเนื่อง	335

11.2.1	พื้นที่ประกอบอาหาร	335
11.2.2	พื้นที่เก็บถังก๊าซและผลิตก๊าซ	338
11.2.3	พื้นที่ซักผ้าและอบผ้า	339
11.2.4	พื้นที่หน่วยจ่ายกลาง	341
11.2.5	พื้นที่งานทันตกรรม	343
11.2.6	พื้นที่รักษาผู้ป่วยเด็กก้ออทิสติก	346
11.2.7	พื้นที่ทำเฝือก	347
11.2.8	รถพยาบาล	349
11.3	กรณีศึกษา	350
11.3.1	ห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยา	350
11.3.2	ห้องพักผู้ป่วยเฝ้าระวังการติดเชื้อ	354
11.3.3	ห้องตรวจผู้ป่วยนอก1 (OPD)	356
11.3.4	ห้องตรวจผู้ป่วยนอก2 (OPD)	360
11.3.5	ห้องพักผู้ป่วยติดเชื้อแบบ modified AIIR	363
11.3.6	บทสรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม	369
11.4	กรณีศึกษาการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบระดับสารประกอบอินทรีย์ ระเหยรวม (TVOC) สำหรับใช้ในโรงพยาบาล	373
11.5	กรณีศึกษาการนำข้อมูลจากระบบสารสนเทศโรงพยาบาลมาใช้ ในการบริหารจัดการโรงพยาบาล	378
	คำถามท้ายบท	381
	ภาคผนวก	382
	เอกสารอ้างอิง	407
	แนวทางการตอบคำถามท้ายบท	414
	ดัชนี	432

บทที่ 1

ระบบวิศวกรรมในโรงพยาบาล

1.1 บทนำ

โรงพยาบาลหรือสถานพยาบาลเป็นสถานที่ที่ประกอบด้วยระบบงานวิศวกรรมอยู่เป็นจำนวนมาก ระบบวิศวกรรมเหล่านี้มีทั้งระบบวิศวกรรมพื้นฐานที่พบในอาคารทั่วไปและระบบวิศวกรรมเฉพาะที่มักพบในโรงพยาบาลเท่านั้น ซึ่งระบบวิศวกรรมนี้เกี่ยวข้องกับบุคคลหลายส่วนตั้งแต่วิศวกรช่างเทคนิคที่ดูแลอาคาร ฝ่ายชีวอนามัยที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและส่งเสริมสุขภาพให้กับผู้ปฏิบัติงานในโรงพยาบาล แพทย์ พยาบาลที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานระบบวิศวกรรมต่าง ๆ ผู้บริหารโรงพยาบาล หรือเจ้าหน้าที่รัฐที่มีหน้าที่ในการบริหารจัดการการให้บริการสุขภาพเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ยังรวมไปถึงคนไข้หรือญาติคนไข้ที่ถือเป็นผู้ที่เกี่ยวข้องในการใช้สถานที่ในโรงพยาบาลด้วย ระบบวิศวกรรมเหล่านี้จำเป็นที่จะต้องทำงานให้เต็มประสิทธิภาพโดยเฉพาะระบบที่เกี่ยวข้องกับผู้ป่วยหรือเกี่ยวข้องกับสุขภาพและชีวิตของผู้ให้บริการทางการแพทย์ แต่ด้วยจำนวนของระบบวิศวกรรมที่มีอยู่เป็นจำนวนมากบนจำนวนบุคลากรผู้ดูแลระบบที่อาจมีอยู่จำกัด การทำความเข้าใจและใช้งานระบบให้ถูกต้องและได้เต็มประสิทธิภาพจึงทำได้ยาก ซึ่งส่งผลต่อการให้บริการสุขภาพและสุขภาพของผู้ที่ทำงานในโรงพยาบาล

หนังสือเล่มนี้ จะอธิบายให้ความรู้พื้นฐาน โดยให้รายละเอียดที่จำเป็นเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงระบบวิศวกรรมที่มีใช้ในโรงพยาบาล ซึ่งรวมถึงเกณฑ์และมาตรฐานต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องรู้ สำหรับวิศวกร ช่างเทคนิค เจ้าหน้าที่ฝ่ายชีวอนามัย บุคลากรทางการแพทย์ ผู้บริหารของโรงพยาบาล รวมถึงผู้ที่สนใจในงานระบบวิศวกรรมที่มีใช้ในโรงพยาบาล ในหนังสือยังมีการสอดแทรกประสบการณ์ของผู้เขียนเพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนมากขึ้น ทั้งนี้เทคโนโลยีหรือหลักเกณฑ์ที่นำมาแสดง อาจมีการปรับปรุงให้ทันสมัยในอนาคตได้เช่นกัน

การดูแลหรือบริหารจัดการระบบวิศวกรรมโรงพยาบาลนั้น ในปัจจุบันมีการกำหนดระดับวิศวกรวิชาชีพในสาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ขึ้น อ้างอิงประกาศสภาวิศวกร เรื่อง หลักเกณฑ์วิธีการ และเงื่อนไขการทดสอบความรู้เพื่อขอรับใบรับรองความรู้ความชำนาญ ในการประกอบวิชาชีพวิศวกรรม ระดับวิศวกรและวิศวกรวิชาชีพ (สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์) พ.ศ. 2566 จึงทำให้ปัจจุบันสามารถเรียกได้ว่า “วิศวกรชีวการแพทย์” นั้นเป็นอีกสาขาวิศวกรรมหนึ่งที่ได้รับการยอมรับแล้ว แต่หากพิจารณาถึงประกาศของสภาวิศวกรนั้น ยังกำหนดลักษณะและคุณสมบัติของวิศวกรด้านที่เกี่ยวข้องกับความรู้ด้านเครื่องมือแพทย์เป็นหลักอยู่ ยังไม่เน้นด้านเกี่ยวกับระบบงานวิศวกรรมโรงพยาบาลมากนัก แต่อย่างไรก็ดีหากพิจารณาถึงเนื้อหาการเรียนการสอนของสาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ในประเทศไทย มีการเรียนการสอนเนื้อหาวิชา “วิศวกรรมโรงพยาบาล” อยู่ครบทุกหลักสูตรในทุกมหาวิทยาลัย วิศวกรชีวการแพทย์จึงเป็นวิศวกรอีกกลุ่มหนึ่งที่ถูกเตรียมความพร้อมเพื่อการดูแลบริหารจัดการระบบวิศวกรรมโรงพยาบาลเป็นการเฉพาะ เพิ่มเติมจากวิศวกรในสาขาวิศวกรรมอื่น ๆ ที่เป็นผู้ทำหน้าที่ในการดูแลบริหารจัดการมาตั้งแต่อดีต ทั้งนี้หากพิจารณาถึงความต้องการของโรงพยาบาลเอง ก็ต้องการวิศวกรชีวการแพทย์ที่มีความรู้ความเข้าใจทั้งงานระบบวิศวกรรมและความจำเป็นในระบบงานวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการสุขภาพด้วยเช่นกัน

การนำเสนอเนื้อหาในหนังสือเล่มนี้ ถูกจัดลำดับตามระดับความเกี่ยวข้องกับเครื่องจักร (เกี่ยวข้องกับวิศวกร ช่างเทคนิค) ไปยังผู้ดูแลด้านสุขภาวะของผู้ที่ปฏิบัติงานอยู่ในโรงพยาบาล (เกี่ยวข้องกับฝ่ายชีวอนามัย) และเชื่อมโยงกับการบริหารจัดการคุณภาพและมาตรฐานของโรงพยาบาล (เกี่ยวกับหัวหน้างานหรือผู้บริหาร) (รูปที่ 1-1) โดยมีการสอดแทรกกรณีศึกษาในส่วนท้ายที่จะเกี่ยวข้องกับทุกส่วน อนึ่งหนังสือเล่มนี้ไม่ได้ลำดับตามความยากง่าย/ความซับซ้อนของระบบ หรือตามระบบที่มีใช้ในโรงพยาบาลที่มีขนาดแตกต่างกัน เนื่องจากในแต่ละระบบนั้นมีรายละเอียดที่เฉพาะแตกต่างกันที่ผู้ที่ต้องการข้อมูลเชิงลึกจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมอยู่แล้ว รวมถึงจากประสบการณ์ของผู้เขียน เป็นการยากที่จะกล่าวโดยชัดได้ว่าระบบใดจะพบได้ในโรงพยาบาลขนาดใดเป็นการเฉพาะ การแบ่งเนื้อหาจึงเรียงลำดับตามลักษณะงานที่เกิดขึ้นที่เกี่ยวข้องกับระบบงานวิศวกรรมในโรงพยาบาลมากกว่า

เกี่ยวกับโรงพยาบาล	บทที่ 1	ระบบวิศวกรรมโรงพยาบาล
เครื่องจักร/ระบบงาน	บทที่ 2	ระบบวิศวกรรมอาคารพื้นฐาน
	บทที่ 3	ระบบวิศวกรรมเฉพาะในโรงพยาบาล
	บทที่ 4	รังสีในโรงพยาบาล
ระบบสารสนเทศ	บทที่ 5	ระบบสารสนเทศโรงพยาบาล
สิ่งแวดล้อม	บทที่ 6	คุณภาพสิ่งแวดล้อมในโรงพยาบาล
งานชีวอนามัย	บทที่ 7	งานชีวอนามัยสำหรับวิศวกรรมชีวการแพทย์
มาตรฐานและการจัดการ	บทที่ 8	มาตรฐานของเครื่องมือแพทย์
	บทที่ 9	มาตรฐานคุณภาพสถานพยาบาลและหน่วยงานในโรงพยาบาล
	บทที่ 10	สถานพยาบาลในอนาคต
กรณีศึกษา	บทที่ 11	กรณีศึกษาการตรวจสิ่งแวดล้อมในโรงพยาบาล

รูปที่ 1-1 ลำดับการนำเสนอในหนังสือ

1.2 ประเภทของสถานพยาบาล

“สถานพยาบาล” (medical facility หรือ medical location) ตามพระราชบัญญัติสถานพยาบาล (ฉบับ 4) พ.ศ. 2559 หมายถึง “สถานที่รวมตลอดถึงยานพาหนะซึ่งจัดไว้เพื่อการประกอบโรคศิลปะตามกฎหมายว่าด้วยการประกอบโรคศิลปะ การประกอบวิชาชีพเวชกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพเวชกรรม การประกอบวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ การประกอบวิชาชีพทันตกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพทันตกรรม การประกอบวิชาชีพกายภาพบำบัดตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพกายภาพบำบัด การประกอบวิชาชีพเทคนิคการแพทย์ตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพเทคนิคการแพทย์ การประกอบวิชาชีพการแพทย์แผนไทย และการประกอบวิชาชีพการแพทย์แผนไทยประยุกต์ตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพการแพทย์แผนไทย หรือการประกอบวิชาชีพทางการแพทย์และสาธารณสุขอื่นตามกฎหมายว่าด้วยการนั้น ทั้งนี้ โดยกระทำเป็นปกติธุระไม่ว่าจะได้รับประโยชน์ตอบแทนหรือไม่” ดังนั้น “โรงพยาบาล” จึงจัดเป็นสถานพยาบาลที่ให้บริการแบบหนึ่ง การเรียกสถานพยาบาลประเภทต่าง ๆ ในทางปฏิบัตินั้นมีความหลายหลาาก อย่างไรก็ตามที่นิยมเรียกจะมีอยู่ 3 ชื่อ ได้แก่

1. โรงพยาบาล เป็นสถานพยาบาลจดทะเบียนที่สามารถรับผู้ป่วยค้างคืนได้มากกว่า 30 เตียงขึ้นไป
2. สถานพยาบาลเวชกรรม เป็นสถานพยาบาลจดทะเบียนที่สามารถรับผู้ป่วยค้างคืนได้น้อยกว่า 30 เตียง
3. คลินิก เป็นสถานพยาบาลจดทะเบียนที่ไม่สามารถรับผู้ป่วยค้างคืนได้

อนึ่งสถานพยาบาลบางแห่งจะได้รับการยกเว้นการจดทะเบียน เช่น สถานพยาบาลของรัฐ เทศบาล สภาอากาศไทย และสถานพยาบาลอื่นตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข แต่สถานพยาบาลเหล่านั้นยังจำเป็นต้องมีลักษณะของสถานพยาบาลและมาตรฐานตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตามกฎหมาย

สำหรับโรงพยาบาลนั้นยังมีได้อีกหลายประเภท โดยทั่วไปจะแบ่งตามขนาดของโรงพยาบาลจากจำนวนเตียง แบ่งตามศักยภาพในการให้บริการเป็นหลัก หรืออาจแบ่งตามตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของโรงพยาบาลก็ได้ รูปแบบการแบ่งกลุ่มเป็นดังต่อไปนี้

การแบ่งประเภทจากจำนวนเตียง

1. **โรงพยาบาลขนาดเล็ก** เป็นโรงพยาบาลที่มีจำนวนเตียงน้อยกว่า 30 เตียง
2. **โรงพยาบาลขนาดกลาง** เป็นโรงพยาบาลที่มีจำนวนเตียงตั้งแต่ 31 เตียงถึง 90 เตียง
3. **โรงพยาบาลขนาดใหญ่** เป็นโรงพยาบาลที่มีจำนวนเตียงตั้งแต่ 91 เตียงขึ้นไป

ตาราง 1-1 จำนวนโรงพยาบาลในสังกัดกระทรวงสาธารณสุขในประเทศไทย

โรงพยาบาล	จำนวนเตียง	จำนวน (แห่ง)	จำนวนเตียง (เตียง)
โรงพยาบาลขนาดเล็ก	น้อยกว่า 30 เตียง	64	791
โรงพยาบาลขนาดกลาง	30-90 เตียง	609	28,232
โรงพยาบาลขนาดใหญ่	ตั้งแต่ 91 เตียงขึ้นไป	230	72,655
รวม		903	101,678

ที่มา: ข้อมูล ณ วันที่ 24 พฤศจิกายน 2566 โดยกองบริหารการสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข¹ ข้อมูลคิดเฉพาะโรงพยาบาลศูนย์ โรงพยาบาลทั่วไป และโรงพยาบาลชุมชน

¹<https://phdb.moph.go.th/main/index/downloadlist/57/0>

ตาราง 1-2 จำนวนโรงพยาบาลนอกสังกัดกระทรวงสาธารณสุขในประเทศไทย

โรงพยาบาล	จำนวนเตียง	จำนวน (แห่ง)	จำนวนเตียง (เตียง)
โรงพยาบาลขนาดเล็ก	โรงพยาบาลที่มีจำนวนเตียงน้อยกว่า 30 เตียง	19	255
โรงพยาบาลขนาดกลาง	โรงพยาบาลที่มีจำนวนเตียง 30-90 เตียง	59	2,838
โรงพยาบาลขนาดใหญ่	โรงพยาบาลที่มีจำนวนเตียงตั้งแต่ 91 เตียงขึ้นไป	92	35,561
รวม		170	38,654

ที่มา: ข้อมูล ณ วันที่ 8 ธันวาคม 2566 โดยกรมสุขภาพจิต กระทรวงสาธารณสุข¹ ข้อมูลคิดเฉพาะโรงพยาบาลศูนย์ โรงพยาบาลทั่วไป และโรงพยาบาลชุมชน

ตาราง 1-3 จำนวนโรงพยาบาลภาคเอกชนในประเทศไทย

โรงพยาบาลเอกชน	จำนวนเตียง	จำนวน (แห่ง)	จำนวนเตียง (เตียง)
โรงพยาบาลขนาดเล็ก	จำนวนเตียงน้อยกว่า 30 เตียง	107	384
โรงพยาบาลขนาดกลาง	จำนวนเตียง 30-100 เตียง	158	2,056
โรงพยาบาลขนาดใหญ่	มากกว่า 100 เตียง	134	14,472
รวม		399	16,912

ที่มา: ข้อมูลผลสำรวจโรงพยาบาลและสถานพยาบาลเอกชนที่ดำเนินการในปี 2564 โดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ ข้อมูลจำนวนเตียงคำนวณจากจำนวนเตียงต่อกึ่งการคูณกับจำนวนโรงพยาบาล

การแบ่งประเภทจากศักยภาพการให้บริการตามกระทรวงสาธารณสุข

1. **โรงพยาบาลมหาราช** หรือโรงพยาบาลศูนย์ประจำจังหวัด เป็นโรงพยาบาลขนาดใหญ่ ที่มีเตียงจำนวนตั้งแต่ 600-1,000 เตียง
2. **โรงพยาบาลศูนย์** เป็นโรงพยาบาลที่มีศักยภาพสูง มีผู้เชี่ยวชาญเฉพาะ เครื่องมือและเทคโนโลยีขั้นสูงและราคาแพง ให้บริการครอบคลุมพื้นที่จังหวัดข้างเคียงหลายจังหวัด มีจำนวนเตียงระหว่าง 500-600 เตียง

² <https://www.mhc9dmh.com/ShowHospital.aspx>

3. **โรงพยาบาลทั่วไป** เป็นโรงพยาบาลที่มีศักยภาพสูง มีผู้เชี่ยวชาญเฉพาะ ซึ่งอาจมีศักยภาพเทียบเท่า หรือดีกว่าโรงพยาบาลศูนย์ หรืออาจต่ำกว่าก็ได้ แต่จะมีศักยภาพสูงกว่าโรงพยาบาลชุมชน อาจแบ่งย่อยได้เป็น 2 ขนาดคือ คือโรงพยาบาลขนาด 125-250 เตียง และขนาด 250-500 เตียง
4. **โรงพยาบาลชุมชน** เป็นโรงพยาบาลสำหรับรักษาโรคทั่วไป แบ่งเป็น 5 ขนาด คือ 10-30 เตียง, 30-60 เตียง, 60-90 เตียง, 90-120 เตียง และ 120-150 เตียง
5. **โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล** เป็นโรงพยาบาลที่จัดตั้งตามลักษณะความหนาแน่นของพื้นที่
6. **โรงพยาบาลที่อยู่นอกสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขหรือนอกกระทรวงสาธารณสุข** เป็นโรงพยาบาลที่จัดตั้งเฉพาะ

ตาราง 1-4 จำนวนโรงพยาบาลภาครัฐในประเทศไทย

โรงพยาบาลรัฐ	ระดับ	จำนวน (แห่ง)	จำนวนเตียง (เตียง)
โรงพยาบาลศูนย์	A : advance-level hospital	35	27,922
โรงพยาบาลทั่วไป	M1 : middle-level hospital	37	8,978
	S : standard-level hospital	55	21,899
โรงพยาบาลชุมชน	F1 : first-level hospital	101	8,162
	F2 : first-level hospital	503	20,881
	F3 : first-level hospital	76	1,327
	M2 : middle-level hospital	96	12,509
รวม		903	101,678

หมายเหตุและที่มาของข้อมูล

- A : advance-level hospital โรงพยาบาลที่มีขีดความสามารถรองรับผู้ป่วยที่ต้องการการรักษาที่ยุ่งยาก ซับซ้อนระดับเชี่ยวชาญ และใช้เทคโนโลยีขั้นสูง และมีราคาแพง
- S : standard-level hospital โรงพยาบาลที่มีขีดความสามารถรองรับผู้ป่วยที่ต้องการการรักษาที่ยุ่งยาก ซับซ้อนระดับเชี่ยวชาญเฉพาะ
- M1 : middle-level hospital โรงพยาบาลที่มีขีดความสามารถรองรับผู้ป่วยที่ต้องการการรักษาที่ยุ่งยาก ซับซ้อนระดับเชี่ยวชาญ
- M2 : middle-level hospital โรงพยาบาลชุมชนขนาด 120 เตียงขึ้นไป ที่มีแพทย์เวชปฏิบัติ หรือแพทย์เวชศาสตร์ครอบครัว 3-5 คน และแพทย์เฉพาะทางครบทั้ง 6 สาขาหลัก สาขาละอย่างน้อย 2 คน
- F1 : first-level hospital โรงพยาบาลชุมชนขนาดเตียง 90-120 เตียง
- F2 : first-level hospital โรงพยาบาลชุมชนขนาดเตียง 30-90 เตียง
- F3 : first-level hospital โรงพยาบาลชุมชนขนาดเตียง 30 เตียง ที่มีแพทย์เวชปฏิบัติทั่วไปหรือแพทย์เวชศาสตร์ครอบครัว รวม 1-2 คน
- ข้อมูล ณ วันที่ 24 พฤศจิกายน 2566 โดยกองบริหารการสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข
- ข้อมูลเฉพาะโรงพยาบาลศูนย์ โรงพยาบาลทั่วไป และโรงพยาบาลชุมชน

การแบ่งประเภทจากสถานที่ตั้ง (geographic information system - GIS) หรือระดับบริการของสถานพยาบาล

1. **หน่วยบริการระดับปฐมภูมิ (primary care)** เป็นหน่วยที่ให้บริการเริ่มต้นมีสัดส่วนเป็นส่วนใหญ่ของสถานพยาบาลทั้งหมดของประเทศ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ
 - 1.1 **สถานบริการสาธารณสุขชุมชน (สสช.)** เป็นสถานพยาบาลที่ใกล้ชิดชุมชน โดยมักอยู่ในพื้นที่ห่างไกลจากสถานอนามัยหรือโรงพยาบาล มีเจ้าหน้าที่สาธารณสุขประจำอยู่ เพื่อรับผิดชอบให้บริการดูแลรักษาผู้ป่วยเบื้องต้นก่อนที่จะส่งต่อไปยังสถานอนามัย
 - 1.2 **ศูนย์สุขภาพชุมชนเมือง (ศสม.)** เป็นหน่วยบริการสุขภาพที่จัดตั้งในเขตเทศบาลเมือง/นคร หรือเขตชุมชนหนาแน่นที่อยู่ในความรับผิดชอบของโรงพยาบาลศูนย์/โรงพยาบาลทั่วไป ให้บริการแบบผสมผสานทั้งด้านรักษาฟื้นฟูสภาพ ส่งเสริมสุขภาพและการป้องกันโรค ซึ่งไม่ใช่สถานบริการเฉพาะผู้ป่วยนอก (extended OPD) แต่เน้นให้บริการสุขภาพในพื้นที่เชิงรุก โดยความร่วมมือของอาสาสมัครชุมชน และเทศบาล
 - 1.3 **โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพระดับตำบล (รพ.สต.)** มีขอบเขตการดำเนินการบริการสาธารณสุขผสมผสาน ทั้งด้านการสร้างเสริมสุขภาพ การควบคุมป้องกันโรค การรักษาพยาบาล และการฟื้นฟูสภาพ รวมทั้งการจัดการปัจจัยเสี่ยงต่อสุขภาพ ทั้งนี้ รพ.สต. ยังแบ่งออกเป็นขนาดเล็ก (รับผิดชอบประชากรไม่เกิน 3,000 คน) ขนาดกลาง (รับผิดชอบประชากร 3,000-6,000 คน) และขนาดใหญ่ (รับผิดชอบประชากรตั้งแต่ 6,000 คนขึ้นไป)
2. **หน่วยบริการระดับทุติยภูมิ (secondary care)** เป็นหน่วยบริการที่มีภารกิจในการรักษาพยาบาลที่สิ้นสุดที่การรักษาผู้ป่วยใน (IPD) ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 ระดับ
 - 2.1 **โรงพยาบาลชุมชนขนาดเล็ก (F3) (รพช.)** มีจำนวนเตียงน้อยกว่า 30 เตียง ที่มีแพทย์เวชปฏิบัติทั่วไปหรือแพทย์เวชศาสตร์ครอบครัว รวม 1-2 คน มีห้องผ่าตัดเล็ก ไม่มีห้องผ่าตัด ห้องคลอด หรือตึกผู้ป่วยใน ให้การดูแลผู้ป่วยที่ไม่ซับซ้อน ไม่จำเป็นต้องจัดบริการผู้ป่วยในเต็มรูปแบบ
 - 2.2 **โรงพยาบาลชุมชนขนาดกลาง (F2) (รพช.)** มีจำนวนเตียง 30-90 เตียง ที่มีแพทย์เวชปฏิบัติทั่วไปหรือแพทย์เวชศาสตร์ครอบครัว รวม 2-5 คน ไม่มีแพทย์เฉพาะทาง มีบริการผู้ป่วยใน มีห้องผ่าตัด ห้องคลอด รองรับผู้ป่วยและผู้ป่วยในของแต่ละอำเภอ
 - 2.3 **โรงพยาบาลชุมชนขนาดใหญ่ (F1) (รพช.)** มีจำนวนเตียง 90-120 เตียง มีแพทย์เวชปฏิบัติทั่วไปหรือแพทย์เวชศาสตร์ครอบครัว และแพทย์เฉพาะทางสาขาหลัก (อายุรกรรม ศัลยกรรมทั่วไป สูตินรีเวชกรรม กุมารเวชกรรม ศัลยกรรมกระดูก และวิสัญญีแพทย์) รวม 3-10 คน มีห้องผ่าตัด ผู้ป่วยใน ห้องคลอด

- 2.4 **โรงพยาบาลแม่ข่าย (M2) (รพช.)** มีจำนวนเตียง 120 เตียงขึ้นไป มีแพทย์เวชปฏิบัติทั่วไปหรือแพทย์เวชศาสตร์ครอบครัว 3-5 คน และแพทย์เฉพาะทางครบทั้ง 6 สาขาหลัก (อายุรกรรม ศัลยกรรม สูติรีเวชกรรม กุมารเวชกรรม ออร์โธปิดิกส์ และวิสัญญีแพทย์) สาขาละอย่างน้อย 2 คน มีผู้ป่วยใน ห้องผ่าตัด ห้องคลอด หอผู้ป่วยหนัก ห้องปฏิบัติการเพื่อวินิจฉัยประกอบการรักษา แพทย์เฉพาะทางรังสีวิทยาเพื่อวินิจฉัย รองรับการส่งต่อจากโรงพยาบาลชุมชนอื่นและลดการส่งต่อไปที่โรงพยาบาลทั่วไป
3. **หน่วยบริการระดับตติยภูมิ (tertiary care)** เป็นหน่วยบริการที่รักษาโรคเฉพาะ ต้องการบุคลากรเฉพาะทางที่ต้องใช้ทรัพยากรสูง แบ่งเป็น 3 ระดับ
- 3.1 **โรงพยาบาลทั่วไปขนาดเล็ก (M1) (รพท.)** เป็นโรงพยาบาลที่มีขีดความสามารถรองรับผู้ป่วยที่ต้องการการรักษาที่ยุ่ยากซับซ้อนระดับเชี่ยวชาญ ประกอบด้วยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญสาขาหลักทุกสาขา และสาขารองในบางสาขาที่จำเป็น
- 3.2 **โรงพยาบาลทั่วไประดับ S (Standard-level Hospital) (รพท.)** เป็นโรงพยาบาลที่มีขีดความสามารถรองรับผู้ป่วยที่ต้องการการรักษาที่ยุ่ยากซับซ้อนระดับเชี่ยวชาญเฉพาะ จึงประกอบด้วยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญทั้งสาขาหลัก สาขารอง และสาขาย่อยบางสาขา กำหนดให้เป็นโรงพยาบาลรับส่งต่อผู้ป่วยระดับมาตรฐาน
- 3.3 **โรงพยาบาลศูนย์ระดับ A (Advance-level Hospital) (รพท.)** เป็นโรงพยาบาลที่มีขีดความสามารถรองรับผู้ป่วย ที่ต้องการการรักษาที่ยุ่ยากซับซ้อนระดับเชี่ยวชาญ มีเทคโนโลยีขั้นสูงและราคาแพง โดยมีการกิจด้านแพทยศาสตร์ศึกษาและงานวิจัยทางการแพทย์ร่วมด้วย จึงประกอบด้วยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญทั้งสาขาหลัก สาขารอง และสาขาย่อยครบทุกสาขาตามความจำเป็น

ตาราง 1-5 ตัวชี้วัดการแบ่งประเภทของโรงพยาบาลตามตำแหน่งที่ตั้ง

ตัวชี้วัด	ปฐมภูมิ	ทุติยภูมิ	ตติยภูมิ
ระยะทาง (กม.)	22.5	45-90	202.5-247.5
เวลา (นาที)	30	60-120	240-270
ประชากรขั้นต่ำ	80,000-150,000	1,000,000-2,000,000	
แพทย์	1:10,000	1:10,000-75,000	1:62,500-250,000
ทันตแพทย์	1:12,500	1:12,500-75,000	1:500,000
เภสัชกร	1:15,000	1:15,000-50,000	1:500,000
พยาบาล	1:2,500	1:1,000-5,000	1:5,000-15,000

ที่มา: ข้อมูลจาก <http://www.thcc.or.th/index.php>

สถานพยาบาลอาจแบ่งได้จากองค์กรที่เกี่ยวข้องได้เช่นกัน ซึ่งจะแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม

1. **โรงพยาบาลทั่วไป (general hospital)** เป็นโรงพยาบาลที่รับรักษาโรคทั่วไปไม่เฉพาะเจาะจง
2. **โรงพยาบาลรักษาโรคเฉพาะทาง (specialized hospital)** เป็นโรงพยาบาลที่รับรักษาโรคเฉพาะเจาะจง ปกติจะมีบุคลากรและเครื่องมือพิเศษในการให้บริการนั้น ๆ เช่น โรงพยาบาลโรคตา หู คอ จมูก, โรงพยาบาลจิตเวช, โรงพยาบาลทรวงอก, สถาบันมะเร็งแห่งชาติ
3. **โรงพยาบาลแยกประเภทผู้ป่วย (special patient hospital)** จะให้บริการผู้ป่วยที่มีความพิเศษ เช่น โรงพยาบาลสงฆ์ โรงพยาบาลเด็ก
4. **โรงพยาบาลที่ก่อตั้งจากมูลนิธิการกุศล (non-profit hospital)** เช่น โรงพยาบาลของมูลนิธิทางศาสนา ที่ใช้เงินมูลนิธิในการดำเนินการของโรงพยาบาล

สำหรับประเทศไทยนั้น มีอัตราเฉลี่ยจำนวนเตียงคิดเป็น 2.57 เตียงต่อประชากร 1,000 คน³ (ข้อมูล ณ ปี 2564 โดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ) โดยกรุงเทพมหานครมีสัดส่วนเตียง 5.29 เตียงต่อประชากร 1,000 คน (สูงมากกว่าค่าเฉลี่ย 2 เท่า) ในส่วนของสัดส่วนแพทย์นั้นแสดงดังตาราง 16 ณ ปี 2564 มีสัดส่วนแพทย์ 0.6 คนต่อประชากร 1,000 คนและสัดส่วนพยาบาล 2.8 คนต่อประชากร 1,000 คน โดยสัดส่วนบุคลากรทางการแพทย์ในกรุงเทพมหานครมีจำนวนมากกว่าค่าเฉลี่ย 3.3 และ 2.4 เท่าตามลำดับ

ตาราง 1-6 สัดส่วนบุคลากรทางการแพทย์ต่อประชากร (ณ สิ้นปี พ.ศ. 2564)

บุคลากรทาง การแพทย์	ทั่วประเทศ		กรุงเทพมหานคร	
	จำนวนคน	สัดส่วนบุคลากร ต่อประชากร	จำนวนคน	สัดส่วนบุคลากร ต่อประชากร
แพทย์	38,820	1,680	10,595	515
ทันตแพทย์	8,094	8,057	1,020	5,351
เภสัชกร	16,090	4,053	3,160	1,727
พยาบาลวิชาชีพ	184,840	353	37,678	145
พยาบาลเทคนิค	4,093	15,933	2,093	2,608

ที่มา: ข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ https://ittdashboard.nso.go.th/preview.php?id_project=60

³<http://statbbi.nso.go.th/staticreport/page/sector/th/05.aspx>

1.3 ผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบงานวิศวกรรมโรงพยาบาล

ผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบงานวิศวกรรมโรงพยาบาล อาจแบ่งเป็น 5 กลุ่มดังต่อไปนี้

1. **กลุ่มผู้ใช้งานเพื่อการให้บริการสุขภาพของโรงพยาบาล** กลุ่มผู้ใช้งานกลุ่มนี้ ได้แก่ แพทย์ พยาบาล บุคลากรทางการแพทย์ บุคลากรที่สนับสนุนการให้บริการสุขภาพ (เช่น พนักงานทำความสะอาด ทำอาหาร เป็นต้น) ที่เป็นผู้ที่ใช้งานระบบ ไม่ได้มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการบำรุงรักษา ปรับตั้งการทำงานของระบบวิศวกรรมแต่อย่างใด
2. **กลุ่มผู้ควบคุมดูแลรักษาระบบงานวิศวกรรม** กลุ่มผู้ใช้งานกลุ่มนี้แท้จริงแล้วไม่ใช่เป็นผู้ที่ใช้งานระบบโดยตรง แต่เป็นผู้ควบคุมดูแลระบบงานวิศวกรรมให้สามารถทำงานเพื่อให้บริการทางการแพทย์ได้ หรือปรับแต่งให้มีความเหมาะสมกับสภาพการใช้งาน หรือตามที่กฎหมายกำหนด ผู้ใช้งานกลุ่มนี้ ได้แก่ วิศวกร ช่างเทคนิค และฝ่ายชีวอนามัยของโรงพยาบาล
3. **กลุ่มผู้ให้บริการในการดูแลรักษาระบบ** ซึ่งเป็นบุคคลหรือองค์กรที่มีความรู้ความสามารถหรือมีอุปกรณ์เครื่องมือเฉพาะ ที่จะช่วยสนับสนุนกลุ่มผู้ควบคุมดูแลรักษาระบบงานวิศวกรรมได้ (โดยปกติแล้วจะอยู่ในรูปแบบการว่าจ้าง) ทั้งนี้จะทำงานภายใต้เงื่อนไขและการควบคุมดูแลของผู้ควบคุมดูแล ตัวอย่างของผู้ที่เกี่ยวข้องในกลุ่มนี้ ได้แก่ บริษัทที่รับบริการบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย การผลิตน้ำสะอาด การกำจัดขยะติดเชื้อ การทำความสะอาดผ้า เป็นต้น
4. **กลุ่มผู้ออกแบบและผู้รับเหมาในการติดตั้ง/ปรับปรุงระบบ** เป็นผู้ออกแบบระบบงานวิศวกรรมที่ติดตั้งอยู่เดิม, บุคคลที่ทำหน้าที่ในการติดตั้งระบบวิศวกรรมใหม่, หรือปรับเปลี่ยนระบบงานวิศวกรรมที่มีอยู่เดิม โดยกลุ่มผู้ควบคุมดูแลรักษาระบบงานวิศวกรรมมีหน้าที่ที่จะต้องทำงานร่วมด้วย ทั้งในรูปแบบของการให้ข้อมูล การควบคุมดูแลการติดตั้ง/ปรับปรุง หรือเฝ้าติดตามการทำงานของระบบที่ได้ติดตั้ง/ปรับปรุงไปแล้ว
5. **กลุ่มผู้ใช้บริการในพื้นที่โรงพยาบาล** ได้แก่ คนไข้ ญาติ หรือบุคคลที่เข้ามาติดต่อในพื้นที่โรงพยาบาลที่อาจเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบงานวิศวกรรมทางใดทางหนึ่ง ผู้ที่เกี่ยวข้องในกลุ่มนี้จะมีความเกี่ยวข้องในลักษณะเดียวกับกลุ่มผู้ใช้งานเพื่อการให้บริการสุขภาพของโรงพยาบาล แต่จะมีความเกี่ยวข้องกับระบบงานวิศวกรรมเพียงช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น

หนังสือเล่มนี้ มีเนื้อหาเพื่อสร้างความเข้าใจให้กับกลุ่มควบคุมดูแลรักษาระบบงานวิศวกรรมเป็นหลัก เนื่องจากผู้ควบคุมดูแลรักษาในกลุ่มนี้จำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงระบบงานที่มีอยู่ เพื่อสร้างสภาวะแวดล้อมที่ดีให้กับบุคลากรทางการแพทย์และผู้ใช้บริการทางการแพทย์ โดยสอดคล้องกับหลักวิศวกรรมหรือข้อกำหนดทางกฎหมาย นอกจากนั้นยังจำเป็นต้องเข้าใจถึงความต้องการของบุคลากรทางการแพทย์ที่มีต่อระบบงานวิศวกรรม โดยในขณะเดียวกันก็จำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงข้อจำกัดหรือศักยภาพของระบบที่มีอยู่ เพื่อใช้ในการกำหนดรูปแบบการให้บริการทางวิศวกรรมที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้แม้ว่าผู้ควบคุมดูแลรักษาอาจจะไม่สามารถที่จะดำเนินการปรับตั้ง/เปลี่ยนแปลงระบบเองทั้งหมดได้ แต่ก็ควรที่จะมีความเข้าใจในระบบงานวิศวกรรม ที่จะสามารถสื่อสารหรือทำงานร่วมกับผู้ให้บริการดูแลรักษาระบบวิศวกรรม, ผู้ออกแบบ, หรือผู้รับเหมาในการติดตั้ง/ปรับปรุงระบบด้วย

ระบบวิศวกรรมในโรงพยาบาลนั้น หลาย ๆ ระบบมีความคาบเกี่ยวกับทั้งผู้ดูแลรักษา ผู้ออกแบบ หรือแม้แต่ผู้ใช้งานระบบที่เป็นผู้บริการทางการแพทย์ เช่น ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ หรือระบบก๊าซทางการแพทย์ ระบบที่ถูกเลือกมาอธิบายในหนังสือเล่มนี้ จะเน้นในส่วนที่กลุ่มผู้ดูแลรักษาต้องทราบเป็นหลักก่อน เครื่องมือแพทย์ที่ถูกใช้เพื่อให้บริการทางการแพทย์เป็นการเฉพาะที่การดูแลบำรุงรักษาจะดำเนินการโดยบุคลากรทางการแพทย์เอง (หรือบริษัทที่ดูแลเครื่องมือแพทย์เป็นการเฉพาะ) จะไม่ถูกกล่าวถึงในที่นี้ เช่น ระบบฟอกไต หรือเครื่องมือแพทย์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในการทำกายภาพ ด้วยเหตุนี้ การแบ่งเนื้อหาในหนังสือเล่มนี้จะจัดกลุ่มเนื้อหาอิงระบบงานวิศวกรรมมากกว่าตามพื้นที่ให้บริการทางการแพทย์ ยกเว้นว่ามีรายละเอียดที่จำเป็นต้องกล่าวถึงเป็นการเฉพาะ เนื้อหาที่เลือกนำมาอธิบายในหนังสือเล่มนี้ เน้นการสร้าง ความเข้าใจ มากกว่านำไปออกแบบระบบ หนังสือเล่มนี้จึงอาจไม่เหมาะกับกลุ่มผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมาที่อาจต้องการรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับระบบมากกว่าที่หนังสือเล่มนี้นำมาแสดง อย่างไรก็ตามหนังสือเล่มนี้ ยังมีความเหมาะสมสำหรับวิศวกร ช่างเทคนิค เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย หรือผู้สนใจ (รวมถึงนักศึกษาในสาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์หรือชีวอนามัย) ในการทำความเข้าใจระบบวิศวกรรมในโรงพยาบาลเบื้องต้นด้วยเช่นกัน

คำถามท้ายบท

1. จงอธิบายว่า เหตุใดจึงมีวิธีการแบ่งประเภทสถานพยาบาลหลากหลายวิธีการ

บทที่ 2

ระบบงานวิศวกรรมอาคารพื้นฐาน

2.1 ระบบไฟฟ้า (electrical systems)

2.1.1 ระบบส่งกำลังไฟฟ้า (power distribution system)

ระบบส่งกำลังไฟฟ้าในอาคารหนึ่ง ๆ เริ่มจากการรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเข้าสู่ตัวอาคาร ในกรณี que อาคารมีความต้องการกำลังไฟฟ้ามากโดยปกติจะรับไฟฟ้าผ่านสายส่งแรงดันสูงที่จะต่อกับหม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) เฉพาะของตัวอาคารเอง โดยจะทำหน้าที่แปลงกำลังงานไฟฟ้าจากแรงดันสูงลงมาแรงดันไฟฟ้าต่ำ (แรงดันไฟฟ้าปกติจะมีค่า 240/415 โวลต์ หรือ 230/400 โวลต์หรือ 220/380 โวลต์ ทั้งนี้แรงดันตัวแรกแทนขนาดแรงดันเฟสเดียว ส่วนแรงดันตัวหลังเป็นขนาดแรงดันสามเฟส) อย่างไรก็ตามหากอาคารไม่ได้ต้องการกำลังไฟฟ้ามาก อาจไม่จำเป็นต้องมีหม้อแปลงเฉพาะก็ได้ (จะใช้สายส่งที่ผ่านหม้อแปลงในระบบของการไฟฟ้าแทน) สำหรับหม้อแปลงที่นิยมใช้ในอาคารมี 2 ประเภท (รูปที่ 2-1)

- หม้อแปลงแบบน้ำมัน (oil type transformer) เป็นหม้อแปลงที่นิยมติดตั้งภายนอกอาคาร ภายในหม้อแปลงใช้น้ำมันที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนในการป้องกันประกายไฟ (ที่อาจเกิดขึ้นในกรณีที่เหตุผิดพลาดหรือลัดวงจร) และระบายความร้อน หม้อแปลงชนิดนี้มีราคาถูก แต่อาจมีความชื้นเข้าไปได้ ซึ่งเมื่อมีความชื้นเข้าไปหม้อแปลงในระดับหนึ่งอาจทำให้เกิดการระเบิดของหม้อแปลงได้
- หม้อแปลงแบบแห้ง (dry type transformer หรือที่นิยมจะเป็นแบบ cast-rasin type transformer) เป็นหม้อแปลงที่นิยมติดตั้งภายในอาคาร โดยไม่มีการระบายความร้อนสู่อากาศโดยตรง (อาจมีพัดลมระบายความร้อนช่วย) สำหรับหม้อแปลงแบบ cast-rasin จะหล่อเรซินรอบขดลวดทองแดงเพื่อลดการสัมผัสอากาศโดยตรง

การใช้งานหม้อแปลงในทางปฏิบัตินั้น หม้อแปลงจะมีค่าการสูญเสียในแกนเหล็กหรือขดลวดตลอดเวลา โดยปกติแล้วหม้อแปลงจะมีประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าที่ดีที่สุดที่ภาระไฟฟ้าระดับหนึ่ง โดยปกติมีค่าประมาณ 60% ดังนั้นโดยปกติแล้วหม้อแปลงจะไม่ถูกออกแบบให้ทำงานที่ค่าเต็มพิกัดที่ 100% ของภาระ ซึ่งแม้หม้อแปลงจะยังคงสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ แต่ก็จะมีค่าสูญเสียที่สูงมากเช่นกัน การใช้หม้อแปลงที่ติดตั้งภายในอาคารนั้นโดยปกติจะต้องมีการใช้ร่วมกับอุปกรณ์ ring main unit (RMU) ที่จะติดตั้งที่ต้นทางก่อนเข้าหม้อแปลง (สายจากการไฟฟ้าจะเข้าที่ RMU ก่อน) มีหน้าที่ตัด/เชื่อมต่อสายส่งกำลังไฟฟ้าเข้าสู่หม้อแปลง (ลักษณะการทำงานเหมือน switch gear) โดยอุปกรณ์ RMU จะมีคุณสมบัติในการป้องกันการอาร์ค (arc) ที่ทำให้หน้าสัมผัสละลายอันเนื่องมาจากการตัด/เชื่อมต่อสายส่งกำลังที่มีกระแสสูง โดยมีจะมีการเติมก๊าซที่ป้องกันการสัมผัสกับออกซิเจน เช่น SF_6 ตัวอุปกรณ์ RMU อาจถูกติดตั้งภายในหรือนอกอาคารก็ได้ขึ้นกับประเภทของหม้อแปลงที่ใช้



รูปที่ 2-1 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบน้ำมัน

ภายหลังจากที่หม้อแปลงถูกแปลงให้เป็นแรงดันที่สามารถใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปได้แล้วนั้น สายส่งกำลังจะถูกเดินต่อไปยังตู้ main distribution board (MDB) (รูปที่ 2-2) ซึ่งเป็นตู้ควบคุมหลักของอาคาร ตู้ MDB จะประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมการตัด/จ่ายไฟฟ้า (circuit breaker) หลายชุด ที่โดยปกติอุปกรณ์ควบคุมแต่ละชุดจะถูกออกแบบให้ควบคุมแยกตามพื้นที่ (เช่น อาคาร ก หรือ อาคาร ข) หรือแยกตามประเภทระบบไฟฟ้า (เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบจ่ายไฟฟ้าย่อย) อุปกรณ์ที่ใช้ในตู้ MDB จะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานกับกระแสไฟฟ้าสูงได้ มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพื่อตรวจความผิดปกติ เช่น มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเจ้าหน้าที่ที่มีหน้าที่รับผิดชอบโดยปกติแล้วจะต้องเข้าตรวจสอบเป็นประจำทุกวัน ในแต่ละวงจรควบคุมของตู้ MDB จะมีการลากสายส่งกำลังออกไป โดยอาจถูกนำไปจ่ายยังอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรงหรือถูกนำไปจ่ายต่อไปให้กับตู้ local distribution board (LDB) ซึ่งถือเป็นตู้ไฟฟ้าย่อยที่มีความสำคัญน้อยลงมา และเนื่องจากตู้ LDB นั้นเป็นตู้ไฟฟ้าย่อยที่มีความสำคัญรองลงมา การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมหรืออุปกรณ์ตรวจสอบ

ความผิดปกติในตู้ LDB นั้นจึงอาจมีหรือไม่มีก็ได้ สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานผ่านปลั๊กไฟของอาคาร เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ (ในบางครั้งเรียกว่า power system หรือ power line system) โดยปกติแล้วจะถูกต่อเข้ากับตู้ LDB (ไม่ต่อตรงไปยังตู้ MDB) อาจมีการแบ่งวงจรย่อยตามแต่ลักษณะการใช้หรือลักษณะพื้นที่ สาเหตุที่ถูกต่อเข้ากับตู้ LDB นั้นเนื่องจากมีความเสี่ยงที่จะเกิดความผิดพลาดในระบบไฟฟ้าได้ง่าย ควบคุมการใช้งานได้ยาก ซึ่งหากเกิดเหตุที่ไม่พึงประสงค์จะทำให้ circuit breaker ที่เป็นอุปกรณ์ตัดไฟของวงจรนั้นที่ติดตั้งอยู่ในตู้ LDB ทำงาน ซึ่งจะทำให้หยุดการจ่ายไฟฟ้าเฉพาะกับอุปกรณ์ในวงจรนั้น ๆ วงจรส่วนอื่น (ที่อยู่คนละวงจร) ยังสามารถทำงานต่อไปได้



รูปที่ 2-2 main distribution board (MDB)

อีกอุปกรณ์หนึ่งซึ่งมีความจำเป็นเช่นกัน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ไม่ต้องการให้เกิดความเสี่ยงในการขาดไฟฟ้าใช้งานเป็นระยะเวลานาน คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) (รูปที่ 2-3) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกออกแบบให้สามารถรองรับภาระไฟฟ้า “ที่จำเป็น” ไม่ใช่ “ทั้งหมด” โดยจะถูกออกแบบให้มีขนาดการผลิตไฟฟ้าเพียงพอ รวมถึงออกแบบให้มีปริมาณถึงน้ำมันที่สามารถบรรจุน้ำมันได้มากพอต่อการใช้งานด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบส่งกำลังไฟฟ้าหลักผ่านตู้ MDB และผ่านตัวอุปกรณ์ automatic transfer switch (ATS) ที่จะทำหน้าที่เชื่อมวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบจ่ายไฟฟ้าหลักและตัดวงจรจากการไฟฟ้าฯ ออกเมื่อตรวจพบว่าไม่มีการจ่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ เข้าสู่ระบบ และจะตัดวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกและเชื่อมวงจรจากการไฟฟ้าฯ คืบ เมื่อตรวจพบว่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ มาเป็นปกติแล้ว อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะไม่สามารถพร้อมจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ทันทีที่เริ่มเดินเครื่อง โดยปกติอาจต้องการเวลาอย่างน้อย 1-2 นาทีในการทำงานก่อน ซึ่งหมายถึงตัวอาคารจะไม่สามารถมีไฟฟ้าทดแทนได้ทันทีในช่วงเวลาสั้น ๆ นอกเหนือจากนั้นเนื่องจากการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยปกติจะไม่ออกแบบให้รองรับภาระไฟฟ้าทั้งหมดในอาคาร ทำให้การแบ่งวงจรในตู้ MDB จะต้องกำหนดให้มี

วงจรพิเศษที่จะสามารถรับกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เมื่อไม่มีไฟฟ้าจากการไฟฟ้า วงจรพิเศษนี้ในบางครั้งเรียกว่า emergency line ปกติจะจ่ายให้กับอุปกรณ์ที่มีความสำคัญเป็นพิเศษ เช่น ศูนย์คอมพิวเตอร์ ตู้เย็นเก็บตัวอย่างทางการแพทย์หรือเก็บยา หรือไฟฟ้าแสงสว่างเฉพาะบางวงจรที่สำคัญ เช่น ไฟแสงสว่างในทางเดิน (แต่จะไม่จ่ายให้วงจรไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่สำนักงานซึ่งมีความสำคัญน้อยกว่า) เป็นต้น



รูปที่ 2-3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สำหรับลักษณะการใช้งานในบางพื้นที่นั้นอาจต้องการให้มีไฟฟ้าตลอดเวลา (ไม่สามารถรอช่วงเวลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังเตรียมการเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าได้) รวมถึงต้องการการป้องกันกำลังไฟฟ้าที่สม่ำเสมอ มีเสถียรภาพในระบบไฟฟ้าสูง พื้นที่เหล่านั้นจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ uninterruptible power supply (UPS) มาร่วมด้วย UPS มีหน้าที่ในการสำรองไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถจ่ายไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องได้ทันทีที่ระบบไฟฟ้าหลักหยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้า (ในกรณีที่นำ UPS ไปใช้ร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า UPS จะช่วยให้อุปกรณ์ยังคงทำงานต่อไปได้จนกระทั่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพร้อมในการจ่ายกำลังไฟฟ้าทดแทน UPS จึงหยุดจ่ายไฟฟ้าจากตัวอุปกรณ์ไปใช้พลังงานสำรองจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแทน) UPS นั้นไม่ใช่เป็นเพียงเครื่องสำรองไฟฟ้าเท่านั้น UPS ยังช่วยในการป้องกันความไม่สม่ำเสมอของระบบการจ่ายไฟฟ้า (surge suppressor) ป้องกันสัญญาณรบกวนที่มาทางสายส่งไฟฟ้า รวมถึงเป็นอุปกรณ์ตัดไฟฟ้ากระแสเกินได้อีกด้วย เทคโนโลยีของ UPS มีหลากหลาย ระบบสำรองไฟฟ้า UPS ขนาดเล็กและขนาดใหญ่อาจมีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิงก็ได้ ซึ่งทำให้การบำรุงรักษา UPS จึงอาจแตกต่างกันไปตามแต่ละขนาดของ UPS และเทคโนโลยีที่ใช้ของผู้ผลิต

2.1.2 ระบบแจ้งเตือนอัคคีภัย (fire alarm system)

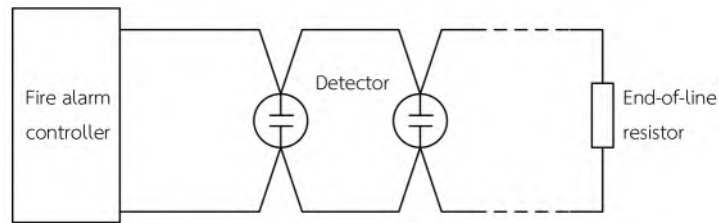
ระบบแจ้งเตือนอัคคีภัยเป็นระบบที่ถูกออกแบบเพื่อตรวจสอบเหตุการณ์เพลิงไหม้หรือเหตุการณ์ก่อนที่จะเกิดเหตุเพลิงไหม้ และแจ้งเตือนให้ผู้อาศัยได้ทราบเพื่ออพยพหรือเพื่อให้เจ้าหน้าที่ผู้มีหน้าที่ดำเนินการดับไฟในขั้นต้นดำเนินการดับเพลิงเบื้องต้นก่อน อุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบเหตุ (initiating devices) (หรืออุปกรณ์เริ่มสัญญาณ) มีหลายประเภทดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. **อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (heat detector)** โดยจะตรวจจากอุณหภูมิหรือจากรังสีความร้อน โดยปกติจะตรวจจับที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตัวอุปกรณ์มีทั้งแบบใช้ได้ครั้งเดียวกับแบบนำไปใช้ซ้ำได้ ซึ่งจะตรวจพบเหตุเมื่อเหตุเพลิงไหม้เกิดขึ้นเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว หรือกล่าวคือจะตรวจพบเมื่อความร้อนสะสมจนถึงจุดหนึ่งแล้ว
2. **อุปกรณ์ตรวจจับควัน (smoke detector)** เป็นอุปกรณ์ตรวจจับเหตุเพลิงไหม้จากควัน ซึ่งปกติจะเป็นอุปกรณ์แรกที่ตรวจพบเหตุเพลิงไหม้ก่อน
3. **manual pull station** เป็นอุปกรณ์แจ้งเตือนที่จะทำงานโดยการโยกโดยผู้ใช้งาน โดยปกติจะมีการติดตั้งแท่งแก้วไว้ข้างในเพื่อให้ทราบได้ว่าการดึงจริง (ป้องกันกรณีถูกดึงแล้วปล่อยคืนโยกคืนกลับ)
4. **sprinkler flow switch** เป็นอุปกรณ์ที่ตรวจจับการไหลของน้ำในท่อดับเพลิง หากมีการไหลแสดงว่ามีเหตุเพลิงไหม้เกิดขึ้น โดยปกติใช้ในระบบ sprinkler ดับเพลิง
5. **gate valve supervisory switch** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบสถานะของวาล์วของท่อดับเพลิง ซึ่งโดยปกติแล้ววาล์วจะต้องเปิดอยู่ตลอด แต่หากมีการปิดวาล์วระบบจะต้องแจ้งเตือนถึงความไม่พร้อมในการดับเพลิง
6. **สัญญาณจากอุปกรณ์อื่น** เช่น จากอุปกรณ์ตรวจจับควันในเครื่องจ่ายลมเย็น ซึ่งโดยปกติในการทำความเย็นนั้นอากาศในพื้นที่จะถูกดูดกลับไปยังเครื่องจ่ายลมเย็น หากพบควันในอากาศที่ดูดมาในเครื่องจ่ายลมเย็นจะหมายถึงมีบางพื้นที่อาจกำลังเกิดเหตุเพลิงไหม้อยู่ก็ได้ นอกจากนั้นอาจเป็นสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไหม้ของอาคารใกล้เคียง เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยได้รับรู้และเตรียมตัวอพยพ เป็นต้น

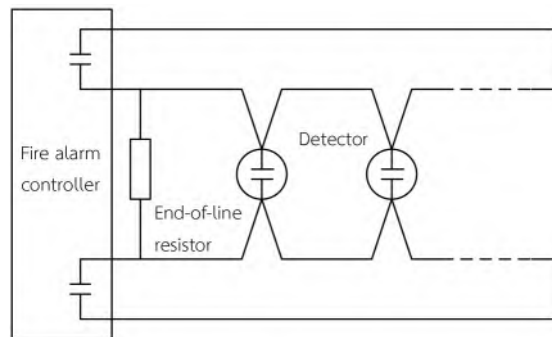
ความแม่นยำในการตรวจเหตุนั้นขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น คุณภาพการติดตั้ง ตำแหน่งที่ติดตั้ง layout ของการจัดห้องในพื้นที่ จำนวนอุปกรณ์ตรวจวัดในพื้นที่ เหตุการณ์ที่อาจทำให้การตรวจวัดผิดพลาด เช่น ควันจากการสูบบุหรี่ การฉีดยาฆ่าแมลง ควันหรือฝุ่นที่เกิดจากการทำความสะอาด เป็นต้น

สำหรับประเภทของอุปกรณ์ตรวจเหตุนั้นอาจแบ่งได้ 2 แบบ คือแบบ conventional device และแบบ addressable device อุปกรณ์แบบ conventional device นั้นมีลักษณะเป็นหน้าสัมผัสเพียงอย่างเดียวที่จะทำงานเมื่อพบความร้อนหรือควัน ในกรณีที่มีการพ่วงวงจรเข้ากับอุปกรณ์ตรวจจับตัวอื่น ๆ จะทำให้ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าเหตุเกิดบริเวณใด ระบุได้เพียงพื้นที่คร่าว ๆ ตามวงจรเท่านั้น เช่น เกิดเหตุในชั้น 3 แต่ไม่ทราบชัดเจนว่าตรงไหนของชั้น 3 แต่สำหรับอุปกรณ์แบบ addressable device แต่ละอุปกรณ์จะมี address เป็นของตัวเอง จึงทำให้เมื่อเกิดเหตุจะสามารถระบุตำแหน่งได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามที่อุปกรณ์ชนิดนี้ปกติจะมีราคาแพงกว่า วิธีการสังเกตเบื้องต้นระหว่างตัวตรวจจับแบบ conventional device และ addressable device นั้น อุปกรณ์แบบ addressable device ปกติจะมีไฟ LED กระพริบเป็นระยะ ๆ ทุกครั้งที่กระพริบคือกำลังอ่านค่าการทำงานอยู่ ในกรณีที่พบว่าไฟติดค้างอาจหมายถึงตรวจพบเหตุเพลิงไหม้หรือตัวอุปกรณ์อาจยังไม่พร้อมใช้งานอยู่ก็ได้ อนึ่งยังมีตัวตรวจจับที่ทำงานแบบ stand alone ด้วยเช่นกัน กล่าวคือในตัวอุปกรณ์จะมีแบตเตอรี่ เมื่อพบเหตุตัวอุปกรณ์จะเปล่งเสียงออกมาให้ทราบ อุปกรณ์ประเภทนี้เหมาะสำหรับการติดตั้งแบบง่าย หรือเดินสายวงจรไปได้ยากลำบาก หรือใช้ติดตั้งในพื้นที่ทำงานชั่วคราว เช่น ในพื้นที่แสดงชั่วคราวของงานนิทรรศการ เป็นต้น

สำหรับวงจรของเครือข่ายตัวตรวจจับเหตุแบบ conventional ที่นิยมใช้มี 2 แบบคือแบบ 2 เส้น (2-wire loop) และแบบ 4 เส้น (4-wire loop) วงจรแบบ 2 เส้น (รูปที่ 2-4ก) จะเชื่อมต่อตัวตรวจสอบเข้าเป็นวงจรเดียวกันและที่ปลายสายจะติดตั้งค่าความต้านทานค่าหนึ่งไว้สำหรับไว้ตรวจสอบสายขาด ดังนั้นหากอุปกรณ์เพียงตัวใดตัวหนึ่งทำงาน จะเปรียบเสมือนว่าอุปกรณ์ทุกตัวทำงาน (ดังนั้นจะไม่สามารถระบุตำแหน่งตัวที่ทำงานที่ชัดเจนได้) การเดินวงจรแบบนี้มีข้อเสียที่สำคัญอย่างหนึ่ง กล่าวคือหากสายสัญญาณขาด ณ จุดใดจุดหนึ่ง อุปกรณ์ตรวจจับเหตุที่ติดตั้งอยู่หลังจากจุดที่ขาดไป จะไม่สามารถใช้งานได้เลย จากข้อเสียนี้ทำให้เกิดรูปแบบวงจรที่ถูกปรับปรุงใหม่คือแบบ 4 เส้น (รูปที่ 2-4ข) ที่หากว่าแม้สายสัญญาณขาด ณ จุดใดจุดหนึ่ง ตัวควบคุม (fire alarm controller) จะสามารถตรวจสอบถึงความผิดปกติของวงจรได้และยังคงสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ตรวจสอบทุกตัวได้ อย่างไรก็ตามที่ระบบนี้รองรับเหตุการณ์ที่มีจุดสายขาดเพียง 1 จุดในวงจรเท่านั้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 2-4 วงจรสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจเหตุเพลิงไหม้ (ก) แบบ 2 เส้น (ข) แบบ 4 เส้น

ในส่วนของการแจ้งเตือนนั้น อุปกรณ์ที่พบได้ทั่วไปประกอบด้วย

1. **กระดิ่งเตือนภัย (alarm bell)** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แจ้งเตือนด้วยเสียง
2. **fireman telephone** เป็นเครือข่ายโทรศัพท์ที่ใช้ในการสื่อสารในพื้นที่ซึ่งพบได้ในบางอาคาร แม้ว่าในปัจจุบันระบบเครือข่ายโทรศัพท์ไร้สายในปัจจุบันจะสามารถทดแทนการใช้ fireman telephone ได้แล้วก็ตาม แต่ fireman telephone นั้นในบางครั้งก็ยังมีคามจำเป็นอยู่ เนื่องจากในบางพื้นที่จะเป็นพื้นที่ปิดที่อัปเดตสัญญาณไม่สามารถรับสัญญาณโทรศัพท์ได้ (หรือแม้แต่สัญญาณเครือข่ายอินเทอร์เน็ตก็ไม่สามารถรับได้) เช่น ในพื้นที่ชั้นใต้ดิน ห้องเครื่องใต้ดิน เป็นต้น
3. **สัญญาณไฟฟ้าสำหรับแจ้งเตือนไปยังระบบอื่น** เช่น อุปกรณ์ส่งสัญญาณด้วยหน้าสัมผัสไปยังระบบลิฟต์ (เพื่อปิดระบบลิฟต์ในระหว่างเกิดเหตุเพลิงไหม้) หรือส่งไปยังระบบปรับอากาศและระบบไฟแสงสว่าง (เพื่อหยุดการเติมออกซิเจนให้กับเพลิง และเพื่อส่องสว่างสำหรับช่วยในการอพยพ)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2-5 อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไหม้และอุปกรณ์แจ้งเหตุเพลิงไหม้

(ก) heat detector (ข) smoke detector (ค) manual pull station (ง) alarm bell

สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไหม้นั้น สำหรับพื้นที่ทั่วไปนั้น ควรมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ไม่เกิน 9 เมตร และห่างจากผนังไม่เกิน 4.5 เมตร แต่หากเป็นทางเดินที่กว้างไม่เกิน 3.6 เมตร ให้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ไม่เกิน 12 เมตร ในกรณีติดตั้งในพื้นที่ที่มีอัตราการระบายอากาศสูง (>15 ACH) ให้ติดตั้งโดยให้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ไม่เกิน 6.3 เมตร และห่างจากผนังไม่เกิน 3.15 เมตร⁴

2.1.3 ระบบป้องกันฟ้าผ่า (lightning arrester)

ระบบป้องกันฟ้าผ่า (lightning arrester) เป็นระบบที่ต้องการป้องกันความเสี่ยงจากฟ้าผ่าที่อาจส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตและทรัพย์สิน ฟ้าผ่านั้นเกิดจากความต่างศักย์ระหว่างเมฆและพื้นดินที่มีมากพอทำให้เกิดการเบรคดาวน์ (breakdown) โดยสามารถเกิดภายในก้อนเมฆ (ปกติเกิด 50% ของทั้งหมด) ระหว่างก้อนเมฆด้วยกันเอง ระหว่างก้อนเมฆกับอากาศ และระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน (ปกติเกิด 45% ของทั้งหมด ซึ่งเป็นแบบที่ต้องการการป้องกัน) ยิ่งก้อนเมฆมีขนาดใหญ่ (ขนาดความลึกตั้งแต่ 3-4 กิโลเมตร) ก็จะมีโอกาสเกิดฟ้าผ่าได้ง่ายขึ้น ถ้าประจุของฟ้าผ่าอาจเคลื่อนที่จากก้อนเมฆ (ประจุลบ) ไปพื้นโลก (ประจุบวก) หรือเคลื่อนที่จากพื้นโลกขึ้นไปยังก้อนเมฆก็ได้ ซึ่งแบบหลังจะพบไม่บ่อยนัก

ระบบที่ใช้ในการป้องกันฟ้าผ่าที่เป็นที่นิยมคือระบบแท่งแฟรงกลิน (franklins) ซึ่งใช้แท่งตัวนำติดตั้งที่ส่วนบนของอาคาร (ซึ่งอาจเป็นแบบปลายแหลมหรือปลายทู่ก็ได้) (เรียกว่า “เสาหล่อฟ้า”) และเชื่อมต่อไปยังแท่งกราวด์ฟ้าผ่าที่ทำจากทองแดงที่ติดตั้งที่พื้นดิน โดยแท่งกราวด์จะต้องถูกติดตั้งห่างจากกราวด์ของระบบไฟฟ้าอย่างน้อย 1 เมตรและมีความยาวไม่ต่ำกว่า 2.4 เมตรโดยถูกตอกให้ลึกที่สุด (ให้ลึกจะถึงชั้นดินที่มีความชื้น) กรณีหัวต่อสายดินถูกยึดด้วยแรงกลหรือการขันยึด

⁴ มาตรฐานระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ พ.ศ. 2562 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

จุดต่อต้องอยู่พื้นดินเพื่อเลี่ยงการผุกร่อน โดยอาจทำเป็นบ่อปิดฝาก็ได้ รัศมีการป้องกันของแท่งแฟรงกลินจะครอบคลุมพื้นที่ทรงกลม (rolling sphere) ขนาดรัศมี 45 เมตรโดยประมาณ อีกระบบหนึ่งที่ใช้ในการป้องกันฟ้าผ่าคือการใช้กรงฟาราเดย์ (faraday cage) ที่เป็นการสานตัวนำให้เป็นตะแกรงตาข่าย (mesh) คลอบพื้นที่ที่ต้องการป้องกันและเชื่อมต่อลงกราวด์ฟ้าผ่า ทั้งนี้ในอาคารทั่วไปจะมีลักษณะเป็นกรงฟาราเดย์อยู่แล้วจากเหล็กโครงสร้างของตัวอาคาร อย่างไรก็ตามแล้ว อย่างไรก็ตามแล้ว กรงฟาราเดย์จะต้องใช้ร่วมกับแท่งแฟรงกลิน มีระยะการติดตั้งทุก ๆ 6-7.5 เมตรบนยอดของอาคาร โดยเสามีความสูงไม่ต่ำกว่า 60 เซนติเมตร เนื่องจากการใช้เหล็กโครงสร้างเพียงอย่างเดียวอาจมีประสิทธิภาพในการป้องกันไม่ดีพอ (ตาข่ายขนาด 5x5 ตารางเมตรมีประสิทธิภาพป้องกันร้อยละ 95 และตาข่ายขนาด 15x15 ตารางเมตรจะมีประสิทธิภาพป้องกันร้อยละ 90)

นอกเหนือจากระบบการป้องกันฟ้าผ่าข้างต้น ยังมีรูปแบบการป้องกันฟ้าผ่าอีกหลาย ๆ แบบที่ไม่ได้รับการรับรองมาตรฐานหรือยังไม่มีข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่พิสูจน์ได้อย่างชัดเจนว่ามีคุณภาพที่ดีกว่า เช่น แท่งล่อฟ้าอีเอสอี (early streamer emission, ESE) แท่งล่อฟ้าดีเอเอส (dissipation array system, DAS) แท่งเซมิคอนดักเตอร์ (semiconductor lightning eliminator) เป็นต้น



รูปที่ 2-6 lightning arrester/lightning rod

2.1.4 ระบบแสงสว่าง (lighting system)

ระบบแสงสว่างเป็นระบบที่มีความยุ่งยากในด้านการติดตั้งที่สุดระบบหนึ่งในระบบวิศวกรรมอาคารทั้งหมด เนื่องจากทุกพื้นที่มีความต้องการแสงสว่างที่สามารถควบคุมการเปิดปิดได้เองหรืออาจต้องการให้สามารถควบคุมการเปิดปิดผ่านห้องควบคุมได้ด้วย การเดินสายส่งกำลังและควบคุมระบบแสงสว่างจึงมีความยุ่งยากซับซ้อนเป็นอย่างมาก ระบบแสงสว่างยังเกี่ยวข้องกับแสงสว่างที่ต้องการ รูปแบบการส่องสว่าง ความยากง่ายในการทำความสะดวกหรือเปลี่ยนใหม่ด้วย สำหรับระดับความส่องสว่าง ณ พื้นผิวที่แสงตกกระทบจะถูกวัดด้วยความส่องสว่าง (illuminance) ที่มีหน่วยวัดเป็นลักซ์ (lux) (หรือลูเมน (lumen) ต่อตารางเมตร (lm/m^2) โดย 1 ลูเมนมีค่าความส่องสว่างประมาณเท่ากับค่าความส่องสว่างของแสงจากเทียนไข 1 เล่ม) โดยคำนวณมาจากฟลักซ์ความส่องสว่างต่อพื้นที่ อนึ่ง “ความส่องสว่าง” (illuminance) (หรืออาจเรียก “แสงสว่าง”) กับ “ความเข้มของการส่องสว่าง” (illuminous intensity) นั้นต่างกัน ความส่องสว่างจะพิจารณาจากพื้นที่ที่แสงตกกระทบ แต่ความเข้มของการส่องสว่างจะพิจารณาจากแหล่งกำเนิดแสง อย่างไรก็ตาม “ความส่องสว่าง” อาจถูกแทนที่ด้วยคำว่า “ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง” ก็ได้ นอกเหนือจากนั้น สำหรับคำว่า “ความสว่าง” (luminance) อาจมีความหมายที่ต่างไป กล่าวคือ “ความสว่าง” จะพิจารณาจากการสะท้อนกลับของแสงสว่างที่กระทบวัตถุ ดังนั้นวัสดุที่ต่างกัน สีที่ต่างกัน รวมถึงความเรียบของผิววัสดุ อาจให้ค่าความสว่างที่ต่างกันก็ได้

สำหรับค่าความส่องสว่างที่แนะนำในแต่ละประเภทพื้นที่การใช้งาน เป็นไปดังตาราง 2-1

ตาราง 2-1 ข้อกำหนดค่าความส่องสว่างที่แนะนำในแต่ละประเภทพื้นที่การใช้งาน (พื้นที่การใช้งานทั่วไปและงานสำนักงาน)

ลักษณะพื้นที่	ความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์)
ทางเข้า	
- ทางเข้าห้องโถงหรือห้องพักรอ	200
- โต๊ะประชาสัมพันธ์ โต๊ะติดต่อลูกค้า	400
- ป้ายโฆษณา	100
พื้นที่สัญจร	
- ทางเดินในพื้นที่สัญจรคนเบาบาง	20
- ทางเดินในพื้นที่สัญจรคนหนาแน่น	50
- บันได	50
ห้องฝึกอบรม ห้องบรรยาย	300
ห้องคอมพิวเตอร์	
- บริเวณทั่วไป	400
- บริเวณที่บันทึกและแสดงข้อมูล	600
ห้องธุรการที่มีการเขียน อ่าน	400
ห้องประชุม	300
โรงอาหารในพื้นที่ทั่วไป	200
ห้องครัว	
- พื้นที่ทั่วไป	200
- บริเวณที่ปรุงอาหารและทำความสะอาด	300
ห้องพักผ่อน	50
ห้องปฐมพยาบาล	
- ห้องพักรักษา	50
- ห้องตรวจรักษา	400
ห้องสุขา	100

ที่มา: กฎกระทรวง เรื่องกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549

สำหรับหลอดไฟที่สามารถเลือกใช้ได้นั้นมีได้หลายประเภท ซึ่งสามารถจัดกลุ่มได้เป็น 3 กลุ่ม

1. **หลอดไส้ (incandescent lamps)** เป็นหลอดที่พบได้ทั่วไป โดยเฉพาะในอดีต ลักษณะการทำงานภายในจะเป็นขดลวดซึ่งเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะทำให้เกิดความร้อนและทำให้เกิดแสงเปล่งสว่างออกมาได้ ปกติแล้วหลอดชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพการส่องสว่างต่ำ มีอายุการใช้งานสั้นและมีความร้อนสูงแต่มีราคาถูก หลอดประเภทนี้มีอีกหลายประเภทที่พบบ่อยได้แก่
 - 1.1 **หลอดทังสเตน (tungsten)** เป็นหลอดกลมธรรมดาที่พบได้ทั่วไป ปกติมีแสงมีสีไปทางส้ม
 - 1.2 **หลอดทังสเตนฮาโลเจน (tungsten halogen)** หรือมักเรียกว่าหลอดฮาโลเจน เป็นหลอดไส้ทังสเตนที่บรรจุก๊าซฮาโลเจนซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อยเข้าไปเพื่อให้อายุการใช้งานนานขึ้น
2. **หลอดคายประจุ (gas discharge lamps)** ลักษณะการทำงานนั้นจะสร้างกระแสอิเล็กตรอน (โดยบัลลาสต์) ให้วิ่งชนไอโลหะและก๊าซเฉื่อยที่บรรจุอยู่ในหลอดทำให้เกิดแสง ultraviolet (UV) ซึ่งเมื่อแสง UV กระทบการสารถือบข้างหลอดจะทำให้เกิดการเรืองแสง ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดประเภทนี้สูงกว่าหลอดไส้ มีอายุการใช้งานที่นานและมีความร้อนที่ต่ำกว่า จึงทำให้ได้รับความนิยมสูงสุดในปัจจุบัน หลอดประเภทนี้มีหลายแบบขึ้นกับสารที่บรรจุ อยู่ภายใน ดังต่อไปนี้
 - 2.1 **หลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent lamps)** เป็นการใส่สารฟลูออเรสเซนต์เคลือบผิวหลอด ปกติแล้วจะไม่เหมาะกับห้องที่มีความสูงมากกว่า 5-7 เมตร
 - 2.2 **หลอดโซเดียมความดันต่ำ (low-pressure sodium lamps)** ภายในจะบรรจุโซเดียม ก๊าซนีออน และอาร์กอน ทำให้แสงเป็นสีเหลืองเข้ม ซึ่งเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพ ในการส่องสว่างสูงสุด มีอายุการใช้งานนาน แต่มีความถูกต้องของสี (color rendering index หรือ CRI หรือเรียกว่า CIR R_a ก็ได้) แย่ที่สุด (ในบางครั้งมีค่าติดลบ) ซึ่งหมายถึงจะทำให้เห็นสีที่เพี้ยนไป มักนิยมใช้เป็นไฟถนนในบางพื้นที่
 - 2.3 **หลอดนีออน (neon lamps)** เป็นหลอดที่นำไปทำเป็นรูปหรือตัวอักษรในป้ายโฆษณา ภายในจะบรรจุก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดสีที่หลากหลาย เช่น ไฮโดรเจน (ให้กำเนิดแสงสีแดง) ฮีเลียม (ให้กำเนิดแสงสีเหลือง) โปรท (ให้กำเนิดแสงสีน้ำเงิน) เป็นต้น อย่างไรก็ตามหลอดชนิดนี้ไม่นิยมนำมาใช้ให้กำเนิดแสงสำหรับการส่องสว่าง

- 2.4 **หลอดคายประจุความดันสูง (high-pressure sodium lamps)** เป็นหลอดสีเหลืองไม่เข้ม ที่มีความถูกต้องของสีสูงกว่าหลอดหลอดโซเดียมความดันต่ำ แต่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างต่ำกว่าเล็กน้อย
- 2.5 **หลอดไอปรอท หรือ หลอดแสงจันทร์ หรือ หลอดเมอคิวรี (mercury-vapor lamps)** เป็นหลอดที่มีอายุการใช้งานนาน นิยมนำมาใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อต้องการความสว่างสูงและความถูกต้องของสีสูง เช่น ภายในอาคารโรงงาน หรือตามถนนที่ติดตั้งในที่สูง อย่างไรก็ตามหลอดชนิดนี้ต้องการบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ และจำเป็นต้องมีการอุ่นไส้ก่อน 4-7 นาทีก่อนการใช้งาน
- 2.6 **หลอดเมทัลฮาไลด์ (metal halide lamps)** เป็นหลอดที่ให้ค่าความถูกต้องของสีที่ดีมาก แต่มีอายุการใช้งานสั้น นิยมใช้ในห้างสรรพสินค้า สนามกีฬา
- 2.7 **หลอดอาร์คซีนอน (xenon arc lamps)** เป็นหลอดคายประจุชนิดพิเศษที่มีความถูกต้องของสีสูง มีกำลังวัตต์สูงมากเป็นพิเศษ (900-25,000 watt) แต่มีอายุการใช้งานสั้น (2,000 ชั่วโมง) เหมาะสำหรับใช้งานในโรงฉายภาพยนตร์
3. **หลอดไฟแอลอีดี (LED lamps)** เป็นหลอดไฟที่ใช้การผ่านกระแสไฟฟ้าให้กับสารกึ่งตัวนำซึ่งทำให้บริเวณรอยต่อ P-N junction ของสารกึ่งตัวนำเกิดการเปล่งแสงปกติมีขนาดเล็ก กำลังต่ำ (แต่สามารถนำหลอด LED จำนวนหลายๆ หลอดมาใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มกำลังส่องสว่างได้ เนื่องจากมีขนาดเล็กมาก) มีอายุการใช้งานที่นานมาก ความถูกต้องของสีสูง ความร้อนต่ำ ไม่มีรังสี UV และไม่ใช้ก๊าซหรือโลหะหนัก ปัจจุบันหลอดแอลอีดีเริ่มมีบทบาทในการนำมาใช้แทนที่หลอดประเภทอื่น ๆ แม้ว่าราคาจะค่อนข้างสูงอยู่ก็ตาม

ตัวอย่างของหลอดทั้งสามประเภทแสดงในรูปที่ 2-7 ทั้งนี้ประสิทธิภาพการส่องสว่างสามารถสรุปได้ดังตาราง 2-2



รูปที่ 2-7 (ก) หลอดทั้งสแตน (ข) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (ค) หลอด LED halogen

ตาราง 2-2 ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดประเภทต่างๆ

ชนิดของหลอด	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lumen/watt)	ความถูกต้องของสี (CRI color rendering index หรือ CIR R _a)	อายุการใช้งาน เฉลี่ย (ชั่วโมง)
หลอดทั้งสแตน	5-13	100%	1,000
หลอดฮาโลเจน	15-25	100%	2,000
หลอดฟลูออเรสเซนต์	60-100	50-70%	18,000
หลอดโซเดียมความดันต่ำ	120-200	0%	18,000
หลอดโซเดียมความดันสูง	80-150	24%	20,000
หลอดเมอคิวรี	65	45%	22,000
หลอดเมทัลฮาไลด์	60-90	60%	6,000-15,000
หลอดแอลอีดี	90	90%	60,000

นอกเหนือจากแสงสว่างแล้ว สิ่งที่ต้องพิจารณาอีกประการหนึ่งคืออุณหภูมิของสี ซึ่งหมายถึงสีที่เกิดจากการเผาไหม้วัตถุสีดำซึ่งมีการดูดซับความร้อนได้สมบูรณ์ด้วยอุณหภูมิที่กำหนด เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์คู่ไลต์ที่มีอุณหภูมิสี 6,500 องศาเคลวิน หมายถึง เมื่อเผาวัตถุสีดำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 6,500 เคลวิน วัตถุนั้นจะเปล่งแสงออกมาเป็นสีคู่ไลต์หรือขาวปนน้ำเงิน เป็นต้น ทั้งนี้ อุณหภูมิสีนั้นจะขึ้นกับประเภทของหลอด (หรือแหล่งกำเนิดแสง) เช่น

- เทียนไข มีอุณหภูมิสี 1,900 เคลวิน
- หลอดอินแคนเดสเซนต์ มีอุณหภูมิสี 2,800 เคลวิน
- หลอดฟลูออเรสเซนต์ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ
 - เดย์ไลท์ (daylight) มีอุณหภูมิสี 6,500 เคลวิน แสงขาวโพลนฟ้าที่สว่างที่สุด ช่วยกระตุ้นสายตา รู้สึกสดชื่น

- คูลไวท์ (cool white) มีอุณหภูมิสี 4,500 เคลวิน โทนขาวอมฟ้า ให้ความรู้สึกสะอาด เมื่อสะท้อนโลหะจะแวววาวดูทันสมัย
- เนเชอรัลไวท์ (natural white) มีอุณหภูมิสี 4,500-5,500 เคลวิน โทนธรรมชาติ คล้ายแสงแดด ใช้ได้ทั่วไป
- วอร์มไวท์ (warm white) มีอุณหภูมิสี 3,500 เคลวิน แสงสีส้ม ให้ความรู้สึกอบอุ่น ผ่อนคลาย

อุณหภูมิสีจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับความส่องสว่าง ดังนี้

- งานที่ต้องการความส่องสว่างสูงกว่า 500 ลักซ์ ควรใช้หลอด daylight
- งานที่ต้องการความส่องสว่าง 300 - 500 ลักซ์ ควรใช้หลอด cool white
- งานที่ต้องการความส่องสว่างต่ำกว่า 300 ลักซ์ ควรใช้หลอด warm white

หลอดที่มีอุณหภูมิสีต่ำควรใช้กับพื้นที่ที่ต้องการความส่องสว่างต่ำ ในทางตรงกันข้ามกับหลอดที่มีอุณหภูมิสีสูงควรใช้กับพื้นที่ที่ต้องการความส่องสว่างสูง ถ้าใช้หลอดที่มีอุณหภูมิสีต่ำกับความส่องสว่างสูง (เช่น ติดตั้งใกล้จุดที่ต้องการความสว่างหรือใช้หลอดไฟกำลังสูงหรือใช้หลอดไฟจำนวนมาก) จะรู้สึกจ้า และถ้าใช้หลอดที่มีอุณหภูมิสีสูงกับความส่องสว่างต่ำจะรู้สึกทึม

อย่างไรก็ดี ความส่องสว่างจากการเลือกใช้หลอดไฟ ยังขึ้นอีกหลาย ๆ ปัจจัย เช่น ขนาดกำลังไฟของหลอด (watt) ตำแหน่งติดตั้งของหลอดไฟและหลอดไฟที่อยู่ใกล้เคียง การเลือกใช้ชนิดของโคม รวมถึงความสะอาดของหลอดไฟและโคมด้วย

นอกเหนือจากหลอดไฟที่นำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการส่องสว่างข้างต้นแล้ว ยังมีระบบแสงสว่างที่นำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะด้วย เช่น

- การนำไปใช้เป็นป้ายแจ้งเส้นทางหนีไฟ (exit sign light) ที่ปกติจะพบที่เส้นทางหนีไฟหรือที่ประตูหนีไฟ อุปกรณ์เหล่านี้ปกติแล้วจะมีแบตเตอรี่ในตัวเพื่อให้ยังสามารถใช้งานได้แม้เมื่อระบบไฟฟ้าภายในอาคารถูกตัดอันเนื่องมาจากเหตุเพลิงไหม้
- การนำไปใช้เป็นไฟฉุกเฉิน (emergency light) ไฟฉุกเฉินจะทำงานเมื่อระบบไฟฟ้ามีปัญหา โดยมีวัตถุประสงค์ในการให้แสงส่องสว่าง อุปกรณ์เหล่านี้ปกติแล้วจะมีแบตเตอรี่ในตัว ส่วนใหญ่จะพบในพื้นที่บันไดหนีไฟ และเส้นทางหนีไฟ รวมถึงในพื้นที่สำนักงานที่มีผู้อยู่อาศัยมากหรือพื้นที่สำคัญ กำลังส่องสว่างของอุปกรณ์นี้มักจะสูง

- การนำไปใช้เป็นไฟแจ้งเตือนภายนอกสำหรับอากาศยาน (aircraft warning light) สำหรับอาคารที่มีความสูงมากกว่า 60 เมตร (ประมาณ 20 ชั้น) หลอดไฟที่นำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์นี้ มักจะเป็นหลอดที่มีกำลังส่องสว่างสูง เช่น หลอดแอลอีดี เนื่องจากจะต้องให้สามารถให้สังเกตได้ง่ายในเวลากลางคืน และเนื่องจากปกติจะติดตั้งบนเสาสูง การขึ้นไปเปลี่ยนหลอดจึงทำได้ยากจึงจำเป็นต้องใช้หลอดที่มีความทนทานต่ออากาศยานและมีอายุการใช้งานนานด้วย



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2-8 (ก) exit sign light (ข) emergency light (ค) aircraft warning light

2.1.5 ระบบควบคุมการเข้าออกประตู (access control system)

ระบบควบคุมการเข้าออกประตู (access control system) เป็นระบบที่ถูกติดตั้งในพื้นที่ควบคุมสำหรับจำกัดการเข้า (หรือออก) พื้นที่ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบมีหลายอุปกรณ์ซึ่งมีความหลากหลายตามลักษณะการใช้งาน อุปกรณ์ที่พบเห็นได้ทั่วไป ได้แก่ RFID (radio frequency identification) reader (สำหรับอ่านบัตร RFID หรือ RFID tag) magnetic-stripe reader (สำหรับอ่านบัตรแถบแม่เหล็ก) keypad reader (สำหรับให้กดรหัสเข้า) proximity reader (สำหรับอ่านบัตร proximity หรือ proximity tag) biometric reader (สำหรับอ่านลายนิ้วมือ หรือม่านตา) โดยส่วนใหญ่จะควบคุมการเข้าพื้นที่มากกว่าการออกพื้นที่ ซึ่งอาจใช้ร่วมกับ exit push button ในกรณีที่ต้องการให้ประตูเปิดจากด้านในก็ได้

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการล็อกประตูหรือตรวจสอบสถานะการล็อกประตู อาจเป็นแบบกระเดื่อง (electric door lock หรือ plunger) หรืออาจเป็นแบบแม่เหล็กก็ได้ (magnetic door lock) การสั่งให้ประตูล็อกอาจควบคุมจากอุปกรณ์ reader ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นหรืออาจสั่งการผ่านระบบควบคุมส่วนกลาง (ซึ่งจะต้องมีการติดตั้งชุดควบคุมเพิ่มเติม) สถานะของประตูจะถูกตรวจสอบจากเซ็นเซอร์ซึ่งอาจเป็นแบบเซ็นเซอร์แบบแม่เหล็ก (magnetic door switch) หรือเป็นแบบบอลสวิตช์ (ball door switch) สำหรับอาคารที่มีการควบคุมการเข้าออกของประตูที่มีเป็นจำนวนมาก

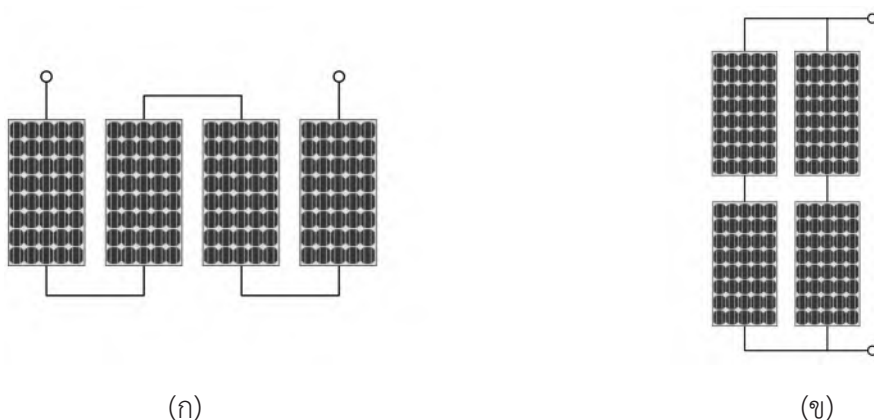
โดยปกติแล้วจะถูกเชื่อมโยงการทำงานเข้ากับระบบอาคารอื่น ๆ เช่น ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ เพื่อว่าในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินจะต้องปลดล็อคประตูทั้งหมดเพื่อให้อพยพ (fail safe) หรือล็อคประตูทั้งหมด (fail secure) หรืออาจเชื่อมโยงกับระบบแสงสว่าง เพื่อเปิดระบบแสงสว่างในพื้นที่เมื่อมีการเข้าพื้นที่ เป็นต้น

สำหรับประตูที่มีการใช้งานพิเศษจะมีระบบการควบคุมที่อาจต่างไปจากประตูปกติ เช่น ประตูม้วน (rolling shutter door) สำหรับควบคุมการเข้าออกในพื้นที่จอดรถหรือพื้นที่ขนถ่ายสินค้า (หรือขนถ่ายเงินสำหรับรถขนเงินในธนาคาร) ประตูอัตโนมัติ (automatic door) สำหรับตรวจสอบการเดินเข้าและเปิดประตูหรือปิดประตูให้โดยอัตโนมัติ (โดยปกติใช้ร่วมกับเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (motion sensor หรือ PIR sensor) ประตูที่ติดตั้งม่านอากาศ (air curtain door) สำหรับพื้นที่ปรับอากาศ สำหรับประตูที่มีการเปิดปิดบ่อย เพื่อใช้ลดปริมาณอากาศร้อนจากภายนอกเข้าสู่ตัวอาคารที่เป็นพื้นที่ปรับอากาศและลดปริมาณอากาศเย็นไหลออกไปสู่ภายนอก

2.1.6 ระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ (solar cell system)

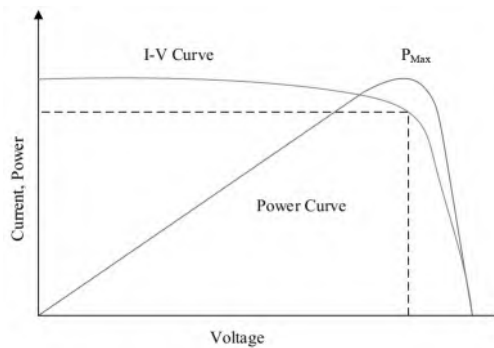
ระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ (ระบบโซลาร์เซลล์ (solar cell system) หรือบางครั้งเรียก photovoltaic system (PV system)) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยสารซิลิกอน (Si หรือ Silicon) ซึ่งเมื่อแสงอาทิตย์กระทบบนแผ่นซิลิกอนจะทำให้อิเล็กตรอนในสารซิลิกอนมีพลังงานที่จะเคลื่อนที่ออกจากอะตอม หากมีการวางชั้นของซิลิกอน (ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ) เป็นชั้นของ N-type semiconductor และ P-type semiconductor และมีการต่อวงจรไฟฟ้าจากชั้นทั้งสองนี้ อิเล็กตรอนจะวิ่งจากชั้น N-type semiconductor ไปยังชั้น P-type semiconductor หรืออาจกล่าวได้ว่าเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นนั่นเอง ในแต่ละชิ้นเล็ก ๆ ของสารซิลิกอนในแผงโซลาร์เซลล์จะเรียกว่า solar cell เมื่อหลาย ๆ solar cell นำมาต่อกันจะเรียกว่า solar module หรือ photovoltaic module (PV module) (ปัจจุบันนิยมเรียกในชื่อนี้มากกว่า) และเมื่อหลาย ๆ solar module นำมาต่อกันเป็นแผงขนาดใหญ่จะเรียกว่า solar array (อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติ นิยมเรียกว่า “solar cell” ทั้งที่เป็นชื่อเรียกที่ไม่ถูกต้อง ในปัจจุบันมักถูกเรียกว่า PV module, PV array, หรือ solar panel เช่นกัน) ทั้งนี้ solar array ที่นิยมขายในตลาดนั้นมีขนาดที่ไม่เป็นสากลนัก ทั้งขนาดของตัวแผงและจำนวนของ cell อย่างไรก็ดีส่วนใหญ่แล้วจะมีขนาด 60 และ 72 cell แต่ก็บางบริษัทที่ผลิตแบบ 96 และ 104 cell เช่นกัน ด้วยขนาดที่ขึ้นกับผู้ผลิต ทำให้ขนาดกำลังผลิตอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 250-460 W โดยแต่ละแผง solar array จะผลิตแรงดันไฟฟ้าในภาวะปกติในช่วง 40-60 โวลต์การนำ solar array แต่ละแผงมาต่ออนุกรมกันจะทำให้แรงดันจ่ายออกเพิ่มขึ้น แต่หากนำ solar array มาต่อขนานกันจะทำให้กระแสที่สามารถจ่ายได้สูงขึ้น (รูปที่ 2-9) การต่ออนุกรมนั้น

(มักถูกเรียกว่า string หรือ modules in series) จะทำให้กระแสที่วิ่งในสายไฟมีขนาดที่ต่ำกว่าทำให้การเลือกสายไฟสามารถเลือกขนาดที่เล็กกว่าได้ มีการสูญเสียในสายไฟต่ำกว่า รวมถึงการดูแลรักษาทำได้ง่ายกว่า (ประหยัดค่าใช้จ่าย) แต่ในกรณีที่ solar array ตัวใดตัวหนึ่งทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ จะส่งผลต่อการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ที่มากกว่าเมื่อเทียบกับแบบขนาน (มักถูกเรียกว่า array หรือ strings in parallel) การเลือกรูปแบบการติดตั้งจึงขึ้นกับงบประมาณและศักยภาพในการดูแลตรวจสอบการทำงานของระบบด้วย



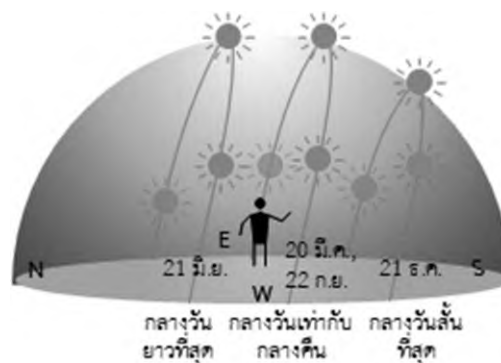
รูปที่ 2-9 รูปแบบการต่อ solar array (ก) แบบอนุกรม (string) (ข) แบบขนาน (array, parallel)

ลักษณะการทำงานของ solar array นั้น แรงแต้นและกระแสจะขึ้นกับปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์ (irradiance) ซึ่งมีหน่วยเป็น W/m^2 (ในกรณีที่กล่าวถึงความเข้มสะสมในช่วงเวลาหนึ่งจะเรียกว่า radiation ซึ่งมีหน่วยเป็น $\text{W/m}^2 \cdot \text{year}$) ในภาวะที่ความเข้มของแสงอาทิตย์สูงจะทำให้ solar array ผลิตแรงแต้นและกระแสได้สูง อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการผลิตยังขึ้นกับความสกปรกบนพื้นผิวหรือเงาที่อาจตกบนพื้นผิวรับแสง ภาระไฟฟ้าที่รับพลังงานจาก solar array จะทำให้แรงแต้นที่ผลิตได้เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน ซึ่งความสัมพันธ์ของแรงแต้นและกระแสสามารถอธิบายด้วย I-V curve (รูปที่ 2-10) เส้นกราฟ I-V นี้จะเปลี่ยนไปตามลักษณะของภาวะการใช้งานอื่นๆ ด้วย เช่น การชาร์จของ cell รับแสง เงาที่อาจตกบนพื้นผิวรับแสง หรืออาจเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอายุการใช้งาน หรืออุณหภูมิ ณ ขณะนั้น กราฟ I-V สามารถนำไปคำนวณต่อให้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับความดันใช้งานค่าต่าง ๆ (P-V curve) (กำลังไฟฟ้าเท่ากับผลคูณของแรงแต้นไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า) กราฟ P-V นี้มีประโยชน์อย่างมากโดยเฉพาะกับ inverter ในการปรับจุดแรงดันใช้งานที่เหมาะสม ที่จะทำให้ solar array สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด ซึ่งปกติจะเป็นแรงแต้น ณ มุมของเส้นกราฟ I-V นั้นเอง



รูปที่ 2-10 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส (I-V curve) และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับแรงดัน (P-V curve)

เป็นที่น่าสังเกตว่า solar cell อาศัยการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์จากคลื่นแสงอาทิตย์ ไม่ใช่จากความร้อนที่มากับแสงอาทิตย์ ความร้อนที่สูงจะทำให้ประสิทธิภาพของการรับแสงตกลง โดยอาจตกลงได้ถึง -0.45% ต่อองศาเซลเซียส (สำหรับประเภท monocrystalline หรือ polycrystalline) ถึง -0.24% ต่อองศาเซลเซียส (สำหรับประเภท thin-film) ความสกปรกเนื่องจากฝุ่นที่เกาะที่พื้นผิวหรือคราบน้ำ อาจทำให้ประสิทธิภาพตกลงได้ถึง 10-20% เช่นกัน ด้วยลักษณะที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความร้อนสูงทำให้ไม่ใช่เป็นประเทศที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ (ประเทศทางทวีปออสเตรเลียกับตอนเหนือของทวีปแอฟริกา จะมีประสิทธิภาพโดยรวมสูงที่สุด) (พิจารณาจากการสะสมของความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี) โดยประเทศไทยมีปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ 5 kWh/m² และเนื่องจากลักษณะการหมุนของโลก ทำให้ทิศทางที่เหมาะสมของการรับแสงอาทิตย์อาจเปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละช่วงวันในแต่ละปี (รูปที่ 2-11) ด้วยลักษณะนี้แผง solar array จึงควรหันไปทางทิศใต้โดยทำมุมประมาณ 15-20 องศา สำหรับการหันไปทางทิศเหนือจะให้ประสิทธิภาพที่แย่ที่สุด



รูปที่ 2-11 ตำแหน่งการขึ้นตกของดวงอาทิตย์ในรอบปี

การต่อใช้งาน solar array (รูปที่ 2-12) พลังงานที่ได้จากแผง solar array จะถูกนำไปชาร์จแบตเตอรี่ที่ถูกควบคุมด้วยชุดควบคุม (charge controller) ซึ่งแบตเตอรี่อาจเป็นแบบเปียกหรือแบบแห้งก็ได้ (กรณีที่เป็นระบบใหญ่จะเรียกว่า battery energy storage system, BESS) จากนั้นเมื่อระดับพลังงานในแบตเตอรี่มีเพียงพอจะถูกนำไปจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ค่าแรงดันที่ต้องการ (ส่วนใหญ่เป็นไฟฟ้าบ้าน) อินเวอร์เตอร์ (inverter) จะเป็นตัวควบคุมการจ่ายหรือตัดกระแสไฟฟ้าตามพลังงานที่มีเหลืออยู่ ในบางสถานที่ตัวระบบอาจติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าร่วมด้วย เนื่องจากโดยปกติแล้วตัว solar array จะติดตั้งบนที่สูง เช่น บนหลังคา ดาดฟ้า (solar rooftop) หรือบนพื้น (solar farm) การต่อแผง solar array นั้นอาจทำให้หลายรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2-12 รูปแบบ grid-connected type (หรือระบบ on-grid) เป็นรูปแบบที่มีการเชื่อมระบบ solar cell เข้ากับเครือข่ายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้า (grid) ด้วยลักษณะนี้ในช่วงเวลาที่ระบบ solar cell มีพลังงานที่ผลิตเกินความต้องการ พลังงานส่วนเกินจะจ่ายกลับให้การไฟฟ้า แต่เมื่อพลังไฟฟ้าไม่เพียงพอจะดึงไฟฟ้ามาจากการไฟฟ้ามาเติมแทน (เป็นที่สังเกตว่ามีเตอร์จะแยก 2 ตัวสำหรับรับและจ่าย เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่อนุญาตให้มีการรับจ่ายโดยตรงผ่านตัวมิเตอร์ได้ (อ้างอิงพระราชบัญญัติประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550 มาตรา 81, สิงหาคม 2566) แต่ปัจจุบันการไฟฟ้ากำลังอยู่ในระหว่างพิจารณาให้มีการเชื่อมโดยตรงได้อย่างอิสระ ซึ่งจะทำให้เหลือเพียงมิเตอร์ตัวเดียวที่เรียกว่า net meter ในอนาคต) แบตเตอรี่อาจนำมาใช้ร่วมกับระบบ grid-connected type ด้วยก็ได้เพื่อใช้เก็บพลังงานไว้และนำไปใช้เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์แล้ว สำหรับระบบ stand-alone นั้น ปกติเหมาะสำหรับพื้นที่ห่างไกลหรือมีการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่มาก ซึ่งจะใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ทำงานร่วมกับแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายของการไฟฟ้า (off-grid) โดยปกติแล้วนั้นระบบที่มีการเชื่อมต่อการไฟฟ้าจะต้องมีการขออนุญาตก่อน เพื่อให้การไฟฟ้าทราบและใช้จัดการระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีปัญหาในระบบส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งปกติแล้วการไฟฟ้าจะอนุญาตให้ติดตั้งได้โดยอิงจากขนาดหม้อแปลงในพื้นที่ (เช่น ไม่เกิน 10%) ซึ่งจากการเชื่อมต่อนี้จะสังเกตได้ว่าการไฟฟ้าตัดไฟฟ้าในระบบสายส่งแล้ว หากระบบ solar cell ยังมีการเชื่อมต่อกับสายส่งโดยยังสามารถจ่ายไฟย้อนกลับไปยังสายส่งได้ จะทำให้การไฟฟ้าไม่สามารถจัดการระบบสายส่งได้เลย การติดตั้งระบบ solar cell จึงต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดในการเชื่อมต่อของการไฟฟ้าและต้องได้รับการตรวจสอบหรือติดตั้งด้วยอุปกรณ์ที่ได้รับการรับรองแล้วเท่านั้น