รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ , 2538.

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ , 2538.

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. กฎกระทรวง การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (A2-A4). สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน : กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ชัยพร วงศ์พิศาล. การศึกษาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตสายไฟฟ้า วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2531.

ดรุณี อาชวานันทกุล. การศึกษาการประหยัดพลังงานของอุตสาหกรรมหนังเทียม วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2529.

ฐิตินันท์ ชัยพัฒนการ. การออกแบบระบบการวางแผนงานบำรุงรักษา : กรณีของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2536.

พงษ์ธร จรัญญาภรณ์. เทอร์โมไดนามิกส์. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด ,2521.

ไพบูลย์ หังสพฤกษ์. การถ่ายเทความร้อน มวล และโมเมนตัม '32. การประชุมทางวิชาการร่วมสาขา วิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมเคมี : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2532.

ไมตรี วรวุฒิจรรยากุล. ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1 : ภาควิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา , 2530.

วันชัย ริจรวนิช , ชอุ่ม พลอยมีค่า. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2532.

วันชัย แหลมหลักสกุล. การออกแบบระบบบำรุงรักษาเครื่องมือที่ใช้ในการแยกพลาสม่าโลหิต ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,2539.

ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์. เทคนิคการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , 2538.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ , จันทนา จันทโร . การศึกษาความเป็นไปได้ โครงการธุรกิจ และอุตสาหกรรม . โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2536.

ศุลี บรรจงจิตร. วิศวกรรมการส่องสว่าง. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) ,2538.

สงวน ตั้งโพธิธรรม. การศึกษาการใช้และการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,2529.

สมศักดิ์ สุโมตยกุล. เครื่องทำความเย็นและระบบปรับอากาศ. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2537.

อัครเดช สินธุภัค. การปรับอากาศ. : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2540.

ภาษาอังกฤษ

Energy Research and Development Center. Manual on Energy Conservation and Audit in Industries. Philippines : PNOC-Energy Research and Development , 1986.

Gatts , Robert R. , Robert G. Messey and John C. Robertson. Energy Conservation Program Guide for Industry and Commerce. Washington DC. : NBS Handbook , Department of Commerce , 1974.

Giovanni Petrecca. Industrial Energy Management : Principles and Applications. USA : Kluwer Academic Publishers ,1993.

Juntakan Taweekun. Energy Efficiency of Air Conditioning Systems in Commercial Building : Case of Thailand. : Thesis in School of Environment ,Resource and Development , AIT, 1996.

Peter F.Ryff. Electric Machinery New Jersey : Prentice-Hall Inc. , 1988.

Tang Ou. A Study of Energy Conservation in an Industry using Process Integration Approach. : Thesis in School of Mechanical Engineering , AIT, 1995.

Yunus A.Cengel, Michael A.Boles. Thermodynamics Singapore : McGraw-Hill Inc. ,1989.

Wayne C. Turner. Energy Management Handbook. Liburn GA30247 (US) : Fairmont Press Inc. , 1992.

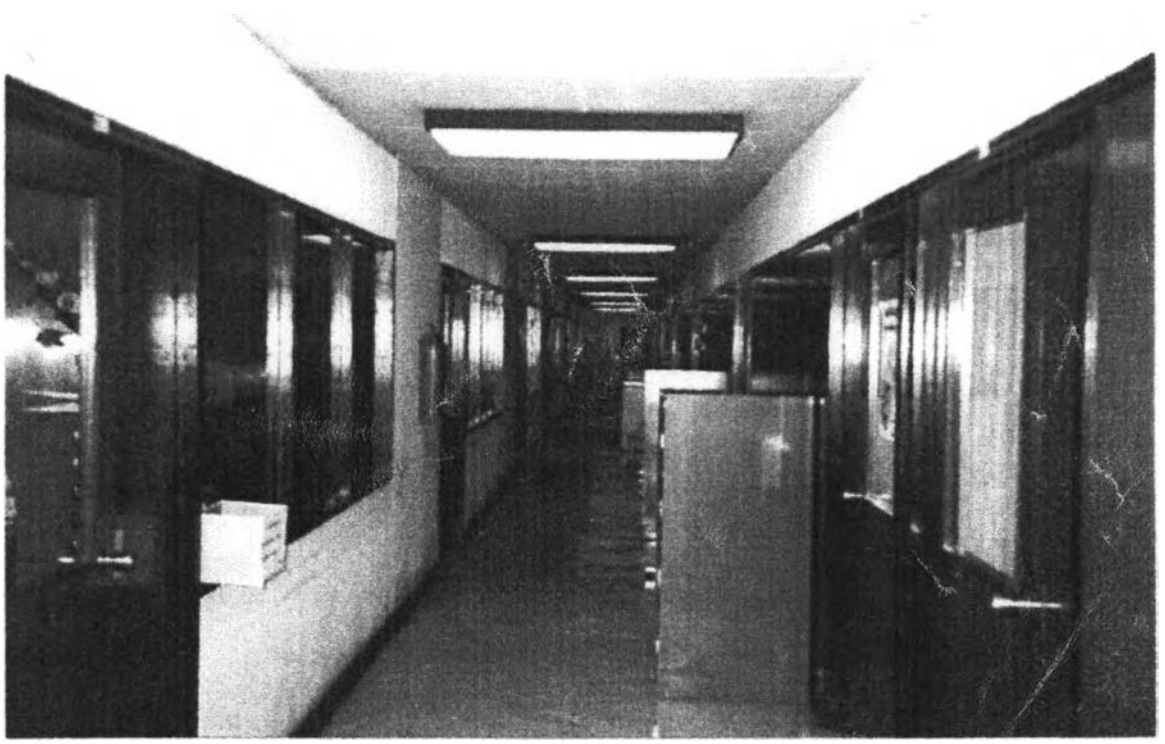
ภาคผนวก ก.

ภาพประกอบรายละเอียด
ของ ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย
และ อุปกรณ์เครื่องมือวัดต่าง ๆ

อาคารชั้นเดียว (อาคารรับบริจาคโลหิต)

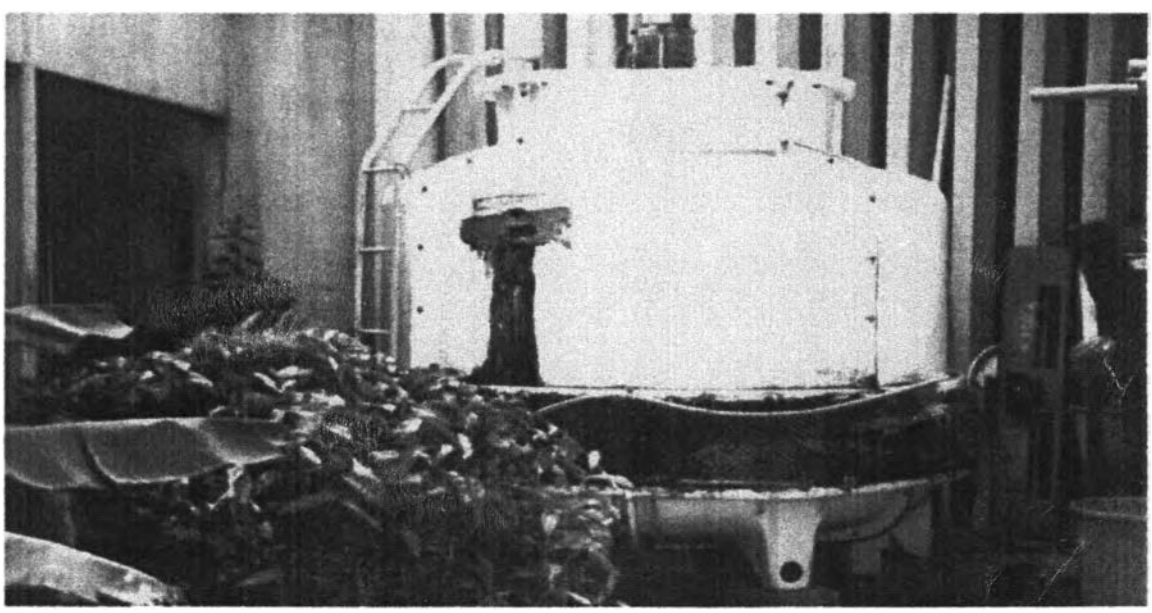
อาคาร 4 ชั้น (อาคารบริหาร)

ทางเดินภายในอาคารชั้นเดียว

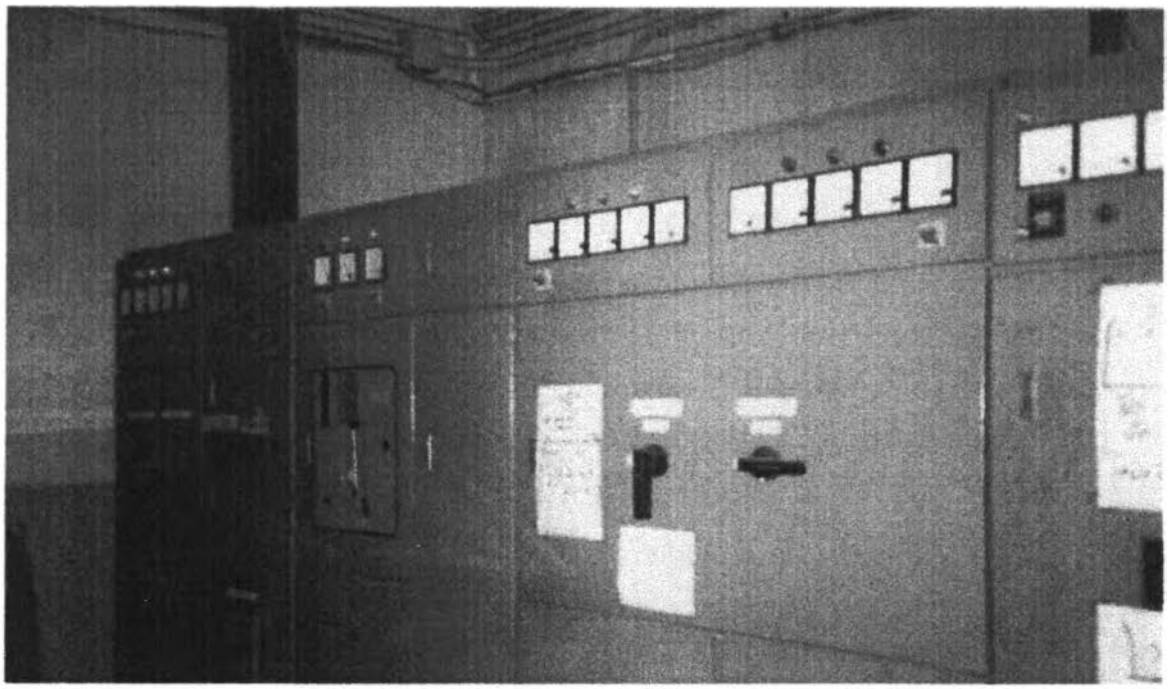


ทางเดินภายในอาคาร 4 ชั้น

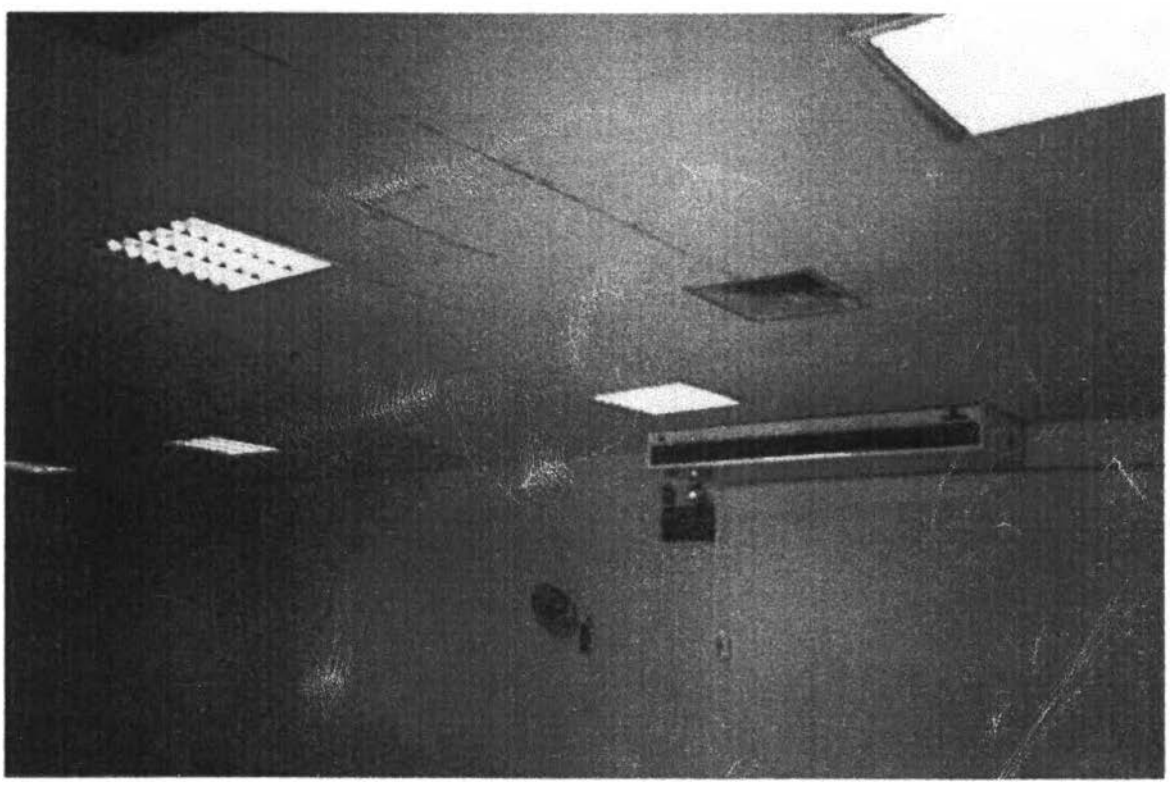
เครื่องสูบน้ำ



หอผึ่งน้ำ

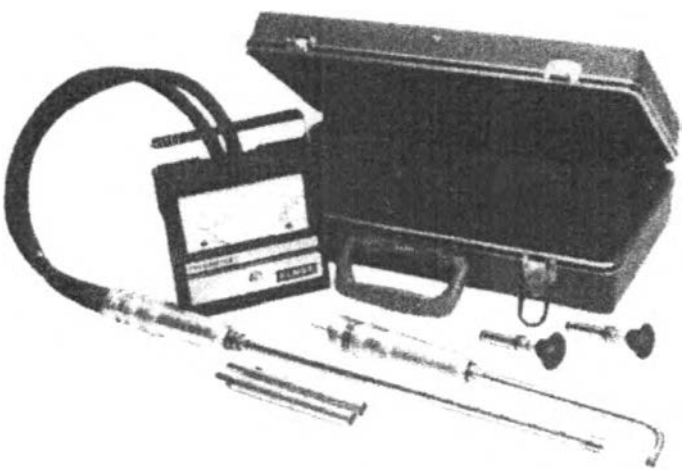


ตู้ควบคุมวงจรไฟฟ้ารวม

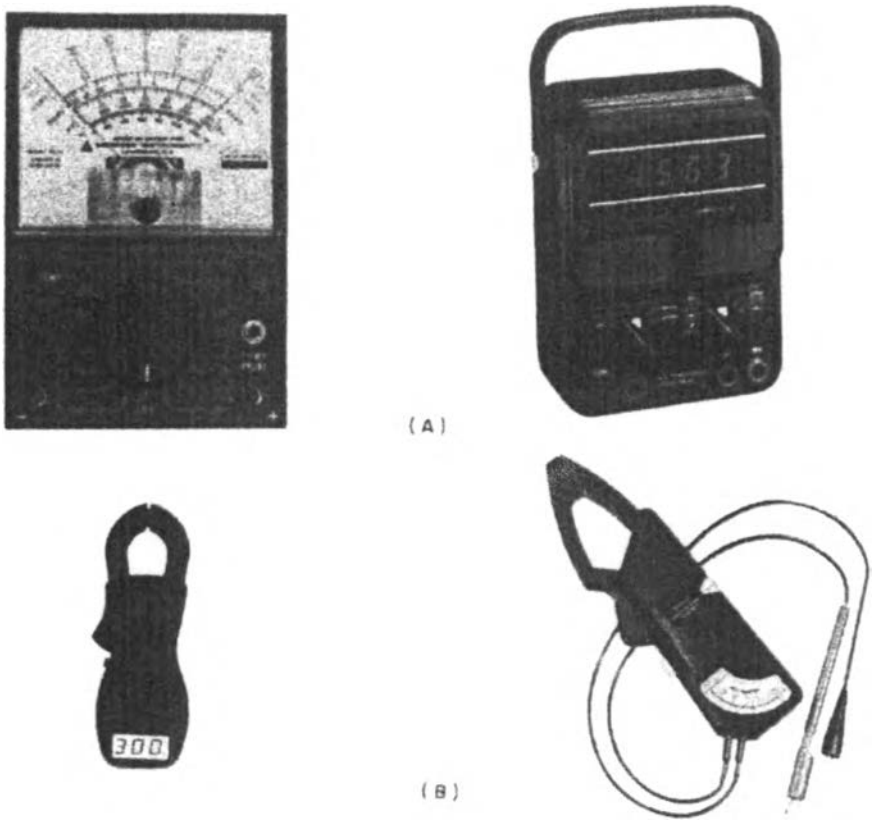


ลักษณะของระบบปรับอากาศ (ระบบรวม และ แยกส่วน)

ลักษณะของระบบส่องสว่าง



เครื่องมือวัดความเร็วลม



เครื่องมือวัดค่าทางกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ ข-1: Consumption / Installation / Generation and Line Loss

Items	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
1. Electric Consumption (Gwh)	28,253	32,834	38,342	43,398	49,304	56,279	62,510	71,225	77,354	82,429
2. National Grid Installed Capacity (MW)	6,997	7,366	8,745	9,707	11,732	12,734	13,075	14,912	16,513	17,805
3. Installed Capacity of Private Generation for Own Use (MW)	875	948	1,002	1,064	1,074	1,127	2,028	2,632	2,000	2,554
4. Peak Generation of National Grid (MW)	5,414	6,208	7,167	7,990	8,828	9,735	10,911	12,168	13,661	14,924
5. EGAT's Peak Generation (MW)	5,373	4,822	7,123	7,941	8,784	9,691	10,863	10,692	11,638	12,529
6. National Grid Generation (Gwh)	32,464	37,406	44,175	50,186	57,098	63,405	71,177	80,060	87,467	93,253
7. Population (Thousand)	54,961	55,888	56,303	56,961	57,789	58,336	59,095	59,460	60,116	60,816
8. Consumption per Capital (kWh/Capital)	514	587	681	762	853	965	1,058	1,198	1,287	1,355
9. Average Thermal Effeiciency at Sending End of National Grid (%)	37.95	37.95	36.5	34.44	36.61	37.47	37.43	37.79	35.5	35.58
10. Line Loss of National Grid (%)	10.21	9.97	10.56	10.77	10.32	8.15	9.65	8.12	8.69	8.67

ที่มาของข้อมูล : รายงานสรุปไฟฟ้าของประเทศไทย พศ. 2540 กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

ตารางที่ ข-2 : Electric Consumption by Sector

Unit : Gwh

Year	Residential	Commercial	Industrial	Agriculture	Other	Total
1988	6,253.50	8,847.60	12,951.80	67.4	132.4	28.252.7
1989	7,024.60	10,108.20	15,431.00	89.7	180.3	32,833.80
1990	8,087.60	11,982.80	17,928.00	96.2	247.6	38,342.20
1991	9,152.10	13,975.50	19,813.30	93.8	362.9	43,397.60
1992	10,258.80	18,049.10	20,406.10	117.6	472.1	49,303.70
1993	11,932.70	21,448.30	22,372.80	129.9	395.7	56,279.40
1994	12,893.80	20,116.60	28,920.10	95.7	484.2	62,510.40
1995	14,621.50	23,026.30	32,859.00	102.8	615.3	71,224.90
1996	16,047.40	25,782.40	34,645.30	124.4	754.8	77,354.30
1997	17,666.50	29,203.80	34,541.70	165.4	852	82,429.40

ที่มาของข้อมูล : รายงานสรุปภาวะการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย พศ. 2540 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ตารางที่ ข-3 : National Grid Generation by Types of Power Plants

Unit : Gwh

Year	Hydro	Thermal (Steam)	Gas Turbine	Combine Cycle	Diesel	Others	Total
1988	3,779.00	22,966.80	763.70	4,934.00	20.9	0.00	32,464.40
1989	5,570.80	25,961.30	786.70	5,077.80	10.3	0.00	37,406.90
1990	4,975.50	32,185.60	1,982.70	4,997.20	32.9	1.10	44,175.00
1991	4,586.50	32,265.40	8,303.80	5,010.10	19	1.10	50,185.90
1992	4,238.50	36,832.20	998.90	15,006.50	21	1.30	57,098.40
1993	3,700.10	38,827.40	1,111.10	19,743.30	21.6	1.30	63,404.80
1994	4,513.70	39,433.80	1,107.50	26,098.50	22.1	1.10	71,176.70
1995	6,712.90	43,220.50	2,062.20	28,020.30	43.1	1.20	80,060.20
1996	7,340.70	46,494.50	2,890.30	30,688.50	51.5	1.50	87,467.00
1997	7,199.80	45,527.90	2,597.70	37,865.80	60.5	1.60	93,253.30

ที่มาของข้อมูล : รายงานสรุปภาวะการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย พศ. 2540 กฟผ.

ตารางที่ ข-4 : National Grid Generation by Energy Sources

Unit : Gwh

Year	Hydro	Fuel Oil	Diesel Oil	Coal & Lignite	Natural Gas	Others	Total
1988	3,779.00	3,142.20	23.80	6,799.50	18,719.90	0.00	32,464.40
1989	5,570.80	4,738.80	23.40	7,878.60	19,194.80	0.00	37,406.90
1990	4,975.50	10,012.60	365.40	11,052.80	17,767.60	1.10	44,175.00
1991	4,586.50	12,636.40	125.50	13,036.50	19,799.90	1.10	50,185.90
1992	4,238.50	14,928.90	171.70	14,815.00	22,943.00	1.30	57,098.40
1993	3,700.10	17,494.50	751.90	13,503.80	27,953.20	1.30	63,404.80
1994	4,513.70	19,644.40	1,476.90	14,130..9	31,409.70	1.10	71,176.70
1995	6,712.90	21,714.60	2,688.10	14,779.60	33,899.50	1.20	80,060.20
1996	7,340.70	20,976.50	4,627.20	17,507.20	36,748.90	1.50	87,467.00
1997	7,199.80	19,303.60	2,486.50	18,924.60	43,179.20	1.60	93,253.30

ที่มาของข้อมูล : รายงานสรุปภาวะการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย พศ. 2540 กฟผ.

ตารางที่ ข-5 : Estimated Air Polutant Emissions by Types from Energy Consumption for Power Generation in 1997

Unit : Thousand Tons

ชนิดมลภาวะ	ปริมาณ
Carbon Dioxide	67,691
Carbon Monoxide	20
Nitrogen Oxide	226
Methane	3
Sulphur Dioxide	1,294
Suspened Particulate Matter	1,288

ที่มาของข้อมูล : รายงานพลังงานของประเทศไทย พศ. 2540
สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-6 : **ต้นทุนเฉลี่ยในการผลิตพลังงานไฟฟ้า**

Long Run Marginal Cost	Economic Term	
	B./kW.	B./kWh.
1. Marginal Capacity Cost		
Generation	46,866.07	0.744
Transmittion	9,573.30	0.255
Total	56,439.37	0.999
2. Marginal Energy Cost	0	1.033
Total	56,439.37	2.032

ที่มาของข้อมูล : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ภาคผนวก ค.

การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

หลักเบื้องต้นในการประหยัดพลังงาน

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ แหล่งพลังงานที่มีอยู่ในปัจจุบันมีจำกัด ดังนั้น มนุษย์จึงเรียนรู้วิธีการใช้อย่างประหยัด เพื่อให้มีเวลาเพียงพอสำหรับการวางแผนในอนาคต และพัฒนาแหล่งพลังงานอย่างอื่นมาใช้ทดแทนก่อนที่แหล่งพลังงานในปัจจุบันจะถูกใช้หมดไป เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทั้งหมดของหน่วยงาน จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานมีสัดส่วนค่อนข้างมาก ดังนั้น ผลการประหยัดพลังงานที่ได้จะหมายถึงการลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการซึ่งจะช่วยให้หน่วยงานมีทุนเหลือเพิ่มขึ้น สำหรับการใช้สอยในโครงการพัฒนาทางด้านอื่นที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์เครื่องจักรและกำลังคนเพื่อเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยประเทศชาติในการลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศตลอดจนชลอการลงทุนในส่วนของการผลิตไฟฟ้าอีกด้วย

ขั้นตอนในการดำเนินโปรแกรมที่เกี่ยวกับการประหยัดพลังงาน

มีขั้นตอนสำคัญอยู่ 5 ประการ ในการดำเนินโปรแกรมทางด้านการประหยัดพลังงานดังต่อไปนี้ คือ

1. <u>การตกลงใจที่จะดำเนินการจากฝ่ายบริหาร</u>

การตกลงใจที่จะดำเนินโปรแกรมประหยัดพลังงานจากระดับผู้ที่มีอำนาจตัดสินใจ จะเป็นปัจจัยสำคัญเบื้องแรกสำหรับการจัดทำโปรแกรมประหยัดพลังงาน ทั้งนี้จะต้องประกาศอย่างชัดเจนแก่พนักงานทั้งหมดว่าผู้บริหารนั้นเอาจริงกับการประหยัดพลังงาน ซึ่งสามารถจะดำเนินการได้โดยออกนโยบายในระยะเริ่มต้น เช่น "ฝ่ายบริหารของบริษัทนี้ได้ออกคำสั่งให้พยายามประหยัดพลังงานในทุกวิถีทางในสำนักงาน (หน่วยงาน) แห่งนี้เพื่อที่จะได้ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและผลการประหยัดที่ได้ทุกคนจะได้รับส่วนแบ่ง" คำกล่าวนี้จะต้องตามด้วยกิจกรรมต่าง ๆ ที่แสดงถึงความจริงใจและการเอาจริงเอาจังจากฝ่ายบริหาร ซึ่งการดำเนินงานที่จัดว่าสำคัญที่สุดในส่วนนี้คือ การแต่งตั้งบุคคลที่มีความสามารถให้รับผิดชอบในโปรแกรมการประหยัดพลังงานดังกล่าว

2. การแต่งตั้งผู้รับผิดชอบ

บุคคลที่ได้รับการแต่งตั้งจะต้องสามารถปฏิบัติหน้าที่ได้เป็นผลสำเร็จ และจะต้องได้รับความร่วมมือและสนับสนุนจากผู้จัดการ และหัวหน้าฝ่ายต่าง ๆ รวมทั้งพนักงานและลูกจ้างด้วยซึ่งเขาจะต้องเตรียมตัวเองสำหรับหน้าที่ความรับผิดชอบในตำแหน่งของผู้จัดการหรือเจ้าหน้าที่พลังงาน ทั้งนี้โดยการสมัครเข้าร่วมหลักสูตรสัมมนาฝึกอบรมทางด้านการประหยัดพลังงาน ในองค์กรขนาดใหญ่บุคคลที่เป็นผู้จัดการหรือเจ้าหน้าที่พลังงานผู้นี้จะถูกแต่งตั้งจากภายในหน่วยงานหรือจากภายนอก ในองค์กรขนาดเล็กหน้าที่ทางด้านการประหยัดพลังงานอาจเป็นหน้าที่เพิ่มเติมที่มอบหมายแก่เจ้าหน้าที่หรือหัวหน้างานที่มีอยู่แล้วในบริษัทนั้น ในหน่วยงานอื่น ๆ นอกจากนี้ ผู้ที่เป็นเจ้าของอาจรับผิดชอบทำหน้าที่นี้

3. ตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน

ในการดำเนินการประหยัดพลังงาน ข้อมูลประการแรกที่ผู้จัดการหรือเจ้าหน้าที่พลังงานจะต้องมี คือปริมาณและค่าใช้จ่ายของพลังงานที่ใช้ในหน่วยงานของเขา จากข้อมูลส่วนนี้เขาสามารถใช้วางแผนดำเนินงานในขั้นต่อไป โดยเริ่มที่จุดที่มีการใช้พลังงานมาก ในการตรวจสอบการใช้พลังงานในส่วนนี้เขาจะต้องแสวงหาจุดที่สามารถประหยัดได้ แต่ละจุดจะต้องศึกษาศักยภาพในการประหยัด ทำการวิเคราะห์ และรวบรวมเป็นรายงานผลการวิเคราะห์เสนอฝ่ายบริหาร ข้อสรุปของรายงานนี้จะต้องมีตารางที่แสดงถึงจุดต่าง ๆ ที่สามารถประหยัดได้ ค่าใช้จ่ายที่จะต้องใช้ในการดำเนินงาน ศักยภาพการประหยัดที่ได้ และระยะเวลาที่จะได้เงินลงทุนคืนมาจากการประหยัดเวลาดังกล่าว ระยะเวลาช่วงนี้เรียกว่า "ระยะเวลาคืนทุน" ข้อมูลต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อฝ่ายบริหารเพื่อตัดสินใจให้ความเห็นชอบในมาตรการต่าง ๆ ที่เสนอและจะได้บันทึกไว้ในโปรแกรมการประหยัดพลังงานต่อไป

4. การนำโปรแกรมการประหยัดพลังงานไปปฏิบัติ

โปรแกรมการประหยัดพลังงานจะแสดงรายละเอียดการดำเนินงานในมาตรการต่าง ๆ เพื่อให้ได้ปริมาณการประหยัดตามเป้าหมาย และจะต้องสร้างกลไกการตรวจวัดความสำเร็จ ทั้งนี้โดยการบันทึกผลการทำงานของระบบ ที่ได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลการทำงานและบันทึกข้อมูลการประหยัดพลังงานที่ได้

5. การประเมินความคืบหน้าและรายงาน

จะต้องมีการวิเคราะห์ บันทึก ความคืบหน้าของโปรแกรมการประหยัดพลังงานและรายงานต่อผู้ที่เกี่ยวข้องในโครงการอย่างสม่ำเสมอรวมทั้งผู้บริหารด้วย ข้อมูลประการนี้จะเป็นแรง

ผลักดันให้โปรแกรมการประหยัดพลังงานดำเนินต่อไปและกระตุ้นให้ช่วยกันพยายามต่อไป เพื่อให้ได้การประหยัดเพิ่มมากขึ้น

ขั้นตอนการประหยัดพลังงาน

การประหยัดพลังงานควรมีการดำเนินงานเป็น 3 ขั้นตอน โดยเริ่มจากเทคโนโลยีที่ง่ายที่สุดและใช้เงินลงทุนให้น้อยที่สุดไปจนถึงงานที่ต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและเงินลงทุนมาก

1. การบำรุงรักษาหรือดูแลเบื้องต้น (House Keeping)

การประหยัดพลังงานโดยวิธีนี้ โดยแท้จริงแล้วเป็นการปรับแต่งและการทำงานต่าง ๆ เช่น การกำหนดให้มีกรรมวิธีดูแลบำรุงรักษาที่ถูกต้องและขั้นตอนการทำงานอย่างเหมาะสม วิธีต่าง ๆ เหล่านี้โดยมากแล้วจะไม่ทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นหรือเป็นมาตรการที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยแต่มีระยะเวลาคืนทุนสั้น ๆ คือน้อยกว่า 4 เดือน

2. การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต (Process Improvement)

มาตรการในข้อนี้เป็นการปรับปรุงระบบอุปกรณ์หรือกระบวนการเดิม เพื่อให้ได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น หรือทำให้การสูญเสียต่าง ๆ ลดน้อยลง วิธีการปรับปรุงกระบวนการทำงานตามปกติจะมีความยุ่งยากมากขึ้น และจะต้องอาศัยการตรวจวิเคราะห์อย่างละเอียด โดยทั่วไปกรรมวิธีนี้จะต้องการเงินลงทุนปานกลางโดยมีระยะเวลาคืนทุน 1-2 ปี

3. การเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์หรือระบบ (Major Change Equipment)

เมื่อการตรวจวิเคราะห์ในขั้นต้นชี้ให้เห็นว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้มากโดยการเปลี่ยนหรือเพิ่มอุปกรณ์ ทั้งนี้จะต้องประเมินค่าผลตอบแทนทางการเงินที่ได้จากการดำเนินงานตามมาตรการดังกล่าวและถ้าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความสอดคล้องและเข้ากับเกณฑ์การลงทุนของฝ่ายบริหารแล้ว มาตรการดังกล่าวก็จะได้เสนอเพื่อขอความเห็นชอบ โดยปกติมาตรการต่าง ๆ ในข้อนี้จะต้องมีการลงทุนสูงโดยมีระยะเวลาคืนทุน 2-5 ปี

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน

การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานเพื่อเตรียมเสนอโปรแกรมการประหยัดพลังงานโดยปกติจะมี 2 ภาคด้วยกัน คือ ขั้นตอนการสำรวจเบื้องต้นเพื่อหาจุดหรือโอกาสในการประหยัดพลังงานจากจุดเหล่านี้จะทำการคำนวณเบื้องต้นเพื่อประเมินการประหยัดพลังงานที่คาดว่าจะได้ ต่อจากนั้นทำการวิเคราะห์จัดลำดับความสำคัญ แล้วนำเสนอต่อฝ่ายบริหารในรูปของรายงานการตรวจวิเคราะห์ เพื่อขอรับความเห็นชอบว่าควรดำเนินการปรับปรุงส่วนไหนบ้าง ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสำรวจในจุดหรือมาตรการต่าง ๆ ที่ได้รับคัดเลือกแล้ว การสำรวจในขั้นนี้เป็นการดำเนินการครั้งที่ 2 จะเป็นการตรวจวิเคราะห์ละเอียดเพื่อให้ได้รายละเอียดมากขึ้นเพียงพอสำหรับการทำ

การวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้ และค่าใช้จ่ายที่จำเป็นสำหรับการดำเนินการ ผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับจุดหรือมาตรการเหล่านี้จะถูกนำเสนอไว้ในโปรแกรมการประหยัดพลังงาน

การรวบรวมข้อมูล

- ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา
- ปริมาณของผลผลิตหน่วยงานในระยะเวลาเดียวกัน เช่น จำนวนห้อง/เดือน เตียง/เดือน หรือจำนวนคนไข้/เดือน เป็นต้น
- รายละเอียดของระบบไฟฟ้า เช่น จำนวนและขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ต่อใช้งาน ลักษณะการต่อใช้งาน เป็นต้น
- รายละเอียดอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น

- ระบบแสงสว่าง จำนวนหลอด และ ชนิดหลอดไฟฟ้า จำนวนวัตต์ ลักษณะการใช้งาน ติดโคมไฟฟ้าและอื่น ๆ

- ระบบปรับอากาศ จำนวนและชนิดเครื่องปรับอากาศ ลักษณะการใช้งาน ชนิดและขนาดปั๊ม ต่าง ๆ รายละเอียด Air Handing , Cooling Tower ปริมาณการไหลของน้ำ เป็นต้น

- รายละเอียดของพื้นที่ใช้งาน ซึ่งจะประกอบด้วย พื้นที่ปรับอากาศ พื้นที่จอดรถ และบริเวณที่ไม่ปรับอากาศ
- รายละเอียดโครงสร้างอาคาร
- หาดรรชนีการใช้พลังงาน เพื่อที่จะได้ทราบว่าในอดีตที่ผ่านมามีการใช้พลังงานต่อผลผลิตอยู่ในระดับใด ในอนาคตมีแนวโน้มเป็นอย่างไร ตัวอย่าง เช่น การใช้พลังงาน kWh/ห้อง/เดือน , kWh/เตียง/เดือน หรือ kWh/เมตร^2/เดือน เป็นต้น

การประชุมกับฝ่ายบริหาร

วัตถุประสงค์ของการประชุมในเบื้องต้นนี้ เพื่ออธิบายให้ฝ่ายบริหารรู้ถึงวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน ในการตรวจวิเคราะห์นี้ฝ่ายบริหารจะได้รับรายงานผลการตรวจวิเคราะห์ ซึ่งมีข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้

- ปริมาณและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา
- ปริมาณผลผลิตของหน่วยงานในช่วงระยะเวลาเดียวกัน
- ปริมาณจำเพาะของการใช้ไฟฟ้าในช่วงดังกล่าว
- จุดที่สามารถประหยัดไฟฟ้าได้
- ประมาณการค่าใช้จ่ายที่จะต้องใช้ในการลงทุนและศักยภาพการประหยัดที่ได้
- ประมาณระยะเวลาคืนทุนของมาตรการปรับปรุงแต่ละอย่าง

เพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์ ฝ่ายบริหารอาจแต่งตั้งเจ้าหน้าที่อีกคนหนึ่ง (ควรเป็นพนักงานการเงิน) เพิ่มเติมให้อยู่ในคณะทำงาน เจ้าหน้าที่ผู้นี้สามารถล่วงรู้หรือเข้าถึงข้อมูลสถิติของบริษัทในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมาในเรื่องต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ปริมาณการใช้ไฟฟ้า
- ปริมาณผลผลิต

ในระยะเวลาต่อมาบุคคลผู้นี้จะเป็นผู้รับผิดชอบและปฏิบัติงานต่าง ๆ เกี่ยวกับการเงินของโปรแกรมการประหยัดพลังงานนี้ ในการประชุมกับฝ่ายบริหารอาจมีการสอบถามประวัติความเป็นมาของหน่วยงานโดยสังเขป และประวัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในหน่วยงาน ดังนี้

- ชนิดของอุปกรณ์
- ได้รับการติดตั้งเมื่อใด
- เสียค่าใช้จ่ายทั้งหมดประมาณเท่าใด
- อดีตเคยพยายามประหยัดพลังงานหรือไม่และผลเป็นอย่างไร
- ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น
- ความคิดเห็นจากฝ่ายบริหาร

การทำความคุ้นเคยกับระบบอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ขั้นตอนประการแรกในการทำความคุ้นเคยกับระบบที่ใช้อยู่ คือ ศึกษาโครงสร้างค่าไฟฟ้า ลักษณะการคิด ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในหน่วยงานในช่วงเวลาที่ใช้ มีการคิดค่าไฟแตกต่างกันหรือไม่ และถ้ามีการคิดแล้วสัดส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เทียบกับค่าไฟฟ้าเป็นอย่างไร สำหรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีอัตราที่ลงโทษผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำหรือไม่

ขั้นตอนต่อไปจะต้องให้ฝ่ายบริหารจัดประชุมกับเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคนิคของหน่วยเพื่อที่จะทำหน้าที่เป็นผู้พาคณะทำงานไปดูระบบอุปกรณ์ต่าง ๆ พร้อมทั้งจัดหาแบบของอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านั้นให้แก่คณะทำงานเพื่อพิจารณาทำความคุ้นเคยต่อไป

จากแบบของระบบอุปกรณ์ในหน่วยงาน พิจารณาอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้ามาก ๆ ตรวจดูขนาดพิกัด วัตถุประสงค์ของการใช้งาน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของโหลด และชั่วโมงการทำงาน ค่าพิกัดแต่ละเครื่องของอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้อาจจะน้อย แต่เมื่อมีการรวมกันหลายเครื่อง ค่าที่ได้อาจจะสูง หลังจากนั้นทำการคำนวณหยาบ ๆ เพื่อหาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละเครื่อง/ระบบ จำนวนกิโลวัตต์ X จำนวนชั่วโมงทำงาน = จำนวนกิโลวัตต์ - ชั่วโมง

การจัดระบบสำรวจภาคปฏิบัติ

ในขั้นตอนนี้ คณะทำงานจะมีความรอบรู้เกี่ยวกับชนิดของระบบและปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละส่วน ทั้งนี้จากแบบของอุปกรณ์และจากการสอบถามเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคนิคต่าง ๆ แต่ถ้ายังไม่ได้ข้อมูลคณะทำงานควรวางแผนดำเนินการให้ได้มาซึ่งข้อมูลเหล่านั้น ขั้นตอนต่อไปกำหนดตารางการทำงานสำหรับช่วงแรกของการตรวจวิเคราะห์พลังงาน โดยเริ่มต้นที่อุปกรณ์หรือระบบที่ใช้ไฟฟ้าสูงสุดก่อน

ตารางการทำงานจะประกอบไปด้วย รายการอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จะต้องตรวจวิเคราะห์ ตำแหน่งที่ติดตั้ง ผู้ที่จะทำหน้าที่ตรวจวิเคราะห์ ข้อมูลที่จะต้องมีการบันทึกไว้ และวัน เวลาเริ่มต้น - สิ้นสุดของงาน ผลการตรวจวัดและการสังเกตต่าง ๆ จะต้องมีการบันทึกไว้ทั้งหมด ผู้จัดการหรือเจ้าหน้าที่พลังงานจะต้อง ดูแลว่าทุกคนที่ปฏิบัติงานได้รับเครื่องมือ อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับงานและสมุดบันทึก

การหาจุดหรือวิธีการประหยัดไฟฟ้า

โอกาสที่จะลดความสูญเปล่าในการใช้ไฟฟ้านั้น มีศักยภาพที่จะก่อให้เกิดการประหยัดไฟฟ้าได้ ปริมาณการประหยัดที่ได้จะวัดเป็นกิโลวัตต์ - ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าการประหยัดนั้นอาจได้มาจาก

- การลดจำนวนกิโลวัตต์ โดยการลดโหลดของเครื่องมือ/อุปกรณ์ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น
- การลดชั่วโมงการทำงาน

ในการตรวจหาโอกาสสำหรับการประหยัด ผู้ตรวจจะต้องหาข้อมูลปริมาณการใช้ในปัจจุบันและเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานหรือเกณฑ์ปฏิบัติต่อไป มาตรฐานดังกล่าวอาจเป็น

- สมรรถนะการทำงานที่ผ่านมาของอุปกรณ์หรือเครื่องมือ เมื่อตอนที่ระบบอุปกรณ์ยังอยู่ในสภาพใหม่ (จากรายงานการเดินเครื่องการทำงาน ในช่วงที่เพิ่งติดตั้งเสร็จ)
- กราฟสมรรถนะของเครื่องมือ หรืออุปกรณ์จากโรงงาน หรือบริษัทผู้ผลิต
- อุปกรณ์ และ เครื่องมือที่ใช้แทนกันได้โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถให้สมรรถนะการทำงานได้ตามต้องการแต่ประสิทธิภาพสูงกว่า

การวิเคราะห์โอกาสการประหยัดไฟฟ้าแต่ละวิธี

ภายหลังที่ตรวจหาโอกาสในการประหยัดไฟฟ้าได้แล้ว ศักยภาพปริมาณการประหยัดที่ได้จากการคำนวณจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่จะต้องเสียไปในการดำเนินการปรับปรุงตามมาตรการที่จะให้ผลการประหยัดดังกล่าว กรรมวิธีการวิเคราะห์ทางการเงินที่จะนำมาใช้ในส่วนนี้จะขึ้นกับเกณฑ์การลงทุนของฝ่ายบริหาร สำหรับมาตรการการปรับปรุงที่ไม่ทำให้เสียค่าใช้

จ่ายหรือเสียค่าใช้จ่ายเพียงเล็กน้อยตามธรรมดาแล้ววิธีการหาระยะเวลาคืนทุนแบบง่ายจะเป็นวิธีที่เหมาะสมเพียงพอ

แนวทางการประหยัดพลังงาน

การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคารธุรกิจ อาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้คือ

การประหยัดพลังงานไฟฟ้าเกี่ยวกับระบบรวม ซึ่งประกอบไปด้วย

- การควบคุมความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด
- การแก้ไข Power Factor

การประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย

- ระบบปรับอากาศ
- ระบบแสงสว่าง

การประหยัดพลังงานไฟฟ้าเกี่ยวกับระบบรวม

1. <u>การควบคุมความต้องการไฟฟ้าสูงสุด</u>

การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจทั่วไป มีองค์ประกอบที่มีผลต่ออัตราค่าไฟฟ้าดังนี้ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ความต้องการพลังไฟฟ้า และ Power Factor จากองค์ประกอบเหล่านี้การไฟฟ้าจะเรียกเก็บเงินจากลูกค้า โดยระบุค่าธรรมเนียมต่าง ๆ ไว้ดังนี้คือ

ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) คือ ค่าธรรมเนียมที่คิดจากจำนวนความต้องการพลังงานไฟฟ้าใน 1 เดือน โดยมีอัตราที่แตกต่างกันแต่ละประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand Charge) เป็นค่าธรรมเนียมที่คิดจากจำนวนความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดของเดือนนั้น เช่น ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่สาม คือ ธุรกิจขนาดกลาง (30 - 1,999 กิโลวัตต์) ที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนสุดท้ายไม่เกิน 355,000 หน่วย/เดือน ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 12 - 24 กิโลโวลท์ มีค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้ากิโลวัตต์ละ 210 บาท เป็นต้น ค่า Power Factor สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มี Lagging Power Factor ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า Reactive เฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด (Maximum 15 Minutes Kilovar Demand) เกินกว่าร้อยละ 63 ของความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์ (Maximum 15 Minutes Kilowatt Demand) แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่า Power Factor ในอัตรา (Kvar) ละ 15.00 บาท สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าในเขตของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะไม่เสียค่าธรรมเนียมในส่วนนี้

สาเหตุที่ต้องมีการควบคุมความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด เพราะเป็นตัวประกอบอันหนึ่งที่จะแสดงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าว่าเป็นอย่างไร ถ้าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดมีค่าสูง ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะต่ำ (มีตัวประกอบโหลดต่ำที่เรียกว่า Load Factor) แต่ถ้าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดมีค่าต่ำ (ใช้เท่าที่จำเป็นจริง ๆ ในกระบวนการผลิตหรือการบริการ) ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะสูง (ตัวประกอบโหลดสูง) เพราะฉะนั้นสถานประกอบการใดที่ยังไม่มีการควบคุมค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดจะกล่าวได้ว่ายังไม่มีการดำเนินการประหยัดพลังงานไฟฟ้าอย่างจริงจัง

1.2. <u>แนวทางในการพิจารณาเพื่อลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด</u>

จำเป็นต้องทำความเข้าใจกับคำว่าตัวประกอบโหลด (Load Factor) ตัวประกอบโหลดเป็นค่าที่ได้จากการวัดความสม่ำเสมอของการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีคำจำกัดความดังนี้

$$\text{ตัวประกอบโหลด (Load Factor)} = \frac{\text{จำนวนกิโลวัตต์-ชั่วโมง ที่ใช้ทั้งหมด/เดือน} \times 100}{\text{กิโลวัตต์สูงสุด} \times \text{จำนวนชั่วโมงในเดือนนั้น}}$$

พิจารณาสมการตัวประกอบโหลดจะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ตัวประกอบโหลดสูงหรือต่ำจะมีอยู่ 2 ตัว คือจำนวนหน่วย พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) และจำนวนกิโลวัตต์สูงสุดหรือความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ดังนั้นเราสามารถที่จะเพิ่มค่าประกอบโหลดให้สูงขึ้นโดยทำได้ 2 วิธี คือ

1. ลดจำนวนกิโลวัตต์สูงสุด (Peak Demand) ลง

2. ลดการใช้จำนวนกิโลวัตต์-ชั่วโมงลง เพื่อให้สมดุลย์กับจำนวน Peak Demand ที่ลดลง อันจะมีผลทำให้อัตราส่วนของค่าทั้ง 2 เพิ่มขึ้น แต่การลดจำนวนกิโลวัตต์-ชั่วโมง จะมีผลต่อการเพิ่มตัวประกอบโหลดไม่มากนัก แต่จะส่งผลโดยตรงต่อค่าไฟฟ้าที่ลดลง

1.3. <u>ผลประโยชน์ที่ได้รับโดยตรงจากการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด</u> มีอยู่ด้วยกัน 4 ประการคือ

1. ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น หรือมีค่าตัวประกอบโหลดสูง จะเห็นว่ายิ่งค่าตัวประกอบโหลดมีค่าสูงเท่าใด ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยยิ่งต่ำลง ดังนั้นทุกอาคารสามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบโหลดให้สูงขึ้นได้ ก็จะสามารถลดค่าใช้จ่ายค่าพลังงานลงได้ ซึ่งจะทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำลงด้วย

2. จะเสียค่าไฟฟ้าในส่วนที่เป็นค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ลดลง

3. ทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงและสายไฟฟ้าลดลง

4. การที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดลดลง ทำให้หม้อแปลง สายเมน และสายป้อนกระแสไฟฟ้าลดลง ทำให้มีความจุเหลือ สามารถติดตั้งเครื่องใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้อีก

2. การแก้ไข Power Factor

โดยทั่วไปแล้วกำลังงานในระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ กำลังงานจริง (Real Power) มีหน่วยเป็นวัตต์ หรือกิโลวัตต์ (W or kW) เป็นกำลังงานที่สามารถเปลี่ยนแปลงโดยอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นพลังงานรูปอื่นได้ เช่น ความร้อน แสงสว่าง หรือกำลังงานกล และอีกส่วนหนึ่งคือ กำลังงานรีแอคทีฟ (Reactive Power) มีหน่วยเป็น วาร์ หรือกิโลวาร์ (VAR or kVAR) เป็นกำลังงานที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก ผลรวมของกำลังงานทั้งสองส่วนนี้ เรียกว่า กำลังงานปรากฏ (Apparent Power) มีหน่วยเป็นโวลท์ แอมแปร์ หรือ เควีเอ (VA or kVA) เป็นกำลังงานที่แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และมีขนาดเท่ากับผลคูณของกระแสไฟฟ้าในวงจรกับแรงดันของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า อัตราส่วนของกำลังงานจริงต่อกำลังงานปรากฏเรียกว่า Power Factor ซึ่งสามารถบอกให้ทราบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ใช้กำลังงานจริงเป็นสัดส่วนเท่าใด เมื่อเทียบกับกำลังงานปรากฏ ดังนั้นระบบไฟฟ้าที่มีค่า Power Factor สูงจะมีความสามารถ หรือประสิทธิภาพในการทำงานดีกว่าระบบไฟฟ้าที่มีค่า Power Factor ต่ำกว่า

อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ใช้งานอยู่ในกิจการต่าง ๆ จะเป็นชนิดต้องการกำลังงาน Reactive จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า มีเพียงเครื่องจักรซิงโครนัส (Synchronous Machines) และคาปาซิเตอร์กำลัง (Power Capacitor) เท่านั้นที่สามารถจ่ายกำลังงาน Reactive ให้กับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการได้ ดังนั้น การติดตั้งคาปาซิเตอร์กำลัง ไม่ว่าจะเป็นคาปาซิเตอร์กำลังที่ใช้กับระบบแรงดันต่ำ (แรงดันไม่เกิน 1,000 โวลท์) หรือระบบแรงดันสูงเพิ่มเติมเข้าไปในระบบไฟฟ้าจะเป็นวิธีการที่ประหยัดที่สุดในการปรับปรุงค่า Power Factor ของระบบไฟฟ้าให้ดีขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบไฟฟ้าที่กำลังใช้งานอยู่และมีค่า Power Factor ต่ำ

การปรับปรุงค่า Power Factor ของระบบไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้น จะมีผลดีต่อระบบไฟฟ้าหลายประการ เช่น

- ลดกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในวงจร ตั้งแต่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจนถึงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์กำลัง
- ลดกำลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้าลง ซึ่งจะมีผลดีต่ออุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า สายเคเบิ้ล, สวิทช์ เป็นต้น

- ลดแรงดันไฟฟ้าตกในระบบลงทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้ามีความมั่นคงมากขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งปลายสุดของสานป้อนไม่ตกมาก ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง
- เพิ่มขีดความสามารถในการรับหรือจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าให้สูงขึ้นทำให้สามารถขยายการใช้ไฟฟ้าหรือเพิ่มโหลดได้โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มขนาดของอุปกรณ์รับ/จ่าย กำลังไฟฟ้า
- ลดค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับการไฟฟ้าทุกเดือนซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ
    1. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge)
    2. ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge) และ
    3. ค่าปรับ Power Factor

การประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ

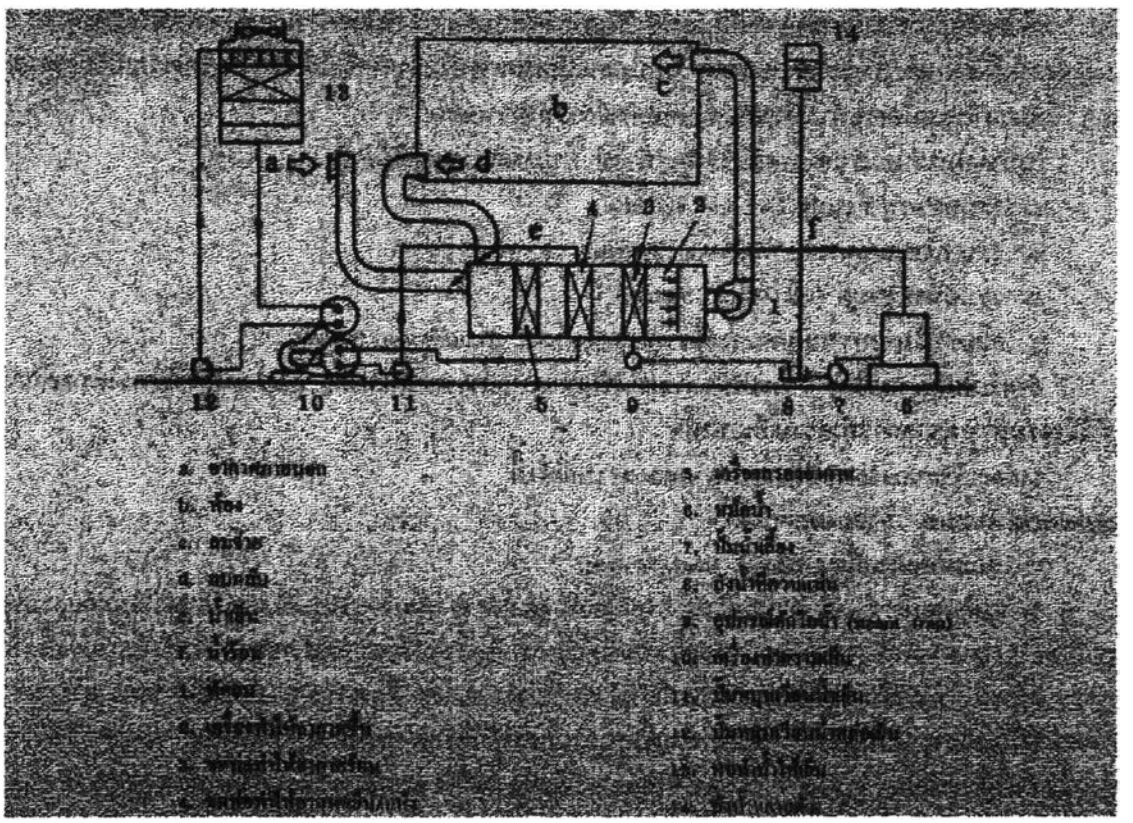
<u>ระบบปรับอากาศ</u>

การปรับอากาศและการระบายอากาศในอาคารมีจุดประสงค์ดังนี้

1. เพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่ค่าที่ต้องการตลอดเวลา โดยการให้ความเย็นหรือความร้อน
2. เพื่อควบคุมความชื้น โดยลดหรือการเพิ่มความชื้น
3. เพื่อควบคุมการไหลเวียนของอากาศที่ความเร็วลมที่ต้องการ
4. เพื่อควบคุมคุณภาพ และ ความสะอาดของอากาศ โดยการกำจัดฝุ่นละอองที่สกปรกและกลิ่นควันต่าง ๆ
5. เพื่อควบคุมระดับเสียงในพื้นที่ปรับอากาศ

ส่วนประกอบที่สำคัญเบื้องต้นของระบบปรับอากาศมีดังนี้

- ระบบผลิตความเย็น/ความร้อน (Heat/Cold Generating Systems) มีเครื่องจักรทำความเย็น (Refrigerating Machine) หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) และหม้อน้ำ (Boiler)
- ระบบท่อ (Piping Systems) มีท่อน้ำ ท่อไอน้ำ ท่อสารทำความเย็นและเครื่องสูบน้ำ
- เครื่องปรับอากาศ (Air Conditioner) มีเครื่องกรองอากาศ เครื่องทำให้อากาศเย็น (Cooling Coil) เครื่องทำให้อากาศร้อน (Heating Coil) และเครื่องทำให้อากาศชื้น
- ระบบท่อลม (Air Duct Systems) มีพัดลม ท่อลม และ หัวจ่าย



แผนภาพที่ ค-1 : รูปส่วนประกอบในระบบปรับอากาศ

แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ในระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง โดยมีน้ำและอากาศภายนอกเข้ามาชดเชยอากาศที่ระบายออกไป และอากาศภายในมีการดูดกลับเพื่อเข้ามาผสมรวมกันเพื่อความประหยัด แล้วจ่ายผ่านเครื่องกรองอากาศภายในเครื่องปรับอากาศ เพื่อกรองฝุ่นละอองในอากาศออกไป ในบางครั้งก็มีการใช้เครื่องกรองอากาศแบบใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal Filters) สำหรับกรองเอากลิ่นและแก๊สพิษออกไป

สำหรับการทำความเย็น เครื่องทำให้อากาศเย็นจะทำให้อากาศที่สะอาดเย็นลงและแห้งลง สำหรับการทำความร้อน อากาศที่สะอาดจะถูกทำให้ร้อนโดยเครื่องทำความร้อนและอาจจะทำให้อากาศมีความชื้นเพิ่มขึ้นโดยเครื่องเพิ่มความชื้น จากนั้นอากาศจะถูกส่งโดยพัดลมผ่านท่อลมไปในห้องที่ปรับอากาศ

ในเครื่องทำให้อากาศเย็น จะมีน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นไหลวนโดยใช้เครื่องสูบน้ำหรือมีสารทำความเย็นไหลวน โดยอาศัยความแตกต่างของความดันของสารทำความเย็นในระบบเครื่องทำความเย็น เครื่องทำให้อากาศเย็นโดยใช้สารทำความเย็นโดยตรงเรียกว่า ขดท่อทำความ

เย็นด้วยการขยายตัวโดยตรง (Direct Expansion Coil) เครื่องทำให้อากาศร้อนรับไอน้ำ หรือน้ำร้อนจากหม้อน้ำมาทำให้อากาศร้อน ระบบปรับอากาศแบบหนึ่งอาจทำหน้าที่เป็นทั้งเครื่องทำลมเย็นและลมร้อน เครื่องทำลมเย็นและเครื่องทำลมร้อน มักทำด้วยท่อมีครีบ (Finned Tubes)

เครื่องควบแน่น (Condenser) ในเครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำต้องการน้ำเพื่อการหล่อเย็น โดยมากจะใช้หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) เพื่อทำให้น้ำเย็นลงใหม่เพื่อนำกลับมาใช้ได้อีก

ระบบปรับอากาศแบบพื้นฐาน เป็นระบบปรับอากาศส่วนกลางดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ข้างต้นเพื่อการควบคุมภาวะอากาศได้ดีขึ้น และเนื่องจากผลของการปรับปรุงเทคนิคในการปรับอากาศจึงได้มีการพัฒนาระบบปรับอากาศแบบต่าง ๆ ขึ้นมามากมาย โดยเฉพาะเกี่ยวกับด้านอุปกรณ์การทำความเย็น

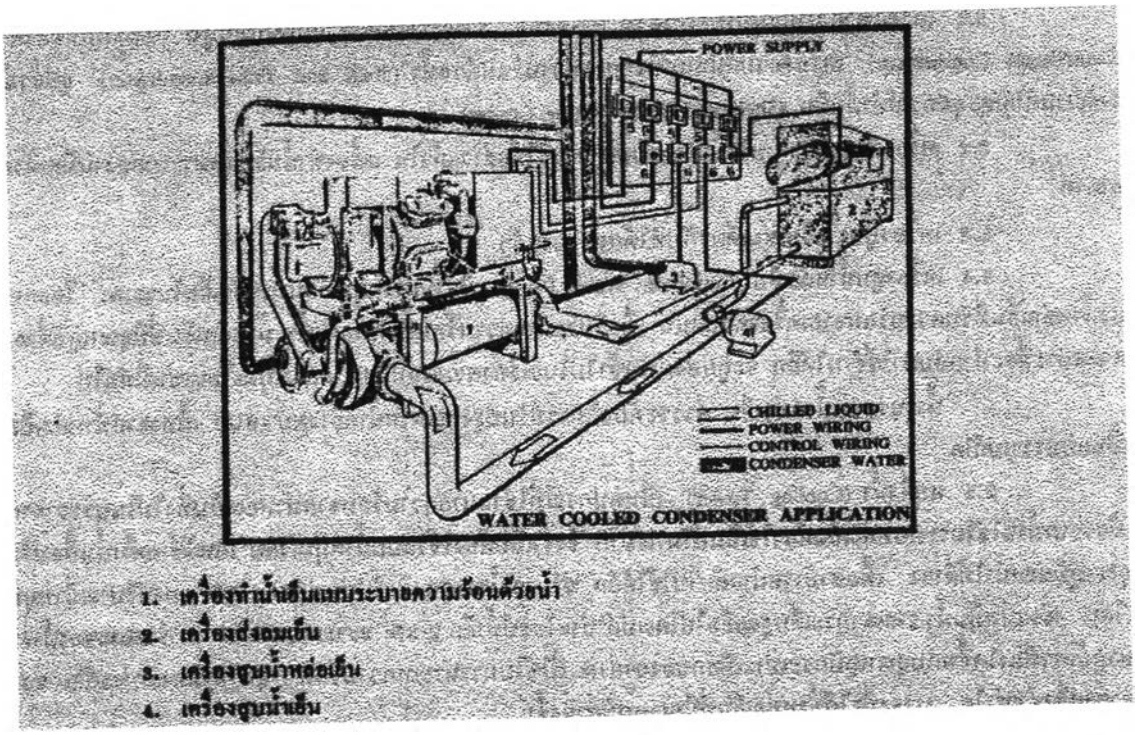
ชนิดของเครื่องปรับอากาศที่ใช้กันแพร่หลายอาจแบ่งได้ออกเป็น 2 แบบ คือ

1. เครื่องปรับอากาศแบบใช้น้ำเย็น (Chilled Water Systems)
2. เครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว

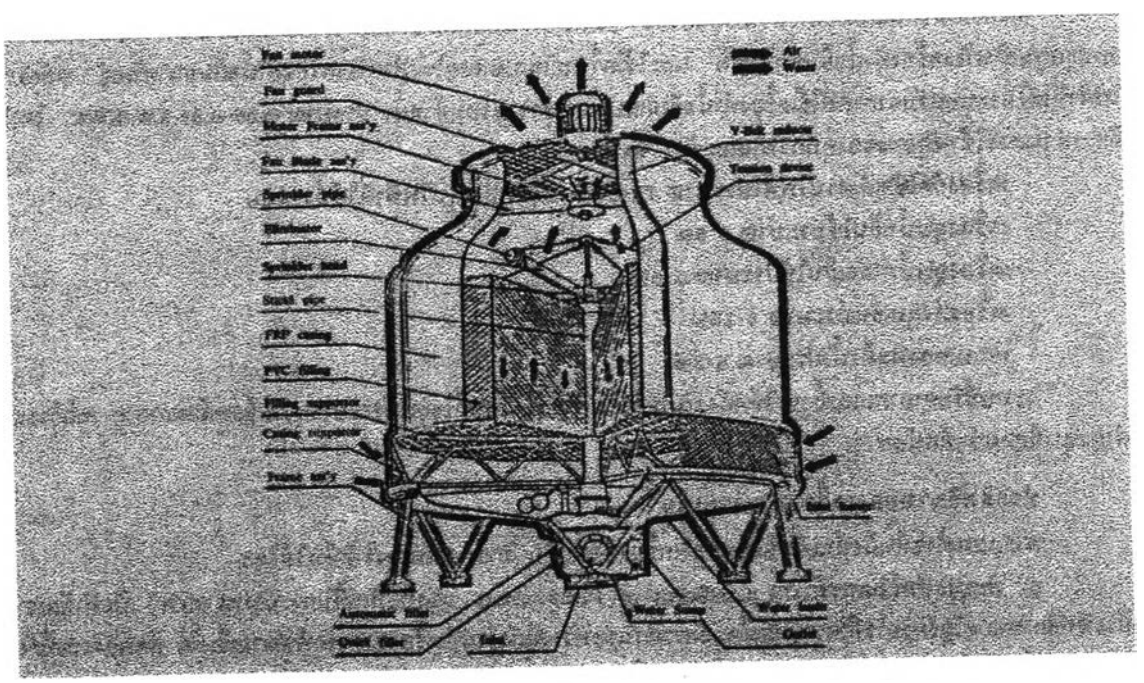
เครื่องปรับอากาศแบบใช้น้ำเย็นเป็นเครื่องปรับอากาศที่ใช้น้ำเย็นเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนซึ่งในระบบจะต้องมีเครื่องทำความเย็นเพื่อทำน้ำให้เย็นก่อนแล้วจึงใช้เครื่องสูบน้ำจ่ายน้ำเย็นหมุนเวียนในระบบเพื่อทำความเย็นให้แก่ส่วนต่าง ๆ ภายในอาคาร เครื่องปรับอากาศแบบใช้น้ำเย็น

<u>เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller)</u>

เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้จะใช้น้ำเป็นตัวกลาง เพื่อการถ่ายเทความร้อนทิ้งจากเครื่องควบแน่น ในระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้ ดูแผนภาพที่ ค-2 ประกอบ



แผนภาพที่ ค-2 :แสดงระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ



แผนภาพที่ ค-3 : หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

เครื่องทำความเย็นประกอบด้วยเครื่องอัด มักจะเป็นลักษณะแบบลูกสูบ หรือแบบหอยโข่ง (Centrifugal Compressor) เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Shell and Tube Condenser) อุปกรณ์ลดความดันและอุปกรณ์ทำน้ำเย็น (Shell and Tube Water Cooler) เครื่องส่งลมเย็นแบบใช้น้ำเย็น เครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น (Condenser Water Pump) ใช้ในการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นในระบบ โดยการส่งน้ำหล่อเย็นที่ได้รับความร้อนจากเครื่องควบแน่น เพื่อไประบายความร้อนทิ้งที่หอผึ่งน้ำ น้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำลงพอเหมาะที่จะนำกลับมาใช้งานได้อีก จะถูกส่งผ่านเข้าไปในเครื่องควบแน่นใหม่ และหมุนเวียนเช่นนี้ต่อไป น้ำในระบบหล่อเย็นควรจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากน้ำหล่อเย็นเป็นแบบระบบเปิด

หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ระบายความร้อนจากน้ำหล่อเย็นทิ้งไปในบรรยากาศ เนื่องจากน้ำที่ใช้ในระบบหล่อเย็นต้องใช้เป็นปริมาณมาก จึงจำเป็นต้องใช้ระบบน้ำหมุนเวียน และใช้หอผึ่งน้ำ เพื่อปรับอุณหภูมิของน้ำให้ต่ำลง เพื่อสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ปริมาณน้ำจะสูญเสียไปประมาณ 4 - 6 % ของปริมาณน้ำหมุนเวียน ซึ่งแบ่งน้ำ 2 - 3 % กระเด็นสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ น้ำอีก 2 - 3 % จะระเหยหายไป การระเหยของน้ำจะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ยิ่งต่ำเท่าใดจะได้น้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำยิ่งขึ้น หอผึ่งน้ำประกอบด้วย หัวกระจายน้ำ ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน (Filling) ถาดน้ำและพัดลม

เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ มักจะมีขนาดตั้งแต่ 100 - 5,200 KWR โดยใช้เครื่องอัดแบบลูกสูบสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นขนาดเล็ก และใช้เครื่องอัดแบบหอยโข่งสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นขนาดใหญ่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ประมาณ 0.26 - 0.34 KW/KWR โดยมีอัตราส่วนการใช้พลังงานของอุปกรณ์แต่ละตัว ดังนี้

- เครื่องอัดใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 75 - 80 % ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งระบบ
- เครื่องสูบน้ำเย็นใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 3 - 6 %
- เครื่องสูบน้ำหล่อเย็นใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 3 - 6 %
- เครื่องส่งลมเย็นใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 6 - 10 %
- พัดลมของหอผึ่งน้ำใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 2 - 3 %

ระบบปรับอากาศประเภทนี้จะใช้พลังงานโดยรวมต่ำกว่าแบบที่ใช้เครื่องระบายความร้อนด้วยอากาศ แต่มักจะมีค่าที่ลงทุนสูงกว่าเล็กน้อย

ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น

การแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น สามารถแสดงให้เห็นได้โดย

1. สัมประสิทธิในการทำงาน (Coefficient of Performance : COP) เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพของวัฏจักรการทำความเย็น คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่เครื่องสามารถทำความเย็นได้ ต่อพลังงานที่ต้องใช้ (พลังงานไฟฟ้า) โดยทั่วไปประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ความร้อนจะมีค่าน้อยกว่า 1 แต่สำหรับวัฏจักรการทำความเย็นต่างจากเครื่องยนต์ความร้อน เพราะเครื่องทำความเย็นทำหน้าที่เป็นปั๊มสำหรับถ่ายเทความร้อน เมื่อเปรียบเทียบงานที่ทำในเครื่องอัดกับความสามารถทำความเย็น ความสามารถในการทำความเย็นจะมีค่าสูงกว่า

2. อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio : EER) เช่นเดียวกับสัมประสิทธิในการทำงาน โดยพลังงานความเย็นที่ใช้มีหน่วยเป็น BTU/hr แต่พลังงานไฟฟ้าที่ใช้มีหน่วยเป็นวัตต์ ดังนั้น EER จึงมีหน่วยเป็น BTU/hr ต่อวัตต์

การประหยัดพลังงานโดยใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในระบบปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานอยู่ในอาคาร ถ้าใช้อย่างมีหลักเกณฑ์และคำนึงถึงเรื่องการประหยัดพลังงานจะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ โดยเจ้าหน้าที่ของอาคารไม่ต้องลงทุนเพิ่มเติม โดยมีวิธีการดังนี้

1. ควบคุมความดันด้าน Condenser ให้ต่ำที่สุด โดยลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

ในระบบปรับอากาศแบบเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Chiller) ซึ่งระบายความร้อนด้าน Condenser ออกไปที่หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) ตามปกติ น้ำก่อนเข้า Condenser จะมีอุณหภูมิ 32.2 องศาเซลเซียส และออกที่อุณหภูมิ 38.8 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้อุณหภูมิควบแน่น (Condensing Temperature) เท่ากับ 40.6 องศาเซลเซียส โดยใช้มาตรฐานของอากาศที่ผ่านหอผึ่งน้ำเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส กระเปาะแห้งและ 28.3 องศาเซลเซียส กระเปาะเปียก แต่การใช้งานของระบบปรับอากาศของอาคารต่าง ๆ ในรอบปีอุณหภูมิของบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ซึ่งจะมีช่วงเวลาที่อุณหภูมิบรรยากาศต่ำกว่ามาตรฐานของอากาศที่ผ่านหอผึ่งน้ำ ถ้าอุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำ ก็จะได้น้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปน้ำหล่อเย็นจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของบรรยากาศ ประมาณ 3 - 5 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิต่ำลง ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นก็จะสูงขึ้น พลังงานที่ต้องใช้ในการทำความเย็นของเครื่องอัดต่อภาวะความร้อนที่เท่ากันจะลดลง เช่น ถ้าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ทางเข้าของ Condenser อุณหภูมิ 32.2 องศาเซลเซียส เครื่องอัดจะใช้พลังงานประมาณ 0.275 กิโลวัตต์/กิโลวัตต์ความเย็น แต่ถ้าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ทาง

เข้าของ Condenser เป็น 30.6 องศาเซลเซียส เครื่องอัดจะใช้พลังงานประมาณ 0.255 กิโลวัตต์/กิโลวัตต์ความเย็น

วิธีปรับปรุงการใช้งานระบบปรับอากาศ เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นสามารถลดได้อีกเล็กน้อย เพราะตามปกติเครื่องทำน้ำเย็นและอุปกรณ์ประกอบที่ติดตั้งใช้ในตัวอาคาร มักจะไม่ได้ใช้งานเต็มที่ครบทุกชุด บางอาคารจะติดเครื่องทำน้ำเย็นและอุปกรณ์ประกอบสำรองไว้ 1 ชุด ซึ่งจะสามารถนำหอผึ่งน้ำที่สำรองไว้มาใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อการประหยัดพลังงานได้ คือ เมื่อเปิดหอผึ่งน้ำเพิ่มขึ้น 1 ชุด จากการใช้งานตามปกติ ปริมาณน้ำที่ผ่านหอผึ่งน้ำแต่ละชุดจะลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำหล่อเย็นและอากาศสูงขึ้น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นก็จะต่ำลงกว่าปกติอีกเล็กน้อย เช่น เมื่ออุณหภูมิกระเปาะเปียกของบรรยากาศเป็น 28.3 องศาเซลเซียส ถ้าน้ำหล่อเย็นที่ทางเข้าของหอผึ่งน้ำมีอุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียสแล้ว ที่ทางออกน้ำหล่อเย็นจะมีอุณหภูมิประมาณ 32.2 องศาเซลเซียส ในกรณีที่เปิดหอผึ่งน้ำใช้งานเพิ่มขึ้นอีก 1 ชุด เมื่อน้ำหล่อเย็นที่ทางเข้ามีอุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส น้ำหล่อเย็นที่ทางออกจะมีอุณหภูมิประมาณ 30.6 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ลดลงจะต้องขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของหอผึ่งน้ำ โดยทั่วไปจะสามารถลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นลงได้ประมาณ 3 - 5 %

การเปิดหอผึ่งน้ำใช้งานเพิ่มขึ้น 1 ชุด จะทำให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นต่ำลงจากสภาพการใช้งานปกติ ซึ่งก็จะเท่ากับเป็นการลดการใช้พลังงานที่เครื่องอัดในรอบปิดที่ภาระความร้อนเท่า ๆ กัน ถึงแม้ว่าจะต้องมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น สำหรับพัดลมของหอผึ่งน้ำที่ต้องเปิดเพิ่มขึ้นโดยผลรวมแล้วจะสามารถประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศลงได้

2. <u>ควบคุมความดันด้าน (Evaporator) ให้สูงที่สุดโดยเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็น</u>

ในระบบปรับอากาศแบบเครื่องทำน้ำเย็นหล่อเย็นด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller) หรือแบบเครื่องทำน้ำเย็นหล่อเย็นด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller) ในระบบจะต้องประกอบด้วยเครื่องส่งลมเย็น ที่ติดตั้งไว้ในพื้นที่ปรับอากาศ เพื่อปรับสภาวะอากาศในแต่ละพื้นที่นั้น ๆ ในการออกแบบผู้ออกแบบจะต้องเลือกใช้เครื่องส่งลมเย็นที่สามารถปรับสภาวะอากาศในพื้นที่นั้นที่ภาระความร้อนสูงสุด และใช้อุปกรณ์ควบคุมปริมาณน้ำเย็นให้ผ่านขดท่อทำความเย็น (Cooling Coil) ให้เหมาะสมกับภาระในแต่ละช่วงเวลาเพื่อควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่นั้น

เมื่อพิจารณาถึงการปรับสภาวะอากาศรวมทั้งอาคาร ย่อมจะต้องมีบางช่วงเวลาที่ภาระรวมของอาคารปรับลดต่ำลง ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของอาคาร ลักษณะของอาคาร ฯลฯ ในช่วงเวลาดังกล่าวอุปกรณ์ควบคุมปริมาณน้ำเย็นที่เครื่องส่งลมเย็นแต่ละเครื่อง ก็จะต้องหรี่น้ำเย็นให้ผ่านขดท่อทำความเย็นต่ำลง เพื่อให้สามารถทำความเย็นให้เหมาะสมกับ

ภาระในขณะนั้น ทั้งนี้น้ำเย็นที่ทางเข้าของเครื่องส่งลมเย็นจะมีอุณหภูมิประมาณ 7.2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิน้ำเย็นที่ใช้งานทั่วไป

ในช่วงเวลาที่ภาระรวมของอาคารต่ำลง เราสามารถประหยัดพลังงานที่เครื่องทำน้ำเย็นลงได้อีก โดยการปรับแต่ง (Thermostat) ที่เครื่องทำน้ำเย็นให้สูงขึ้นได้ประมาณ 1.7 - 2.8 องศาเซลเซียส ด้วยอุณหภูมิของน้ำเย็นที่สูงขึ้น ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องส่งลมเย็นในแต่ละเครื่อง จะยังเพียงพอและเหมาะสมกับภาระความร้อนในขณะนั้น เช่น เครื่องส่งลมเย็นที่สามารถทำความเย็นได้ 13.2 กิโลวัตต์ความเย็น เมื่อน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 7.2 องศาเซลเซียส แต่เมื่อให้น้ำเย็นเข้าที่ 10 องศาเซลเซียส เครื่องส่งลมเย็นจะทำความเย็นลดลงเหลือประมาณ 10.3 กิโลวัตต์ความเย็น

การตั้ง Thermostat ของเครื่องทำน้ำเย็นให้สูงขึ้น จะทำให้ Evaporating Temperature สูงขึ้น และความดันด้าน Evaporator สูงขึ้น เป็นผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นสูงขึ้นด้วย พลังงานที่ต้องใช้ในการทำความเย็นของเครื่องอัดต่อภาระความร้อนที่เท่ากันจะลดลง เช่น เมื่ออุณหภูมิของน้ำเย็นที่ทางออกของเครื่องทำน้ำเย็น 7.2 องศาเซลเซียส พลังงานที่ต้องใช้เท่ากับ 0.26 กิโลวัตต์/กิโลวัตต์ความเย็น แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำเย็นที่ทางออกเป็น 10 องศาเซลเซียส พลังงานที่ต้องใช้เท่ากับ 0.25 กิโลวัตต์/กิโลวัตต์ความเย็น

3. <u>การใช้ Return Air และ Outside Air</u>

ในระบบปรับอากาศจะต้องนำเอาอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามาในอาคาร เพื่อถ่ายเทอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศให้บริสุทธิ์ตลอดเวลา อากาศภายนอกที่นำเข้ามาจะไม่เกิน 10 % ของปริมาณลมส่งที่จ่ายในแต่ละพื้นที่ การนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามามากเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศ คือ การนำอากาศภายนอกซึ่งมีอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ 60 % เข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศ 1 ลบ. เมตร/นาที คิดเป็นภาระความร้อนได้ 750 วัตต์ การนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามาในอาคาร ในช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูง จึงควรนำเข้ามาเท่าที่จำเป็น

ในบางอาคารที่ใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง จะมีช่วงเวลากลางคืนในบางฤดูกาลที่อากาศภายนอกมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสม พอที่จะนำเข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศได้ เช่น ในฤดูหนาว อากาศภายนอกจะมีอุณหภูมิประมาณ 18.6 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 60 % ซึ่งเป็นสภาวะที่สามารถนำเข้ามาใช้งานในพื้นที่ปรับอากาศได้ โดยจะลดภาระของเครื่องปรับอากาศลงได้ ดังนั้นในช่วงเวลาดังกล่าว ถ้าเปิดใบปรับปริมาณลม (Damper)

ที่หน้ากากอากาศบริสุทธิ์ (Fresh Air Grille) ให้เต็มที่เพื่อให้อากาศภายนอกเข้ามามากที่สุด ก็จะสามารถประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศลงได้

การประหยัดพลังงานโดยการปรับปรุงวัสดุอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคาร เมื่อปรับปรุงหรือติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดพลังงานเพิ่มเติมเข้าไปแล้ว จะสามารถลดการใช้พลังงานรวมของระบบปรับอากาศลงได้ โดยเจ้าของอาคารจะต้องลงทุนปรับปรุงหรือติดตั้งอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับอาคารนั้น ๆ ด้วยวิธีต่าง ๆ คือ

1. <u>การหุ้มฉนวนท่อน้ำให้มีความหนาที่เหมาะสม</u>

ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) จะต้องมีท่อน้ำเพื่อจ่ายน้ำเย็นไปยังเครื่องส่งลมเย็น ตามส่วนต่าง ๆภายในอาคาร อุณหภูมิของน้ำเย็นประมาณ 7.2 - 10 องศาเซลเซียส ดังนั้น เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกถ่ายเทเข้าไปในน้ำเย็น จึงต้องมีการหุ้มฉนวนท่อน้ำเย็น การพิจารณาใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาที่เหมาะสมจะช่วยประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศลงได้ ฉนวนกันความร้อนที่ใช้มักเป็น Stylene Foam หรือ Closed Cell Foam

การพิจารณาใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีความหนามาก ๆ จะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้สูงแต่ราคาลงทุนก็จะสูงมากเช่นกัน การพิจารณาหาความหนาที่เหมาะสมของฉนวนกันความร้อนจึงต้องพิจารณาหลาย ๆ ด้านคือ ลักษณะการใช้งาน ชั่วโมงการใช้งานของอาคาร อุณหภูมิของอากาศรอบท่อน้ำ ราคาของฉนวนและความหนาของฉนวน ซึ่งจะต้องเพียงพอต่อการป้องกันการเกิดการควบแน่นของความชื้น (Condensation) บนผิวฉนวนท่อน้ำ

2. <u>การเลือกใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศ</u>

ในการปรับอากาศ จะต้องนำอากาศบางส่วนในพื้นที่ปรับอากาศทิ้งไป และนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามาชดเชย เพื่อถ่ายเทอากาศภายในให้บริสุทธิ์ตลอดเวลา อากาศทิ้งไปเป็นอากาศที่เย็นมักมีอุณหภูมิประมาณ 25.6 - 26.7 องศาเซลเซียส และอากาศที่ถ่ายเททิ้งไปจะประมาณ 10 % ของปริมาณลมส่งในแต่ละพื้นที่ เห็นได้ว่าเป็นการสูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมาก เราสามารถนำพลังงานส่วนนี้กลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ โดยการใช้ Air To Air Heat Exchanger (ATA) อุปกรณ์ดังกล่าวจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศที่ทิ้งไปกับอากาศที่จะนำเข้ามาใหม่ อากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกทำให้เย็นลงก่อนที่จะผ่านเข้าเครื่องส่งลมเย็น

อุปกรณ์ดังกล่าวจะถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศบริสุทธิ์และอากาศเสีย โดยไม่ให้สัมผัสกันโดยตรง อุปกรณ์นี้เหมาะสำหรับอาคารที่มีเครื่องส่งลมเย็นอยู่ในแนวเดียวกัน เพื่อสะดวกต่อการรวบรวมอากาศที่นำทิ้งไปมาเข้าอุปกรณ์ ATA และสามารถจ่ายอากาศบริสุทธิ์ผ่านอุปกรณ์ ATA กลับไปยังเครื่องส่งลมเย็นในแต่ละเครื่อง

สำหรับในอาคารเก่า จะปรับปรุงใช้ระบบนี้ได้โดยการติดตั้งท่อลมเพื่อรวบรวมอากาศที่จะทิ้งไปกลับมาที่อุปกรณ์ ATA และติดตั้งท่อลมเพื่อส่งอากาศบริสุทธิ์กลับไป การพิจารณาติดตั้งจะต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้และพื้นที่ในการติดตั้ง ชั่วโมงการใช้งานของอาคาร พลังงานที่ต้องใช้เพิ่มเติม และราคาในการลงทุน สำหรับอาคารใหม่ควรคำนึงถึงการติดตั้งอุปกรณ์ ATA และเตรียมการเพื่อติดตั้งไว้ในช่วงออกแบบ จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนได้

ในการใช้งานอุปกรณ์ ATA ควรคำนึงถึงพลังงานที่ต้องใช้ สำหรับพัดลมที่อุปกรณ์ ATA ว่าคุ้มกับพลังงานที่ประหยัดลงได้หรือไม่ โดยเฉพาะอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง ในช่วงกลางคืน เมื่ออากาศภายนอกลดต่ำลง การประหยัดพลังงานด้วยอุปกรณ์ ATA จะลดลง ซึ่งอาจจะไม่คุ้มกับการเปิดใช้งานในช่วงเวลาดังกล่าว ลักษณะเช่นนี้ จึงควรพิจารณาใช้ ATA เฉพาะเวลากลางวันและปิดในช่วงเวลากลางคืน

การเลือกใช้อุปกรณ์ระบบปรับอากาศเพื่อให้ประหยัดพลังงาน มีหลักในการพิจารณาดังนี้

1. <u>ชนิดของเครื่องทำน้ำเย็น</u> จะต้องเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่มีค่า COP หรือ EER สูง เครื่องทำน้ำเย็นจะมี Condenser และ Evaporator ที่มีขนาดใหญ่ และจะมีวงจรการทำงานที่อุณหภูมิของการควบแน่นต่ำ (Low Condensing Temperature) อุณหภูมิของการระเหยสูง (Hight Condensing Temperature) เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้จะมีราคาสูง แต่ค่าใช้จ่ายในการใช้งานต่ำ

นอกจากนี้การเลือกใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ และเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศซึ่งมีความแตกต่างในการพิจารณาการใช้งาน เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

2. <u>การใช้เครื่องทำน้ำเย็นหลาย ๆ ตัว</u> สามารถพิจารณาเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่มีขนาดเหมาะสมกับภาระในแต่ละช่วงเวลาได้ การใช้เครื่องทำน้ำเย็นหลาย ๆ เครื่องทำให้สามารถปิดเครื่องทำน้ำเย็นบางตัวลงได้ ในขณะที่ภาระของอาคารต่ำ เครื่องทำน้ำเย็นที่ยังเปิดอยู่ เมื่อใช้งานที่ภาระเต็มที่ก็จะมีประสิทธิภาพสูง

เครื่องขนาดเล็กหลาย ๆ เครื่องมักจะแพงกว่าการใช้เครื่องขนาดใหญ่จำนวนน้อยเครื่องกว่า แต่การใช้เครื่องขนาดเล็กหลาย ๆ เครื่องมักจะสะดวกด้านการออกแบบเพื่อให้ประหยัดพลังงาน

3. <u>การใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบปรับความเร็วรอบได้</u> ในอาคารบางประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงของภาระมาก และการใช้งานที่ภาระเพียงบางส่วนตลอดเวลา การใช้ Inverter เพื่อแปรเปลี่ยนรอบของเครื่องอัดเพื่อให้เหมาะสมกับภาระในแต่ละขณะ จะสามารถประหยัดพลังงานลงได้มาก

4. <u>การใช้เครื่องสูบน้ำที่มีประสิทธิภาพสูง</u> เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในระบบปรับอากาศควรจะเลือกใช้ขนาดที่ถูกต้อง และเลือกใช้ในจุดที่ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำสูงสุด การเลือกเครื่องสูบน้ำที่อัตราการไหลและหัวน้ำมากเกินความจำเป็นจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์

5. <u>การใช้ท่อน้ำและวาล์วที่มีความเสียดทานต่ำ</u> การเลือกท่อน้ำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถลดความเสียดทานลงได้ โดยความเสียดทานของการไหลของน้ำจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณหรือความเร็วของน้ำยกกำลังสอง คือ ในท่อเดียวกัน ถ้าทำให้ความเร็วน้ำในท่อลดลง 2 เท่า ความเสียดทานในท่อจะลดลงเป็น 4 เท่า ของเดิม ซึ่งมีผลทำให้ลดขนาดของเครื่องสูบน้ำลงได้ การใช้ท่อน้ำขนาดใหญ่ขึ้นจะมีราคาต้นทุนในการลงทุนสูง ดังนั้นจึงอาจพิจารณาเพิ่มขนาดของท่อในช่วงที่เกิดความเสียดทานสูงเท่านั้น วาล์วต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบควรพิจารณาใช้ วาล์วผีเสื้อ (Butterfly Valve) ซึ่งมีความเสียดทานต่ำกว่า (Globe Valve) และ (Gate Valve) รวมถึงการเลือกใช้วาล์วที่มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย การลดความเสียดทานในระบบท่อน้ำ โดยให้ระยะทางจากห้องเครื่องไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ สั้นที่สุด เช่น ในอาคารที่มีลักษณะยาว ถ้าห้องเครื่องอยู่สุดปลายด้านใดด้านหนึ่ง ก็จะทำให้ระยะทางจากห้องเครื่องไปยังเครื่องส่งลมเย็นตัวสุดท้ายไกล ดังนั้น ก็สามารถให้ห้องเครื่องอยู่ตรงกลางส่วนยาวของอาคารได้ซึ่งจะสามารถลดความเสียดทานรวมในท่อน้ำได้ เช่นเดียวกับอาคารสูง ถ้าห้องเครื่องอยู่ชั้นกลาง ๆ ได้ก็จะลดระยะทางและประหยัดพลังงานจากเครื่องสูบน้ำลงได้

6. <u>การใช้พัดลมที่มีประสิทธิภาพสูง</u> การเลือกเครื่องสูบน้ำ การเลือกพัดลมควรคำนวณความเสียดทานรวมทั้งหมด ที่เกิดขึ้นในระบบส่งลมเย็น และปริมาณลมให้แม่นยำ และควรเลือกพัดลมใช้ในจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ถ้าใช้ความเสียดทานสูงเกินไปในการเลือก จะได้พัดลมขนาดใหญ่เกินกว่าความจำเป็น ถ้าให้พัดลมหมุนด้วยความเร็วตามที่เลือกไว้ ก็จะได้อัตราการส่งลมเย็นมากเกินความจำเป็น และเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าโดยไม่จำเป็น

7. <u>การใช้ท่อลมที่มีความเสียดทานต่ำ</u> การลดความเสียดทานในท่อลมจะทำให้ความดันสถิตย์รวมลดลง รวมถึงความสูญเสียต่าง ๆ เช่น การสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางลมในข้อโค้งหรือข้องอ ความเสียดทานหรือความสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น แผงกรองอากาศ และขดท่อทำความเย็น เป็นต้น การลดความเสียดทานและความสูญเสียในท่อลม ทำได้โดยการออกแบบท่อลมให้มีขนาดใหญ่สำหรับท่อสี่เหลี่ยม ต้องให้ท่อด้านกว้างและด้านสูงมีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ กรณีที่ออกแบบท่อลมโดยใช้วิธี Equal Friction Loss ถ้าใช้ท่อใหญ่ขึ้นทุกท่อจะทำให้ราคาสูงขึ้นมาก อาจหลีกเลี่ยงได้โดยการออกแบบให้ท่อช่วงไกลสุดให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อลดความเสียดทาน ระยะทางจากเครื่องส่งลมเย็นไปยังตำแหน่งหัวจ่ายสุดท้ายควรให้ใกล้เคียงกัน และควรให้ใกล้ที่สุดเพื่อลดความดันสถิตย์รวมลง จะสามารถประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศได้

8. <u>การใช้ระบบแปรเปลี่ยนปริมาณลม</u> ระบบที่สามารถแปรเปลี่ยนปริมาณลมได้มักจะเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง เพราะการลดปริมาณลมจะส่งผลให้ลดพลังงานที่ใช้ในระบบการส่งลมเย็นได้โดยตรง ระบบ VAV System เป็นระบบที่ออกแบบให้จำนวนลมเย็นที่จะเข้าสู่ห้องปรับอากาศ แปรเปลี่ยนไปตามภาระความร้อนที่เข้าไปในพื้นที่ปรับอากาศ โดยสามารถควบคุมเป็นจุดย่อย ๆ ได้ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นวิธีแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบปริมาตรลมส่งคงที่ได้ เช่น การที่จะต้องใช้เครื่องส่งลมเย็นใหญ่กว่าความจำเป็น แต่ในระบบ VAV สามารถออกแบบให้เครื่องเป่าลมเย็นมีขนาดพอดีกับภาระความร้อนที่เกิดขึ้นและสามารถควบคุมอุณหภูมิห้องได้ดี และประหยัดพลังงานที่ใช้ในพัดลมได้ดี ทั้งนี้จะต้องขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่น ๆ คือ

- ลักษณะการใช้งานของอาคาร
- ภาระความร้อนที่เข้าสู่อาคารและความแม่นยำในการคำนวณภาระความร้อน
- การเลือกใช้ระบบและการลงทุน

ภาระความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงมากในตลอดวันหรือตลอดปี ระบบนี้จะมีประโยชน์มากโดยเฉพาะอาคารที่ใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง มักจะได้ประโยชน์จากการใช้ระบบนี้มาก หลักการของระบบ VAV คือ จะมีอุปกรณ์ควบคุมปริมาณลมหลาย ๆ กล่อง โดยแต่ละกล่องจะจ่ายลมไปยังหัวจ่ายลมตามจำนวนที่แต่พื้นที่ต้องการอย่างเหมาะสม โดยที่กล่องควบคุมปริมาณลมนี้ ภายในจะมีเกล็ดควบคุมปริมาณลม (Volume Damper) ที่สามารถเปิด-ปิด และหรี่ให้ปริมาณลมจ่ายไปยังหัวจ่ายได้มากน้อยตามต้องการโดยอัตโนมัติโดยอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้า (Motorized Actuator) หรือควบคุมด้วยลม (Pneumatic Actuator) ซึ่งสั่งการด้วยเทอร์โมสแตท ที่ควบคุมอุณหภูมิห้องปริมาณลมที่ส่งเข้าไปในพื้นที่ปรับอากาศ สามารถควบคุมได้ตามปริมาณที่

จำเป็นต้องใช้จริง ปริมาณลมที่จ่ายโดยพัดลมที่เครื่องส่งลมเย็น จะจ่ายออกมาตามจำนวนที่ใช้จริงเท่านั้น เครื่องส่งลมเย็นสามารถควบคุมปริมาณลมส่งได้ โดยใช้วิธีดังนี้

- Inlet Guide Vane Control เพื่อหรี่ปริมาณลมที่ทางเข้าของพัดลม Guide Vane จะถูกสั่งให้เปิด-ปิด หรือหรี่สัมพันธ์กับปริมาณลมที่ต้องการของหัวจ่ายแต่ละหัว
- Discharge Damper Control เพื่อหรี่ปริมาณลมที่ทางออกของพัดลม
- Variable Speed Control โดยจะใช้ Inverter ลดรอบของพัดลม เพื่อลด-เพิ่มปริมาณลมให้สัมพันธ์กับปริมาณลมที่ต้องการจะสามารถลดปริมาณลมได้ดีและประหยัดพลังงานมากกว่าแบบ Inlet Guide Vane Control และ Discharge Damper Control แต่ราคาลงทุนยังสูงอยู่มาก

เมื่อทำ VAV ทั้งระบบจะพิจารณาทำบางส่วนได้ โดยในระบบท่อลมยังใช้ท่อลมแบบส่งลมคงที่ แต่ให้มีการปรับปริมาณลมส่งให้เหมาะสมกับภาระในแต่ละขณะได้ที่เครื่องส่งลมเย็น ระบบที่เหมาะสมอาจเป็นแบบ Inlet Guide Vane Control หรือ Discharge Damper Control เพื่อปรับปริมาณลมที่ทางเข้าและทางออกของพัดลม โดย Actuator หรือใช้ Inverter ลดรอบของพัดลมลง ทั้ง 3 แบบจะควบคุมการปรับปริมาณลมโดยเทอร์โมสแตท ทั้งนี้การปรับแต่งปริมาณลมจะต้องให้สัมพันธ์กับการปรับแต่งปริมาณน้ำด้วย การแปรเปลี่ยนปริมาณลม ไม่ควรลดปริมาณลมให้ต่ำกว่า 50 % ของปริมาณลมเดิมที่จ่ายในพื้นที่นั้น ๆ เนื่องจากการเคลื่อนไหวของอากาศในพื้นที่นั้นจะต่ำเกินไป และทำให้คนในพื้นที่ปรับอากาศรู้สึกอึดอัดได้ การใช้ระบบ VAV จะสามารถควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศได้ดี และลดพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศได้โดยตรง แต่ต้องพิจารณาใช้ระบบที่เหมาะสมกับความต้องการรวมถึงการลงทุนของระบบด้วย

9. <u>การใช้ระบบแปรเปลี่ยนปริมาณน้ำ (VWV)</u> การลดอัตราการไหลของน้ำ เมื่อภาระลดลงจะช่วยลดพลังงานที่ใช้ที่เครื่องสูบน้ำได้ แต่เนื่องจากเครื่องทำน้ำเย็นต้องให้อัตราน้ำเย็นไหลผ่านคงที่ การใช้ระบบแปรเปลี่ยนปริมาณน้ำจึงต้องแยกวงจรน้ำเย็นออกเป็น 2 วงจรคือ วงจรแรกจะมีเครื่องสูบน้ำเพื่อควบคุมให้น้ำเย็นไหลผ่านเครื่องทำน้ำเย็นคงที่ตลอดเวลา วงจรที่สองจะมีเครื่องสูบน้ำอีกชุดหนึ่งเพื่อสูบน้ำเย็นจ่ายไปยังจุดต่าง ๆ ภายในอาคาร วิธีนี้จะสามารถลดขนาดเครื่องสูบน้ำในวงจรแรกลงได้ และในวงจรที่สองใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กจำนวนหลาย ๆ เครื่อง หรือใช้เครื่องสูบน้ำแบบแปรเปลี่ยนความเร็วรอบได้ เพื่อควบคุมปริมาณน้ำเย็นตามที่ต้องการ ระบบนี้ต้องใช้ชุดควบคุมการปิด-เปิด หรือหรี่เครื่องสูบน้ำและชุดควบคุมการปิด-เปิดเครื่องทำน้ำเย็นตามภาระที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งประกอบด้วย Calorie Computer หรือ Enthalpy Control Unit อุปกรณ์ดังกล่าวจะวัดอุณหภูมิของน้ำเข้าและน้ำออก และอัตราการไหลของน้ำเย็น

เพื่อคำนวณภาระในขณะนั้นและสั่งการไปยังเครื่องสูบน้ำและเครื่องทำน้ำเย็นให้จ่ายน้ำเย็นตามที่ต้องการเท่านั้น ระบบนี้สามารถประหยัดพลังงานที่เครื่องสูบน้ำและเครื่องทำน้ำเย็นได้

10. <u>การใช้วาล์ว 2 ทางควบคุมน้ำเข้าเครื่องส่งลมเย็น</u> การใช้วาล์ว 2 ทางควบคุมการไหลของน้ำเข้าเครื่องส่งลมเย็นในระบบปรับอากาศจะทำให้การใช้พลังงานในการสูบน้ำต่ำกว่าการใช้วาล์ว 3 ทาง

11. <u>การหุ้มฉนวนท่อลมให้มีความหนาที่เหมาะสม</u> ลมเย็นที่ไหลภายในท่อลมจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอก ความร้อนจากภายนอกท่อจึงไหลเข้าไปในท่อลมได้ ทำให้อุณหภูมิของอากาศภายในท่อลมสูงขึ้น การพิจารณาใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาของฉนวนเหมาะสมหุ้มท่อลม จะลดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศภายนอกเข้าไปในท่อลม และประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศลง ฉนวนกันความร้อนที่ใช้มักเป็นใยแก้วหรือใยหิน

12. <u>การบุฉนวนกันความร้อนที่หลังคา</u> หลังคาเป็นส่วนที่ต้องรับพลังงานแสงอาทิตย์เกือบทั้งวัน พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยคิดเฉลี่ยทั้งวัน เมื่อหลังคาเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 6 นิ้ว และมีฝ้าภายในเป็นยิบซั่มบอร์ด คิดเป็นประมาณ 24.1 วัตต์/ตร.ม. การบุฉนวนกันความร้อนที่หลังคาเพื่อลดพลังงานความร้อนที่ผ่านทางหลังคา จะช่วยประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศได้

13. <u>การเลือกขนาดหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)</u> การเลือกขนาดหอผึ่งน้ำจะต้องพิจารณาควบคู่กับเครื่องทำน้ำเย็น การเลือกขนาดหอผึ่งน้ำให้ใหญ่ขึ้นกว่าปกติ 1 ขนาด จะทำให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นต่ำกว่าปกติ จะมีผลทำให้ประหยัดพลังงานที่เครื่องทำน้ำเย็นลงได้

14. <u>การออกแบบระบบเพื่อใช้พลังงานความร้อน หรือ ความเย็นที่ต้องทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ (Heat Recovery or Heat Reclaim)</u> ในระบบปรับอากาศ มักจะต้องทิ้งพลังงานความร้อนหรือความเย็นโดยไม่จำเป็น การนำพลังงานความร้อนหรือความเย็นที่ต้องทิ้งกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์จะสามารถประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศได้ ซึ่งการลงทุนจะคุ้มหรือไม่ ขึ้นอยู่กับ

- อุณหภูมิแตกต่างระหว่างตัวกลางที่รับและจ่ายพลังงาน
- อัตราพลังงานที่ทิ้ง
- ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์
- การลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ค่าเท่ากับปริมาณความเย็นที่ระบบทำได้รวมกับปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ที่เครื่องอัด เช่น ในระบบปรับอากาศที่สามารถทำความเย็นได้ 352 KWR และใช้พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัด ประมาณ 90 KWR พลังงานความร้อนที่ต้องทิ้งไปที่ Condenser ประมาณ 442 KWR เป็นพลังงานจำนวนมาก การใช้ความร้อนและความเย็นอยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน การนำความร้อนทิ้งที่ Condenser กลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์และคุ้มกับการลงทุน

15. <u>การใช้ Thermal Storage เพื่อควบคุม Demand ของเครื่องทำน้ำเย็น</u>

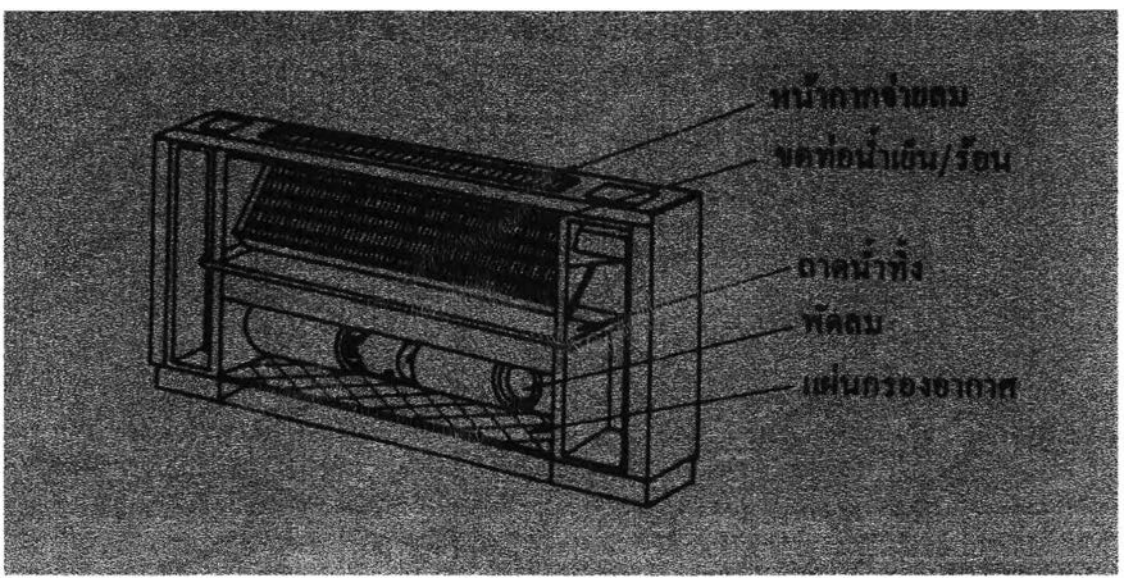
ภาระความร้อนในอาคารบางประเภท มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และบางครั้งภาระความร้อนสูงสุด-ต่ำสุด มีความแตกต่างกันมาก ในการออกแบบถ้าเลือกเครื่องทำความเย็นเพื่อรับภาระในช่วงภาระความร้อนสูงสุดแล้ว เครื่องทำน้ำเย็นจะมีขนาดใหญ่ รวมถึงในการใช้งานในช่วงภาระสูงสุด ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ของเครื่องทำน้ำเย็นจะสูงมาก ซึ่งสามารถลดขนาดเครื่องทำน้ำเย็นลงรวมถึงการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นในช่วงเวลาดังกล่าวลงได้ โดยใช้ Thermal Storage เพื่อทำน้ำเย็นเก็บไว้ในช่วงที่ภาระความร้อนภายในอาคารต่ำและนำน้ำเย็นเหล่านี้ไปใช้ในช่วงภาระความร้อนของอาคารสูงขึ้นกว่าขนาดความสามารถทำความเย็นของเครื่อง การประเมินภาระความร้อนของอาคารอย่างแม่นยำจำเป็นมากในการออกแบบระบบขนาดเครื่องทำความเย็นและขนาดของที่เก็บน้ำเย็น

16. <u>การใช้วิธีให้ความร้อนซ้ำ (Reheat)</u> ในระบบปรับอากาศแบบอากาศทั้งหมดมักต้องใช้การให้ความร้อนซ้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิของลมส่งก่อนที่จะนำไปจ่ายเข้าไปในพื้นที่ปรับอากาศที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิที่แม่นยำ ระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องส่งลมเย็นจ่ายลมเย็นให้แต่ละพื้นที่และสามารถควบคุมอุณหภูมิ โดยเทอร์โมสแตทแยกเป็นอิสระในแต่พื้นที่ จึงไม่จำเป็นต้องใช้การให้ความร้อนซ้ำ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศ

17. <u>การใช้โปรแกรมการเปิด-ปิด เครื่องให้มีประสิทธิภาพสูงสุด (Optimum Start-Stop Program)</u> การตั้งโปรแกรมเพื่อเปิด-ปิด เครื่องทำความเย็นให้มีประสิทธิภาพสูงสุดสามารถลดการใช้พลังงานลงได้โดยไม่ต้องลดความสบายของผู้อยู่อาศัย การเปิดเครื่องจะถูกชลอจนกว่าจะถึงช่วงเวลาสุดท้ายซึ่งได้จัดตั้งไว้ เพื่อให้ได้ระดับความสบายที่ต้องการเมื่อมีผู้มาใช้สอยอาคาร การปิดเครื่องจะตั้งโปรแกรมให้ปิดเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยจะรักษาระดับความสบายจนกระทั่งผู้ใช้สอยอาคารออกไปจากอาคาร

18. <u>การใช้ Duty Cycling</u> Duty Cycling จะเปิด-ปิด ระบบปรับอากาศเป็นระยะ ๆ เพื่อลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศลงแต่ยังคำนึงถึงความสุขสบายของผู้อยู่อาศัยและความสามารถของเครื่องที่จะเปิด-ปิด ได้ในแต่ละช่วงเวลา

2. <u>เครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว (Fan Coil Unit)</u> เครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว หรือ เครื่องขดท่อและพัดลมเป็นเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก ตัวเครื่องประกอบไปด้วยพัดลม มอเตอร์ ขดท่อทำความเย็น และแผ่นกรองอากาศ เครื่องมีแบบตั้งพื้นและแขวนเพดาน ขนาดของการจ่ายลมมักไม่เกิน 550 ลิตร/วินาที พัดลมอาจจะเป็นแบบหลายใบพัด (Multi Blade) หรือแบบ Cross Flow และสามารถควบคุมการไหลของลมได้เป็น 3 ขั้นตอน การจ่ายลมเย็นอาจใช้ท่อลมหรือจ่ายผ่านหน้ากากของเครื่องได้โดยตรง (Free Blow) ดูแผนภาพที่ ค-4 ประกอบ



แผนภาพที่ ค-4 : เครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว

การบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ มีข้อแนะนำเกี่ยวกับการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบปรับอากาศดังนี้

1. ทดสอบและปรับแต่งระบบอย่างสมบูรณ์เป็นครั้งคราว ตามกำหนดการที่ตั้งไว้ตลอดอายุการใช้งานของระบบโดยมากแล้วการปรับแต่งระบบในครั้งแรกมักจะเป็นการปรับแต่งครั้งเดียวที่ได้กระทำกับระบบทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงเรื่อย ๆ

2. ติดตั้งเทอร์โมสแตทให้ควบคุมอุณหภูมิ ที่เหมาะสมกับความสบายเท่านั้น ไม่ควรตั้งเทอร์โมสแตทให้ต่ำที่สุดและหมั่นตรวจสอบว่าสามารถทำงานได้เป็นปกติหรือไม่ อุณหภูมิที่พอเหมาะคือ 25.5 - 26.7 องศาเซลเซียส

3. เครื่องส่งลมเย็น ควรที่จะทำความสะอาดแผงกรองอากาศและขดทำความเย็น (Cooling Coil) เป็นประจำ ซึ่งถ้าอุปกรณ์ดังกล่าวสกปรก พื้นผิวรับความร้อนจะถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดี ทำให้น้ำเย็นที่กลับไปยังเครื่องทำน้ำเย็นมีอุณหภูมิต่ำลง ทำให้ประสิทธิภาพที่เครื่องทำน้ำเย็นต่ำลงด้วย

4. ทำความสะอาด Condenser ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศเป็นประจำ และตรวจสอบอย่าให้มีวัสดุติดขวางทางลมที่ใช้ในการระบายความร้อน

5. ทำความสะอาด Condenser ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ เนื่องจากระบบน้ำหมุนเวียนในระบบเป็นระบบเปิดน้ำระเหยตลอดเวลา ผิวด้านในของอุปกรณ์ควบแน่นจึงมักมีตะกรันหรือสิ่งสกปรก เป็นผลให้อุณหภูมิควบแน่นสูงขึ้น ดังนั้น ต้องทำความสะอาดมากน้อยตามความจำเป็น

6. ทำความสะอาดหอผึ่งน้ำ เพื่อให้ผิวระบายความร้อนสะอาดรวมถึงหัวกระจายน้ำ

7. ควรจัดให้มีการบำบัดคุณภาพของน้ำในระบบน้ำหล่อเย็น ความสกปรกในระบบจะลดความสามารถในการถ่ายเทความร้อน

8. พัดลมในระบบปรับอากาศทุกตัวนั้นจะต้องทำการหล่อลื่น โดยการอัดจาระบีหรือหยอดน้ำมันอย่างสม่ำเสมอตามระยะเวลา

9. พัดลมที่ขับด้วยสายพานจะต้องตรวจความตึงของสายพานให้เหมาะเสมอ

10. ทำการตรวจสอบการรั่วของท่อน้ำเย็น และ ซ่อมแซมฉนวนท่อน้ำ รวมทั้งแก้ไขรอยรั่วของน้ำเย็นที่อุปกรณ์ต่าง ๆ เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งที่ใช้ Packing Seal จะต้องให้มีน้ำซึมบ้างแต่ไม่ควรให้รั่วมากเกินไป

11. ทำการตรวจสอบการรั่วของท่อลมที่อาจเกิดขึ้นได้ รวมถึงการซ่อมแซมฉนวนท่อลมที่ฉีกขาด

12. ตรวจสอบหน้าต่างและประตูด้านนอกอาคารว่ามีรอยแตกร้าวที่ผิดปกติหรือไม่

13. ในบางอาคารอาจจะทำการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ของเครื่องทำน้ำเย็นลงได้ โดยการทำน้ำเย็นในระบบให้มีอุณหภูมิต่ำลงกว่าที่ใช้งานตามปกติ 1 - 2 องศาเซลเซียส และให้เครื่องส่งลมเย็นทำอุณหภูมิภายในอาคารต่ำกว่าที่ใช้งานปกติ 1 - 2 องศาเซลเซียส ก่อนถึงเวลาที่ต้องการภาระความเย็นสูงสุด ลักษณะเช่นนี้ใช้หลักการเดียวกันกับวิธี Thermal Storage

14. พื้นที่ปรับอากาศบางแห่ง สามารถลดอากาศบริสุทธิ์ที่จะนำเข้ามาถ่ายเทอากาศภายในได้ในบางช่วงเวลา เช่น ร้านอาหาร ร้านค้า มักมีคนมากในช่วงเวลา 11.00 - 13.00 น. ในช่วงเวลาดังกล่าวก็ควรจะเปิดให้อากาศบริสุทธิ์เข้ามาได้เต็มที่ แต่ในช่วงเวลาอื่นก็ควรหรี่ให้อากาศบริสุทธิ์เข้ามาน้อยลงจะสามารถประหยัดพลังงานลงได้

ระบบส่องสว่าง

การประหยัดพลังงานหรือการลดการสูญเสียพลังงานในระบบไฟฟ้าส่องสว่างสามารถกระทำได้โดยการให้ความสนใจในตัวแปรหลาย ๆ ด้านที่ไม่ใช่แต่เฉพาะด้านไฟฟ้าเท่านั้น ระบบไฟฟ้าส่องสว่างถูกติดตั้งขึ้นเพื่อใช้งานเพื่อช่วยในการมองเห็น จึงไม่ควรสนใจอยู่แต่เฉพาะเรื่องเศรษฐศาสตร์และประสิทธิภาพของระบบเท่านั้น แต่ต้องพิจารณาถึงชนิดของงานที่กระทำและพื้นที่กระทำงานนั้น ๆ ด้วย ระบบไฟฟ้าส่องสว่างยังอาจมีผลกระทบกับสภาพแวดล้อมและระบบอื่น ๆ ของอาคารอีกด้วย เช่น ระบบปรับอากาศของอาคาร แฟคเตอร์เหล่านี้จะต้องได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบ ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบลมไฟฟ้าส่องสว่าง

หลักการสำคัญของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างมีดังนี้

1. การทำความเข้าใจกับพื้นที่ที่จะใช้แสงสว่าง
2. การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าและอุปกรณ์ร่วมให้เหมาะสม
3. การออกแบบระบบไฟฟ้าส่องสว่าง
4. การใช้งานระบบไฟฟ้าส่องสว่าง
5. การซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

1. การทำความเข้าใจกับพื้นที่ที่จะใช้แสงสว่าง

การทำความเข้าใจกับพื้นที่งานที่จะใช้แสงสว่าง คือ การศึกษาถึงประเภทหรือชนิดของงานที่จะกระทำในพื้นที่นั้นว่าเป็นงานชนิดใด ต้องการระดับความสว่างสูงต่ำมากน้อยเพียงใด ในขณะเดียวกันจะพิจารณาหรือเลือกสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมให้กับพื้นที่นั้นด้วย เช่น การใช้สีทาผนัง เพดานและพื้น ควรใช้สีที่ให้ผลการส่องสว่างสูง เป็นต้น ในกรณีที่ภายในห้องมีค่าความสว่างที่เท่ากัน ห้องที่มีฝาสว่างกับฝามืดจะสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 20 % และถ้าเป็นห้องขนาดใหญ่ที่มีห้องฝาสว่างกับห้องที่มีฝามืดจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 30 % สำหรับการให้ความสว่างที่ค่าเท่ากัน

สัมประสิทธิ์ของการสะท้อนแสงของสีต่าง ๆ เป็นดังนี้

- สีขาว 60 - 80 %
- สีครีม 50 - 60 %
- สีอ่อน 35 - 55 %

2. การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าและอุปกรณ์ร่วมให้เหมาะสม

2.1 หลอดไฟฟ้าแสงสว่าง ในการเลือกหลอดไฟฟ้าแสงสว่างใช้งานนั้นพิจารณาแฟคเตอร์หลาย ๆ ตัว เพื่อให้ได้หลอดที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะกับงาน แฟคเตอร์ต่าง ๆ ที่ควรสนใจได้แก่

- ประสิทธิภาพแสง หลอดไฟฟ้าแสงสว่างจะมีความสามารถในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงสว่างไม่เท่ากัน ความสามารถของหลอดนี้เรียกว่า ประสิทธิภาพแสง (Luminous Efficiency) หลอดไส้มีประสิทธิภาพแสงต่ำที่สุด ส่วนหลอดโซเดียมความดันต่ำ มีประสิทธิภาพแสงสูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ ค-1

ชนิดของหลอด	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพแสง (ลูเมน/วัตต์)
หลอดไส้	750 - 1,000	8 - 20
หลอดไอปรอทความดันสูง	24,000	35 - 50
หลอดฟลูออเรสเซนต์	6,000 - 20,000	45 - 65
หลอดเมทัลฮาไลด์	7,500 - 20,000	45 - 70
หลอดโซเดียมความดันสูง	24,000	60 - 110
หลอดโซเดียมความดันต่ำ	18,000	70 - 155

ตารางที่ ค-1 : ข้อมูลอายุการใช้งาน และ ประสิทธิภาพแสง ของหลอดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

อายุการใช้งาน อายุการใช้งานของหลอดเป็นแฟคเตอร์ที่สำคัญที่ต้องนำมาพิจารณา เพราะหลอดที่มีราคาถูกอายุการใช้งานสั้น จึงต้องเปลี่ยนหลอดบ่อย อาจจะเสียค่าใช้จ่ายแพงกว่าหลอดที่มีราคาแพงแต่อายุการใช้งานยาวก็ได้

สีของแสง หลอดแต่ละชนิดจะให้แสงที่มีส่วนประกอบทางสเปรคตัมที่ไม่เหมือนกัน จึงอาจทำให้สีของวัตถุผิดเพี้ยนไปจากการมองเห็นภายใต้แสงอาทิตย์ได้ การเลือกใช้งานจึงต้องพิจารณาเรื่องสีของแสงของหลอดด้วย

หลอดไฟฟ้าที่มีการใช้งานในการให้แสงสว่างแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 หลอดไส้ (Incandescent Lamp) อาศัยการกำเนิดแสงจากความร้อนเมื่อผ่านกระแสสู่หลอดไส้ ไส้หลอดซึ่งทำด้วยลวดทังสเตนจะถูกทำให้ร้อนและให้แสงสว่างออกมา หลอดชนิดนี้เป็นหลอดที่ประสิทธิภาพแสงต่ำมาก แต่ความนิยมในการใช้หลอดไส้ยังมีอยู่มาก

เนื่องจากราคาถูก ให้ความถูกต้องของสีสูง ติดตั้งใช้งานง่าย ให้แสงสว่างทันทีเมื่อเปิดใช้งาน โครงสร้างภายในหลอดไส้

ประเภทที่ 2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) หลอดชนิดนี้เป็นหลอดที่อาศัยหลักการ (Discharge) คือ เมื่อป้อนกระแสจะเกิดการ Discharge ในก๊าซที่มีไอปรอทความดันต่ำ ทำให้เกิดรังสีอุลตร้าไวโอเลต ซึ่งจะไปกระทบกับสาร Phosphor ที่ฉาบไว้ด้านในของหลอด ซึ่งจะให้แสงในช่วงที่ตาคนมองเห็นออกมา หลอดฟลูออเรสเซนต์ ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ

ชนิดที่ 1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา จะมีความกว้างของหลอด วัดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 3.8 เซนติเมตร กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขนาด 20 วัตต์ วัดความยาวได้ 60 เซนติเมตร และขนาด 40 วัตต์ วัดความยาวได้ 120 เซนติเมตร นอกจากนี้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดวงกลมจะมีความกว้างของหลอดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 3.2 เซนติเมตร กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขนาด 32 วัตต์ ขนาดวงกลมของหลอดวัดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 32 เซนติเมตร สีของแสงที่เปล่งออกมากับส่วนผสมทางเคมีของสารเคลือบเรืองแสงจึงทำให้ หลอดฟลูออเรสเซนต์ เปล่งสีต่างกัน เช่น สีของแสงเป็นสีขาว จะเป็นสีที่นิยมใช้กันมาก เช่น แสงเดย์ไลท์ (Day Light) แสงคูลไวท์ (Cool White) และแสงไวท์ (White) ส่วนแสงวอร์มไวท์ (Warm White) จะเป็นสีเหมือนกับแสงอาทิตย์ตอนเช้า หรือเป็นสีคล้ายกับแสงของหลอดไส้ (Incandescent Light) ซึ่งจะมีความแตกต่างกันตามอุณหภูมิของสี ดังแสดงในรายละเอียดในตารางที่ ค-2

หลอดฟลูออเรสเซนต์	อุณหภูมิสี (องศาเคลวิน)
หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดแสงเดย์ไลท์ (Daylight)	5,000 - 7,500
หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดแสงคูลไวท์ (Cool White)	4,000 - 4,300
หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดแสงวอร์ไวท์ (Warm White)	3,500 - 3,800
หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดแสงไวท์ (White)	3,000
หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดแสงหลอดไส้ (Incandescent Light)	2,700

ตารางที่ ค-2 : แสดงอุณหภูมิสีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดแสงสี ต่าง ๆ

ชนิดที่ 2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ ประสิทธิภาพสูง คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่ที่ให้กำลังส่องสว่างสูงเท่ากับหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดาแต่กินไฟน้อยกว่าประสิทธิภาพแสงสูงกว่า ลักษณะโดยทั่วไปเหมือนกันแต่จะแตกต่างกันที่ความเรียวกะทัดรัดของหลอดฟลูออเรสเซนต์

ประสิทธิภาพสูง คือ ตัวหลอดจะเล็กกว่าหลอดธรรมดาและมีระยะห่างของขั้วหลอดที่ปลายทั้งสองข้างเท่ากันกับขั้วหลอดของหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา โดยไม่ต้องเปลี่ยนบัลลาสต์และสตาร์เตอร์ อีก สามารถนำหลอดประสิทธิภาพสูงสวมกับขาหลอดเดิมได้ทันที

3. หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent Lamp) เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ได้มีการพัฒนาเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานและเพื่อแข่งขันกับหลอดไส้โดยมีขนาดกะทัดรัด (Compact) และมีกำลังส่องสว่างสูง หลอดชนิดนี้เหมาะสมในการให้แสงสว่างโดยทั่วไป มีแสงให้เลือกทั้งที่แสงเหมือนกับหลอดไส้และแสงขาวนวลเหมือนกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีอายุการใช้งานนานกว่าหลอดไส้ประมาณ 8 เท่า และการใช้พลังงานของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ จะน้อยกว่าหลอดไส้ประมาณ 4 เท่า ปัจจุบันหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ มีอยู่ 2 ชนิด คือ หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายในและภายนอก

3.1 หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายใน คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่รวมเอาบัลลาสต์และสตาร์เตอร์อยู่ภายใน หลอดประเภทนี้ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนหลอดไส้ สามารถนำไปสวมกับขั้วหลอดไส้ชนิดเกลียวทุกดวงได้ทันที โดยไม่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ใด ๆ ลักษณะของหลอดภายในเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเล็ก เป็นรูปตัวยู มีเปลือกเป็นโคมทรงกระบอก ชุดบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ของหลอดนี้ปิดผนึกรวมกันอยู่ในชิ้นส่วนเดียวกันกับตัวหลอด ข้อเสียของหลอดหากเกิดการชำรุดเสียหายขึ้นที่ส่วนหนึ่งส่วนใดก็จะไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป

3.2 หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายนอก คือ หลักการใช้เช่นเดียวกันกับหลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายใน แต่แตกต่างกันที่หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายนอกสามารถเปลี่ยนหลอดได้เมื่อหลอดชำรุด หลอดมีลักษณะงอโค้งเป็นรูปตัวยู มีขั้วหลอดซึ่งภายในจะมีสตาร์ทเตอร์ ในการติดตั้งใช้งานจะต้องมีขาเสียบ เพื่อให้ใช้กับบัลลาสต์ที่แยกออก

ลำดับ	ชนิด	วัตต์	วัตต์รวมบัลลาสต์	กำลังส่องสว่าง (ลูเมน)	ประสิทธิภาพแสง (ลูเมน/วัตต์)
1	หลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา	40	50	2,600	52.00
		32	42	1,750	41.67
		20	30	1,030	34.33
2	หลอดหลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายใน	9	-	450	50
		13	-	650	50
		18	-	900	50
		25	-	1,200	48
3	หลอดหลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายนอก	5	11.9	230	19.33
		7	12.7	400	31.50
		9	13.5	600	44.44
		11	16.0	900	56.25
		18	26.0	1,250	48.08
		24	32.0	2,000	62.50
		36	44.0	2,900	65.91
4	หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง	36	46	2,600	56.52
		18	28	1,030	36.78
5	หลอดไส้	15	-	120	8.00
		25	-	230	9.20
		40	-	430	10.75
		60	-	730	12.16
		75	-	960	12.80
		100	-	1,380	13.80

ตารางที่ ค-3 : แสดงประสิทธิภาพแสง , กำลังส่องสว่าง และความต้องการพลังงานไฟฟ้า ของหลอดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

4. หลอดดีชชาร์จความดันไอสูง (Hight Intensity Discharge Lamp - HID) สามารถแยกประเภทออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

4.1 หลอดไอปรอทความดันไอสูง (Hight Pressure Mercury Lamp)

หลอดชนิดนี้เป็นหลอดที่อาศัยหลักการดีชชาร์จ ในก๊าซที่มีไอปรอทความดันสูงทำให้เปล่งแสงสว่างออกมา แสงที่ได้ออกมาจะมีแสงช่วงสีเขียวมาก จึงมีหลอดชนิดที่ฉาบสารฟอสเฟอร์ไว้ด้านในของตัวหลอด แล้วให้รังสีอุลตร้าไวโอเลตกระทบ เพื่อให้ได้แสงในช่วงที่ตาคนเราเห็นในขณะเดียวกันก็เพิ่มแสงช่วงสีแดงให้มากขึ้น ซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบหนึ่งเรียกว่าหลอดแสงจันทร์ (Mercury Fluorescent Lamp) นอกจากหลอดแสงจันทร์ซึ่งนิยมใช้กันทั่วไปแล้ว ยังมีหลอดไอปรอทความดันสูงมาก (Hight Pressure Mercury Vapour Lamp) ซึ่งในการจุดหลอดต้องใช้ (Ignitor) ประกอบกับบัลลาสต์ในวงจรของหลอดด้วย นอกจากนี้จะมีการบรรจุสารประกอบจำพวกไอโอไดด์ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพแสงสูงขึ้น และให้แสงที่มีความสามารถในการเห็นสีได้ดียิ่งขึ้น หลอดชนิดนี้เรียกว่าหลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp)

4.2 หลอดโซเดียมความดันไอสูง (Hight Pressure Sodium Lamp)

หลอดชนิดนี้เป็นหลอดที่อาศัยหลักการดีชชาร์จ ในก๊าซที่มีไอโอเดียมที่มีความดันสูงจะให้แสงออกมา แสงที่ได้มีสีใกล้เคียงกับแสงที่ได้จากหลอดไส้และประสิทธิภาพของแสงของหลอดสูง หลอดโซเดียมความดันไอสูงเหมาะกับการใช้งานกับระบบไฟฟ้าส่องสว่างของไฟถนนและทางด่วน ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่ต้องคำนึงถึงเรื่องสีมากนัก พื้นที่ภายนอกอาคาร เช่น ที่จอดรถ พื้นที่เก็บกองวัตถุ สนามกีฬา ไฟแสงสว่างบนสะพาน เป็นต้น

บัลลาสต์ที่ใช้งานร่วมกับหลอดดีชชาร์จทั้งหาย จะทำหน้าที่ควบคุมกระแสหรือพลังไฟฟ้าของหลอดในขณะที่หลอดทำงานตามปกติ และจะช่วยจุดหลอดในตอนเริ่มเปิดใช้งาน การใช้งานร่วมกันระหว่างหลอดไฟฟ้าและบัลลาสต์จะต้องเป็นชนิดที่ออกแบบให้ใช้งานร่วมกันได้ ถ้าใช้งานหลอดกับบัลลาสต์ผิดชนิดกัน จะทำให้เกิดผลเสียหลายอย่าง เช่น จุดติดยาก หลอดเสื่อมสภาพเร็ว หลอดอายุสั้น เกิดกำลังงานสูญเสียในบัลลาสต์ ทำให้บัลลาสต์อายุสั้นได้

โคมไฟแสงสว่าง ทำหน้าที่ยึดหลอดและอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เช่น บัลลาสต์ สตาร์ทเตอร์ เป็นต้น และทำหน้าที่ควบคุมลำแสงให้แสงที่ออกจากโคมไปตกบนพื้นที่ต้องการ ในการเลือกใช้งานโคมไฟจึงไม่ควรเลือกโดยคำนึงถึงแต่ความสวยงามแต่เพียงอย่างเดียว แต่ควรจะคำนึงถึงประสิทธิภาพของโคมไฟด้วย ประสิทธิภาพของโคมจะเป็นตัวบอกให้ทราบว่าโคมไฟสามารถให้แสงที่เปล่งจากหลอดหลุดออกมาข้างนอกได้มากน้อยเพียงใด

ตารางที่ ค-4 : แสดงระดับความส่องสว่างมาตรฐาน และ ตารางเปรียบเทียบกำลังส่องสว่างของหลอดไฟฟ้าแบบต่าง ๆกับอายุการใช้งาน

ความเข้มของมาตรฐานการส่องสว่าง (LUX)			
อาคารทั่วไป		***อุตสาหกรรมเสื้อผ้า***	
พื้นที่ระบายอากาศ,ระเบียง	100	ห้องเย็บผ้า	750
บันได,ลิฟท์	150	ห้องตรวจสอบ	1000
ห้องปั้มบัตรเวลา, ห้องน้ำ	150	ห้องรีดผ้า	500
ห้องเก็บของ, ห้องเก็บสินค้า	150	***อุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า***	
ร้านประกอบอุปกรณ์		งานผลิตสายเคเบิ้ล	300
งานไม่ปราณีต, งานประกอบอุปกรณ์	300	งานประกอบเครื่องโทรศัพท์	500
งานปราณีตปานกลาง, งานประกอบเครื่องจักร, ตัวถัง, ล้อรถ	500	งานพับสายไฟฟ้า	750
		งานประกอบวิทยุและโทรทัศน์	1000
งานปราณีต, งานอิเลคทรอนิกส์, งานสำนักงาน และงานประกอบขึ้นรูปเครื่องจักร	750	งานปราณีตประกอบอุปกรณ์ขนาดเล็ก	1500
		งานประกอบอิเลคทรอนิกส์	1500
งานละเอียดมาก, งานประกอบเครื่องมือ	1500	***อุตสาหกรรมแก้ว, เครื่องปั้นดินเผา***	
อุตสาหกรรมเคมี		ห้องเตาเผา	150
งานทั่วไปภายในโรงงาน	300	ห้องผสมวัตถุดิบ, หล่อแบบ, ขึ้นรูป	300
งานกระบวนการอัตโนมัติ	150	ห้องขัดเงา และ เคลือบผิว	500
ห้องควบคุม, ห้องปฏิบัติการ	500	ห้องสี และ ตกแต่ง	750
อุตสาหกรรมการผลิตยา	500	ห้องบดวัตถุ, ห้องทำเลนส์, แก้ว	1000
ห้องตรวจสอบสี	750	เจียระไน	1000
ห้องเทียบสี	1000	งานละเอียด	
อุตสาหกรรมยางรถยนต์	500	***อุตสาหกรรมหล่อเหล็ก***	200
อุตสาหกรรมอาหาร		เตาหลอมเหล็ก	300
พื้นที่ทั่วไป	300	งานขึ้นรูป, งานกำหนดขนาดเหล็ก	500
กระบวนการอัตโนมัติ	200	งานขึ้นรูปละเอียด, งานตรวจสอบ	
หน่วยปรุงแต่งรส, ตรวจสอบคุณภาพ	500	***อุตสาหกรรมเหล็ก***	100
อุตสาหกรรมเครื่องจักรกล		ห้องผลิตโดยใช้ระบบอัตโนมัติ	150
งานทั่วไป	200	ห้องผลิตโดยใช้ระบบกึ่งอัตโนมัติ	300
งานไม่ปราณีตและงานเครื่องจักร	300	ห้องที่มีเครื่องจักรทำงานตลอดเวลา	500
		ห้องควบคุมและตรวจสอบ	

ความเข้มของมาตรฐานการส่องสว่าง (LUX)	
งานทาสีและห้องพ่นสี	
งานผสมสีและพ่นสี	300
งานทาสี, พ่นสี และตกแต่ง	500
งานทาสี, พ่นสี และตกแต่งอย่างปราณีต	750
งานตกแต่ง และเทียบสี	1000
อุตสาหกรรมกระดาษ	
งานทำกระดาษ	300
กระบวนการผลิตอัตโนมัติ	200
งานตรวจสอบและแยกประเภทกระดาษ	500
อุตสาหกรรมงานพิมพ์และเย็บเล่ม	
ห้องแท่นพิมพ์	500
ห้องเขียนเอกสาร, ตรวจปรู๊ฟ	750
ห้องตรวจปรู๊ฟละเอียด	1000
ห้องพิมพ์สี	1500
ห้องแกะอักษร	2000
ห้องเย็บเล่ม	500
ห้องตัดขอบหนังสือ	750
ร้าน, ห้องเก็บของ, พิพิธภัณฑ์	
ร้านขายของชำ	300
ร้านบริการตัวเอง	500
ร้านซุปเปอร์มาร์เก็ต	750
ห้องโชว์	500
พิพิธภัณฑ์ และห้องแสดงภาพ	300
โรงแรม	
ห้องโถงหน้าโรงแรม	300
ห้องอาหาร	200
ห้องครัว	500
ห้องนอน, ห้องน้ำ	
ทั่วไป	100
เฉพาะจุดใช้งาน	300
อุตสาหกรรมสิ่งทอ	
ห้องเตรียมวัตถุดิบ, ทอด้าย	300
ห้องปั่นด้าย, ม้วนด้าย และย้อมสี	500
ห้องทำด้ายละเอียด, ห้องกรอด้าย	750
ห้องเย็บแก้ และตรวจสอบ	1000
อุตสาหกรรมผลิตไม้และเฟอร์นิเจอร์	200
ห้องเลื่อยไม้	300
งานนั่งโต๊ะประกอบ	500
งานเครื่องตัดไม้	750
งานขึ้นรูป และตรวจสอบ	
สำนักงาน	500
งานพิมพ์ทั่วไป และห้องคอมพิวเตอร์	750
ห้องประชุมย่อยเพื่อวางแผน	750
ห้องเขียนแบบ	500
ห้องประชุมใหญ่	
โรงเรียน	300
ห้องเรียน, ห้องบรรยายรวม	500
ห้องปฏิบัติการ, ห้องสมุด และห้องศิลป์	
อาคารสาธารณะ	
โรงฉายภาพยนต์	50
ห้องมโหรสพ	150
ห้องโถงใหญ่	
โรงภาพยนต์และห้องแสดงคอนเสิร์ต	100
ห้องมโหรสพ	200
ห้องโถงใหญ่	
อาคารสัมมนา	100
โบสถ์	150
ห้องขับร้องทางศาสนา	

ความเข้มของมาตรฐานการส่องสว่าง (LUX)			
บ้าน		***โรงพยาบาล***	
ห้องนอน (ทั่วไป)	50	ตึกผู้ป่วย	
ห้องนอน (หัวเตียง)	200	แสงสว่างทั่วไป	100
ห้องน้ำ (ทั่วไป)	100	ห้องตรวจโรค	300
ห้องน้ำ (โกนหนวด, แต่งหน้า)	500	ห้องอ่านหนังสือ	200
ห้องนั่งเล่น	100	ห้องผู้ป่วยตอนกลางคืน	5
ห้องอ่านหนังสือ	500	ห้องตรวจโรค	
ห้องครัว (ทั่วไป)	300	แสงสว่างทั่วไป	500
ห้องครัว (เตรียมอาหาร)	500	ตรวจเฉพาะโรค	1000
ห้องทำงาน	300	ห้องกายภาพบำบัด	
ห้องเด็กอ่อน	150	หัวเตียงคนไข้	50
บันได	100	ห้องสังเกตการณ์	750
		ห้องพยาบาล	300
		ห้องผ่าตัด	
		แสงสว่างทั่วไป	750
		แสงสว่างเฉพาะที่	3000
		ห้องชันสูตรพลิกศพ	
		แสงสว่างทั่วไป	750
		แสงสว่างเฉพาะที่	1000
		ห้องปฏิบัติการและห้องจ่ายยา	
		แสงสว่างทั่วไป	500
		แสงสว่างเฉพาะที่	750
		ห้องปรึกษาแพทย์	
		แสงสว่างทั่วไป	500
		แสงสว่างเฉพาะที่	750

การออกแบบแสงสว่างให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างต้องได้รับการออกแบบและติดตั้ง เพื่อให้การประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้สภาพแวดล้อมทั่ว ๆ ไปของการมองเห็นมีความปลอดภัย วิธีการให้แสงสว่างที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญของการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี

1. การให้แสงสว่างแบบมีความสว่างเกือบเท่ากันตลอดพื้นที่ (General Lighting) วิธีนี้เป็นการให้แสงสว่างจากโคมไฟที่ติดตั้งอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่เพดาน การให้แสงสว่างแบบนี้มีข้อดีคือ สามารถออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้โดยไม่ต้องทราบตำแหน่งทำงานที่แน่นอนและสามารถย้ายตำแหน่งทำงานภายหลังได้ แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้โคมไฟจำนวนมาก เสียค่าใช้จ่ายต่าง ๆ สูง และไม่ประหยัดพลังงาน

2. การให้แสงสว่างเฉพาะพื้นที่ (Localised General Lighting) การให้แสงวิธีนี้จะประหยัดกว่าวิธีแรกโดยการรวมพื้นที่ทำงานเป็นกลุ่ม ๆ โดยแต่ละกลุ่มอาจจะต้องการระดับความสว่างเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ แล้วแต่ประเภทของงานหรือกิจกรรมในกลุ่มพื้นที่ทำงานเหล่านี้จะมีระบบไฟฟ้าแสงสว่างแยกกันอย่างอิสระ ทำให้สามารถควบคุมการเปิด-ปิดใช้งานแยกกันได้ แต่มีข้อเสียคือ หลังจากติดตั้งระบบใช้งานไปแล้ว จะย้ายตำแหน่งพื้นที่ทำงานไม่ได้ อย่างไรก็ตามโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มักจะมีกระบวนการผลิตที่ติดตั้งตายตัว ไม่ค่อยย้ายตำแหน่งอยู่แล้ว

3. การให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่ง (Local Lighting) การให้แสงสว่างด้วยวิธีนี้เป็นการให้แสงสว่างเสริมใช้สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง หรืองานตรวจแบบผลิตภัณฑ์ซึ่งต้องการให้แสงสว่างด้วยวิธีพิเศษ โดยติดตั้งโคมไฟที่ตำแหน่งใกล้ผู้ทำงาน หรือชิ้นงานและให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่งและทิศทาง ซึ่งต้องการเท่านั้น

การใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้เหมาะสม เพื่อการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง ยังเข้าใจกันแบบง่าย ๆ ว่า ทำได้โดยการเปิดไฟเป็นบางดวงหรือปิดไฟเสีย ซึ่งเป็นความคิดที่ไม่ถูกต้อง วิธีการนี้ ถ้ามองดูอย่างผิวเผินก็ดูเหมือนจะเป็นวิธีการที่ได้ผล แต่ถ้ามองให้ไกลออกไป และคิดถึงความต้องการและผลดีของการให้ไฟแสงสว่างอย่างเหมาะสม วิธีการนี้ก็จะทำอยู่ไม่ได้นาน

การเปิดไฟให้น้อยลงหรือการดับไฟเป็นการประหยัดพลังงานแบบชั่วคราว และมีผลทางจิตวิทยา แต่ถ้าปิดไฟโดยไม่ละเว้นดวงที่จำเป็น จะเป็นการไม่เหมาะสม เพราะถ้าทำเช่นนั้นนาน ๆ สายตาจะล้า ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานตกต่ำลง อุบัติเหตุก็จะมากขึ้น นั้นคือ ทำ

ให้สภาพแวดล้อมในการทำงานไม่ดี และยังอาจทำให้อุปนิสัยของคนงานแย่ลงก็ได้ ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นสิ่งไม่พึงปรารถนาทั้งสิ้น

วิธีการปิด-เปิดระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่จะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานสามารถกระทำได้ดังนี้

1. การปิดไฟแสงสว่างทั้งหมด เช่น ในเวลาหยุดพักเที่ยงให้ทำการตัดไฟทั้งหมด โดยตัดที่สายเมนของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

2. การปิดไฟแสงสว่างเป็นบางส่วน เช่น ในบริเวณที่สามารถใช้แสงสว่างจากแสงอาทิตย์ได้ หรือบริเวณที่ไม่ใช้แสงสว่างในช่วงเวลาสั้น เช่น ไฟส่องสว่างเฉพาะตำแหน่งที่เครื่องจักร เป็นต้น

3. ใช้สวิตช์ควบคุมการปิดเปิด 2 ทางเพื่อให้สามารถควบคุมการใช้ไฟแสงสว่างที่จุดต่าง ๆ ที่เหมาะสมโดยมีตัวบอก (Indicator) เพื่อบอกให้ทราบสภาวะการทำงานของหลอดไฟที่แผงสวิตช์

4. ใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติต่าง ๆ เช่น การตั้งเวลาปิด-เปิด ใช้สวิตช์ที่ควบคุมด้วยปริมาณแสง ตลอดจนใช้อุปกรณ์ที่สามารถตั้งโปรแกรมการทำงานได้

การซ่อมบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

เมื่อใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างไปเป็นระยะเวลานาน ๆ จะพบว่าความสว่างจะลดลงตามระยะเวลา เนื่องจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น หลอดเสื่อมสภาพ โคมไฟแสงสว่างสกปรกทำให้แสงลดลง เป็นต้น จากการศึกษาพบว่ามีแฟคเตอร์หลายค่าที่มีผลต่อการลดของค่าความสว่างจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ดังนั้นนึงต้องคำนึงถึงแฟคเตอร์เหล่านี้ด้วย

1. <u>ผลของอุณหภูมิ</u> หลอดไฟแสงสว่างบางชนิด เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ จะให้ปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างเปลี่ยนแปลงไป ถ้าอุณหภูมิรอบ ๆ หลอดเปลี่ยนไป การใช้งานหลอดประเภทนี้จึงต้องใช้กับสถานที่ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่หลอดสามารถให้แสงออกมาได้สูงสุด

2. <u>ผลของระดับแรงดันไฟฟ้า</u> ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้โคมไฟแสงสว่างเปลี่ยนไปจากค่าพิกัดของหลอดไฟและอุปกรณ์ประกอบ จะทำให้คุณสมบัติการทำงานของหลอดเปลี่ยนแปลงไปมีผลทำให้ปริมาณ ฟลักซ์การส่องสว่างเปลี่ยนไป ดังนั้น จึงควรทำการสำรวจระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนี้ว่าได้รับแรงดันตรงตามค่าพิกัดหรือไม่

3. <u>ผลจากบัลลาสต์</u> การใช้บัลลาสต์คนละชนิดกันก็จะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดเพื่อหลีกเลี่ยงผลที่จะเกิดขึ้นจึงควรเลือกใช้บัลลาสต์ให้เหมาะสมกับหลอดแต่ละชนิด

4. ผลจากการเสื่อมสภาพของวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ทำโคมไฟ หลังจากใช้งานเป็นเวลานาน ๆ วัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ทำหรือเป็นส่วนประกอบของโคมจะมีการเปลี่ยนสภาพ เช่น แผ่นสะท้อนแสง (Reflector) มีผิวไม่เรียบขรุขระ เพราะถูกกัดกร่อนจากไอกรดในบรรยากาศรอบ ๆ ทำให้สะท้อนแสงได้น้อยลง ฝาครอบกระจายแสง (Diffuser) มีสีหมองคล้ำ ยอมให้แสงผ่านได้น้อยลง เป็นต้น ในการเลือกใช้งานโคมไฟจึงต้องเลือกโคมไฟที่ผลิตจากวัสดุชั้นดี มีคุณภาพสูง

5. ผลจากเพดาน ผนังและพื้นห้องสกปรกหรือสีหมองคล้ำลง วัสดุที่ใช้ทำฝาผนัง เพดานและพื้นห้อง หรือสีที่ใช้ทาส่วนต่าง ๆ เหล่านี้จะมีสีหมองคล้ำ เนื่องจากเสื่อมสภาพไปตามอายุใช้งาน ตลอดจนเกิดความสกปรกขึ้น เนื่องจากฝุ่นละอองต่าง ๆทำให้แสงที่สะท้อนจากส่วนต่าง ๆ เหล่านี้ตกกระทบบนพื้นที่ทำงานน้อยลง

6. ผลจากหลอดขาดหรือหลอดเสีย ในการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างจะมีหลอดจำนวนหนึ่งขาดหรือเสีย ใช้งานไม่ได้ ทำให้ปริมาณแสงจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างลดลง ถ้าตำแหน่งของโคมไฟอยู่ในระดับต่ำก็อาจจะเปลี่ยนหลอดใหม่ได้ง่าย แต่ถ้าตำแหน่งของโคมไฟอยู่ในระดับสูง เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่ว ๆ ไป การเปลี่ยนหลอดใหม่ก็อาจจะทำได้ไม่ง่ายนัก และมักจะเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้น จึงต้องมีการวางแผนเปลี่ยนหลอดที่ขาดหรือเสีย ใช้งานไม่ได้ไว้ด้วย การวางแผนการเปลี่ยนหลอดจะพิจารณาจากแฟคเตอร์ที่สำคัญ 2 ตัว คือการเสื่อมสภาพของหลอดและจำนวนหลอดที่ขาดหรือเสียก่อนหลอดอายุการใช้งาน จำนวนหลอดที่ขาดหรือเสียก่อนหมดอายุการใช้งานเป็นตัวบอกให้ทราบว่าควรจะเปลี่ยนหลอดทั้งหมดหรือเป็นกลุ่มตามที่วางแผนไว้เมื่อใดจึงจะเหมาะสมที่สุด ถ้าเราใช้งานหลอดไฟแสงสว่างเป็นเวลานานเท่ากับอายุใช้งานที่ทางผู้ผลิตกำหนดไว้ เราจะพบว่าจะเหลือหลอดที่ใช้งานได้เพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการเปลี่ยนหลอดจึงต้องกระทำที่ช่วงเวลาก่อนหลอดหมดอายุดการใช้งาน

7. ผลจากดวงโคมไฟสกปรก ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่าง ๆ จะสะสมตัวเกาะติดอยู่ที่ตัวโคมไฟแสงสว่างหลังจากใช้งานไประยะหนึ่งทำให้ประสิทธิภาพของดวงโคมไฟลดลง การกระจายแสงเปลี่ยนไปและปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างที่ได้จะลดลง ดังนั้นจึงควรทำความสะอาดดวงโคมเป็นประจำ ผลดีจากการซ่อมบำรุงรักษาที่ถูกต้องสำหรับอาคารธุรกิจแห่งหนึ่ง ซึ่งเดิมมีการซ่อมบำรุงที่ไม่ดี จะเห็นได้ว่าเพียงแต่ทำการเปลี่ยนหลอดทั้งหมดและทำความสะอาดอุปกรณ์ก็จะทำให้ปริมาณของฟลักซ์การส่องสว่างที่เปล่งออกมาจากหลอดสูงขึ้นเป็น 75 %

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ดีคือ ระบบที่ทำให้การประกอบกิจการต่าง ๆ ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพสูง มีความปลอดภัย การที่จะให้ได้มาซึ่งระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ดีสามารถประหยัด

พลังงานได้นั้นจะขึ้นอยู่กับทั้งผู้ออกแบบผู้ใช้งานและผู้เป็นเจ้าของ ผู้ออกแบบจะต้องเลือกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงเหมาะสมกับการใช้งาน ผู้ใช้งานจะต้องรู้จักใช้คือ เปิดใช้เมื่อต้องการใช้เท่านั้น ส่วนผู้ที่เป็นเจ้าของก็ต้องให้ความเอาใจใส่ควรตรวจซ่อมบำรุงและรักษาให้อยู่ในสภาพที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อบุคคลต่าง ๆ เหล่านี้มองเห็นความสำคัญของระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ตนเองเกี่ยวข้องอยู่ ก็จะทำให้ได้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีอยู่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ได้

การวิเคราะห์ผลด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

- การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period Analysis) คือ การวิเคราะห์หาระยะเวลาที่ รายรับ และ รายจ่าย ที่แปรผันตามปัจจัยต่าง ๆ เท่ากัน
- การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทน (Rate Of Retum) คือ การวิเคราะห์หาอัตราผลตอบแทนร้อยละ (ดอกเบี้ย) ที่ได้จากการลงทุน เมื่อเทียบต่อเวลาที่ลงทุนไป 1 ปี
- การวิเคราะห์อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio) คือ การวิเคราะห์หาอัตราส่วนในการทำการตัดสินใจในแต่ละทางเลือก
- การวิเคราะห์การทดแทนของทรัพย์สิน (Evaluate of Replacement) คือ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนทดแทนทรัพย์สินใหม่ แทน ทรัพย์สินเดิม

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

ภาคผนวก จ.

ตารางแปลงหน่วย

IMPERIAL	× Factor	= METRIC	× Factor	= IMPERIAL
ENERGY				
Btu	× 1.055	= kJ	× 0.9478	= Btu/h
therms	× 105.5	= MJ	× 0.009478	= therms
Btu	× 0.000293	= kWh	× 3142.0	= Btu
therms	× 29.31	= kWh	× 0.03412	= therms
kWh	× 3.6	= MJ	× 2.2778	= kWh
hph	× 2.684	= MJ	× 0.3725	= hph
also therms	× 10^3	= Btu	kcal × 4.187	= kJ
			kcal × 3.968	= Btu
POWER, HEAT OR ENERGY FLOW RATE				
[illegible]	× 0.0002931	= kW	× 3412.0	= Btu/h
therms/h	× 29.31	= kW	× 0.03412	= therms/h
[illegible]	× 0.7457	= kW	× 1.341	= hp
[illegible]ation	× 3.517	= kW	× 0.2843	= tons of refrigeration
[illegible]	× 0.2844	= kW	× 3.517	= Steam, lb/h
Steam, kg/h	× 0.6269	= kW	× 1.595	= steam, kg/h
[illegible]	× 0.001163	= kW	× 859.8	= kcal/h
also tons of refrigeration	× 12000.0	= Btu/h	Steam,lb/h × 970.3	= Btu/h
			therms/h × 103.1	= steam, lb/h

Note: Steam flow rates are given From and At 100°C

CALORIFIC VALUE, HEAT CONTENT				
Btu/lb	× 2.326	= kJ/kg (MJ/tonne)	× 0.4299	= [illegible]
[illegible]	× 0.002326	= [illegible]	× 429.9	= Btu/lb
[illegible]	× 37.26	= [illegible]	× 0.02684	= Btu/ft³
Btu/ft³	× 0.03726	= [illegible]	× 26.8	= Btu/ft³
Btu/gal	× 0.2321	= [illegible]	× 4.309	= Btu/gal
therms/gal	× 23.21	= MJ/l (GJ/m³)	× 0.04309	= therms/gal
also: kcal/kg	× 4.187	= kJ/kg MJ/kg (GJ/tonne)	× 1000.0	= kJ/kg (MJ/tonne)
kcal/kg	× 1.8	= Btu/lb MJ/l (GJ/m³)	× 1000.0	= kJ/l (MJ/m³)
therms/tonne	× 44.64	= Btu/lb		
SPECIFIC HEAT				
Btu/lb °F	× 4.187	= kJ/kg °C	× 0.2388	= Btu/lb °F
Btu/ft³ °F	× 67.07	= kJ/m³ °C	× 0.01491	= Btu/ft³ °F

THERMAL CONDUCTIVITY

[illegible]	×	0.1442	=	[illegible]	×	6.933	=	[illegible]

HEAT TRANSFER COEFFICIENT

[illegible]	×	5.678	=	[illegible]	×	0.1761	=	[illegible]

HEAT TRANSFER

[illegible]	×	0.003155	=	[illegible]	×	317.0	=	[illegible]

COMBUSTION INTENSITY, HEAT LOADING

[illegible]	×	0.01035	=	[illegible]	×	96.62	=	[illegible]

DENSITY, CONCENTRATION, HUMIDITY

[illegible]	×	0.01602	=	[illegible]	×	62.43	=	[illegible]
[illegible]	×	16.02	=	[illegible]	×	0.06243	=	[illegible]
[illegible]	×	0.09978	=	[illegible]	×	10.2	=	[illegible]
[illegible]	×	0.002288	=	[illegible]	×	437.0	=	[illegible]
[illegible]	×	0.0001429	=	[illegible]	×	7000	=	[illegible]

also: kg/l × 1000.0 = kg/m^3

kg/l kg/d m^3 = relative density (to water at 4°C) specific gravity (water at 4 C)

Density relative to air at 15°C 1 atmosphere × 1.225 kg/m^3

PRESSURE

[illegible]	×	0.06895	=	[illegible]	×	14.50	=	[illegible]
[illegible]	×	6.895	=	[illegible]	×	0.1450	=	[illegible]
psi	×	68.95	=	mbar	×	0.01450	=	[illegible]
[illegible]	×	703.1	=	[illegible]	×	0.001422	=	[illegible]
[illegible]	×	33.86	=	[illegible]	×	0.02953	=	[illegible]
in H_2O	×	2.491	=	[illegible]	×	0.4015	=	in H_2O

also: Standard Atmospheres (atm) × 1.013 = bar Standard Atmospheres (atm) × 14.70 = psi

in Hg	×	0.4912	= psi	mm Hg	×	1.333	= mbar
in H_2O	×	0.03612	= psi	mm H_2O	×	9.807	= mbar
torr			= mm Hg	bar	=	1000.0	= mbar
kN/m^2			= kPa	bar	=	100.0	= kPa

Notes: (a) lb/m^2 is abbreviated above to psi

(b) mm Hg, in Hg, mm H_2O and in H_2O are as conventionally measured.

(c) the suffixes-a and -g refer to absolute and gauge pressures respectively.
gauge pressure plus atmospheric pressure (in the same units) = absolute pressure.

(b) Hg and H_2O refer to Mercury and Water respectively.

MASS

grains	×	0.06480	=	g	×	15.43	=	grains
oz	×	28.35	=	g	×	0.03528	=	oz
lb	×	453.6	=	g	×	0.002205	=	lb
lb	×	0.4536	=	kg	×	2.205	=	lb
ton	×	1.016	=	tonne	×	0.9842	=	ton

also: lb	×	7000.0	=	grains	kg	×	1000.0	= g
ton	×	2240.0	=	lb	tonne	×	1000.0	= kg

LENGTH

inches	×	25.40	=	mm	×	0.03937	=	inches
feet	×	0.3048	=	metres	×	3.281	=	feet
miles	×	1.609	=	km	×	0.6214	=	miles

AREA

in^2	×	645.2	=	mm^2	×	0.001550	=	in^2
in^2	×	0.0006452	=	m^2	×	1550.0	=	in^2
ft^2	×	0.09290	=	m^2	×	10.76	=	ft^2
yd^2	×	0.8361	=	m^2	×	1.96	=	yd^2

also: acres	×	43560.0	=	ft^2	hectares (hal)	×	10000.0	= m^2

VOLUME

gal (imp)	×	4.546	=	litres	×	0.2200	=	gal (imp)
gal (imp)	×	0.004546	=	m^3	×	220.0	=	gal (imp)
ft^3	×	28.32	=	litres	×	0.03531	=	ft^3
ft^3	×	0.02832	=	m^3	×	35.31	=	ft^3
yd^3	×	0.7646	=	m^3	×	1.308	=	yd^3

also: ft^3	×	6.229	=	gal (imp)	m^3	×	1000.0	= litres
U.S. gal	×	0.8327	=	gal (imp)	U.S. barrel (bbl)	×	159.0	= litres
U.S. gal	×	3.785	=	litres	dm^3			= litres

FLOW RATE

cfm	×	0.0004719	=	m^3/s	×	2119.0	=	cfm
cfm	×	0.4719	=	l/s	×	2.119	=	cfm
gal/min	×	0.2728	=	m^3/h	×	3.666	=	gal/min
gal/min	×	0.07577	=	l/s	×	13.20	=	gal/min

also: l/s = dm^3/s

Note: (i) All the factors have been rounded to four significant figures for ease of use.
(ii) When referring to temperature changes or differences as in Specific Heat etc.
'F may be replaced by 'R
C may be replaced by k

ภาคผนวก ง.

อัตราค่าไฟฟ้าในเขตการไฟฟ้านครหลวง

(เริ่มใช้ตั้งแต่ วันที่ 1 ธันวาคม 2534)

ประเภทที่ 6 ส่วนราชการ และ องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร

6.1 ระดับแรงดันไฟฟ้า 69 กิโลโวลท์ ขึ้นไป

10,000 หน่วย แรก หรือ น้อยกว่า เป็นเงิน 14,800.00 บาท

เกินกว่า 10,000 หน่วย ขึ้นไป หน่วยละ 1.48 บาท

6.2 ระดับแรงดันไฟฟ้า 12-24 กิโลโวลท์

300 หน่วยแรก หรือ น้อยกว่า เป็นเงิน 495.00 บาท

เกินกว่า 300 หน่วยขึ้นไป หน่วยละ 1.65 บาท

6.3 ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 12 กิโลโวลท์

10 หน่วยแรก หรือ น้อยกว่า เป็นเงิน 18.70 บาท

เกินกว่า 10 หน่วยขึ้นไป หน่วยละ 1.87 บาท

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด :

ระดับแรงดันไฟฟ้า 69 กิโลโวลท์ ขึ้นไป

เดือนละ 14,800.00 บาท

ระดับแรงดันไฟฟ้า 12-24 กิโลโวลท์ ขึ้นไป

เดือนละ 495.00 บาท

ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 12 กิโลโวลท์

เดือนละ 18.70 บาท

ข้อกำหนดเกี่ยวกับการปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ

หากค่าใช้จ่ายที่ไม่ได้อยู่ในความควบคุมของการไฟฟ้าฯ เช่น ราคาเชื่อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ฯลฯ เปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่หน่วยละ 2 สตางค์ การไฟฟ้านครหลวงจะปรับค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น หรือ ลดลง โดยแสดงจำนวนเงินไว้ในใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้าด้วย

ภาคผนวก จ.

ตารางอัตราดอกเบี้ย

อัตราดอกเบี้ย 10 %

	ระบบจ่ายที่เดียว		ระบบจ่ายเป็นอนุกรม				
n	Compound Amount Factor CAF	Present Worth Factor PWF	Sinking Fund Factor SFF	Capital Recovery Factor CRF	Compound Amount Factor SCAF	Present Worth Factor SPWF	n
1	1.1000	0.9091	1.000 00	1.100 00	1.000	0.909	1
2	1.2100	0.8264	0.476 19	0.576 19	2.100	1.736	2
3	1.3310	0.7513	0.302 11	0.402 11	3.310	2.487	3
4	1.4641	0.6830	0.215 47	0.315 47	4.641	3.170	4
5	1.6105	0.6209	0.163 80	0.263 80	6.105	3.791	5
6	1.7716	0.5645	0.129 61	0.229 61	7.716	4.355	6
7	1.9487	0.5132	0.105 41	0.205 41	9.487	4.868	7
8	2.1436	0.4665	0.087 44	0.187 44	11.436	5.335	8
9	2.3579	0.4241	0.073 64	0.173 64	13.579	5.759	9
10	2.5937	0.3855	0.062 75	0.162 75	15.937	6.144	10
11	2.8531	0.3505	0.053 96	0.153 96	18.531	6.495	11
12	3.1384	0.3186	0.046 76	0.146 76	21.384	6.814	12
13	3.4523	0.2897	0.040 78	0.140 78	24.523	7.103	13
14	3.7975	0.2633	0.035 75	0.135 75	27.975	7.367	14
15	4.1772	0.2394	0.031 47	0.131 47	31.772	7.606	15
16	4.5950	0.2176	0.027 82	0.127 82	35.950	7.824	16
17	5.0545	0.1978	0.024 66	0.124 66	40.545	8.022	17
18	5.5599	0.1799	0.021 93	0.121 93	45.599	8.201	18
19	6.1159	0.1635	0.019 55	0.119 55	51.159	8.365	19
20	6.7275	0.1486	0.017 46	0.117 46	57.275	8.514	20
21	7.4002	0.1351	0.015 62	0.115 62	64.002	8.649	21
22	8.1403	0.1228	0.014 01	0.114 01	71.403	8.772	22
23	8.9543	0.1117	0.012 57	0.112 57	79.543	8.883	23
24	9.8497	0.1015	0.011 30	0.111 30	88.497	8.985	24
25	10.8347	0.0923	0.010 17	0.110 17	98.347	9.077	25
26	11.9182	0.0839	0.009 16	0.109 16	109.182	9.161	26
27	13.1100	0.0763	0.008 26	0.108 26	121.100	9.237	27
28	14.4210	0.0693	0.007 45	0.107 45	134.210	9.307	28
29	15.8631	0.0630	0.006 73	0.106 73	148.631	9.370	29
30	17.4494	0.0573	0.006 08	0.106 08	164.494	9.427	30
31	19.1943	0.0521	0.005 50	0.105 50	181.943	9.479	31
32	21.1138	0.0474	0.004 97	0.104 97	201.138	9.526	32
33	23.2252	0.0431	0.004 50	0.104 50	222.252	9.569	33
34	25.5477	0.0391	0.004 07	0.104 07	245.477	9.609	34
35	28.1024	0.0356	0.003 69	0.103 69	271.024	9.644	35
40	45.2593	0.0221	0.002 26	0.102 26	442.593	9.779	40
45	72.8905	0.0137	0.001 39	0.101 39	718.905	9.863	45
50	117.3909	0.0085	0.000 86	0.100 86	1 163.909	9.915	50
55	189.0591	0.0053	0.000 53	0.100 53	1 880.591	9.947	55
60	304.4816	0.0033	0.000 33	0.100 33	3 034.816	9.967	60
65	490.3707	0.0020	0.000 20	0.100 20	4 893.707	9.980	65
70	789.7470	0.0013	0.000 13	0.100 13	7 887.470	9.987	70
75	1 271.8952	0.0008	0.000 08	0.100 08	12 708.954	9.992	75
80	2 048.4002	0.0005	0.000 05	0.100 05	20 474.002	9.995	80
85	3 298.9690	0.0003	0.000 03	0.100 03	32 979.690	9.997	85
90	5 313.0226	0.0002	0.000 02	0.100 02	53 120.226	9.998	90
95	8 556.6760	0.0001	0.000 01	0.100 01	85 556.760	9.999	95
100	13 780.6123	0.0001	0.000 01	0.100 01	137 796.123	9.999	100

อัตราดอกเบี้ย 12 %

	ระบบจ่ายครั้งเดียว		ระบบจ่ายเป็นงวดสม่ำเสมอ				
n	Compound Amount Factor CAF	Present Worth Factor PWF	Sinking Fund Factor SFF	Capital Recovery Factor CRF	Compound Amount Factor SCAF	Present Worth Factor SPWF	n
1	1.1200	0.8929	1.000 00	1.120 00	1.000	0.893	1
2	1.2544	0.7972	0.471 70	0.591 70	2.120	1.690	2
3	1.4049	0.7118	0.296 35	0.416 35	3.374	2.402	3
4	1.5735	0.6355	0.209 23	0.329 23	4.779	3.037	4
5	1.7623	0.5674	0.157 41	0.277 41	6.353	3.605	5
6	1.9738	0.5066	0.123 23	0.243 23	8.115	4.111	6
7	2.2107	0.4523	0.099 12	0.219 12	10.089	4.564	7
8	2.4760	0.4039	0.081 30	0.201 30	12.300	4.968	8
9	2.7731	0.3606	0.067 68	0.187 68	14.776	5.328	9
10	3.1058	0.3220	0.056 98	0.176 98	17.549	5.650	10
11	3.4785	0.2875	0.048 42	0.168 42	20.655	5.938	11
12	3.8960	0.2567	0.041 44	0.161 44	24.133	6.194	12
13	4.3635	0.2292	0.035 68	0.155 68	28.029	6.424	13
14	4.8871	0.2046	0.030 87	0.150 87	32.393	6.628	14
15	5.4736	0.1827	0.026 82	0.146 82	37.280	6.811	15
16	6.1304	0.1631	0.023 39	0.143 39	42.753	6.974	16
17	6.8660	0.1456	0.020 46	0.140 46	48.884	7.120	17
18	7.6900	0.1300	0.017 94	0.137 94	55.750	7.250	18
19	8.6128	0.1161	0.015 76	0.135 76	63.440	7.366	19
20	9.6463	0.1037	0.013 88	0.133 88	72.052	7.469	20
21	10.8038	0.0926	0.012 24	0.132 24	81.699	7.562	21
22	12.1003	0.0826	0.010 81	0.130 81	92.503	7.645	22
23	13.5523	0.0738	0.009 56	0.129 56	104.603	7.718	23
24	15.1786	0.0659	0.008 46	0.128 46	118.155	7.784	24
25	17.0001	0.0588	0.007 50	0.127 50	133.334	7.843	25
26	19.0401	0.0525	0.006 65	0.126 65	150.334	7.896	26
27	21.3249	0.0469	0.005 90	0.125 90	169.374	7.943	27
28	23.8839	0.0419	0.005 24	0.125 24	190.699	7.984	28
29	26.7499	0.0374	0.004 66	0.124 66	214.583	8.022	29
30	29.9599	0.0334	0.004 14	0.124 14	241.333	8.055	30
31	33.5551	0.0298	0.003 69	0.123 69	271.292	8.085	31
32	37.5817	0.0266	0.003 28	0.123 28	304.847	8.112	32
33	42.0915	0.0238	0.002 92	0.122 92	342.429	8.135	33
34	47.1425	0.0212	0.002 60	0.122 60	384.520	8.157	34
35	52.7996	0.0189	0.002 32	0.122 32	431.663	8.176	35
40	93.0510	0.0107	0.001 30	0.121 30	767.091	8.244	40
45	163.9876	0.0061	0.000 74	0.120 74	1 358.230	8.283	45
50	289.0022	0.0035	0.000 42	0.120 42	2 400.018	8.305	50
∞				0.120 00		8.333	∞

อัตราดอกเบี้ย 15 %

	ระบบจ่ายครั้งเดียว		ระบบจ่ายเป็นอนุกรม				
n	Compound Amount Factor CAF	Present Worth Factor PWF	Sinking Fund Factor SFF	Capital Recovery Factor CRF	Compound Amount Factor SCAF	Present Worth Factor SPWF	n
1	1.1500	0.8696	1.000 00	1.150 00	1.000	0.870	1
2	1.3225	0.7561	0.465 12	0.615 12	2.150	1.626	2
3	1.5209	0.6575	0.287 98	0.437 98	3.472	2.283	3
4	1.7490	0.5718	0.200 26	0.350 27	4.993	2.855	4
5	2.0114	0.4972	0.148 32	0.298 32	6.742	3.352	5
6	2.3131	0.4323	0.114 24	0.264 24	8.754	3.784	6
7	2.6600	0.3759	0.090 36	0.240 36	11.067	4.160	7
8	3.0590	0.3269	0.072 85	0.222 85	13.727	4.487	8
9	3.5179	0.2843	0.059 57	0.209 57	16.786	4.772	9
10	4.0456	0.2472	0.049 25	0.199 25	20.304	5.019	10
11	4.6524	0.2149	0.041 07	0.191 07	24.349	5.234	11
12	5.3503	0.1869	0.034 48	0.184 48	29.002	5.421	12
13	6.1528	0.1625	0.029 11	0.179 11	34.352	5.583	13
14	7.0757	0.1413	0.024 69	0.174 69	40.505	5.724	14
15	8.1371	0.1229	0.021 02	0.171 02	47.580	5.847	15
16	9.3576	0.1069	0.017 95	0.167 95	55.717	5.954	16
17	10.7613	0.0929	0.015 37	0.165 37	65.075	6.047	17
18	12.3755	0.0808	0.013 19	0.163 19	75.836	6.128	18
19	14.2318	0.0703	0.011 34	0.161 34	88.212	6.198	19
20	16.3665	0.0611	0.009 76	0.159 76	102.444	6.259	20
21	18.8215	0.0531	0.008 42	0.158 42	118.810	6.312	21
22	21.6447	0.0462	0.007 27	0.157 27	137.632	6.359	22
23	24.8915	0.0402	0.006 28	0.156 28	159.276	6.399	23
24	28.6252	0.0349	0.005 43	0.155 43	184.168	6.434	24
25	32.9190	0.0304	0.004 70	0.154 70	212.793	6.464	25
26	37.8568	0.0264	0.004 07	0.154 07	245.712	6.491	26
27	43.5353	0.0230	0.003 53	0.153 53	283.569	6.514	27
28	50.0656	0.0200	0.003 06	0.153 06	327.104	6.534	28
29	57.5755	0.0174	0.002 65	0.152 65	377.170	6.551	29
30	66.2118	0.0151	0.002 30	0.152 30	434.745	6.566	30
31	76.1435	0.0131	0.002 00	0.152 00	500.957	6.579	31
32	87.5651	0.0114	0.001 73	0.151 73	577.100	6.591	32
33	100.6998	0.0099	0.001 50	0.151 50	664.666	6.600	33
34	115.8048	0.0086	0.001 31	0.151 31	765.365	6.609	34
35	133.1755	0.0075	0.001 13	0.151 13	881.170	6.617	35
40	267.8635	0.0037	0.000 56	0.150 56	1 779.090	6.642	40
45	538.7693	0.0019	0.000 28	0.150 28	3 585.128	6.654	45
50	1 083.6574	0.0009	0.000 14	0.150 14	7 217.716	6.661	50
∞				0.150 00		6.667	∞

อัตราดอกเบี้ย 20 %

	ระบบจ่ายทีเดียว		ระบบจ่ายเป็นอนุกรม				
n	Compound Amount Factor CAF	Present Worth Factor PWF	Sinking Fund Factor SFF	Capital Recovery Factor CRF	Compound Amount Factor SCAF	Present Worth Factor SPWF	n
1	1.2000	0.8333	1.000 00	1.200 00	1.000	0.833	1
2	1.4400	0.6944	0.454 55	0.654 55	2.200	1.528	2
3	1.7280	0.5787	0.274 73	0.474 73	3.640	2.106	3
4	2.0736	0.4823	0.186 29	0.386 29	5.368	2.589	4
5	2.4883	0.4019	0.134 38	0.334 38	7.442	2.991	5
6	2.9860	0.3349	0.100 71	0.300 71	9.930	3.326	6
7	3.5832	0.2791	0.077 42	0.277 42	12.916	3.605	7
8	4.2998	0.2326	0.060 61	0.260 61	16.499	3.837	8
9	5.1598	0.1938	0.048 08	0.248 08	20.799	4.031	9
10	6.1917	0.1615	0.038 52	0.238 52	25.959	4.192	10
11	7.4301	0.1346	0.031 10	0.231 10	32.150	4.327	11
12	8.9161	0.1122	0.025 26	0.225 26	39.581	4.439	12
13	10.6993	0.0935	0.020 62	0.220 62	48.497	4.533	13
14	12.8392	0.0779	0.016 89	0.216 89	59.196	4.611	14
15	15.4070	0.0649	0.013 88	0.213 88	72.035	4.675	15
16	18.4884	0.0541	0.011 44	0.211 44	87.442	4.730	16
17	22.1861	0.0451	0.009 44	0.209 44	105.931	4.775	17
18	26.6233	0.0376	0.007 81	0.207 81	128.117	4.812	18
19	31.9480	0.0313	0.006 46	0.206 46	154.740	4.844	19
20	38.3376	0.0261	0.005 36	0.205 36	186.688	4.870	20
21	46.0051	0.0217	0.004 44	0.204 44	225.026	4.891	21
22	55.2061	0.0181	0.003 69	0.203 69	271.031	4.909	22
23	66.2474	0.0151	0.003 07	0.203 07	326.237	4.925	23
24	79.4968	0.0126	0.002 55	0.202 55	392.484	4.937	24
25	95.3962	0.0105	0.002 12	0.202 12	471.981	4.948	25
26	114.4755	0.0087	0.001 76	0.201 76	567.377	4.956	26
27	137.3706	0.0073	0.001 47	0.201 47	681.853	4.964	27
28	164.8447	0.0061	0.001 22	0.201 22	819.223	4.970	28
29	197.8136	0.0051	0.001 02	0.201 02	984.068	4.975	29
30	237.3763	0.0042	0.000 85	0.200 85	1 181.882	4.979	30
31	284.8516	0.0035	0.000 70	0.200 70	1 419.258	4.982	31
32	341.8219	0.0029	0.000 59	0.200 59	1 704.109	4.985	32
33	410.1863	0.0024	0.000 49	0.200 49	2 045.931	4.988	33
34	492.2235	0.0020	0.000 41	0.200 41	2 456.118	4.990	34
35	590.6682	0.0017	0.000 34	0.200 34	2 948.341	4.992	35
40	1 469.7716	0.0007	0.000 14	0.200 14	7 343.858	4.997	40
45	3 657.2620	0.0003	0.000 05	0.200 05	18 281.310	4.999	45
50	9 100.4382	0.0001	0.000 02	0.200 02	45 497.191	4.999	50
∞				0.200 00		5.000	∞

ประวัติผู้เขียน

นาย สุชาติ ศรีวรานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2515 เป็นชาวจังหวัดปทุมธานี สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538