



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

ปริญญา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การอนุรักษ์พลังงาน ด้วยการทดแทนฟลูออเรสเซนต์ด้วยหลอดแอลอีดี
และการศึกษากังหันลมผลิตไฟฟ้า กรณีศึกษาบริษัทผลิตด้ายคอตตอน

Energy Conservation by LED Replacement and Electricity Generation
by Wind Turbine Case Study: Cotton Yarn Manufacturer

นามผู้วิจัย นางสาวชิตชนก ประสพสุข

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ปณณมี สัจจกมล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ไอลดา ตริรัตน์ตระกูล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กาญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การอนุรักษ์พลังงาน ด้วยการทดแทนฟลูออเรสเซนต์ด้วยหลอดแอลอีดี
และการศึกษากังหันลมผลิตไฟฟ้า กรณีศึกษาบริษัทผลิตด้ายคอตตอน

Energy Conservation by LED Replacement and Electricity Generation
by Wind Turbine Case Study: Cotton Yarn Manufacturer

โดย

นางสาวชิตชนก ประสพสุข

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

พ.ศ. 2556

ชิดชนก ประสพสุข 2556: การอนุรักษ์พลังงาน ด้วยการทดแทนฟลูออเรสเซนต์ด้วย
หลอดแอลอีดีและการศึกษากังหันลมผลิตไฟฟ้า กรณีศึกษาบริษัทผลิตด้ายคอตตอน
ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์ปณณมี สัจจกมล, Ph.D. 116 หน้า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า และสร้างมาตรการ
ด้านการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารควบคุม ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์
พลังงานพ.ศ. 2535 ของอาคารควบคุมบริษัท ด้ายคอตตอนไทย จำกัด โดยผู้วิจัยมีจุดมุ่งหมายที่จะ
ใช้พลังงานให้คุ้มค่าและเกิดการสูญเสียเปลืองน้อยที่สุดจากการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม โดยเริ่ม
จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในอาคาร นำผลที่ได้มา
วิเคราะห์และสร้างมาตรการเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า 2 มาตรการ คือ มาตรการการอนุรักษ์
พลังงานไฟฟ้าจากการปรับปรุงระบบแสงสว่าง โดยการนำหลอดแอลอีดี มาใช้ในการให้แสงสว่าง
ในภาคอุตสาหกรรมและมาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการใช้กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้
พลังงานให้คุ้มค่าที่สุด วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประเมินผลการอนุรักษ์พลังงาน รวมถึงระยะเวลาคืนทุน
และความคุ้มค่าจากการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า โดยผลการประเมินพบว่าการใช้มาตรการ
ปรับปรุงระบบแสงสว่าง สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 242,601 กิโลวัตต์/ปี ซึ่งคิดเป็นค่า
ไฟฟ้า 1,091,704 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 3.47 ปี และมาตรการการใช้กังหันลมผลิต
กระแสไฟฟ้า ที่ความเร็วลม 18 เมตร/วินาที สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 9,026 กิโลวัตต์/ปี
ซึ่งคิดเป็นค่าไฟฟ้า 40,616 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 1.7 ปี จึงสรุปได้ว่าการดำเนินการอนุรักษ์
พลังงานไฟฟ้าของอาคารควบคุมดังกล่าว สามารถลดการใช้ไฟฟ้าเฉพาะแสงสว่างได้ 251,627
กิโลวัตต์/ปี

Chidchanok Prasopsuk 2013: Energy Conservation by LED Replacement and Electricity Generation by Wind Turbine Case Study: Cotton Yarn Manufacturer. Master of Engineering (Industrial Engineering), Major Field: Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering. Thesis Advisor: Mr. Punnamee Sachakamol, Ph.D 116 pages.

The objective of this thesis is to analyze energy consumption and prescribe the energy conservation policy in the building as the Energy Conservation Promotion Act B.E. 1992 for Taching Cotton Co.,Ltd. The thesis aims to use energy worthily and minimize the loss by applying the appropriate technology. The thesis investigates and analyzes the consumption of all equipment in the plant. Consequently, the thesis prescribes 2 energy conservation policies such as lighting system improvement by using light-emitting diode (LED) and the wind turbine installation to produce electricity from wasted hot cyclone. The thesis evaluates energy consumption including the pay-back period and the worth of investment from implementing these policies. The evaluated result of the lighting system improvement show that the consumption is reduced 242,601 kW/year, calculating in the cost by 1,091,704 baht/year, and pay-back period is 3.47 year. In case of the wind turbine policy, the consumption is reduced 9,026 kW/year, calculating in the cost by 40,616 baht/year, and pay-back period is 1.7 year. In conclusion, energy conservation policies implementation for the plant can reduce the consumption by 251,627 kW/year.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องด้วยได้รับความกรุณาจาก อาจารย์ปณณมี สัจจกมล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ อาจารย์ไอลดา ตริรัตน์ตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวทางในการทำงานและคอยตรวจทานแก้ไข ข้อผิดพลาดต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จลุล่วงลงได้ ขอขอบคุณอาจารย์ผู้ทำการ สอนปริญญาบัตรทุกท่าน ที่ทำการสอน พิจารณา และอนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผ่านไปได้ ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณพิสิฐ เอื้อธารพิสิฐ เจ้าของบริษัทต้าซังคอตตอนไทย จำกัด รวมทั้ง หัวหน้างานและพนักงานทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย ข้อมูลต่างๆ รวมไปถึงให้ความ ร่วมมือในทุกด้าน ขอขอบคุณคุณบรรจง ขยันกิจ ที่ให้คำแนะนำเรื่องกังหันลมผลิตไฟฟ้ามาโดย ตลอด และช่วยแก้ปัญหาในการทำงานที่ผ่านมา

ผู้วิจัยขอขอบคุณบิดา มารดา ผู้เป็นกำลังใจและผลักดันให้ดำเนินการวิจัยจนสำเร็จ รวมทั้ง เพื่อนๆนักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ซึ่งทั้งหมดมีส่วนร่วมและ ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านเป็นอย่างดี ซึ่งหากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ สนใจ ก็ขอมอบความดีให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชิดชนก ประสพสุข

กุมภาพันธ์ 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	5
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	60
อุปกรณ์	60
วิธีการ	60
ผลและวิจารณ์	72
สรุปและข้อเสนอแนะ	84
สรุป	84
ข้อเสนอแนะ	85
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	86
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก แสดงตัวอย่างการคำนวณ	90
ภาคผนวก ข แสดงข้อมูลในการพิจารณาหาแฟกเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณแบบดูเมน	98
ภาคผนวก ค แสดงข้อมูลค่าใช้จ่ายของหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแอลอีดี ทุกๆ 1,000 ชั่วโมง ในช่วงอายุการใช้งาน 50,000 ชั่วโมง	107
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	116

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การใช้พลังงานไฟฟ้าของภาคธุรกิจจากรายงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปี 2549	2
2	ข้อดีและข้อเสียของหลอดฟลูออเรสเซนต์	17
3	พลังงานที่ได้จากโคมไฟขนาดต่างๆที่ความเร็วลมเฉลี่ย 5 เมตร/วินาที	34
4	ข้อมูลที่ใช้ในความกว้างของโคมไฟในแต่ละช่วง	38
5	ข้อมูลที่ใช้ในการ Drop ของโคมไฟในแต่ละช่วง	40
6	ข้อมูลค่าความหนาของโคมไฟในแต่ละส่วน	41
7	ข้อมูลที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์สเตเตอร์	51
8	ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2554	61
9	บันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีนัยสำคัญของเครื่องจักร/อุปกรณ์หลัก	63
10	ปริมาณการใช้งานระบบแสงสว่างภายในอาคารควบคุม	67
11	ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแอลอีดี	68
12	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างอาคารควบคุมและพื้นที่อื่นๆ	73
13	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2554	74
14	ลักษณะโคมไฟที่ใช้ในอาคารควบคุม	75
15	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดและหลอดแอลอีดี	76
16	ผลการคำนวณปริมาณการส่องสว่างของอาคารควบคุม	77
17	ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแอลอีดีภายในอาคารควบคุม	77
18	ผลการคำนวณในทางทฤษฎีที่อัตราเร็วลมต่างๆ	79
19	ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในกรณีเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัดแม่เหล็ก (ตารางเมตร) และเส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์)	80
20	ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์กักกันลม	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข1 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ค่าประสิทธิภาพการสะท้อนแสงสว่างของโพรงเพดาน และพื้นที่สำหรับพื้นผิวการสะท้อนแสงสว่างที่แตกต่างกัน	99
ข2 ข้อมูลสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่างๆ	101
ข3 ข้อมูลค่าประกอบความเสื่อมสภาพของแสงสว่างจากพื้นผิวห้องสกรปรก	106
ค1 ข้อมูลค่าใช้จ่ายของหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อเทียบกับ อายุการใช้งาน 50,000 ชั่วโมง	108
ค2 ข้อมูลค่าใช้จ่ายของหลอดแอลอีดีเมื่อเทียบกับอายุการใช้งาน 50,000 ชั่วโมง	112

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปล่องลมปล่อยทิ้งจากกระบวนการกำจัดละอองฝ้าย ของบริษัท ต้าชิงคอตตอนไทย	4
2	ขั้นตอนด้านการบริหารจัดการด้านพลังงาน	11
3	วงจรการทำงานและการนำกระแสของก๊าซเมื่อจ่ายแรงดัน	17
4	ตัวอย่างการหาค่าความสูงอัตราส่วนโพรง	22
5	กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง	25
6	แสดงส่วนประกอบภายในของกังหันลมใบพัดแนวนอน	27
7	วงจรการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมไปจนถึงการใช้งานของกังหันลม	28
8	กราฟการเกิดอำนาจแม่เหล็ก	31
9	ลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด	33
10	การแยกส่วน โครงสร้างตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	34
11	กราฟแสดงเส้นโค้งของ กำลัง/ความเร็ว สำหรับใบพัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร	35
12	รูปร่างและลักษณะของใบพัด	38
13	ความกว้างของใบพัดในแต่ละช่วง	39
14	ลำดับของมุมมองแบ่งเป็นส่วนย่อยของใบพัดระบุถึงการเปลี่ยนแปลงของ ขนาดและมุมระหว่างส่วนปลายและส่วนฐานของใบพัด	40
15	ลักษณะการ Drop ของใบพัดในแต่ละช่วง	41
16	เส้นเค้าโครงของใบพัดช่วงที่ 1	42
17	ลักษณะความหนาของใบพัดในแต่ละส่วน	43
18	ลักษณะด้านหลังของใบพัดที่สมบูรณ์	43
19	ลักษณะความโค้งของใบพัดด้านหลัง leading edge	44
20	ลักษณะส่วนฐานของใบพัดที่มีขนาดมุม 120°	44
21	ลักษณะการเจาะรูสลักเกลียวบนแผ่นหมุน	45
22	ลักษณะการยึดใบพัดเข้าด้วยกันกับแผ่นหมุน	46
23	ลักษณะการเจาะรูสำหรับการติดตั้งสลัก	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	สัดส่วนและขนาดของลิ้ม	47
25	การประกอบของลิ้ม	47
26	ส่วนประกอบของตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	47
27	การจัดวางแม่เหล็กและขั้วแม่เหล็กบนโรเตอร์	48
28	การจัดวางขดลวดจำนวน 10 ขดในสเตเตอร์	49
29	ลักษณะคู่มือที่ใช้ในการทำเบร็ริงสำหรับตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	49
30	มุมมองด้านหน้าของแผ่นแม่เหล็กเคลื่อนที่	51
31	รูสำหรับยึดสกรูรอบๆเส้นร่างสเตเตอร์	52
32	สัดส่วนการใช้พลังงานแยกตามระบบของบริษัท ด้าชิงคอตตอนไทย	72
33	กราฟแสดงจุดคุ้มทุนของมาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่างโดยการทดแทนหลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยหลอดแอลอีดี	78
34	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วลมกับ ความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของกังหันลม	79
35	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในกรณีจำนวนการพันขดลวดต่างกัน	81
36	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในกรณีจำนวนการพันขดลวดต่างกัน	81
ภาพผนวกที่		
ก1	แสดงระดับการติดตั้งดวงโคมไฟฟ้า	91
ข1	กราฟแสดงค่าความเสื่อมสภาพของดวงโคมไฟฟ้าประเภทต่างๆ	105
ข2	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามคาดหวังของพื้นผิวห้องสกปรก	105

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

SEC	=	พลังงานจำเพาะ
FT	=	ค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ
I	=	ความเข้มแสง (แคนเดลลา)
η	=	ประสิทธิภาพแสง (ลูเมนต่อวัตต์)
LED	=	หลอดแอลอีดีอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ
E	=	ความสว่าง (ลักซ์)
A	=	พื้นที่เป็น (ตารางเมตร)
L_T	=	ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง (ลูเมน)
CU	=	สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์
LLD	=	ความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า
LDD	=	ความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้า
RSDD	=	ความเสื่อมสภาพของแสงสว่างจากพื้นผิวห้องสกปรก
n	=	ความเร็วรอบของกังหันลม (รอบ/นาที)
V_0	=	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
r	=	รัศมีกังหันลม (เมตร)
B	=	ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (เทสลา)
$\emptyset$	=	ฟลักซ์แม่เหล็กหรือเส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์)
H	=	ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (แอมป์-เทริน)
l	=	ระยะห่างระหว่างปลายทั้งสองด้านของขดลวด (เมตร)
Fm	=	แรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า (แอมป์-เทริน/เมตร)
I	=	ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมป์)
E_{ave}	=	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
P	=	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

การอนุรักษ์พลังงาน ด้วยการทดแทนฟลูออเรสเซนต์ด้วยหลอดแอลอีดี และการศึกษากังหันลมผลิตไฟฟ้า กรณีศึกษาบริษัทผลิต้ายคอตตอน

Energy Conservation by LED Replacement and Electricity Generation by Wind Turbine Case Study: Cotton Yarn Manufacturer

คำนำ

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยอำนวยความสะดวกสบายในการดำรงชีวิตของมนุษย์ และยังเป็นปัจจัยพื้นฐานในการผลิตทั้งในภาคเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม และภาคธุรกิจ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ โดยแนวโน้มการใช้พลังงานนั้นจะมีทิศทางในการขยายตัวสอดคล้องกับการพัฒนาเศรษฐกิจ กล่าวคือ ยังมีการพัฒนามากเท่าใดก็ยิ่งต้องใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย และหากมีการใช้พลังงานอย่างไม่รู้คุณค่าก็ยิ่งทำให้พลังงานหมดไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้พลังงานที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ในขณะที่ประเทศไทยอยู่ในสภาวะการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และมีการเร่งรัดพัฒนาประเทศ รัฐบาลจึงต้องจัดหาพลังงานให้มีปริมาณเพียงพอ ในราคาที่เหมาะสมและมีคุณภาพที่ดีเพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ แต่เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งพลังงานพาณิชย์ภายในประเทศไม่เพียงพอที่จะตอบสนองความต้องการทำให้ความต้องการพลังงานที่ใช้ในประเทศมากกว่าร้อยละ 80 ได้มาจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเกือบทั้งหมดต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ โดยในปี 2543 ประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานทั้งหมดเทียบเท่าน้ำมันดิบ 48,339 พันตัน ทำให้ต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเทียบเท่าน้ำมันดิบ 39,730 พันตัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.3 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี 2542 หรือคิดเป็นสัดส่วนการนำเข้าร้อยละ 47.6 ของความต้องการ การใช้พลังงานทั้งหมดในปี 2543 คิดเป็นมูลค่าเพื่อจ่ายการนำเข้าน้ำมันดิบเป็นเงิน 313,816 ล้านบาท ซึ่งภาระทางการเงินดังกล่าวจะยิ่งทวีสูงขึ้นไปอีกในเวลาที่กำลังค่าเงินบาทอ่อนตัว (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2545)

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆในประเทศไทยมีเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีขนาดและประเภทของอุตสาหกรรมแตกต่างกันไป โรงงานอุตสาหกรรมแต่ละแห่งมีการใช้พลังงานหลากหลายรูปแบบ เช่น พลังงานจากเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งปริมาณการใช้ และค่าใช้จ่ายของพลังงานจะแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือการจัดการในการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ๆ ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าของภาคธุรกิจจากรายงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปี 2549 ได้แสดงดังตารางที่ 1 จากสภาพการณ์วิกฤติทางเศรษฐกิจ และพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ทำให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมต่างๆ มองเห็นถึงความสำคัญเกี่ยวกับการลดใช้พลังงาน ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนในการผลิต

ตารางที่ 1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของภาคธุรกิจจากรายงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปี 2549

พ.ศ.	2545	2546	2547	2548	2549
พลังงานไฟฟ้า (ล้านกิโลวัตต์ ชั่วโมง-กิโลวัตต์ชั่วโมง)	31,686	33,699	36,300	37,863	40,535

ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2550)

จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของภาคธุรกิจตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2549 พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกปี ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าซึ่งถือว่าเป็นต้นทุนสำคัญที่สุด การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ก็จะเป็นการเพิ่มกำไรในภาคธุรกิจ ดังนั้นจึงควรมีการจัดการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า โดยการวางแผนและควบคุมการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อประหยัดการใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเป็นแนวทางในการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารควบคุม ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 โดยกำหนดแผนในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าจากการจัดทำรายงานการจัดการพลังงาน ใช้นโยบายในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน 2 มาตรการ คือ มาตรการการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าจากการปรับปรุงระบบแสงสว่าง โดยการนำหลอดแอลอีดี มาใช้ในการให้แสงสว่างในภาคอุตสาหกรรมและมาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการใช้กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อประหยัดพลังงานและใช้พลังงานให้คุ้มค่าที่สุด พร้อมทั้งสร้างมาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารควบคุม

ความเป็นมาและปัญหาของโรงงานตัวอย่าง

บริษัท ด้าซิงคอตตอนไทยเป็นบริษัทผลิตเส้นด้ายจากใยฝ้าย และมีการดำเนินการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง โดยมีพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ เครื่องจักร และให้แสงสว่าง ดังนั้นจึงต้องการพลังงานไฟฟ้าจำนวนมากในกระบวนการผลิต ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากในระยะยาวอัตราค่าไฟฟ้ามีอัตราสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังหนึ่งปี ก็จากเดือนมกราคม – ธันวาคม พ.ศ. 2554 บริษัท ด้าซิงคอตตอนไทย มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าจากหนังสือแจ้งค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 11,197,800 บาท/เดือน ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในอัตราที่สูง บริษัท ด้าซิงคอตตอนไทย จึงมีนโยบายลดการใช้พลังงาน เพื่อลดต้นทุนในด้านพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากถ้าโรงงานอุตสาหกรรมสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายลงได้ก็จะทำให้ต้นทุนสินค้ามีราคาต่ำลง ส่งผลทำให้มีผลกำไรที่เพิ่มขึ้นด้วย

ผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าเพื่อการลดต้นทุนด้านการผลิตของบริษัท โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและใช้อย่างคุ้มค่า จึงทำการวิจัยเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า โดยการวิเคราะห์การใช้พลังงานจากการจัดทำรายงานการจัดการพลังงานเพื่อให้ทราบถึง

1. ปริมาณการใช้และการสูญเสียพลังงาน
2. การใช้พลังงานทั้งของเครื่องจักร อุปกรณ์และภาพรวมของโรงงาน
3. เป็นข้อมูลในการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นไปได้ และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน
4. ใช้ในการกำหนดดัชนีการใช้พลังงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม , 2550)

มาตรการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพและเกิดการสูญเสียเปลืองน้อยที่สุดจากการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม เป็นทางเลือกหนึ่งในการประหยัดพลังงาน ผู้วิจัยจึงนำแนวทางดังกล่าวมากำหนดเป็นมาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่าง โดยการนำหลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode) มาใช้ในการให้แสงสว่างภายในอาคารทดแทนการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งหลอดแอลอีดี เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่กำลังถูกพัฒนาสำหรับการให้แสงสว่างแทนการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ เนื่องจากหลอดแอลอีดี มีประสิทธิภาพการให้พลังงานสูงถึง 70 ลูเมน/

วัตต์ และแสงสว่างจะส่องไปเฉพาะด้านหน้าเท่านั้น ในขณะที่แสงสว่างของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จะแพร่ออกไปทุกทิศทาง ทำให้เกิดการสูญเสียเปลืองจำนวนมาก อีกทั้งอายุการใช้งานของหลอดแอลอีดี คือ 50,000 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีอายุการใช้งานเฉลี่ยเพียง 15,000 ชั่วโมงเท่านั้น (กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) อย่างไรก็ตาม หลอดแอลอีดี มีราคาที่สูงกว่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์อยู่มาก และด้วยลักษณะการกระจายแสงของหลอดแอลอีดี ทำให้ต้องใช้หลอดแอลอีดี จำนวนมากเพื่อให้ได้แสงสว่างที่ใกล้เคียงกับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์ ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน ปริมาณการส่องสว่าง และทำการวิเคราะห์หาผลตอบแทนในการลงทุน

พลังงานลมเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้และทำให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไปและเป็นพลังงานสะอาด สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่มีวันหมด การอนุรักษ์พลังงานโดยใช้พลังงานลมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์และไม่เกิดการสูญเสียเปล่า ประกอบกับสายการผลิตของบริษัท ด้าซิงคอตตอนไทย มีกระบวนการกำจัดละอองฝ้ายซึ่งกระบวนการนี้ก่อให้เกิดการปล่อยพลังงานลมทิ้ง ซึ่งลักษณะของปล่องลมดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 1 ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำพลังงานดังกล่าวกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยกำหนดมาตรการการอนุรักษ์พลังงานจากการใช้พลังงานลม โดยการนำพลังงานลมที่เหลือทิ้งจากกระบวนการกำจัดละอองฝ้าย มาใช้กับกังหันลมซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า และนำไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบริษัทต่อไป



ภาพที่ 1 ปล่องลมปล่อยทิ้งจากกระบวนการกำจัดละอองฝ้ายของบริษัท ด้าซิงคอตตอนไทย

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาถึงความคุ้มค่าในการนำหลอดแอลอีดี มาใช้ในการให้แสงสว่างในอาคารแทนการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์
2. ศึกษาการนำกังหันลมมาใช้กับพลังงานลมที่เหลือทิ้งจากกระบวนการกำจัดละอองฝายเพื่อนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าให้แสงสว่างภายในอุตสาหกรรม
3. วิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารควบคุมบริษัท ด้าชิงคอตตอนไทย

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากหนังสือแจ้งค่าไฟฟ้าของบริษัท ด้าชิงคอตตอนไทย ในเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2554
2. ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานเฉพาะพลังงานไฟฟ้าซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในส่วนของอาคารควบคุม (อาคารปฏิบัติงาน)
3. คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าของหลอดแอลอีดีและหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่นำมาใช้ อ้างอิงจากบริษัทผู้ผลิตเป็นหลัก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แนวทางการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารควบคุม ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอาคารควบคุมอื่นๆ เพื่อเป็นการส่งเสริมความรู้ด้านการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าที่ถูกต้อง
2. ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารควบคุมของบริษัทค้าซึ่งคอตตอนไทยจำกัด
3. เพื่อศึกษาแนวทางใหม่ในการสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้า ให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในรูปแบบที่ง่ายและใช้ต้นทุนต่ำ โดยใช้วัสดุที่สามารถดัดแปลงและหาได้ทั่วไปในท้องตลาด สามารถติดตั้งและบำรุงรักษาง่าย

การตรวจเอกสาร

การตรวจเอกสารแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดทางทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์
2. พระราชบัญญัติการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม
3. ความหมายของการบริหารจัดการพลังงานและหลักการบริหารจัดการพลังงาน
4. คำนินยามศัพท์เฉพาะ
5. การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้มาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่าง
6. การอนุรักษ์พลังงานโดยมาตรการการใช้กัณฑ์ลผลิตกระแสไฟฟ้า

1. แนวคิดทางทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์

เศรษฐศาสตร์ เป็นการศึกษาถึงวิธีการวางหลักเกณฑ์ในการจัดสรรทรัพยากรการผลิตที่มีอยู่อย่างจำกัด เมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการของมนุษย์ เพื่อนำไปผลิตสินค้าและบริการต่างๆ แล้วจำหน่ายแจกสินค้าและบริการนั้นไปสนองความต้องการของผู้บริโภคให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด พลังงานไฟฟ้าก็เช่นเดียวกันผลิตจากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด จะต้องคิดจำนวนการผลิตเท่าใดจึงจะเพียงพอและมีการนำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด นั่นคือการใช้ทรัพยากรในการผลิตอย่างประหยัดและทำให้ได้ผลผลิตที่มากที่สุดด้วย ผู้ผลิตทุกรายจะต้องเลือกวิธีการผลิตที่จะทำให้ต้นทุนการผลิตของตนเองต่ำที่สุด ได้ผลกำไรที่มากที่สุด

ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period) หมายถึง ระยะเวลาที่ได้รับผลตอบแทนในรูปของกระแสเงินสดเข้าเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายลงทุน โดยไม่คำนึงถึงเรื่องมูลค่าของเงินตามระยะเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนจึงมองที่กระแสเงินสดรับ ไม่ใช่ตัวกำไรหรือขาดทุนของกิจการ โดย ณ จุดได้ที่ผลสะสมของกระแสเงินสดรับเท่ากับเงินลงทุนในครั้งแรกก็จะได้ระยะเวลาคืนทุนนั่นเอง ยกตัวอย่าง ลงทุนในโครงการหนึ่ง ใช้เงินลงทุน 1,200,000 บาท จะให้กระแสเงินสดในแต่ละปีจำนวน 400,000 บาท เป็นเวลา 6 ปี ระยะเวลาคืนทุนก็คือ 3 ปี

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ต้นทุน (บาท)}}{\text{พลังงานที่ประหยัดได้ (บาท)}} \quad (1)$$

การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนจึงเป็นการวิเคราะห์โครงการลงทุนที่มีระยะค่อนข้างนาน และพิจารณาความเสี่ยงจากการลงทุน เพื่อใช้ในการเลือกโครงการลงทุน โดยดูจากระยะเวลาคืนทุนที่เร็วที่สุด เพราะจะทำให้ผู้ประกอบการมีความเสี่ยงจากการลงทุนน้อยที่สุดด้วย แต่อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์การลงทุน โดยใช้ระยะเวลาการลงทุนเพียงอย่างเดียวไม่เหมาะสมนักต้องใช้เครื่องมืออื่นๆ ประกอบด้วย เช่น มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return) เป็นต้น (ฐานันดร, 2551)

2. พระราชบัญญัติการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม

มาตรา๑ พระราชบัญญัตินี้เรียกว่า “พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๓๕”

มาตรา๒ พระราชบัญญัตินี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

มาตรา๓ ในพระราชบัญญัตินี้

“พลังงาน” หมายความว่า ความสามารถในการทำงานซึ่งมีอยู่ในตัวของสิ่งที่มีอายุให้งานได้ ได้แก่ พลังงานหมุนเวียน และพลังงานสิ้นเปลือง และให้หมายความรวมถึงสิ่งที่มีอายุให้งานได้เช่น เชื้อเพลิง ความร้อนและไฟฟ้า เป็นต้น

“พลังงานหมุนเวียน” หมายความว่า รวมถึง พลังงานที่ได้จากไม้ ฟืน แกลบ กากอ้อยชีวมวล น้ำ แสงอาทิตย์ ความร้อนใต้พิภพ ลมและคลื่น เป็นต้น

“พลังงานสิ้นเปลือง” หมายความว่ารวมถึง พลังงานที่ได้จากถ่านหิน หิน ทราช น้ำมัน น้ำมันดิบ น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ และนิวเคลียร์ เป็นต้น

หมวด ๑

การอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน

มาตรา ๗ การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานได้แก่การดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

- (๑) การปรับปรุงประสิทธิภาพของการเผาไหม้เชื้อเพลิง
- (๒) การป้องกันการสูญเสียพลังงาน
- (๓) การนำพลังงานที่เหลือจากการใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่
- (๔) การเปลี่ยนไปใช้พลังงานอีกประเภทหนึ่ง
- (๕) การปรับปรุงการใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของระบบ การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับภาระและวิธีการอื่น

(๖) การใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงตลอดจนระบบควบคุมการทำงาน และวัสดุที่ช่วยในการอนุรักษ์พลังงานขนาด ปริมาณการใช้พลังงาน หรือวิธีการใช้พลังงานอย่างใดให้เป็นโรงงานควบคุม

- (๗) การอนุรักษ์พลังงานโดยวิธีอื่นตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตรา ๘ การกำหนดโรงงานประเภทใด ขนาด ปริมาณการใช้พลังงาน หรือวิธีการใช้พลังงานอย่างใดให้เป็นโรงงานควบคุม ให้ตราเป็นพระราชกฤษฎีกา

มาตรา ๑๔ ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

- (๑) บำรุงรักษาและตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานเป็นระยะ ๆ
- (๒) ปรับปรุงวิธีการใช้พลังงานให้เป็นไปตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน

3. ความหมายของการบริหารจัดการพลังงานและหลักการบริหารจัดการพลังงาน

3.1 ความหมายของการบริหารจัดการพลังงาน

การบริหารจัดการพลังงาน หมายถึง การจัดการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ลดความต้องการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น หรือ ลดความสูญเสียด้านพลังงาน โดยการจัดการบริหารที่ดีนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน หรือต้นทุน รวมถึงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีแนวทางเบื้องต้นดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547)

3.1.1 การลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น (Good Housekeeping) เช่น การตั้งอุณหภูมิควบคุมของห้องปรับอากาศให้เหมาะสม การปิดเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ไม่ได้ใช้งาน หรือการลดเวลาการใช้งานเครื่องจักรหรืออุปกรณ์

3.1.2 การลดความสูญเสีย (Losses) เช่น ความสูญเสียที่เกิดจากการจัดการไม่ดี การออกแบบไม่ดีหรือกรรมวิธีผลิตที่ไม่ดี มีขั้นตอนมากเกินไป ซึ่งเป็นต้นเหตุให้เกิดการใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

3.1.3 การนำความสูญเสียกลับมาใช้งาน เช่น การนำก๊าซร้อนที่เหลือจากขบวนการผลิตกลับมาใช้ในการผลิตเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร

3.1.4 การจัดการความต้องการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับภาระการทำงาน เช่น ในกรณีระบบพลังงานนั้น ๆ ประกอบด้วย เครื่องจักรหลาย ๆ เครื่องจักร จะต้องเพิ่มภาระการทำงานของเครื่องจักรให้ใกล้เคียงกับพิกัดติดตั้งเพื่อให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดการใช้เครื่องจักรที่ไม่มีภาระ

3.1.5 การบำรุงรักษาที่ดี ซึ่งจะมีผลทำให้เครื่องจักรมีการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

3.2 หลักการบริหารจัดการพลังงาน

ในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานให้ได้มีประสิทธิภาพและมีความยั่งยืน จำเป็นต้องมีระบบการจัดการด้านพลังงานอย่างเหมาะสม และมีปัจจัยหลายอย่างที่จะนำไปสู่ความสำเร็จของการจัดการด้านพลังงาน เช่น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547)

3.2.1 นโยบายการบริหารจัดการด้านพลังงานเป็นที่ยอมรับจากผู้บริหาร

3.2.2 มีบุคลากร/องค์กรที่สามารถดำเนินการ และชี้แนะในเรื่องการจัดการพลังงาน

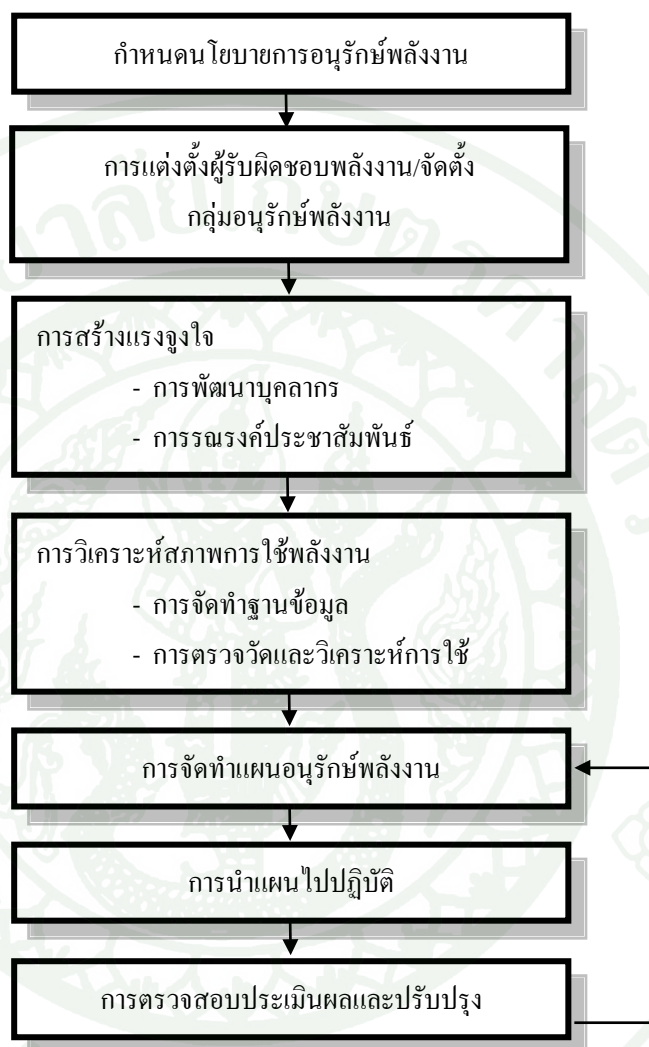
3.2.3 มีพนักงานในองค์กรตระหนักและยอมรับถึงความสำคัญของการจัดการพลังงานอย่างกว้างขวาง

3.2.4 มีแผนปฏิบัติตามแผนอย่างจริงจังและต่อเนื่อง

3.2.5 มีการติดตามประเมินผลและปรับปรุงการปฏิบัติการอย่างใกล้ชิดและต่อเนื่อง

3.2.6 วัฒนธรรมและประชาสัมพันธ์ผลงานอย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นสามารถสรุปภาพรวมหรือองค์ประกอบของการจัดการด้านระบบการจัดการพลังงานให้เป็นขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้



ภาพที่ 2 ขั้นตอนด้านการบริหารจัดการด้านพลังงาน

ธนาคาร (2544) กล่าวว่า การจัดการพลังงานโดยพื้นฐานแล้วต้องเริ่มตั้งแต่แหล่งกำเนิดหรือแหล่งผลิตพลังงานโดยตรง ซึ่งหากพิจารณาถึงแนวทางการจัดการพลังงานอาจแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน
2. การประหยัดที่มุ่งเน้นด้านการใช้พลังงานให้มีคุณภาพ

3. การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม และการพิจารณาจากข้อมูลการลงทุน
4. การจัดอบรมบุคลากร และให้ข้อมูลด้านพลังงาน

ในการจัดการพลังงานให้ได้ผลดีนั้น ต้องใช้ศักยภาพขององค์กรทั้งภายนอกและภายใน โดยมีผู้ให้คำปรึกษาและขอแนะนำการใช้พลังงานให้เหมาะสม เป็นไปตามงบประมาณของบริษัท เท่าที่จะสามารถดำเนินการได้

4. คำนิยามศัพท์เฉพาะ

4.1 การอนุรักษ์พลังงาน หมายถึง การผลิตและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 มาตรการ ดังนี้

4.1.1 มาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่าง โดยการนำหลอดแอลอีดี มาใช้ในการให้แสงสว่างภายในอาคารทดแทนการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์

4.1.2 มาตรการนำพลังงานเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ โดยการใช้กังหันลมเพื่อเปลี่ยนพลังงานลมเหลือทิ้งให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้กลับมาใช้ภายในอาคาร

4.2 พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) หมายถึงค่าที่สะท้อนถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ซึ่งค่า SEC สามารถคำนวณได้จากปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในช่วงเวลานั้น ต่อปริมาณผลผลิตทั้งหมดในช่วงเวลาเดียวกัน มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ – ชั่วโมง

4.3 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า (สุรณ, 2550) แบ่งได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) หมายถึง ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุดในช่วง On Peak และ Partial Peak ในรอบเดือน

4.3.2 ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge) หมายถึง ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ใช้ไปในรอบเดือน

4.3.3 ค่าบริการ (Service Charge) หมายถึง ค่าบริการเกี่ยวกับเครื่องมือวัด ฯ ค่าดำเนินการจดหน่วยจัดทำใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า

4.3.4 ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor) หรือค่าปรับค่าตัวประกอบกำลัง หมายถึง ในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการไฟฟ้ารีแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวาร์เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังงานไฟฟ้ารีแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวาร์แล้วเฉพาะกิโลวาร์ส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ โดยคิดเป็นบาทต่อกิโลวาร์

4.3.5 ค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ (FT) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่ไม่อยู่ในการควบคุมของการไฟฟ้าฯ เช่น ราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปจากราคาฐานที่ใช้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้าในปี 2543

4.3.6 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (Vat) หมายถึง ค่าภาษีที่ต้องจ่ายเพิ่ม ซึ่งในปัจจุบันเก็บในอัตราร้อยละ 7

5. การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้มาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่าง

การใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่างของอาคารโดยทั่วไปมักมีสัดส่วนเพียงส่วนน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ด้วยเหตุนี้ ผู้ประกอบการส่วนใหญ่มักจะให้ความสำคัญกับเครื่องจักร วัสดุอุปกรณ์ แต่จะมองข้ามความสำคัญของการติดตั้งใช้งานระบบแสงสว่างอย่างเพียงพอ เพราะเห็นว่าเป็นการสิ้นเปลืองและเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต ทั้งที่จริงแล้วการให้แสงสว่างอย่างเหมาะสมในอาคาร มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน นอกจากนี้ยังมีผลต่อขวัญและกำลังใจของผู้ปฏิบัติงาน อีกทั้งสามารถลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุและการเจ็บป่วยจากการทำงานอีกด้วย

5.1 ข้อเสนอแนะของการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารตามมาตรฐาน IES (กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

5.1.1 ออกแบบแสงสว่างให้เหมาะกับกิจกรรม ทั้งนี้จะเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จำเป็นต้องทราบตำแหน่งพื้นที่ทำงาน เพื่อที่จะจัดหาระดับแสงสว่างที่เหมาะสมที่ตำแหน่งของพื้นที่ทำงาน

5.1.2 ออกแบบดวงโคมที่ให้มีประสิทธิภาพสูง ดวงโคมและระบบการออกแบบติดตั้ง ควรจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยปราศจากแสงบาดตา

5.1.3 ใช้หลอดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง ในบางครั้งการเลือกใช้หลอดไฟฟ้าจะไม่ดูแค่ค่าลูเมนต่อวัตต์สูงเพียงอย่างเดียว แต่อาจจะดูเพิ่มเติมถึงอายุการใช้งาน ราคา และสีแสงที่เปล่งออกมาสีของแสงก็มีความสำคัญเท่ากับปัจจัยอื่น ๆ เนื่องจากสีมีผลโดยตรงต่อจิตใจและพฤติกรรมมนุษย์ย่อมมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานและอารมณ์

5.1.4 ใช้ดวงโคมประสิทธิภาพสูง ประสิทธิภาพของดวงโคมจะเป็นการเพิ่มสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์นอกจากนี้ยังรวมถึงการทำความสะอาด และความสะดวกในการเปลี่ยนหลอดไฟ

5.1.5 ใช้สีอ่อนกับอาคาร การดูดกลืนแสงสว่างอันเนื่องมาจากการสะท้อนแสงต่ำจะเป็นการลดประสิทธิภาพแสงสว่าง จึงจำเป็นต้องใช้หลอดไฟเพิ่มขึ้น

5.1.6 ปิดไฟเมื่อไม่ใช้ ปิดไฟเมื่อไม่ใช้จะช่วยประหยัดพลังงานและลดต้นทุน

5.1.7 ควบคุมแสงบาดตาที่หน้าต่าง แสงบาดตาที่เข้าจากหน้าต่างมายังสายตาจะส่งผลกระทบต่อความสบายตาและความสามารถในการมองเห็น อาจลดความสามารถในการทำงานลง

5.1.8 แสงธรรมชาติ ประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างแสงธรรมชาติและแสงจากหลอดไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับออกแบบควบคุมแสงสว่างอย่างเหมาะสม

5.1.9 การบำรุงรักษาที่ดี จะใช้จำนวนดวงโคมน้อยกว่า แต่ให้แสงสว่างเท่าเดิม การบำรุงรักษาจะรวมทั้งการเปลี่ยนหลอดไฟ และการทำความสะอาดดวงโคมตามกำหนด

5.1.10 ปฏิบัติตามคู่มือการใช้งาน และการบำรุงรักษา การออกแบบแสงสว่างที่ดีและประหยัดผู้ออกแบบแสงสว่างควรจะติดป้ายบอกวิธีใช้งานไว้ด้วย พลังงานจะสูญเสียเปล่าถ้าผู้ใช้อาคารไม่รู้จักรักษา

5.2 ปริมาณและหน่วยวัดแสง (Luminous Flux) : Φ

5.2.1 ฟลักซ์ส่องสว่าง หน่วยเป็นลูเมน เป็นค่าอัตราการเดินทางของพลังงานแสง ใช้วัดความสามารถในการทำให้รับรู้ได้ด้วยการมองเห็น หรือเรียกว่าปริมาณแสง เช่น การบอกค่าปริมาณแสงที่ออกมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด Day light ขนาด 36 วัตต์ มีค่าลูเมนประมาณ 2,700 ลูเมน เป็นต้น

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (2)$$

เมื่อ Q คือ พลังงานส่องสว่าง (จูล)

5.2.2 ความสว่าง (Illuminance) : E หน่วยเป็นลักซ์ (lux) หรือลูเมนต่อตารางเมตร (lm/m²) นั่นคือ การวัดปริมาณแสงตกกระทบบต่อพื้นที่ใช้งาน หรือเรียกว่า ระดับความสว่าง (Lighting Level) เป็นตัวที่บอกว่าแสงที่ได้รับเพียงพอหรือไม่ เช่น ระดับความสว่างไฟสำนักงาน ต้องไม่ต่ำกว่า 500 ลักซ์

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (3)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ (ตารางเมตร)

5.2.3 ความเข้มแสง (Luminous intensity) : I หน่วยเป็นแคนเดลา (cd) คือปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางหนึ่งโดยทั่วไปจะวัดเป็นจำนวนเท่าของความเข้มที่ได้จากเทียนไข 1 เล่ม จึงมีหน่วยเป็น Candela (cd) เช่น หลอดไส้ชนิดพิเศษมีค่าความเข้มแสง 10,000 cd

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (4)$$

เมื่อ ω คือ มุมตัน (สเตอเรเดียน)

5.2.4 ความเข้มแสงต่อพื้นที่ หน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร (แคนเดลา/ตารางเมตร) คือการวัดความเข้มแสงต่อพื้นที่การใช้งานตั้งฉาก เป็นตัวที่บอกปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากพื้นผิวใดๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง บางครั้งเรียกว่า ความจ้า (Brightness)

5.2.5 ประสิทธิภาพแสง (Luminous efficacy, η) หน่วยเป็นลูเมนต่อวัตต์ (ลูเมน/วัตต์ หรือ LPW) คือ การวัดประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสง โดยคิดอัตราส่วนของฟลักซ์ส่องสว่างต่อพลังงานที่ใช้ในการผลิตแสง หลอดที่มีค่าประสิทธิภาพทางแสงสูง หมายถึง หลอดที่ประหยัดพลังงานไฟฟ้ามาก เพราะใช้ไฟฟ้าเท่ากันแต่ให้ปริมาณแสงมากกว่า

ภาระแสงสว่าง (Light Load) หรือประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m²) คือ การวัดอัตราพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทำให้เกิดแสงสว่าง เพื่อป้องกันการประหยัดพลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

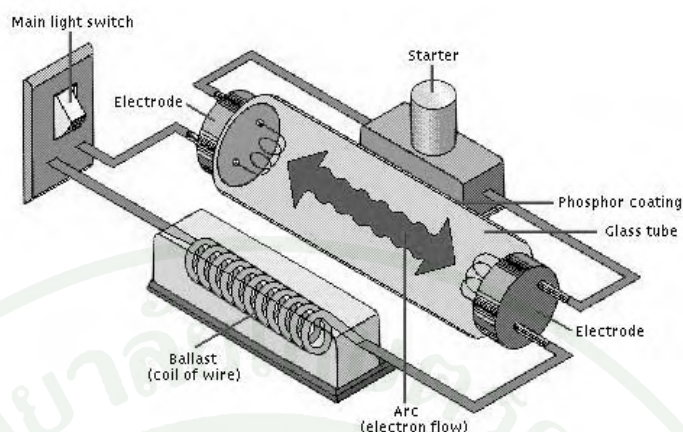
5.3 หลอดไฟฟ้า

5.3.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp)

หลอดฟลูออเรสเซนต์หรือบางทีเรียกกันว่า หลอดนีออน เป็นหลอดไฟฟ้าที่ใช้กันมากที่สุดตามอาคารบ้านเรือน คุณสมบัติเด่นจะมีสีของแสงที่เหมาะสมกับระดับความสว่างในการทำงานคือ หลอดยูทไวท์ ซึ่งมีระดับแสงสว่างที่ต้องการในพื้นที่สำนักงานตกประมาณ 500 ลักซ์ นอกจากนี้สีของแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ยังมีให้เลือกหลายโทนสี ตั้งแต่ Warm White จนถึง Day Light นั้นจะมีโครงสร้างภายในหลอดที่เหมือนกันจะต่างกันเพียงสารเรืองแสงที่อยู่ภายในหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ให้แสงแตกต่างกันเท่านั้น

หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด Discharge Lamp ที่กำเนิดแสงซึ่งมองเห็นได้ด้วยรังสีอุลตราไวโอเล็ตที่เกิดจากการคายประจุของไอปรอทความดันต่ำไปกระตุ้นสารเรืองแสงโดยภายในผิวหลอดแก้วจะมีสารเรืองแสงเคลือบอยู่ และที่ไส้หลอดรูปคอยล์ตรงขั้วหลอดจะมีสาร Emitter เคลือบอยู่ ในหลอดจะมีปรอทจำนวนเล็กน้อยกับก๊าซอาร์กอนบรรจุอยู่ เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าจะเกิดการคายประจุขึ้น ขั้วหลอดจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนร้อนออกมา อิเล็กตรอนจะไปชนกับอะตอมของปรอทเกิดรังสีอุลตราไวโอเล็ตขึ้น รังสีอุลตราไวโอเล็ตจะไปกระตุ้นสารเรืองแสงและถูกแปลงเป็นแสงที่มองเห็นได้ (ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Photoluminescence)

โดยปกติวงจรของหลอดฟลูออเรสเซนต์ประกอบด้วยมีบาลาสต์ (ขดลวดพันบนแกนเหล็ก) และสตาร์ทเตอร์ โดยบาลาสต์จะต่ออนุกรมกับหลอดทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่ไหลเข้าสู่ขั้วหลอดส่วนสตาร์ทเตอร์จะต่ออนุกรมกับขั้วหลอดทั้งสองข้าง ทำหน้าที่จุดหลอดและถูกตัดออกมาจากวงจรเมื่อหลอดติดแล้ว



ภาพที่ 3 วงจรการทำงานและการนำกระแสของก๊าซเมื่อจ่ายแรงดัน

ที่มา: กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553)

ตารางที่ 2 ข้อดีและข้อเสียของหลอดฟลูออเรสเซนต์

ข้อดี	ข้อเสีย
- อายุใช้งานค่อนข้างยาวนานคือ 10,000 – 13,000 ชั่วโมง - ค่าดัชนีเทียบสีค่อนข้างสูงถึงสูงมาก (Ra = 63-85) - มีอุณหภูมิสีให้เลือกได้ครบทุกโทนสี - หรีแสงได้โดยใช้หลอดชนิดติดเร็ว หรือใช้เครื่องหรีไฟ - อุณหภูมิสภาพแวดล้อมรอบข้างต่ำที่สุด - เป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบกระจายแสงจึงไม่จ้าแยงตา	- ประสิทธิภาพแสงยังไม่สูง โดยขนาด 18 วัตต์ มี $\eta < 50 \text{ lm/W}$ - ใช้เวลา 2-3 วินาทีจึงให้แสงสว่าง และมี การกระพือม (ยกเว้นชนิดติดเร็วหรือเมื่อใช้ บาลาสต์อิเล็กทรอนิกส์) - ต้องใช้บาลาสต์ (และสตาร์ทเตอร์เมื่อใช้ ชนิดอุ่นไส้) - อุณหภูมิมีผลต่อความสว่างมาก (ยกเว้นชนิด ติดเร็ว) - มีแต่หลอดขนาดกำลังต่ำ ต้องติดตั้งจำนวน มาก

5.3.2 หลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode, LED)

หลอดแอลอีดีเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีการเปล่งแสงและถูกควบคุมการกระจายแสงด้วยเลนส์ที่เคลือบไว้ เมื่อใช้งานกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงอิเล็กทรอนิกส์จะผ่านไป ตามอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ทำให้เกิดแสงออกมาตามความถี่ของแสงที่ได้กำหนดไว้ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีหลอดแอลอีดีให้มีความเข้มการส่องสว่างสูง จนสามารถใช้กับงานด้านแสงสว่างได้ซึ่งมีข้อดีเมื่อเทียบกับหลอดประเภทอื่น คือ ขนาดเล็กกระทัดรัด ทนการสั่นสะเทือนสูง เปิดปิดได้บ่อยครั้ง อายุยาวนาน มีประสิทธิภาพด้านแสงสูง ไม่มีการแผ่รังสียูวีและอินฟราเรด ไม่มีกำลังสูญเสียในการจุดหลอด ซึ่งแอลอีดีสมัยใหม่ที่นิยมใช้งานด้านนี้คือ อะลูมิเนียมอินเดียมแกลเลียมฟอสไฟด์ (Aluminum indiumgallium phosphide, AlInGaP) และ อินเดียมแกลเลียมไนไตรด์ (Indium gallium nitride, InGaN) โดยแบ่งกลุ่มหลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงดังนี้ คือ หลอดแอลอีดีทรงวงรี หลอดแอลอีดีฟลักซ์การส่องสว่างสูง (High fluxemitter) และหลอดแอลอีดีฟลักซ์การส่องสว่างสูงมาก (Very high flux emitter) ซึ่งนิยมใช้กับงานป้ายโฆษณา ป้ายสัญลักษณ์ และไฟสัญญาณจราจร หรืองานที่ต้องการลักษณะการให้แสงที่มีความเข้มการส่องสว่างสูง โดยหลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงขนาด 1 วัตต์ สีแดงจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 37 ลูเมนต่อวัตต์ สีเขียวจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 40 ลูเมนต่อวัตต์ สีน้ำเงินจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 12 ลูเมนต่อวัตต์ และสีขาวจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 34 ลูเมนต่อวัตต์ มีอายุการใช้งานประมาณ 50,000 ชั่วโมง

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาแอลอีดีให้อยู่ในรูปหลอดไฟที่มีหัวหลอดแบบทั่วไป เช่น E27 และ E40ซึ่งสามารถเปลี่ยนทดแทนหลอดไส้ หรือหลอดปล่อยประจุความเข้มแสงสูง (HID) ได้เลย สามารถใช้ได้ทั้งในและนอกอาคารและในสถานที่ที่ไม่ต้องการการเกิดประกายไฟ ช่วงจุดหลอด ทำงานได้ในอุณหภูมิช่วงกว้างถึง -40 ถึง 180 องศาฟาเรนไฮน์ ความเสื่อมทางแสงต่ำ จุดติดเร็ว ไม่ต้องใช้บัลลาสต์ ในหลอดแอลอีดียี่ห้อแต่ละตัวจะมีขนาดเล็ก มีเลนส์ค่าสะท้อนแสงสูง อยู่ในตัว และบังคับทิศทางแสงส่องลงด้านล่างเป็นหลัก จึงไม่จำเป็นต้องใช้โคมที่มีการสะท้อนแสงสูง มีแสงบาดตาต่ำ ประหยัดเงินค่าบำรุงรักษาหลอดประเภทนี้ยังไม่นิยมใช้แพร่หลายเนื่องจากมีราคาสูงอยู่มาก (กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

การเลือกหลอดไฟเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอาจพิจารณาได้จากค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง โดยหลอดที่มีประสิทธิภาพพลังงานที่สูงหมายถึง หลอดไฟฟ้านั้นมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างซึ่งประหยัดพลังงานมากกว่าหลอดไฟที่มีค่าประสิทธิภาพพลังงานที่ต่ำ อย่างไรก็ตาม

โดยหลอดแต่ละประเภทมีความแตกต่างด้านการนำไปใช้งาน ดังนั้น จึงไม่ควรพิจารณาเฉพาะค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างเพียงอย่างเดียว โดยปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาการทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ด้วยหลอดแอลอีดี มีดังนี้

1) ปริมาณแสง (ลูเมน)

ปริมาณแสง ที่เปล่งออกจากหลอดแอลอีดี เมื่อเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ พบว่าโดยทั่วไปหลอดแอลอีดีเปล่งแสงส่องสว่างได้สูงสุดเพียงประมาณครึ่งหนึ่ง ของความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เปล่งแสงโดยรอบหลอด แต่หลอดแอลอีดีถูกออกแบบผลิตให้เปล่งแสงออกมาเฉพาะเพียงด้านหน้าโดยไม่มีแสงเปล่งออกไปที่ด้านหลัง ดังนั้นผู้ผลิตหลอดแอลอีดีจึงออกแบบติดตั้งจำนวนเม็ดของหลอดแอลอีดีในจำนวนที่ให้เปล่งแสงสว่างได้เทียบเท่าปริมาณแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ส่องเฉพาะเพียงด้านหน้า

2) สีของแสง

หลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยทั่วไป มีอุณหภูมิสีของแสง (Color Temperature) 3,000 เคลวิน (K, Kelvin) ถึง 4,100 เคลวิน ให้สีของแสงแบบ วอร์มไวต์ จนถึง เดย์ไลต์ ส่วนหลอดแอลอีดี พบว่ามีอุณหภูมิสีของแสงตั้งแต่ แบบวอร์มไวต์ 3,000 เคลวิน ไปจนถึง เดย์ไลต์ 6,500 เคลวิน ดังนั้นหลอดแอลอีดีจึงสามารถให้สีของแสงที่สามารถนำไปใช้งานทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้

3) การกระจายแสง

หลอดฟลูออเรสเซนต์ให้แสงแบบกระจายรอบด้านของหลอด ซึ่งให้แสงไปยังด้านข้างและด้านหลังหลอดด้วย หลอดแอลอีดีถูกออกแบบให้เปล่งแสงในทิศทางเดียวคือจากทางด้านหน้าเท่านั้น จึงให้แสงที่แตกต่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ หากจะเป็นการติดตั้งใหม่ ก็ต้องใช้จำนวนโคมหลอดแอลอีดีจำนวนมากกว่า และการติดตั้งก็กว่าการใช้โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ หากต้องการระดับความส่องสว่างที่เท่ากัน

4) อายุการใช้งาน

หลอดแอลอีดีมีอายุการใช้งานยาวนานถึง 50,000 ชั่วโมง หรือ 6 ปี เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีอายุใช้งาน 15,000 ชั่วโมงเท่านั้น

5) กำลังไฟฟ้า

หลอดแอลอีดีใช้กำลังไฟฟ้าต่ำและไม่ก่อให้เกิดความร้อนขณะใช้งาน ในขณะที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ปล่อยความร้อนในขณะที่ใช้งานซึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์

กิตติคุณ (2554) กล่าวว่าหลอดแอลอีดี ในรูปทรงหลอดตรงคล้ายหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่ ออกแบบผลิตมาเพื่อจะนำมาใช้เปลี่ยนทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ เพื่อการประหยัด พลังงานนั้น หากพิจารณาในแง่ของความสว่าง การกระจายแสง คุณภาพของแสง การดำรงค่าความ สว่างและราคากับระยะเวลาคืนทุนแล้ว จะเห็นได้ว่าในปัจจุบันการนำหลอดแอลอีดี มาเปลี่ยน ทดแทนอาจยังไม่คุ้มค่าพอที่จะใช้เปลี่ยนทดแทนได้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ จึงทำให้หลอดฟลูออ เรสเซนต์ยังคงได้รับความนิยมใช้งานอยู่ อย่างไรก็ตามหลอดแอลอีดี ก็ได้รับการพัฒนาคุณภาพขึ้น สว่างมากขึ้น ในขณะที่ราคาถูกลง จึงทำให้คุ้มค่ากับการลงทุนในระยะยาว

5.3.3 การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าและอุปกรณ์ร่วมให้เหมาะสม มีอยู่ 2 แนวทางการ พิจารณา ดังนี้

ก. การเลือกหลอดไฟฟ้า

จำเป็นต้องเลือกหลอดที่ให้ความสว่างเหมาะสมกับงานและสภาพที่ใช้และ การจัดให้ช่วงเวลาการเปิดไฟสั้นลงก็สามารถลดปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ลงได้ สำหรับอาคารที่มีเพดาน สูงจะใช้หลอดแสงจันทร์หรือหลอดโซเดียมความดันไอสูง นอกจากนั้นการใช้หลอดไฟฟ้าที่มี ประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง (Luminous Efficacy) ติดที่ตำแหน่งที่จำเป็น และเปิดในเวลาที่เป็น ที่นนั้น ก็จะช่วยในการประหยัดพลังงานอีกเช่นกัน การเลือกชนิดของหลอดต้องคำนึงถึงสีของแสง (Light Color) และฟลักซ์การส่องสว่างของหลอดด้วย การเลือกอย่างเหมาะสมจะทำให้ได้แสงสว่าง มากขึ้น เช่น ถ้าหากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ติดตั้งอยู่เป็นแบบ Day light แล้วเปลี่ยนมาเป็น White light สามารถเพิ่มความสว่างได้ 30% ถ้าใช้เฉพาะตำแหน่งควรใช้โคมชนิดที่มีการสะท้อนแสงจะทำ ให้แสงสว่างเพิ่มขึ้นเป็น 70%

ข. การเลือกใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง

- 1) การเลือกโคมที่มีประสิทธิภาพสูงที่เหมาะสมกับงาน เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วย ประหยัดพลังงานได้มาก
- 2) การเลือกใช้บัลลาสต์ที่มีค่าสูญเสียต่ำ โดยพิจารณาจากสภาพการใช้งานให้ เหมาะสมกับประเภทบัลลาสต์ที่จะใช้ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยประหยัดพลังงานได้มาก

5.4 การคำนวณหาปริมาณแสงสว่างโดยวิธีการหาปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง

การคำนวณแบบลูเมนหรือ Zonal cavity Method มาจากนิยามของความส่องสว่าง โดยวิธีการหาปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง คือการพิจารณาปริมาณแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมไฟฟ้า และค่าระดับความสว่างที่คำนวณออกมาได้จะเป็นค่าโดยเฉลี่ยต่อพื้นที่ ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 5

$$L_T = \frac{E \times A}{CU \times LLD \times LDD \times RSDD} \quad (5)$$

เมื่อ	E	คือ ปริมาณแสงสว่าง (ลักซ์)
	L_T	คือ ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมไฟฟ้าหรือหลอดไฟฟ้า (ลูเมน)
	CU	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization)
	LLD	คือ ค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า
	LDD	คือ ค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้า
	RSDD	คือ ค่าความเสื่อมสภาพของแสงสว่างจากพื้นผิวห้องสกปรก
	A	คือ พื้นที่ที่ต้องการหาปริมาณแสงสว่าง (ตารางเมตร)

5.4.1 อัตราส่วนโพรง (Cavity Ratio)

การพิจารณาเป็นอัตราส่วนพื้นที่ที่อยู่ในแนวดิ่งของห้อง ซึ่งหมายถึงผนังห้องทั้ง 4 ด้าน ต่อพื้นที่ในแนวระดับซึ่งหมายถึงเพดานและพื้นรวมกัน ค่าของอัตราส่วนโพรงมีอยู่ 3 ค่าด้วยกัน คือ

1) อัตราส่วนโพรงเพดาน (Ceiling Cavity Ratio: CCR) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 6

$$CCR = 5h_{cc} \frac{(W+L)}{(W \times L)} \quad (6)$$

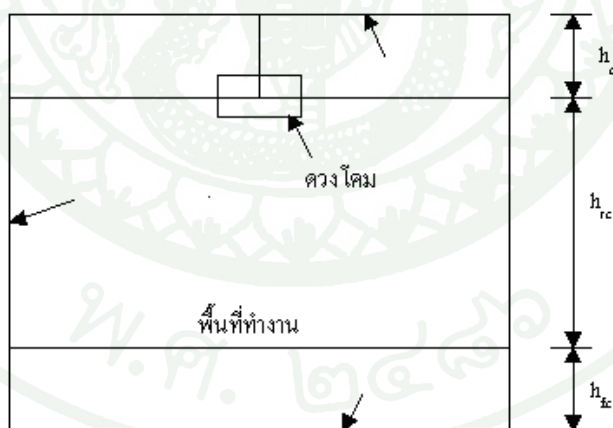
2) อัตราส่วนโพรงห้อง (Room Cavity Ratio: RCR) สามารถคำนวณได้ตาม
สมการที่ 7

$$RCR = 5h_{rc} \frac{(W+L)}{(W \times L)} \quad (7)$$

3) อัตราส่วนโพรงพื้น (Floor Cavity Ratio: FCR) สามารถคำนวณได้ตาม
สมการที่ 8

$$FCR = 5h_{fc} \frac{(W+L)}{(W \times L)} \quad (8)$$

เมื่อ h_{cc} คือ ค่าความสูงอัตราส่วนโพรงเพดาน (เมตร)
 h_{rc} คือ ค่าความสูงอัตราส่วนโพรงห้อง (เมตร)
 h_{fc} คือ ค่าความสูงอัตราส่วนโพรงพื้น (เมตร)
 W คือ ความกว้างของพื้นที่ที่ต้องการหาปริมาณแสงสว่าง (เมตร)
 L คือ ความยาวของพื้นที่ที่ต้องการหาปริมาณแสงสว่าง (เมตร)



ภาพที่ 4 ตัวอย่างการหาค่าความสูงอัตราส่วนโพรง

ที่มา: กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553)

5.4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคม (CU)

การหาสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ สามารถหาได้จากตารางที่กำหนดให้ของโรงงานผู้ผลิตดวงโคมไฟฟ้า ขั้นตอนในการหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์นี้ได้มาจากการเริ่มต้นหาค่า CCR, RCR, FCR, p_{cc} , p_{fc} และชนิดของดวงโคมไฟฟ้าก่อนจึงนำไปประกอบการเปิดตารางหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมไฟฟ้าชนิดต่างๆที่บริษัทผู้ผลิตได้จัดทำขึ้น ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันตามลักษณะของดวงโคมไฟฟ้า และตามลักษณะการใช้งาน

5.4.3 ค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า (LLD)

การหาค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้านั้น เราสามารถหาได้จากคู่มือของหลอดไฟฟ้าที่โรงงานผู้ผลิตกำหนดเอาไว้ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 9

$$LLD = \frac{\text{Mean Lumen Output}}{\text{Initial Lumen Output}} \quad (9)$$

5.4.4 ค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้า (LDD)

ไชยะ (2543) โคมเมื่อถูกใช้ไปนานๆ ความสามารถในการสะท้อนแสงของโคมจะเริ่มลดลง อันเนื่องมาจากการสะสมของฝุ่นละอองจากบรรยากาศ ความสามารถในการสะท้อนแสงที่ลดลงของโคม มีสาเหตุมาจาก การสะสมฝุ่นละอองในบรรยากาศรอบๆ บริเวณที่ติดตั้งโคม โดยเรียกว่าความเสื่อมเนื่องจากความสกปรกของโคม (Luminaire Dirt Depreciation) ความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคมแต่ละประเภทจะลดลงมากหรือน้อย ช้าหรือเร็ว ไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับลักษณะของดวงโคมแต่ละประเภทเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับปริมาณฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบๆ โคมนั้น และความสม่ำเสมอในการทำทำความสะอาดโคม เมื่อฝุ่นละอองมาจับที่โคมมากขึ้น ไม่เพียงแต่ประสิทธิภาพของโคมจะลดลงเท่านั้น ลักษณะการกระจายแสงของโคมก็จะเปลี่ยนไปด้วย

การหาค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้านั้น สามารถจำแนกดวงโคมไฟฟ้าออกเป็นชนิดต่างๆได้ 6 ประเภทใหญ่ๆ เมื่อเลือกชนิดของดวงโคมไฟฟ้าประเภทใดประเภทหนึ่งได้แล้ว จึงต้องพิจารณาถึงบรรยากาศของห้องที่ต้องการออกแบบระบบแสงสว่างและระยะเวลาที่ต้องทำความสะอาด แล้วจึงนำค่าทั้งหมดไปเลือกตารางของกราฟตามประเภทดวงโคมไฟฟ้าประเภทนั้นๆ ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข4

5.4.5 การคำนวณหาจำนวนดวงโคมไฟฟ้าทั้งหมด (N_T)

จำนวนดวงโคมไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในพื้นที่ที่ต้องการหาปริมาณแสงสว่าง สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 10

$$N_T = \frac{L_T}{I} \quad (10)$$

เมื่อ I คือ ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างต่อหนึ่งดวงโคมไฟฟ้า (ลูเมน)

สรุปแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง

แนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างก็คือ “การใช้แสงสว่างให้มีประสิทธิภาพสูงสุด” ซึ่งหมายถึงจุดที่จำเป็นต้องใช้แสงสว่างให้ใช้เต็มที่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานแต่จุดที่ไม่จำเป็นต้องให้ตัดออกหรือยกเลิกการใช้ในจุดนั้นๆ รวมถึงการบำรุงรักษาระบบการใช้งานแสงสว่างเดิมให้ใช้แสงสว่างให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งสามารถสรุปมาตรการการประหยัดพลังงานระบบแสงสว่าง ดังนี้

1. การบำรุงรักษา
 - 1.1 การทำความสะอาดโคมไฟฟ้า
 - 1.2 การทำความสะอาดหลอดไฟฟ้า
2. การใช้งานอย่างเหมาะสม
 - 2.1 การประยุกต์ใช้แสงอาทิตย์
 - 2.2 การปิดไฟเมื่อไม่ใช้งาน
 - 2.3 การใช้สวิทช์ควบคุมการปิด - เปิดเฉพาะจุด
 - 2.4 การใช้เครื่องตั้งเวลาควบคุมการปิด - เปิด
 - 2.5 การใช้ตัวตรวจจับแสง (Photo sensor) ควบคุมการปิด - เปิด
 - 2.6 การใช้ตรวจจับคน (Occupancy sensor) ควบคุมการปิด - เปิด
 - 2.7 การใช้ระบบการจัดการแสงสว่าง (Lighting management system)
 - 2.8 การใช้เครื่องหรี่แสง (Dimming)
3. การใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ช่วยอนุรักษ์พลังงาน
 - 3.1 การเปลี่ยนจากหลอดอินแคนเดสเซนต์เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (CFL)
 - 3.2 การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ รุ่น Super TLD แทนรุ่นธรรมดา

3.3 การใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ รุ่น R หรือ PR แทนหลอดธรรมดา

3.4 ลดจำนวนวัตต์ของหลอดไฟฟ้า

3.5 ลดจำนวนหลอดไฟฟ้า

6. อนุรักษ์พลังงานโดยมาตรการการใช้กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

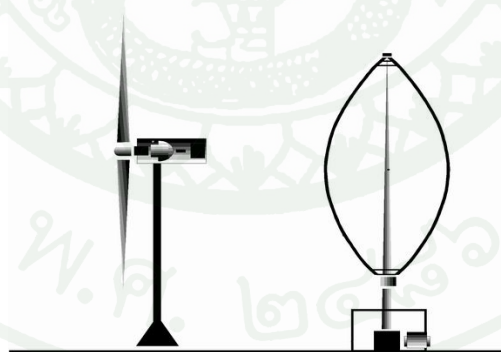
6.1 ชนิดของกังหันลม กังหันลมแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้

6.1.1 แบ่งตามแรงที่กระทำกับใบพัดกังหัน

- ชนิดแรงยก (Lift type) : เป็นกังหันลมที่หมุนได้โดยอาศัยแรงยก
- ชนิดแรงต้าน (Drag type) : เป็นกังหันลมที่หมุนได้โดยอาศัยแรงต้าน

6.1.2 แบ่งตามแนวแกนการหมุน

- กังหันลมแกนตั้ง (Vertical-axis wind turbine, VAWT) : เป็นกังหันลมที่มีแกนการหมุนอยู่ในแนวตั้ง หรือแกนการหมุนตั้งฉากกับกระแสลม
- กังหันลมแกนนอน (Horizontal-axis wind turbine, HAWT) : เป็นกังหันลมที่มีแกนการหมุนอยู่ในแนวนอน หรือแกนการหมุนขนานไปกับกระแสลม



ภาพที่ 5 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง

ที่มา: นที (2554)

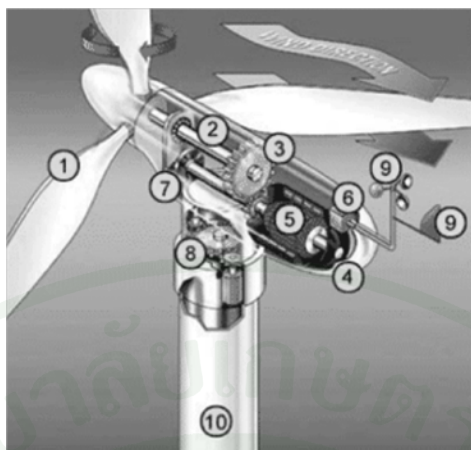
กังหันลม คือ เครื่องจักรมีหน้าที่สกัดพลังงานจลน์จากลม โดยพลังงานจลน์ดังกล่าวจะถูกส่งถ่ายผ่านเพลลาที่เชื่อมต่อกับโรเตอร์ของกังหันลมในรูปของพลังงานกล และพลังงานกลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานทางด้านไฟฟ้าต่อไป โดยสามารถอธิบายได้จากทฤษฎีทางอากาศพลศาสตร์ของกังหันลม

6.2 ทฤษฎีและหลักการทำงานของกังหันลม

6.2.1 หลักการทำงานของกังหันลม

กังหันลมผลิตไฟฟ้า คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งขับเคลื่อนด้วยใบพัดลมของกังหันลม ใบพัดลมทำหน้าที่รับพลังงานลมมาเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลที่ใช้หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใบพัดลมและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายึดติดเป็นชุดเดียวกัน ติดตั้งไว้บนเสาสูงเพื่อให้ได้ลมแรงแล้วจึงต่อสายไฟลงมาใช้งาน ส่วนประกอบของกังหันลมสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 6 ประกอบด้วย

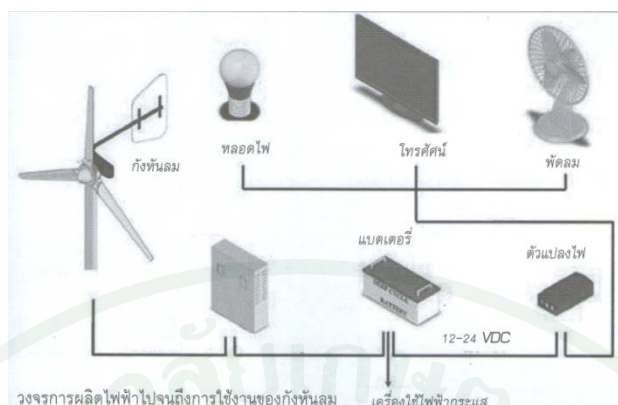
- 1) ใบพัด เป็นตัวรับพลังลมแล้วเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลซึ่งยึดติดกับชุดแกนหมุนและส่งแรงจากแกนหมุนไปยังเพลลาแกนหมุน
- 2) เพลลาแกนหมุน รับแรงจากแกนหมุนใบพัดและส่งผ่านระบบกำลังเพื่อหมุนและปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- 3) ห้องส่งกำลัง เป็นระบบปรับเปลี่ยนและควบคุมอัตราเร็วในการหมุนระหว่างเพลลาแกนหมุนกับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



ภาพที่ 6 แสดงส่วนประกอบภายในของกังหันลมใบพัดแนวนอน

ที่มา: ประไพ (2552)

- 4) ห้องเครื่อง มีขนาดใหญ่และมีความสำคัญต่อกังหันลม ใช้บรรจุระบบต่างๆ ของกังหันลม เช่น ระบบเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เบรก และระบบควบคุม
- 5) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า
- 6) ระบบควบคุมไฟฟ้า
- 7) ระบบเบรก เป็นระบบกลไกเพื่อใช้ควบคุมการหยุดหมุนของใบพัดและเพลากลางของกังหัน เมื่อได้รับอัตราเร็วลมเกินความสามารถของกังหันที่จะรับได้ และในระหว่างการซ่อมบำรุงรักษา
- 8) แกนคอกหมุนรับทิศทางลม เป็นตัวควบคุมการหมุนห้องเครื่อง เพื่อให้ใบพัดรับทิศ ทางลมโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่เชื่อมต่อให้มีความสัมพันธ์กับหางเสือรับทิศทางลมที่อยู่ ด้านบนของเครื่อง
- 9) เครื่องวัดอัตราเร็วลมและทิศทางลม ซึ่งเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้าสู่ระบบ คอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นตัวชี้ขนาดของอัตราเร็วและทิศทางของลม เพื่อคอมพิวเตอร์จะได้ควบคุม กลไกอื่นๆ ได้ถูกต้อง
- 10) เสาตั้งอยู่บนพื้นที่ที่ทำการก่อสร้างอย่างถูกต้องวิธีตามหลักวิศวกรรม เป็นตัวแบกรับส่วนที่เป็นตัวเครื่องและใบพัดที่อยู่บนเสา ความสูงของเสาจะช่วยให้กังหันลมรับลมได้ดี และไม่มีสิ่งกีดขวาง



ภาพที่ 7 วงจรการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมไปจนถึงการใช้งานของกังหันลม

ที่มา: นท (2554)

จากภาพที่ 7 แสดงการนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมไปใช้งาน ดังนี้

1) เก็บไฟฟ้าที่ผลิตได้ไว้ในแบตเตอรี่ แล้วใช้ตัวทำกระแสสลับ (inverter) แปลงผัน (convert) ไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับส่งไปใช้งานในบ้าน โดยแบตเตอรี่ที่นำมาใช้งานควรเป็นแบตเตอรี่แห้ง (deep cycle battery) และตัวทำกระแสสลับควรเป็นแบบ off-grid inverter

2) ส่งไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้กับระบบไฟฟ้าของบ้านหรืออาคารโดยตรง เป็นการใช้งานแบบคู่ขนานกับไฟฟ้าที่ได้รับมาจากการไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคการติดตั้งแบบนี้ต้องขออนุญาตก่อนและจะต้องมีวิศวกรไฟฟ้ารับรองในการติดตั้ง การติดตั้งวิธีคู่ขนานนี้เป็นการช่วยประหยัดไฟฟ้า โดยระบบที่ติดตั้งจะตัดให้มีการใช้กระแสไฟฟ้าที่ได้รับจากกังหันลมก่อน และถ้ากระแสไฟฟ้าที่ได้รับไม่พอก็จะให้ใช้ไฟฟ้าจากระบบปกติ วิธีนี้จะช่วยให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากเท่าที่กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ การติดตั้งด้วยวิธีนี้จะเป็นแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง (grid connected system) เป็นการติดตั้งใช้งานในกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ซึ่งจะทำการเชื่อมต่อกับระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ไม่ต้องมีชุดเก็บพลังงานหรือแบตเตอรี่ (battery bank) โดยชุดแปลงไฟฟ้า (inverter) ของระบบระบบการติดตั้งแบบนี้มีราคาสูงกว่าชุดแปลงไฟฟ้าทั่วไป เนื่องจากมีระบบควบคุมที่ซับซ้อนและต้องสามารถเชื่อมต่อเข้าระบบสายส่งได้ (grid tie transfer) นอกจากนั้นชุดแปลงไฟฟ้าของระบบนี้ยังมีหน้าที่สำคัญที่จะต้องควบคุมแรงดันหรือความถี่ทางไฟฟ้าให้เหมาะสมและสามารถป้อนกระแสไฟฟ้าขนานไปกับไฟฟ้าจากสายส่งหลักได้

3) ขายไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้กับการไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยผู้ขายต้องยื่นคำขอและทำตามระเบียบของหน่วยงานดังกล่าว จนได้รับอนุมัติและทำสัญญาขายไฟฟ้า โดยจะมีขนาดไม่เกิน 10 เมกกะวัตต์ ซึ่งเรียกว่าผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก (VSPP) โดยผู้ขายจะได้สิทธิรับเงินอุดหนุน (adder) จากการไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพิ่มอีกหน่วยละ 3.50 บาท (รวมค่าเฉลี่ยต่อหน่วยที่ขาย ประมาณ 6 บาท) เป็นระยะเวลา 10 ปี นอกเหนือจากราคารับซื้อไฟฟ้าตามปกติ

6.2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือที่เราเรียกกันว่าเจนเนอเรเตอร์ คืออุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการขั้วมาจากสายพานที่ต่อมาจากเครื่องยนต์แต่ในที่นี้จะเป็นเพลลาของกังหัน เจนเนอเรเตอร์จะผลิตกระแสไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำของอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้า

ส่วนประกอบของเจนเนอเรเตอร์

- 1) แผ่นเหล็ก ทำหน้าที่เป็นโครงไว้ให้แผ่นแม่เหล็กยึดติดและเป็นตัวรับกำลังกลจากใบกังหัน
- 2) แม่เหล็กเหนี่ยวนำไฟฟ้าแรงสูงทำหน้าที่เป็นสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำไฟฟ้า
- 3) ขดลวดทองแดง ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างสนามแม่เหล็กเพื่อเกิดกระแสไฟฟ้า

การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อแผ่นเหล็กในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เริ่มต้นหมุน แผ่นเหล็กจะตัดเส้นแรงขดลวดอาร์เมเจอร์ตกค้าง โดยมีอยู่ระหว่างขั้วขดลวดและเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดอาร์เมเจอร์ แรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ถูกควบคุมโดยวงจรขดลวดฟิลด์คอยล์ จำนวนของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรขดลวดฟิลด์คอยล์จะถูกควบคุมโดยความต้านทาน โดยต่ออนุกรมกับวงจรของขดลวดและแรงเคลื่อนที่ถูกใช้งาน กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดฟิลด์คอยล์เป็นสาเหตุให้เพิ่มจำนวนเส้นแรงของแม่เหล็กระหว่างขั้วแม่เหล็กเหนือและขั้วใต้ และเมื่อแผ่นเหล็กหมุน กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดฟิลด์คอยล์ก็จะเพิ่มขึ้น เป็นสาเหตุให้กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์มากขึ้น จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใหม้และตัวมันเองเสียหายได้ถ้าปราศจากการควบคุม เครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะผลิตไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นสัมพันธ์กับความเร็วที่เพิ่มขึ้น ถ้าความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไม่

สามารถควบคุมได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นโดยอัตโนมัติและสามารถหาขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้ดังสมการที่ 11

$$P = E_{ave} \times I \quad (11)$$

เมื่อ	P	คือ กำลัง (วัตต์)
	I	คือ ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมป์)
	E_{ave}	คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

จากรายละเอียดที่ผ่านมาทำให้เราต้องทราบถึงค่าของแรงเคลื่อนแม่เหล็กของขดลวดซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดแรงสร้างอำนาจแม่เหล็กขึ้น และแรงสร้างอำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวทำให้เกิดฟลักซ์ ϕ ขึ้น และความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กคือปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งสามารถแสดงดังสมการที่ 12

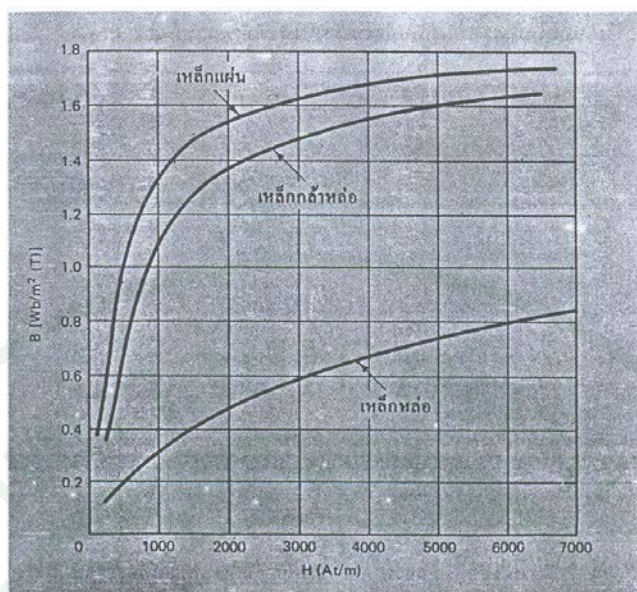
$$B = \frac{\phi}{A} \quad (12)$$

เมื่อ	B	คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (เทสลา)
	ϕ	คือ ฟลักซ์แม่เหล็กหรือเส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์)
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดแม่เหล็ก (ตารางเมตร)

จากนั้นเราสามารถนำค่า B ที่ได้ไปดูในภาพที่ 8 ซึ่งเป็นกราฟการเกิดอำนาจแม่เหล็กแล้วจะได้ค่า H ไปแทนในสมการแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้างดังสมการที่ 13

$$F_m = H \times l \quad (13)$$

เมื่อ	H	คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (แอมป์-เทริน/เมตร)
	l	คือ ระยะห่างระหว่างปลายทั้งสองด้านของขดลวด (เมตร)
	F_m	คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า (แอมป์-เทริน)



ภาพที่ 8 กราฟการเกิดอำนาจแม่เหล็ก

ที่มา: ชีรศักดิ์ (2552)

จากสมการที่ได้มาข้างต้นเราสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนี้ได้ดังสมการที่ 14 และ สมการที่ 15 ตามลำดับ

$$I = \frac{F_m}{N} \quad (14)$$

เมื่อ N คือ จำนวนรอบการพันขดลวด

$$E_{ave} = 2 \times N \times A \times B \times \frac{n}{60} \quad (15)$$

6.3 ผลกระทบจากการใช้กังหันลม

ปัจจุบันมีการใช้งานกังหันลมผลิตไฟฟ้ากันอยู่ในหลายประเทศ ซึ่งได้รับการยอมรับจากประชาชนในพื้นที่เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามกังหันลมยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือผลกระทบข้างเคียงอื่นๆ ดังต่อไปนี้

6.3.1 ด้านพื้นที่

กังหันลมจะต้องติดตั้งอยู่ห่างกันห้าถึงสิบเท่าของความสูงกังหัน เพื่อที่กระแสลมจะได้ลดความปั่นป่วนหลังจากที่ผ่านกังหันลมตัวอื่นมา อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่ติดตั้งจริงของกังหันลมจะใช้เพียง 1 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งจะเป็นส่วนของเสาและฐานรากและ เส้นทางสำหรับการเข้าไปติดตั้งและดูแลรักษา ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้วจะพบว่าการติดตั้งกังหันลมจะไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ต่างๆ อาทิเช่นพื้นที่ทางการเกษตร พื้นที่อุตสาหกรรม ประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวยังคงสามารถใช้ประโยชน์จากที่ดินได้อย่างปกติ

6.3.2 ด้านทัศนวิสัย

สำหรับผลกระทบทางด้านสายตา หรือการมองเห็นของระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น ยังไม่ได้มีการประเมินผลออกมาอย่างชัดเจน กังหันลมขนาดใหญ่จะมีความสูงมากกว่า 50 เมตรขึ้นไป ทำให้สามารถมองเห็นได้จากระยะไกล กังหันลมที่ติดตั้งอยู่ตามทุ่งหญ้า สร้างความสวยงาม สร้างจินตนาการ และความคิดต่างๆ ให้กับผู้พบเห็น กังหันลมสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนรู้หลักการทางอากาศพลศาสตร์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อเทคโนโลยีการบินหรืออากาศยานได้

6.3.3 ด้านเสียง

เสียงของกังหันลมเกิดจากการหมุนของปลายใบพัดตัดกับอากาศ จากการที่ใบพัดหมุนผ่านเสากังหัน จากความปั่นป่วนของลมบริเวณใบกังหันลม และจากตัวเครื่องจักรกลภายในตัวกังหันลมโดยเฉพาะส่วนของเกียร์ เสียงดังของกังหันลมผลิตไฟฟ้าเป็นตัวแปรที่สำคัญประการหนึ่งที่แสดงถึงประสิทธิภาพของกังหันลม ดังนั้นทางบริษัทผู้ผลิตกังหันลมจึงพยายามพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อลดผลกระทบจากเสียงของกังหันลมในช่วงห้าปีที่ผ่านมา ระดับของเสียงในบริเวณอาคาร บ้านเรือนหรือที่พักอาศัยที่จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์อยู่ที่ไม่เกิน 40 เดซิเบล ที่ระยะห่างไม่เกิน 250 เมตร ดังนั้นการติดตั้งกังหันลมหากต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มระยะห่างจากเขตที่พักอาศัยของมนุษย์ให้มากขึ้น

6.3.4 นก

มีผลการศึกษาจากหลายแห่งที่ขัดแย้งกัน สำหรับสาเหตุการตายของนกจากการบินชนกังหันลมที่กำลังหมุนอยู่ แต่หากพิจารณาแล้วความถี่ของเหตุการณ์ดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้ใกล้เคียงหรือน้อยกว่า การที่นกบินชนรถ หน้าต่างของอาคาร หรือ สายไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นอยู่เสมอๆ ยกเว้นในบางกรณีจำนวนการตายของนกในพื้นที่ติดตั้งกังหันลมอาจสูง อันเนื่องมาจากมีฝูงนกที่อพยพย้ายถิ่นฐานในบางฤดูกาลผ่านพื้นที่ดังกล่าวในเวลากลางคืน หรือ พื้นที่นั้นเป็นแหล่งหาอาหารของนกนักล่าบางชนิด นอกจากนี้แล้วจากการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญบางคนพบว่าในบริเวณพื้นที่ติดตั้งกังหันลม กลับมีอัตราการผสมพันธุ์ของเกสรดอกไม้ที่สูงมาก เนื่องจากการปั่นป่วนของกระแสลมในบริเวณนั้น

6.4 การออกแบบกังหันลม

เส้นผ่านศูนย์กลาง คือความกว้างของพื้นที่วงกลมที่ใบพัดกวาดไป ดังแสดงในภาพที่ 9 พลังงานที่ได้รับจากกังหันนั้น ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ใบพัดกวาดได้ มากกว่าที่จะขึ้นอยู่กับค่าพลังงานที่ออกมาที่มากที่สุดของตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator) ลองประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสถานีทดลองโดยที่ความเร็วลมเฉลี่ย 5 เมตร/วินาที ได้แสดงในตารางที่ 3 (HOW TO BUILD A WIND TURBINE THE AXIAL FLUX WINDMILL PLANS, 2542)



ภาพที่ 9 ลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด

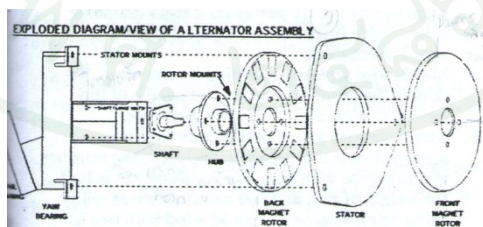
ที่มา: Piggott (2005)

ตารางที่ 3 พลังงานที่ได้จากใบพัดขนาดต่างๆที่ความเร็วลมเฉลี่ย 5 เมตร/วินาที

Diameter		Average power (W)	Energy per day (kWh)	Amphours at	
Ft	m			24 V. (Ah)	12 V. (Ah)
4	1.2	20	0.5	20	40
8	2.4	100	2.5	100	200
10	3	160	4	160	320
12	3.6	250	6	250	500

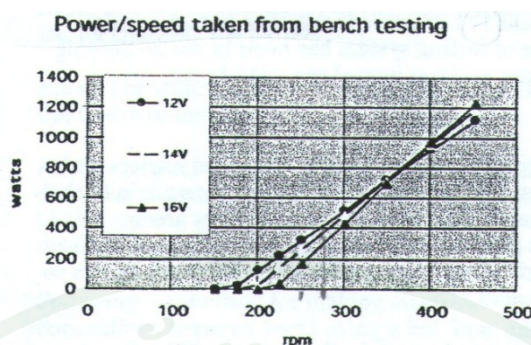
ที่มา: Piggott (2005)

ตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator) จากแม่เหล็กถาวรสามารถใช้กับแบตเตอรี่ 12, 24 และ 48 โวลต์ โดยการเลือกมีผลกับขนาดของสายไฟ และจำนวนรอบต่อขดลวดเหนี่ยวนำเท่านั้น แต่การวางระบบสายไฟหลักสำหรับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ Stator สำหรับกลไกที่เล็กที่สุดจะมีขนาดความหนาที่แตกต่างกัน ตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกรวมเข้ากันกับการเตรียมตัวยึดด้านบน ส่วนท้ายของใบพัดจะทำให้กังหันหันหน้าเข้าหาลม และจะมีการแปลงกระแสไฟฟ้าที่ได้จากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นกระแสไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อเตรียมให้พร้อมที่จะต่อเข้ากับแบตเตอรี่ กังหันลมขนาดเล็กจำเป็นต้องใช้ตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความเร็วต่ำ ซึ่งความเร็วต่ำนั้นหมายถึง อัตราส่วนของ กำลัง/ความเร็ว เส้นโค้งของ กำลัง/ความเร็ว สำหรับใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การแยกส่วนโครงสร้างตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่มา: Piggott (2005)



ภาพที่ 11 กราฟแสดงเส้นโค้งของ กำลัง/ความเร็ว สำหรับใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร

ที่มา: Piggott (2005)

จากภาพที่ 11 แสดงให้เห็นว่ากำลังสูงสุดที่ได้อยู่ที่ 500 วัตต์ ภายใต้สภาวะแวดล้อมปกติ แต่สามารถเพิ่มกำลังได้มากกว่า 1,000 วัตต์ได้ในระยะเวลาสั้นๆ แรงที่ใบพัดต้องการใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่นั้นต่ำมาก เนื่องจากไม่มีเฟืองหรืออุปกรณ์ส่งถ่ายกำลัง นั้นหมายความว่า กังหันลมสามารถเริ่มหมุนได้ที่ความเร็วลมต่ำ และทำให้เกิดพลังงานที่นำไปใช้เป็นประโยชน์ การสูญเสียพลังงานจะน้อยในขณะความเร็วลมต่ำ ในขณะที่ความเร็วลมสูงขึ้นตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะเป็นตัวควบคุมหรือลดความเร็วของใบพัด ดังนั้น ถ้าเครื่องจักรทำงานอย่างเต็มสมรรถนะ และใบพัดยังคงหมุน เราสามารถหยุดการทำงานได้อย่างง่ายด้วยการลัดวงจร ในรูปแบบของ Brake Switch ปัญหาหลักๆของเครื่องจักรสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อ ตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ช้าเกินไปสำหรับใบพัด ซึ่งเมื่อเกิดขึ้น เครื่องจักรจะเกิดการหยุดกลางคัน ในกรณีนี้สามารถคาดเดาได้ว่าเครื่องจักรเกิดการติดขัดเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ควรเพิ่มความต้านทาน หรือเพิ่มช่องว่างระหว่างแม่เหล็ก เพื่อลดความเข้มของสนามแม่เหล็ก และทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นกว่าเดิม

ปัจจุบันพลังงานที่ได้จากแบตเตอรี่ไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุด แต่วิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือการเชื่อมต่อกับ Grid Connect inverter ซึ่งเป็นเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ได้จากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นกระแสไฟฟ้ากระแสตรงอย่างเช่น “Windy Boy” จากบริษัท “SMA” เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมอาจส่งแรงดันกระแสตรง 200-300 โวลต์ ไปยังเครื่องแปลงสัญญาณ (Inverter) โดยขึ้นอยู่กับความเร็วลม เครื่องแปลงสัญญาณจะดำเนินการให้กังหันหมุนในความเร็วที่เหมาะสม และได้ค่าพลังงานที่ออกมาเป็นแรงดันที่ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม การทำงานยังจำเป็นต้องปรับให้

เหมาะสมกับลักษณะพิเศษของเครื่องจักร (HOW TO BUILD A WIND TURBINE THE AXIAL FLUX WINDMILL PLANS, 2542)

6.4.1 ทฤษฎีใบพัด (Blade Theory)

การสร้างใบพัดที่หมุนได้ คือสิ่งสำคัญที่ให้พลังงานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากลม ซึ่งใบพัดให้กำเนิดพลังงานกลเพื่อขับเคลื่อนตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ และตัวกำเนิดไฟฟ้าจะแปลงพลังงานกลนี้ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานทั้ง 2 แบบนี้ถูกวัดในหน่วยวัตต์

6.4.2 ความเร็วใบพัด (Blade speed)

ความเร็วของใบพัดขึ้นอยู่กับว่าได้รับภาระอย่างไร ถ้าตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีแรงบิดสูง และต้องใช้แรงมากในการหมุน ขณะนั้นจะทำให้ความเร็วลดลงจนช้ามาก ถ้าการวางระบบสายไฟถูกเชื่อมต่อและการผลิตกระแสไฟฟ้าไม่สามารถใช้การได้ โรเตอร์จะเร่งความเร็ว และมีความเร็วมากจนไม่สามารถควบคุมได้ โรเตอร์ถูกออกแบบจากความสัมพันธ์กับความเร็ว ซึ่งความสัมพันธ์นี้ถูกเรียกว่า “Tip speed ratio” (Tsr) Tsr นี้คือความเร็วการเคลื่อนที่ที่ปลายของใบพัดหารด้วยความเร็วลม ณ เวลานั้นๆ ในบางกรณีที่ปลายของใบพัดเคลื่อนที่เร็วกว่าลมด้วยอัตราส่วนมากกว่า 10 เท่า ทำให้มีความเร็วมากกว่า 200 ไมล์/ชั่วโมง ผลที่ได้คือ เกิดเสียงดังขณะเดินเครื่องและเกิดการกัดเซาะอย่างรวดเร็วนบนสันของใบพัด ซึ่ง Tsr ที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ Tsr เท่ากับ 7

ในการสร้างโรเตอร์ที่ใช้กับใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร ต้องการทราบความเร็วรอบ/นาที ที่ใบพัดหมุนได้ดีที่สุด ที่ความเร็วลม 3 เมตร/วินาที ดังสมการที่ 16

$$n = \frac{60\lambda V_0}{2\pi r} \quad (16)$$

เมื่อ	n	คือ ความเร็วรอบของกังหันลม (รอบ/นาที)
	V_0	คือ ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
	r	คือ รัศมีกังหันลม (เมตร)
	λ	คือ อัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบ

6.4.3 จำนวนใบพัด (Blade number)

Piggott (2005) กล่าวว่า จากคำถาม “ทำไมเราถึงไม่เพิ่มใบพัดให้มากขึ้นเพื่อให้ได้พลังงานที่มากขึ้น” มันจริงอยู่ที่ว่า ถ้าใบพัดมากขึ้นจะได้แรงในการหมุนหรือที่เรียกว่า ทอร์ค มากขึ้น แต่นั่นไม่ได้เท่ากับว่าได้พลังงานมากขึ้น จากพลังงานกลคือ ความเร็วคูณด้วยทอร์ค สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าเราต้องการความเร็วมากกว่าทอร์ค การเพิ่มใบพัดทำให้เครื่องจักรหมุนได้ช้าลง แต่ความเร็วที่เพิ่มแรงในการจุด/หมุน ทั้งหมดของใบพัด จะถูกจำกัดว่าพลังงานเท่าไรที่สามารถผลิตได้ โรเตอร์ แบบใบพัดหลายๆใบ จะใช้ได้ดีที่สุดกับสัดส่วนของ Tsr ค่าๆ

ก. รูปร่างใบพัด (Blade shape)

โรเตอร์ใดๆก็ตามที่ถูกออกแบบให้หมุนที่ Tsr เท่ากับ 7 จำเป็นต้องมีรูปร่างเหมือนกันไม่ว่าขนาดใดก็ตาม ขนาดสามารถย่อหรือขยายได้ โดยการเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้เหมาะสม สามารถกำหนดรูปร่างของใบพัดแต่ละส่วนตลอดแนวความยาวของใบพัด ซึ่งแต่ละส่วนของใบพัดประกอบด้วย ความกว้างของใบพัด, มุมใบพัด และความหนาใบพัด ในขณะที่การสลักใบพัดจากไม้ เราสามารถกำหนด ความกว้างของชิ้นงานโดยการวัดจากผิวหน้าของชิ้นงานไปยังเส้นสันขอบของใบพัด เราเรียกวิธีนี้ว่า “Drop” ซึ่งจะทำให้ได้ขนาดของใบพัดที่ต้องการ รูปร่างของใบพัดแต่ละใบนั้นใกล้เคียงกัน แต่อาจแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย การบิดเป็นเกลียวและรูปร่างที่เรียวนั้นเป็นสิ่งที่เหมาะสมที่สุด แต่ในบางกรณี การบิดเป็นเกลียวน้อยมากก็ประสบความสำเร็จเช่นกัน เราให้ความสำคัญกับการบิดแบบเป็นเกลียวที่แข็งแรงและความเรียวเนื่องจาก

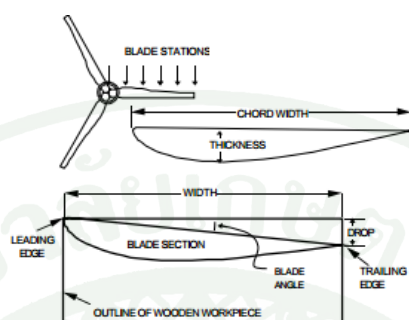
- 1) ความแข็งแรง
- 2) เริ่มหมุนจากจุดหยุดนิ่งได้ดีกว่า
- 3) ความสวยงาม

ซึ่งในความเป็นจริง ไม่ได้ทำให้ได้ผลที่แตกต่างกันมากนักถ้ารูปร่างแตกต่างไปจากต้นแบบเล็กน้อย สิ่งสำคัญขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ และรายละเอียดของการติดตั้งเข้ากับตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมากกว่า

ข. การสลักใบพัด (Carving the blades)

ไม้ที่ใช้ควรเลือกในฤดูกาลที่เหมาะสม มีความชื้นน้อย สามารถตัดยึดไม้เพื่อเพิ่มขนาดให้ใกล้เคียงกับต้นแบบได้ ห้ามตัดชิ้นงานเพิ่มตามแนวยาวโดยการทากาว เนื่องจากจะทำให้ใบพัดไม่แข็งแรง การทดสอบการบิดเกลียวบนผิวหน้าของชิ้นงานนั้น ทำได้โดยการวัดระดับน้ำตามแนวขวางตลอดความยาวของใบพัด ถ้าไม่ถูกทำให้เรียบ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ควรตรวจสอบถึงจุดอื่นๆให้มีความเรียบเสมอกัน ขั้นตอนการสลักใบพัดสามารถแบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบรูปร่างเกลียว ใบพัดจะแคบที่จุดปลายและค่อยๆ ค่อยๆ ออกจนได้ช่วงที่กว้างขึ้นใกล้ๆ กับฐาน ดังแสดงในภาพที่ 12 และตารางที่ 4



ภาพที่ 12 รูปร่างและลักษณะของใบพัด

ที่มา: Piggott (2005)

ตารางที่ 4 ข้อมูลที่ใช้ในความกว้างของใบพัดในแต่ละช่วง

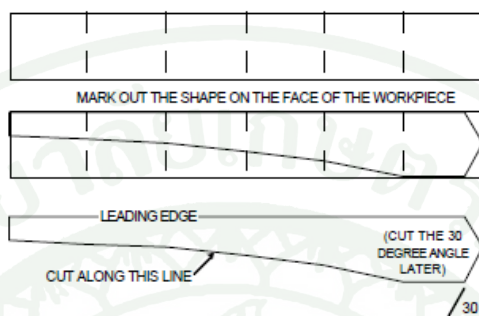
station	width	
1	6"	150 mm
2	4 ³ / ₄ "	120 mm
3	3 ¹⁵ / ₁₆ "	100 mm
4	3 ¹ / ₈ "	80 mm
5	2 ³ / ₄ "	70 mm
6 (tip)	2 ³ / ₈ "	60 mm

ที่มา: Piggott (2005)

- 1) ลากเส้นแบ่งแต่ละส่วนโดยวัดจากปลายฐานของชิ้นงานโดยแต่ละส่วนมีขนาด 200 มิลลิเมตร
- 2) ลากเส้นรอบๆ ชิ้นงานในแต่ละส่วนโดยใช้ไม้ฉาก

3) กำหนดตำแหน่งความกว้างของแต่ละส่วนให้ถูกต้อง โดยวัดจาก leading line และลากเส้นเพื่อเชื่อมจุดเหล่านั้น

4) ตัดตามแนวเส้นที่ได้กำหนดไว้โดยใช้ band saw ดังแสดงในภาพที่ 13

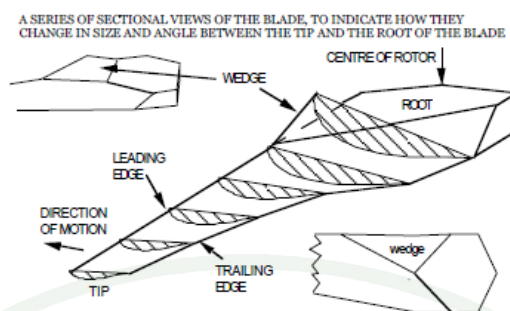


ภาพที่ 13 ความกว้างของใบพัดในแต่ละช่วง

ที่มา: Piggott (2005)

ขั้นตอนที่ 2 การสลักด้านที่หันหน้ารับลมให้เป็นเกลียว ซึ่งด้านที่หันหน้ารับลมของใบพัดจะถูกทำให้เป็นมุม และค่อนข้างเรียบเหมือนกับด้านล่างของปีกเครื่องบิน มุมของใบพัดจะถูกทำให้ชันที่บริเวณฐานมากกว่าส่วนปลาย เหตุผลที่มุมของใบพัดควรเปลี่ยนแปลงก็เพราะว่าความเร็วของใบพัดจะช้าขึ้นขณะที่เข้าใกล้ศูนย์กลาง ความเร็วของใบพัดมีผลต่อมุมของความเร็วของอากาศที่พุ่งเข้าหาใบพัด ที่แต่ละส่วนอย่างชัดเจน การสลักด้านที่หันหน้ารับลมให้เป็นเกลียวเริ่มจาก

- 1) กำหนดตำแหน่งแต่ละส่วนลงบนด้านที่ตัดไว้จากขั้นตอนที่ 1
- 2) กำหนดระยะ Drop บนแต่ละส่วนของเส้นใหม่ที่กำหนดไว้ โดยวัดจากผิวหน้าของไม้ ดังแสดงในภาพที่ 14 และตารางที่ 5 และทำการกำหนดตำแหน่งของสันขอบในแต่ละส่วน



ภาพที่ 14 ลำดับของมุมมองแบ่งเป็นส่วนย่อยของใบพัดระบุถึงการเปลี่ยนแปลงของขนาดและมุมระหว่างส่วนปลายและส่วนฐานของใบพัด

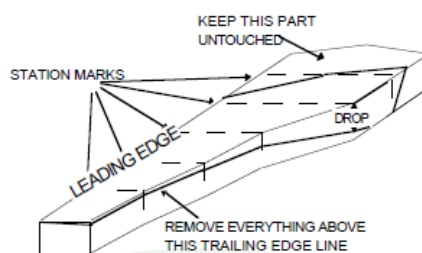
ที่มา: Piggott (2005)

ตารางที่ 5 ข้อมูลที่ใช้ในการ Drop ของใบพัดในแต่ละช่วง

station	Drop	
1	$1 \frac{1}{2}''$	37 mm
2	1	25 mm
3	$\frac{7}{16}''$	12 mm
4	$\frac{1}{14}''$	6 mm
5	$\frac{1}{8}''$	3 mm
6 (tip)	$\frac{1}{16}''$	2 mm

ที่มา: Piggott (2005)

3) ลากเส้นเชื่อมจากเส้นแนวสันขอบ leading edge จะเป็นอีกมุมของชิ้นงานระยะ Drop ในแต่ละช่วงไม่กว้างพอที่จะได้มุมใบพัดที่ดีที่สุด ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะใช้ลิ้มไม้ในการสร้าง leading edge ลิ้มไม้จะช่วยสร้างมุมของใบพัดสำหรับช่วงที่ไม่ต้องการให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากเกินไปของผิวหน้าที่ไม่ได้ตัดไว้เพื่อให้มีความพอดีกับลิ้ม ในพื้นที่นี้รอบๆ ใบพัดช่วงที่ 1 จะตัดผิวระหว่างแนวสันขอบ และ เส้นเค้าโครง ของรอยลิ้มดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ลักษณะการ Drop ของใบพัดในแต่ละช่วง

ที่มา: Piggott (2005)

4) นำไม้ที่อยู่ด้านบนบนแนวเส้นขอบ ออก เพื่อที่จะสามารถวางตำแหน่ง straight edge ไว้ระหว่าง leading line และแนวเส้นขอบ

ข้อควรระวังเรื่องความถูกต้อง แม่นยำ ในส่วนของชิ้นงานด้านนอกใกล้เคียงกับ ส่วนปลาย ซึ่งเป็นที่มุมของใบพัดต้องระวังเป็นพิเศษ โดยใช้ตารางที่ 5 ห้ามย้ายตำแหน่งของ leading line และระวังอย่าตัดไม้จนไปโดนรอยแนวเส้นขอบ

ขั้นตอนที่ 3 ความหนาของการสลักไม้ การสลักไม้ออกจากด้านหลังของใบพัด ควรให้ได้ความหนาที่ถูกต้องเหมือนกันตลอดทั้งความกว้างของใบพัดในแต่ละช่วง แต่ตำแหน่งที่สำคัญเพียงแค่ 30 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นของความกว้างจาก leading edge ส่วนบริเวณที่เหลือนั้นไม่ใช่ จุดสำคัญ แสดงในตารางแสดงความหนาของใบพัดในแต่ละส่วนดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลค่าความหนาของใบพัดในแต่ละส่วน

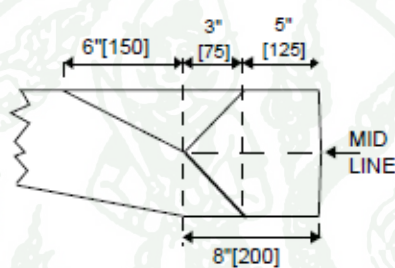
station	Drop	
2	$15/16''$	25 mm
3	$1/2''$	13 mm
4	$3/8''$	10 mm
5	$5/16''$	8 mm
6 (tip)	$1/4''$	7 mm

ที่มา: Piggott (2005)

ขั้นตอนนี้เริ่มจากการร่างเส้นเพื่อแสดงให้เห็นส่วนของไม้ที่ต้องการเอาออกอย่างคร่าวๆ

1) ในส่วนของแต่ละช่วงตลอดแนว leading edge วัดความหนาที่เหมาะสมจากพื้นผิวด้านรับลมและทำการระบุตำแหน่งไว้ ลากเส้นเชื่อมจุดทั้งหมด โดยลากเส้นไปให้ถึงด้านหลังของชิ้นงานในบริเวณใบพัดช่วงที่ 1

2) ทำซ้ำตลอดบนแนวสันขอบระหว่างใบพัดช่วงที่ 2 และใบพัดช่วงที่ 3 ลากเส้นไปถึงขอบใบพัดช่วงที่ 2 วาดเส้นทแยงมุม จากมุมไปยังด้านหลังของชิ้นงานจนบรรจบกับ leading line ของใบพัดช่วงที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 16 เส้นนี้จะช่วยให้สามารถสลักไม้ในแต่ละส่วน โดยยังคงได้ความหนาที่ถูกต้อง

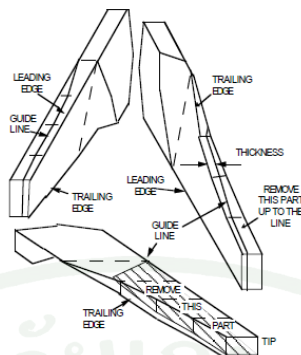


ภาพที่ 16 เส้นเค้าโครงของใบพัดช่วงที่ 1

ที่มา: Piggott (2005)

ทั้ง 2 ด้านของใบพัด ควรมีผิวที่ราบเรียบและขนานกัน ยกเว้นใบพัดช่วงที่ 1 และ 3 เนื่องจากชิ้นงานไม่หนาพอ แต่จุดที่มีความหนามากที่สุดควรให้ผิวด้านหน้าและด้านหลังขนานกัน

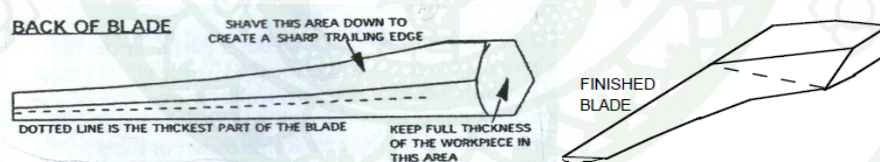
ขั้นตอนที่ 4 การสลักส่วนโค้งเว้าบนด้านหลังของใบพัด เป็นการสร้างด้านหน้าของปีกที่เหมาะสมในแต่ละส่วนของใบพัด ซึ่งหากไม่สำเร็จใบพัดจะมีแรงในการหมุนสูงมากดังนั้นขั้นตอนนี้เป็นการป้องกันไม่ให้ใบพัดทำงานที่ T_{sr} สูง ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ลักษณะความหนาของใบพัดในแต่ละส่วน

ที่มา: Piggott (2005)

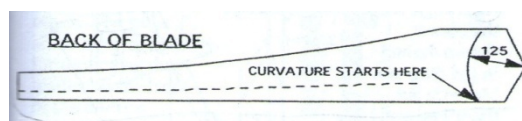
1) วาดเส้น 2 เส้นตลอดแนวด้านหลังของใบพัด โดยมีขนาดความกว้าง 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ จาก leading edge ไปจนถึงแนวสันขอบ ขั้นตอนนี้ส่วนที่สลักออก ถูกแสดงด้วยเส้นประ ระหว่างแนวสันขอบและตรงกลางของความกว้างใบพัด นี่เป็นการสร้างมุมที่ถูกต้องขึ้นที่สันขอบ เมื่อเสร็จสมบูรณ์แนวสันขอบควรมีความหนาอย่างน้อย 1 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ลักษณะด้านหลังของใบพัดที่สมบูรณ์

ที่มา: Piggott (2005)

2) นำส่วนที่อยู่ตรงมุมออก โดยจะทำการสร้างมุมขึ้นมาใหม่ ส่วนที่โค้งจะถูกสลักออก ให้ใช้นิ้วลูบไปบนไม้เบาๆ จนรู้สึกถึงส่วนที่เป็นมุม แล้วจึงค่อยๆ สลักไม้ออก ระวังอย่าสลักไม้ออกมากเกินไป เส้น 30 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นตัวบอกค่าความหนาที่มากที่สุดและไม่ควรสลักไม้ออกจนเลยเส้นนี้ ระวังไม่ให้เกิดมุมที่จุดที่หนาที่สุดนี้ด้วย ความโค้งของใบพัดด้านหลัง leading edge ดังแสดงในภาพที่ 19

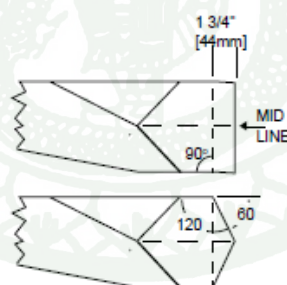


ภาพที่ 19 ลักษณะความโค้งของใบพัดด้านหลัง leading edge

ที่มา: Piggott (2005)

ขั้นตอนที่ 5 การประกอบวงล้อ เพื่อสลักไม้ให้ส่วนฐานมีขนาดมุม 120°

- 1) วาดเส้นกึ่งกลางระยะ 3 นิ้ว (75 มิลลิเมตร) ในแต่ละด้าน
- 2) วาดเส้นตั้งฉากกับขอบและมีระยะห่างจากฐานใบพัด $1\frac{3}{4}$ นิ้ว (44 มิลลิเมตร) ห่างความกว้างของไม้แตกต่างกัน ให้วัดออกมา (ความกว้าง/3.46) จากฐานของใบพัด
- 3) ลากเส้นเชื่อมต่อปลายของเส้นนี้จากจุดกึ่งกลางมาจนถึงส่วนปลายของใบพัด ดังแสดงในภาพที่ 20 โดยทั้งสองเส้นนี้จะกลายเป็นเส้นที่ทำมุม 120° บนฐานของใบพัด
- 4) สลักส่วนที่เป็นชิ้นสามเหลี่ยมออกจากมุม โดยการสลักตามแนวของเส้นที่ทำมุม เหลือไว้ในส่วนของบริเวณจุดกึ่งกลางมุม 120° บนฐานของใบพัด

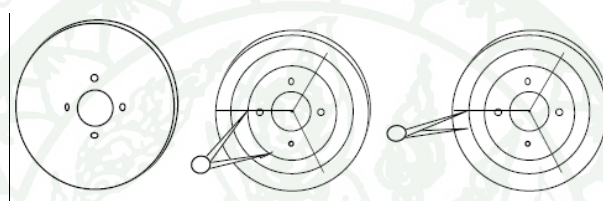


ภาพที่ 20 ลักษณะส่วนฐานของใบพัดที่มีขนาดมุม 120°

ที่มา: Piggott (2005)

- 5) สร้างและเจาะแผ่นไม้อัด โดยวาดวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน และรูปที่ใช้ในการขีดเจาะรูขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว บริเวณกึ่งกลางแผ่นหมุน และกำหนดตำแหน่งแม่เหล็กลงบนแผ่นหมุน วาดวงกลมสองวงบนแผ่นหมุนโดยใช้เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว (150 มิลลิเมตร) และ 8 นิ้ว (200 มิลลิเมตร) ใช้วงเวียนวาดวงกลมรอบนอก โดยมีระยะห่างแต่ละวง

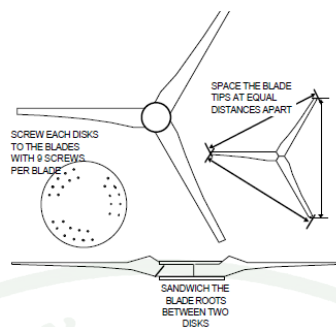
เท่ากัน เริ่มจากจุดกึ่งกลางระหว่างรูที่ใช้ในการขีดทั้ง 2 รู ใช้ทุกๆจุดที่สอง วาดเส้นขยายออกจากจุดศูนย์กลาง แต่ละเส้นจะแทนกึ่งกลางของใบพัด 1 ใบ สำหรับทำหน้าที่ในการขีดร่วมกับรูสลักเกลียว ตั้งขนาดวงเวียนไว้ที่รัศมี 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) และทำการลากเส้นตรงวงกลมวงนอกสองครั้ง โดยลากออกไปในทิศทางตรงกันข้าม เพื่อเป็นการสร้างร่องกลม 5 รู และต่อไปเป็นการสร้างร่องกลม 4 รู บริเวณวงกลมด้านในโดยใช้วิธีการเดียวกัน แต่ทางวงเวียนค่อมเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังแสดงในภาพที่ 21 วางแผ่นหมุดต้นแบบนี้ลงใบด้านบนของแผ่นไม้อัดแผ่นอื่นโดยใช้ศูนย์กลางเดียวกัน และทำการเจาะรูทั้ง 27 รูให้ทะลุผ่านแผ่นไม้ทั้งสอง ทำการคว้านรูสลักเกลียวจากด้านนอก ให้คำนึงอยู่เสมอว่าผิวหน้าจะต้องสัมผัสกับแม่เหล็ก



ภาพที่ 21 ลักษณะการเจาะรูสลักเกลียวบนแผ่นหมุด

ที่มา: Piggott (2005)

6) การขีดใบพัดเข้าด้วยกัน เริ่มจากการขีดใบพัดไว้กับโต๊ะทำงาน เอาผิวหน้าด้านรับลมไว้ข้างล่าง (เอาผิวโค้งขึ้นข้างบน) ติดตั้งฐานเข้าด้วยกัน โดยให้ช่องว่างระหว่างจุดปลายสุดเท่ากัน กำหนดตำแหน่งลงบนใบพัดแต่ละใบที่ระยะรัศมี 5 นิ้ว (125 มิลลิเมตร) จากจุดศูนย์กลางของจานหมุน วางตำแหน่งแผ่นหมุดต้นแบบให้ได้กึ่งกลางกับฐานของใบพัด โดยการจัดขอบของแผ่นหมุดให้อยู่ในระดับเดียวกันกับตำแหน่งที่กำหนดไว้ ขันสกรูลงบนใบพัดด้วยจำนวนสกรู 9 ตัว ต่อ 1 ใบพัด และทำซ้ำแบบเดิมกับใบพัดที่เหลือ ดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ลักษณะการยึดใบพัดเข้าด้วยกันกับแผ่นหมุน

ที่มา: Piggott (2005)

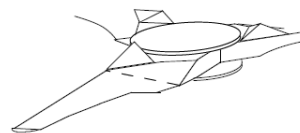
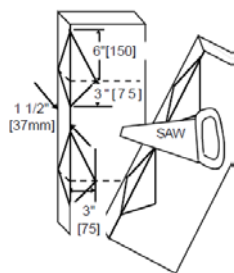
7) การเจาะรูสำหรับการติดตั้งสลัก โดยกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางของรูขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว (12 มิลลิเมตร) ทั้ง 4 รูลงบนใบพัดโดยการเจาะรูทะลุผ่านแผ่นหมุนต้นแบบ เอาแผ่นหมุนต้นแบบออก จัดวางด้านหน้าของคูล็อบบนแผ่นไม้อีกแผ่นหนึ่ง และใช้ดอกสว่านขนาด 16 มิลลิเมตร เจาะทะลุผ่านตำแหน่งเดียวกัน ระวางอย่างยั้งให้รูที่เจาะขนานกับพื้นผิว ดังแสดงในภาพที่ 23 รูสลักนี้จะมีระยะพอดีสำหรับคูล็อบขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว (M12) ซึ่งใช้ยึดใบพัดกับตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับไว้ได้อย่างปลอดภัย



ภาพที่ 23 ลักษณะการเจาะรูสำหรับการติดตั้งสลัก

ที่มา: Piggott (2005)

ขั้นตอนที่ 6 การสลักและนำไปติดยึดของลิม วิธีที่ง่ายที่สุดในการสร้างลิมคือการสลักออกจากมุมของแท่งไม้ โดยขนาดและการประกอบของลิม แสดงในภาพที่ 24 และภาพที่ 25 ตามลำดับ



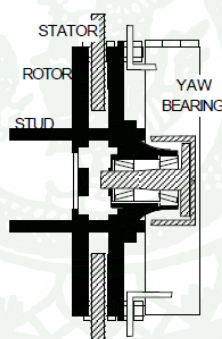
ภาพที่ 24 สัดส่วนและขนาดของลิ้ม

ภาพที่ 25 แสดงการประกอบของลิ้ม

ที่มา: Piggott (2005)

6.4.4 ทฤษฎีตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator)

ตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วยแผ่นหมุนที่ถูกประกบด้วยแผ่นแม่เหล็กเคลื่อนที่ สนามแม่เหล็กเข้มข้นที่ผ่านแม่เหล็ก 2 ชุดนี้และขดลวดในสเตเตอร์ การเคลื่อนที่ของโรเตอร์ เคลื่อนที่ผ่านขดลวดไปอย่างรวดเร็วจึงเกิดการสร้างแรงดันแบบสลับขึ้นในตัวเอง

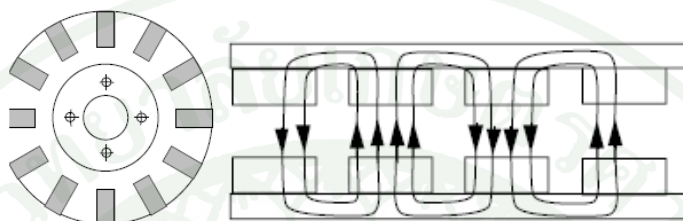


ภาพที่ 26 ส่วนประกอบของตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่มา: Piggott (2005)

จากภาพที่ 26 แสดงถึงส่วนที่หมุน(สีดำ) สลักเกลียวขนาด 1/2 นิ้ว (12 มิลลิเมตร) 4 ตัว ซึ่งค้ำแม่เหล็กเคลื่อนที่ 2 ตัวไว้กับหน้างานของคัมล้อ และช่วยให้แม่เหล็กเคลื่อนที่มีระยะห่างที่ถูกต้อง และการสลักแบบเดียวกันนี้ยังถูกใช้ในการติดตั้งใบพัดกับด้านหน้าของตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับอีกด้วย

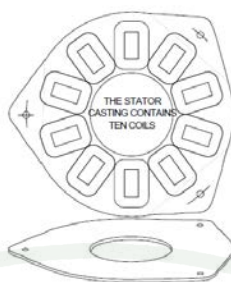
แม่เหล็กจำนวน 12 แท่งบนโรเตอร์ ซึ่งแท่งแม่เหล็กนี้ถูกฝังในการหล่อโพลีเอสเตอร์เรซิน เพื่อประกอบแม่เหล็กและยังช่วยป้องกันการกัดกร่อนอีกด้วย แม่เหล็กแต่ละแท่งมีขั้วเหนือ ขั้วใต้ โดยขั้วแม่เหล็กจะเรียงสลับกัน วิธีนี้ทำให้สนามแม่เหล็กที่มีความเข้มถูกสร้างระหว่างแม่เหล็กเคลื่อนที่ ดังแสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 การจัดวางแม่เหล็กและขั้วแม่เหล็กบนโรเตอร์

ที่มา: Piggott (2005)

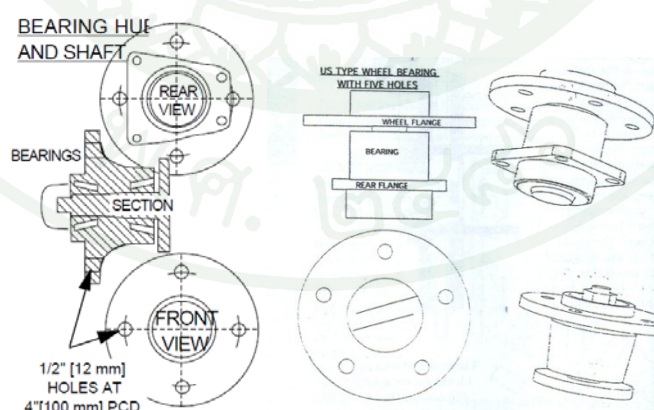
แรงดันเป็นสัดส่วนที่ได้จากอัตราการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ดังนั้นแรงจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยเหล่านี้ คือ ความเร็วของการหมุน, ปริมาณของสนามแม่เหล็ก และจำนวนรอบของขดลวด ซึ่งจำนวนรอบของขดลวดในแต่ละขด ถูกใช้ในการควบคุมความเร็วของกังหันลม เช่น ถ้าจำนวนรอบมากผลที่ตามมาคือพลังงานที่ได้จะมีผลต่อแรงดันแบตเตอรี่ และเริ่มเก็บประจุให้กับแบตเตอรี่ ที่ความเร็วลมต่ำ ถ้าเราใช้ขดลวดที่มีขนาดใหญ่กว่าแล้วพันจำนวนรอบน้อยกว่า ผลที่ได้คือจำเป็นต้องเดินเครื่องให้เร็วกว่าเดิม ดังนั้นจำนวนรอบควรถูกเลือกให้เหมาะสมกับใบพัดและแรงดันแบตเตอรี่ด้วย ยกตัวอย่างกรณีมีขดลวด 10 ขดในสเตเตอร์ และมีขั้วแม่เหล็ก 12 ขั้วเคลื่อนที่ผ่านขดลวดที่เวลาต่างกัน ระยะของช่วงไฟฟ้าที่เหลื่อมกันอยู่ระหว่างขดลวดหมายถึง แรงบิดที่มีความราบรื่นมากกว่าการใช้ขดลวด 12 ขด (ขดลวด 1 ขดต่อแม่เหล็ก 1 ก้อน) ถ้าขดลวดถูกทำให้สอดคล้องกับขดลวดอื่นๆ (Single phase) ผลที่ได้คือเครื่องจักรจะเดินเครื่องอย่างราบเรียบในขณะที่ผลิตกำลังไฟฟ้า



ภาพที่ 28 การจัดวางขดลวดจำนวน 10 ขดในสเตเตอร์

ที่มา: Piggott (2005)

1) การเตรียมคูล์ดเพื่อใช้ทำเป็นแบร์ริงสำหรับตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ในอังกฤษล้อหลังของรถรุ่น Vauxhall Cavalier เหมาะอย่างยิ่งที่ใช้ทำแบร์ริง ดังนั้นจึงนำไปใช้ในการยกตัวอย่าง เริ่มจาก ถอดโคนเพลาลอกจากรถ โดยการเอาสกรู 4 ตัวออกจากหน้าแปลนด้านหลัง ถอดกรูตัวเล็กๆ ที่ยึดติดจานเบรคออกแล้วถอดจานเบรคออกโดยใช้ค้อนหรือคานจัด ปิดสิ่งสกปรกที่ปกคลุมแบร์ริงอยู่ให้หมด ทำการแยกชิ้นส่วนแบร์ริงและตรวจสอบสภาพ ก่อนที่จะนำแบร์ริงมาประกอบกับคูล์ดและเพลาควหาจารบีบางๆ เพื่อลดการเสียดสี ขันเป็นเกลียวให้แน่นด้วยประแจปากตาย หมุนคูล์ดและคลายอีกครั้งเพื่อเป็นการตรวจสอบ สุดท้ายล็อกเป็นเกลียวกับสลักเกลียว



ภาพที่ 29 ลักษณะคูล์ดที่ใช้ในการทำแบร์ริงสำหรับตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่มา: Piggott (2005)

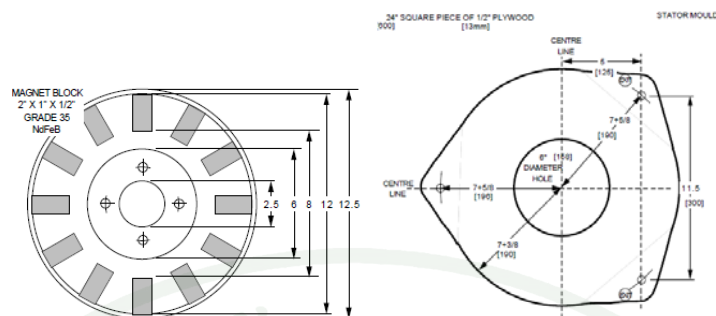
2) เจาะรูขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว (12 มิลลิเมตร) บนหน้าแปลนคูลล์ ซึ่งจะมีความเรียบร้อยแล้วแต่เราต้องการขยายรูดังกล่าวให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 29 ที่งานล้อหลังอาจมีส่วนนูนตรงกลางจึงต้องเจียรไนออก หรือเจาะรูสำหรับการติดตั้งเหล็กฉากรับน้ำหนักให้อยู่ตรงกับบริเวณที่นูนออกมา คูลล์ใดๆที่มีความแข็งแรงสามารถใช้กับการออกแบบในลักษณะนี้ได้

3) การเจาะแผ่นแม่เหล็กหุน ซึ่งแผ่นแม่เหล็กหุนประกอบไปด้วยแผ่นแม่เหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว (300 มิลลิเมตร) ทำจากเหล็กกล้าหนา $\frac{5}{16}$ นิ้ว (8 มิลลิเมตร) แท่งแม่เหล็กจะถูกยึดติดไว้กับแผ่นแม่เหล็ก และหุ้มด้วยการหล่อโพลีเอสเตอร์ เรซิน จากนั้นหลังจากที่แผ่นเหล็กกล้าถูกยึดติดกับแบร์ริงแล้ว อาจเป็นไปได้ที่ผิวสัมผัสของแม่เหล็กแต่ละแท่งยังมีช่องว่างเล็กๆอยู่ ซึ่งตัวสเตเตอร์นี้จะทำให้ช่องว่างหมดไป หากมีแผ่นเหล็กที่ถูกตัดด้วยเลเซอร์ ให้เจาะรูตรงกลางขนาด $2\frac{1}{2}$ นิ้ว (65 มิลลิเมตร) รูนี้จะยอมให้แม่เหล็กด้านหลังสามารถวางในแนวราบบนหน้าแปลนคูลล์ได้ ใช้หน้าแปลนคูลล์เป็นเสมือนตัวช่วยสำหรับการเจาะรูบนแผ่นแม่เหล็ก วิธีการนี้ให้ความแม่นยำมากกว่าการกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางของรูบนแผ่นแม่เหล็กโดยใช้มืออย่างเดียว ซึ่งแนวของรูบนแผ่นเหล็กต้องวางให้อยู่แนวเดียวกันกับรูของคูลล์นี้สำคัญมาก ไม่อย่างนั้นการติดตั้งสลักเกลียวอาจเอียงได้ และจำเป็นต้องทำให้แผ่นเหล็กอยู่ตรงกึ่งกลางกับหน้าแปลนของคูลล์ก่อนที่จะทำการเจาะทะลุ จากนั้นวางตำแหน่งของแบร์ริงให้พอดีบนแผ่นแม่เหล็กทั้งคู่และทำการหุนแบร์ริง เพื่อตรวจสอบว่าอยู่ตรงกลางพอดีหรือไม่

4) เจาะรูขนาด $\frac{7}{16}$ นิ้ว (10.5 มิลลิเมตร) จำนวน 3 รูที่ด้านหน้าแผ่นเหล็ก โดยให้อยู่ในแนววงกลมเดียวกันกับรูขนาด 12 มิลลิเมตรแต่ให้อยู่กึ่งกลางระหว่างรู 12 มิลลิเมตร จากนั้นทำเกลียวขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว รูพวกนี้จะถูกใช้เชื่อมต่อกับหน้าเพลทของตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

6.4.5 การทำแม่พิมพ์สเตเตอร์ (Stator mould)

ขดลวด 10 ขด ถูกยึดติดไว้กับแม่พิมพ์ที่ถูหุ้มไว้ในโพลีเอสเตอร์ เรซิน ซึ่งหล่อไว้เป็นรูปร่างของสเตเตอร์ โดยสเตเตอร์จะมีรูอยู่ตรงกลางซึ่งมีสลักเกลียวสวมอยู่ และที่เส้นรอบวงจะถูกค้ำโดยสลักเกลียวจำนวน 3 ตัว ดังแสดงในภาพที่ 30 โดยขั้นตอนการแบ่งตำแหน่งรูปร่างของสเตเตอร์เริ่มจาก



ภาพที่ 30 มุมมองด้านหน้าของแผ่นแม่เหล็กเคลื่อนที่

ที่มา: Piggott (2005)

ตารางที่ 7 ข้อมูลที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์สเตเตอร์

Materials				
Pieces	Material	Length	Width	Thick
1	Plywood	24 inches (600)	24 inches (600)	1/2 inches (13 mm)
2	Smooth faced board	24 inches (600)	24 inches (600)	3/4 inches (19 mm)
	Silicone sealant			Suggested size
	Wax polish			
3	1/4 inches (6 mm) × 1 1/4 inches (35 mm) Bolts			
16	2 inches or 3 inches bolts to clamp the mould			
10	12 inches to hold the surround to the base			

ที่มา: Piggott (2005)

- นำไม้อัดแผ่นหนา 1/2 นิ้ว (13 มิลลิเมตร) เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 24 นิ้ว (600 มิลลิเมตร)
- วาดเส้นแบ่งครึ่งทั้งแนวตั้งและแนวนอนให้ตัดฉากกัน และลากเส้นตั้งฉากกับเส้นระดับ (offset) ไปทางขวา 5 นิ้ว (125 มิลลิเมตร)

3) วาดวงกลม 2 วงกลมโดยให้จุดศูนย์กลางอยู่ระหว่างจุดตัดของเส้น โดยรัศมีของวงกลมวงในรัศมีขนาด 3 นิ้ว (79 มิลลิเมตร) และวงกลมวงนอกมีขนาด $7\frac{3}{8}$ นิ้ว (190 มิลลิเมตร)

4) ลากเส้นระบุตำแหน่งเพื่อใช้สำหรับติดตั้งโดยใช้จุดศูนย์กลางเดิมและมีรัศมีขนาด $7\frac{5}{8}$ นิ้ว (196 มิลลิเมตร) โดยลากบนเส้นที่ offset ไว้ในขั้นที่ 2 จำนวน 2 จุด และทั้งสอง 2 จุดควรวางห่างจากกัน $11\frac{1}{2}$ นิ้ว (300 มิลลิเมตร) และกำหนดตำแหน่งที่ 3 ตรงเส้นผ่านศูนย์กลางแนวนอนขนาดรัศมี $7\frac{5}{8}$ นิ้ว (196 มิลลิเมตร)

5) ประกอบแม่พิมพ์เข้ากับด้านล่างของฝาปิดด้านบน และเจาะรูรอบๆ ฝาขนาด $7\frac{3}{16}$ นิ้ว (5 มิลลิเมตร) หลายๆ รู สำหรับใช้ยึดสกรูในขั้นตอนถัดไป โดยมีช่องว่างระหว่างรูประมาณ 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) จากเส้น ดังแสดงในภาพที่ 31



ภาพที่ 31 รูสำหรับยึดสกรูรอบๆเส้นร่างสเตเตอร์

ที่มา: Piggott (2005)

6) ตัดแผ่นไม้อัดออกให้ได้รูปทรงตามแบบสเตเตอร์

7) วางตำแหน่งที่ตัดออกเทียบกับฝาด้านบนด้วยตำแหน่งรู 3 รูที่เรียงกัน และกำหนดตำแหน่งสำหรับเพื่อเป็นทางออกของสายไฟตรงฝาปิดด้านบน ตรงเส้นผ่านศูนย์กลางแนวนอนระหว่างจุดที่ใช้สำหรับติดตั้ง เป็นตำแหน่งที่เหมาะสม

8) ตัดรอยบากของฝาปิดด้านบนทิ้งเพื่อเป็นช่องทางออกของระบบไฟก่อนทำการหมุนปิดฝาดังกล่าว การตัดส่วนดังกล่าวออกนี้จะช่วยให้เกิดช่องทางออกสำหรับระบายความร้อนที่เกินออกมา ของแม่พิมพ์ได้ ขอบของรูปบริเวณตรงกลางควรจะราบเรียบที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ โดยอาจใช้กระดาษทรายขัดเพื่อให้ผิวเรียบยิ่งขึ้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิตร (2524) กล่าวถึง การประหยัดพลังงานว่า ทำได้หลายวิธีตั้งแต่การลดชั่วโมงการทำงานของสถานเริงรมย์ การเลือกใช้เครื่องปรับอากาศ และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น ลดการใช้ไฟฟ้าในสถานที่ราชการและหน่วยธุรกิจ ตลอดจนการณรงค์ให้ประชาชนใช้ชีวิตอย่างประหยัดในทุกระดับ

จิรพล (2534) ได้กล่าวถึงสิ่งที่สำคัญที่สุดในการช่วยรักษาธรรมชาติคือ ทุกคนต้องมีจิตสำนึกในการช่วยกันประหยัดพลังงาน โดยที่หลักสำคัญของการประหยัดพลังงาน ได้แก่

1. ลดการใช้ ลดการสูญเสียในทุกจุดและทุกขั้นตอน
2. เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ให้สามารถได้ปริมาณมากกว่าเดิม
3. เพิ่มการใช้ทรัพยากรทุกด้านด้วยการหมุนเวียนนำทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่ เช่น กระดาษ โลหะ พลาสติก
4. ปลุกต้นไม้เพื่อดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
5. หลีกเลี่ยงการใช้สินค้าและเทคโนโลยีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม
6. เผยแพร่ความคิดนี้ต่อคนรอบข้าง

พงศ์พัฒน์ (2537) กล่าวถึงหลักเกณฑ์พื้นฐานสำคัญ 2 ประการ ที่ช่วยให้เกิดการใช้พลังงานจากทรัพยากรธรรมชาติอย่างประหยัด และมีประสิทธิภาพ คือ

1. เปลี่ยนแปลงเทคนิคการผลิต เพื่อให้มีการใช้พลังงานที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมน้อยลง เช่น เครื่องมือควบคุมพินิจาตรยนต์ ใช้พลังงานอื่นที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมน้อยลง
2. ลดปริมาณการใช้พลังงาน เช่น ใช้รถยนต์เท่าที่จำเป็น ใช้กระดาษ และประหยัดการใช้น้ำ การใช้ไฟฟ้า

ศิริพรรณ (2550) ศึกษาเรื่อง การอนุรักษ์พลังงานสำหรับห้องอิเล็กทรอนิกส์สื่อสาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และพัฒนาแนวทางการการอนุรักษ์พลังงานพร้อมสร้างมาตรการและทดลองแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน โดยนำเสนอเทคนิคและวิธีการอนุรักษ์พลังงานสำหรับห้องอิเล็กทรอนิกส์สื่อสาร แนวทางการวิจัยเริ่มจาก 1) ตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้งานพลังงานพบว่า อาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สื่อสาร 51 เปอร์เซ็นต์ ระบบปรับอากาศ 40

เปอร์เซ็นต์ ระบบแสงสว่างและอุปกรณ์อื่นๆ 9 เปอร์เซ็นต์ 2) ตรวจวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบชุดและแบบแยกส่วน 3) วิเคราะห์แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งสามารถสรุปเป็นมาตรการได้ 2 มาตรการ คือ การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศโดยใช้สเปย์น้ำฉีดบริเวณแผงระบายความร้อนของชุดระบายความร้อน (Condensing Unit) และการเพิ่มประสิทธิภาพระบบแสงสว่าง โดยการเปลี่ยนหลอดเกนเหล็กรวมมาเป็นหลอดเกนเหล็กรประสิทธิภาพสูง เป็นมาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าที่สามารถดำเนินการและแสดงผลการประหยัดได้จริง 4) ดำเนินการทดลองตามมาตรการ ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 22,702.97 กิโลวัตต์/ปี

วรกานต์ (2553) ศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและสร้างมาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารบริษัท เพทโทร-อินสตรูเมนต์ จำกัด โดยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศ ภายในอาคารจำนวน 7 ชั้น วิเคราะห์มาตรการระบบแสงสว่าง 3 มาตรการ คือ มาตรการปิดแสงสว่างในช่วงเวลาพักเที่ยง มาตรการติดตั้งสวิทช์กระตุกกับโคมไฟฟ้าในสำนักงานและมาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่าง โดยใช้หลอดแอลอีดีอิเล็กทรอนิกส์ โดยวิเคราะห์จากระยะเวลาคืนทุน โดยผลการวิเคราะห์พบว่า การใช้มาตรการปิดแสงสว่างในช่วงเวลาพักเที่ยงที่ปฏิบัติแล้ว สามารถประหยัดได้ 11,607.96 กิโลวัตต์/ปี ประหยัดเงินได้ 42,136.89 บาท วิเคราะห์มาตรการระบบปรับอากาศ 3 มาตรการ คือ มาตรการปิดระบบปรับอากาศในช่วงเวลาพักเที่ยง มาตรการหมุนวนกันความร้อนฝ้าเพดานของพื้นที่ปรับอากาศชั้นบนสุดและมาตรการการใช้เทอร์โมสแตทชนิดอิเล็กทรอนิกส์ โดยวิเคราะห์จากระยะเวลาคืนทุน โดยผลการวิเคราะห์พบว่า การใช้มาตรการปิดระบบปรับอากาศในช่วงเวลาพักเที่ยงที่ปฏิบัติแล้วสามารถประหยัดได้ 73,942.05 กิโลวัตต์/ปี ประหยัดเงินได้ 268,409.64 บาท เมื่อนำมาตรการไปปฏิบัติแล้วผลการปฏิบัติแล้วประหยัดได้มาตรการทั้ง 2 ในเดือนที่เริ่มต้นใช้มาตรการเดือนพฤศจิกายน 2553 เป็นต้นมา ทำให้ลดการใช้ไฟฟ้าได้เมื่อเทียบกับเดือนตุลาคม 2553 ได้ทั้งหมด 4,000 หน่วย ทำให้ประหยัดเงินได้เป็นจำนวน 14,520 บาท ซึ่งค่าที่ประหยัดพลังงานได้จริงแตกต่างจากค่าที่คำนวณได้ 56.11 เปอร์เซ็นต์ จากจำนวนเงินที่ประหยัดได้

ชัยอนุชิต (2550) ศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า และสร้างมาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารควบคุม โดยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ในอาคารนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ สร้าง

มาตรการเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ การติดตามผลใช้เวลา 60 วัน หลังจากการสร้างมาตรการ โดยมีอาคารควบคุมที่ใช้ในการวิจัยจำนวน 3 อาคารประกอบด้วย (1) อาคาร ถนนหลังสวน ธนาคารไทยธนาคาร จำกัด (มหาชน) กำหนดมาตรการได้ 9 มาตรการ นำไปปฏิบัติแล้ว 7 มาตรการ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 407,753 กิโลวัตต์/ปีหรือ 6.91 เปอร์เซ็นต์ (2) อาคารชุมสาย โทรศัพท์ทุ่งสองห้อง บริษัท ทูม คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) กำหนดมาตรการได้ 7 มาตรการ นำไปปฏิบัติแล้ว 5 มาตรการ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 315,254 กิโลวัตต์/ปี หรือ 5.74 เปอร์เซ็นต์ (3) อาคารสถา บันนวัตกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กำหนดมาตรการได้ 3 มาตรการ นำไปปฏิบัติแล้ว 2 มาตรการ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 28,839 กิโลวัตต์/ปี หรือ 12.64 เปอร์เซ็นต์ จึงสรุปได้ว่าอาคารควบคุมดังกล่าวข้างต้นสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ จากการสร้างมาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

ยુทส์คัก (2550) ได้กล่าวไว้ว่าแอลอีดีนับเป็นอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์แบบหนึ่งที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านและจะปล่อยแสงสว่างออกมา ความจริงแล้วแอลอีดี ไม่ใช่เรื่องใหม่โดยนักวิทยาศาสตร์ได้สังเกตมาตั้งแต่ปี 2450 ว่าเซมิคอนดักเตอร์จะเปล่งแสงออกมาเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน แต่มีปริมาณน้อยมากจึงทำให้ไม่ได้รับความสนใจ การนำแอลอีดีมาใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์เริ่มขึ้นเมื่อนาย Nick Holonyak นักวิจัยแห่งบริษัท GE ประสบผลสำเร็จเมื่อปี 2505 ในการประดิษฐ์แอลอีดีที่สามารถเปล่งแสงสีแดงที่มีความสว่างมากเพียงพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ ทำให้เริ่มมีการวิจัยและพัฒนาในด้านนี้ อย่างไรก็ตามการวิจัยและพัฒนาในช่วงนั้นไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วนใหญ่นำไปใช้เป็นปุ่มสัญญาณแสงสีต่างๆในอุปกรณ์ไฟฟ้าเท่านั้น อีกประการหนึ่งคือแสงจากแอลอีดีจะเป็นสีต่างๆ ไม่ได้เป็นสีขาว จึงมีข้อจำกัดในการนำมาให้แสงสว่างแทนหลอดไฟ สำหรับบุคคลสำคัญที่สามารถแก้ไขปัญหานี้ คือ นาย Shuji Nakamura แห่งบริษัท Nichia Chemical ของญี่ปุ่น ได้ประสบผลสำเร็จในการประดิษฐ์แอลอีดีสีน้ำเงินที่มีความสว่างจ้า จากนั้นได้นำแอลอีดีสีน้ำเงินไปเคลือบด้วยสารเคลือบเรืองแสงสีเหลือง จะทำให้แสงจากแอลอีดีที่ออกมากลายเป็นสีขาว สามารถนำไปใช้ในรูปให้แสงสว่าง โดยได้เริ่มวางตลาดแอลอีดีสีขาว นับตั้งแต่ปี 2536 เป็นต้นมา ปัจจุบันจากความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ ทำให้เทคโนโลยีของหลอดแอลอีดีก้าวหน้าอย่างรวดเร็วตามไปด้วย ได้มีการนำหลอดแอลอีดีมาใช้ประโยชน์แพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ เช่น ในเครื่องคิดเลข สัญญาณจราจร ไฟท้ายรถยนต์ ป้าย

สัญญาณต่างๆ ไฟฉาย ไฟให้สัญญาณของประกาศกร จอภาพยนตร์ขนาดใหญ่ ยิ่งไปกว่านั้น หน้าจอแอลซีดี ของโทรศัพท์มือถือที่เราใช้กันทั่วไป เกือบทั้งหมดจะให้แสงสว่างด้วยแอลอีดี

ภูวดล (2549) ศึกษาความคุ้มค่าในการนำหลอดแอลอีดีมาใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ในอาคารพักอาศัย โดยสร้างโคมไฟให้มีลักษณะการกระจายแสงใกล้เคียงกับหลอดฟลูออเรสเซนต์แล้วทำการวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและผลความคุ้มค่าของหลอดแอลอีดี พบว่าการนำหลอดแอลอีดีมาใช้ในการให้แสงสว่างในอาคารนั้น ใช้หลอดขนาดเล็กจำนวนหลายๆหลอดให้ผลดีกว่าการใช้หลอดความสว่างสูงจำนวนน้อย, หลอดแอลอีดีสามารถนำมาทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์เล็กน้อยและมีลักษณะการกระจายแสงที่ใกล้เคียงกัน, หลอดแอลอีดี คุ้มค่าในการทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ เนื่องจากค่าใช้จ่ายของหลอดแอลอีดี สูงกว่าไม่มากนักและยังใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าต่ำกว่าทำให้ค่าพลังงานต่ำกว่าถึง 38 เปอร์เซ็นต์

พัฒน์พงษ์ (2545) ศึกษาการพัฒนาระบบไฟสัญญาณจราจรชนิดแอลอีดี ด้านผลประโยชน์ของสังคมในรูปของการประหยัดค่าใช้จ่าย กรณีศึกษา จังหวัดเชียงราย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้งานหลอดแอลอีดีใช้ในไฟสัญญาณจราจร ผู้วิจัยเริ่มจากการศึกษาปัญหาการใช้ไฟสัญญาณจราจรแบบเดิม ซึ่งใช้หลอดไส้ จากนั้นได้ออกแบบและจัดทำไฟสัญญาณต้นแบบชนิดใช้หลอดแอลอีดีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว จำนวน 3 ชุด ประกอบด้วย ไฟสีแดง ไฟสีเขียว และไฟสีเหลือง จากการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าได้ 4.6 วัตต์ 5.6 วัตต์ และ 3 วัตต์ ตามลำดับ จากนั้นนำไปทดลองประสิทธิภาพและประสิทธิผลการใช้งานรวมถึงผลประโยชน์ของสังคมในรูปของการประหยัดค่าใช้จ่าย ระหว่างการใช้งานของไฟสัญญาณจราจรทั้งสองระบบ ผลการศึกษาพบว่า ไฟสัญญาณจราจรชนิดใช้หลอดแอลอีดีมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงกว่าแบบใช้หลอดไส้ เนื่องจากสามารถประหยัดพลังงานได้ปีละ 137,688 – 147,900 กิโลวัตต์/ชั่วโมง คิดเป็นมูลค่าผลประโยชน์ของสังคมในรูปของการประหยัดค่าใช้จ่ายได้ปีละ 244,541 – 262,714 บาท นอกจากนี้เมื่อพิจารณาด้านความปลอดภัย การใช้หลอดแอลอีดียังมีผลดีด้านความปลอดภัยมากกว่า เนื่องจากใช้แหล่งจ่ายไฟแรงดันต่ำในการติดตั้งใช้งาน เมื่อพิจารณาด้านความเหมาะสมในการลงทุนพบว่า หากทำการเลือกเปลี่ยนทดแทนเฉพาะชุดหัวไฟสัญญาณสีแดง จะใช้ระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 3 ปี ผลการคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มีค่าร้อยละ 9 ซึ่งมีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในระยะเวลาในภาวะปัจจุบัน มูลค่าปัจจุบันมีผลตอบแทนสุทธิ (NPV) มีค่า 174,813.95 บาท และ

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BC/ratio) มีค่า 1.48 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าโครงการดังกล่าวมีความคุ้มค่าในการลงทุน

ชัยวัฒน์ (2550) ศึกษาข้อมูลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการส่องสว่างโคมไฟหลอดแอลอีดีและโคมไฟที่ใช้หลอดชนิดต่างๆ พบว่าโคมไฟที่ใช้หลอดแอลอีดี กินกระแสไฟน้อยกว่า มีค่า Power Factor ที่ดี ต้องการกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า เมื่อนำโคมไฟที่ใช้หลอดแอลอีดี ใช้งานเป็นโคมไฟตั้งโต๊ะอ่านหนังสือ มีค่าความสว่างที่ 1,256 ลักซ์ ซึ่งสามารถมองเห็นได้ชัดเจน จึงเหมาะสำหรับแสงสว่างในบริเวณที่ต้องการแสงสว่างเฉพาะแห่ง เช่น อ่านหนังสือหรือไฟทางเดิน และหลอดแอลอีดีไม่มีความร้อนสะสมที่หลอดในขณะที่ใช้งาน ในด้านอัตราพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างหลอดแอลอีดีกับหลอดไส้, หลอดแอลอีดีกับหลอดตะเกียบ, หลอดแอลอีดีกับหลอดทอร์นาโด จำนวนเงินที่ประหยัดได้ต่อปีมีค่าเท่ากับ 731.78 บาท/โคม, 102.71 บาท/โคม, 115.55 บาท/โคมตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์ที่หลอดไส้ใช้พลังงานมากกว่าหลอดแอลอีดีเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์หลอดตะเกียบใช้พลังงานมากกว่าหลอดแอลอีดีเท่ากับ 72.72 เปอร์เซ็นต์หลอดทอร์นาโดใช้พลังงานมากกว่าหลอดแอลอีดีเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์

Soni (2008) ศึกษาเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานจากอุปกรณ์ให้แสงสว่างของสถาบันทางวิศวกรรมแห่งหนึ่ง โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ให้แสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบดั้งเดิม เป็นหลอดแอลอีดีจากข้อมูลพบว่าเดิมมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแสงสว่างปีละ 109,500/- เมื่อเปลี่ยนอุปกรณ์ให้แสงสว่างเป็นหลอดแอลอีดีมีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 113,000/- สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแสงสว่างได้ปีละ 101,105/- และมีระยะเวลาคืนทุนคือ 14 หลอดแอลอีดีมีอายุการใช้งาน 75,000-100,00 ชั่วโมง หรือประมาณ 10 ปี ดังนั้นจึงประหยัดได้กว่า 1,000,000/- ตลอดอายุการใช้งาน ข้อดีของหลอดแอลอีดีที่พบอีกคือ หลอดแอลอีดีให้แสงที่สบายตากว่า, ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลดลงและการดูแลรักษาง่าย

Ryckaerta *et al.* (2011) ศึกษาวิจัยการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างในสำนักงานเล็กๆ แห่งหนึ่ง โดยการนำหลอดแอลอีดี T12 มาใช้แทนที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36 วัตต์ เพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของแสงสว่าง, แสงที่ได้รับและความสามารถในการมองเห็น พบว่าปริมาณการส่องสว่างและความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีมีค่าน้อยกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ ส่งผลต่อคุณภาพของแสงและการมองเห็น จึงจำเป็นต้องติดตั้งหลอดแอลอีดีเพิ่ม เพื่อให้ปริมาณการส่อง

สว่างอยู่ในเกณฑ์ปกติ ทั้งนี้คุณภาพและประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดแอลอีดีมีแนวโน้มที่จะพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

Hong *et al.* (2011) ได้ศึกษาการนำหลอดแอลอีดีไปประยุกต์ใช้ในอุโมงค์ Lengshui บนทางหลวงของประเทศจีนโดยคำนึงถึงระดับแสงสว่างที่เพียงพอสำหรับความปลอดภัยของการจราจรและการอนุรักษ์พลังงานเป็นหลัก ผู้วิจัยเริ่มจากศึกษาระบบที่ให้แสงสว่างแบบเดิมซึ่งเป็นโคมไฟโซเดียมแรงดันสูง พบว่าต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสูง จึงได้นำหลอดแอลอีดีมาใช้ทดแทนหลอดไฟแบบเดิม ซึ่งเมื่อเทียบกับไฟหลอดโซเดียมแล้ว หลอดแอลอีดีต้องการการบำรุงรักษาน้อยกว่า มีความปลอดภัยมากกว่าไม่เกิดการกระพริบในขณะเริ่มเปิดใช้งานและใช้พลังงานน้อยลง งานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบควบคุมความสว่างที่ใช้ในอุโมงค์ทางหลวง โดยใช้ระบบควบคุมตามเวลาจริง (real-time), ระบบที่ทำให้มีดลงอย่างเป็นจังหวะ (stepless dimming) ซึ่งใช้ในเวลากลางวันเมื่อไม่มียานพาหนะอยู่ในอุโมงค์, ระบบควบคุมหลอดแอลอีดีในช่วงเวลากลางคืนให้มีแสงไฟต่ำเมื่อไม่มียานพาหนะอยู่ในอุโมงค์และแสงไฟเต็มจะใช้เมื่อมียานพาหนะเข้ามาในอุโมงค์ การวิจัยนี้ได้ทดลองปฏิบัติจริงในอุโมงค์ทางหลวงเป็นเวลา 10 เดือน ผลจากการทดลองพบว่าระบบไม่เพียงแต่ควบคุมแสงสว่างแอลอีดี เพื่อความปลอดภัย แต่ยังช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 87 เปอร์เซ็นต์

เมืองมนต์ (2554) ได้ออกแบบสร้างและทดสอบกังหันลมชนิดแกนนอนมีขนาดในการผลิตไฟฟ้าประมาณ 800 วัตต์ โดยออกแบบให้เหมาะสมกับลมความเร็วต่ำ มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาง่าย นอกจากนั้นยังได้วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยและระยะเวลาคืนทุน ข้อมูลเบื้องต้นของกังหันลมคือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 เมตร จำนวนใบพัด 3 ใบ โครงสร้างกังหันลมทำจากเหล็กหนา 9 มิลลิเมตร ออกแบบให้มีน้ำหนักเบา ชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าใช้ตัวเก็บ 17 พัน 120 รอบจำนวน 6 ชุด มีชุดทางเสื่อควบคุมเมื่อลมเปลี่ยนทิศทางและตัดการทำงานเมื่อความเร็วลมเกิน 12 เมตร/วินาที จากการทดสอบความเร็วลมที่ระดับความสูง 14 m ผลการวิเคราะห์ความถี่ของความเร็วลมตลอดทั้งปีพบว่า มีความเร็วลมเฉลี่ย 2.85 เมตร/วินาที กังหันลมสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น โดยผลิตได้สูงสุด 785 วัตต์ ที่ความเร็วลม 11.5 เมตร/วินาที และมีสัมประสิทธิ์กำลังเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเร็วลมเพิ่มขึ้น จนกระทั่งความเร็วลมเท่ากับ 4.0 เมตร/วินาที สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมเริ่มลดลง โดยกังหันลมมีสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดเท่ากับ 0.34 ที่ความเร็วลม 3.5 เมตร/วินาที ซึ่งผลที่ทดสอบนั้นสอดคล้องกับการออกแบบกังหันลม เพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีความเร็วลมต่ำ ด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า มี

ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า 15 บาท/หน่วย มีระยะเวลาคืนทุน 26.6 ปี และสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ก็ต่อเมื่อค่าพลังไฟฟ้าต่อหน่วยมากกว่า 8 บาท จึงเหมาะแก่การลงทุนและมีระยะเวลาคืนทุนต่ำกว่า 10 ปี

Bystryk and Sullivan (2011) ได้ศึกษาถึงวิธีการควบคุมกังหันลมขนาดเล็ก 3 วิธี คือ Fix voltage, Standard control, Adaptive control โดยเก็บข้อมูลลมจากทางตอนเหนือของเมืองโตรอนโต เป็นระยะเวลา 6 เดือน ข้อมูลที่ถูกใช้ในแบบจำลองวิธีการควบคุมกังหันลม คือช่วงความเร็วลม 5-9 เมตร/วินาที โดยวิธี Fix voltage ทดลองโดยการควบคุมเบตเตอร์ไว้โดยตรงกับ diode stopping จากการศึกษาพบว่า ที่เบตเตอร์ 48 โวลต์ ความเร็วลมประมาณ 6 เมตร/วินาที พลังงานที่ได้มีค่าใกล้เคียงเส้นโค้ง Optimum ที่เบตเตอร์ 36 โวลต์ เมื่อความเร็วลมมากกว่า 12.9 พลังงานที่ได้จะลดลงทันที วิธี Standard control กังหันลมจะถูกควบคุมโดยแรงบิดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่ง $T_{em} = k\omega^2$ กำหนดให้ k เป็นค่าคงที่ที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้ aerodynamic สำหรับที่ความเร็วลม 7 เมตร/วินาที พบว่าได้ค่า k 0.0163 และ 0.0115 ซึ่งค่า k ที่แตกต่างกันนี้ส่งผลให้พลังงาน aerodynamic ลดลง 1.3เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น วิธี Adaptive control คือการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ k โดยค่า k ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ ทฤษฎีของ Johnson ได้นำเสนอรูปแบบจำลองโดยสมมติให้เราไม่ทราบค่าความเร็วลมเนื่องจากลมผันผวนอยู่ตลอดเวลา ค่า k ที่ได้จากระบบถูกนำมาประมาณค่าแรงบิด เพื่อให้ได้พลังงานที่เข้าสู่สภาวะปกติ จากการศึกษาวิธีการควบคุมกังหันลมทั้ง 3 วิธีพบว่า วิธี Standard control ให้ค่า k ที่ดีที่สุดคือ 0.0115 ในทำนองเดียวกันการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยและความแปรปรวนของความหนาแน่นส่งผลกระทบน้อยต่อค่า k และเหมาะกับสถานที่ที่มีลมปริมาณมาก ข้อดีของวิธี Adaptive control คือมันจะทำการปรับอัตราขยายที่เหมาะสมที่สุดโดยอัตโนมัติและตอบสนองอย่างรวดเร็ว เหมาะกับสถานที่ที่มีลมปริมาณน้อยๆ ในขณะที่วิธี Fix voltage มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดของวิธีการที่พิจารณาทั้งหมด

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล(Personal Computer) Intel® Core™ 2 Duo processor 1.66GHz
RAM 2GB

2. โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel 2007

วิธีการ

ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและสร้างมาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารควบคุม ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการตามลำดับดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลทั่วไป
2. สืบหาข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและวิเคราะห์การใช้พลังงานระบบแสงสว่าง
3. ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้มาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่าง
4. ดำเนินอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้กักหน้ผลิตรกระแสไฟฟ้า

1. ศึกษาข้อมูลทั่วไป

อาคารปฏิบัติงานบริษัทต้าซิงคอตตอนไทย จำกัด เลขที่ 55/15 หมู่ 3 ถนน พระราม 2 ตำบล
นาดี อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร 74000

2. สำรวจข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า

ศึกษาสภาพทั่วไปและเก็บรวบรวมข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบริษัทต้าซิงคอตตอนไทย
เพื่อนำมาวิเคราะห์การใช้พลังงาน

2.1 ข้อมูลเบื้องต้น

2.1.1 ชื่ออาคาร	อาคารปฏิบัติงาน
2.1.2 ลักษณะอาคาร	อาคารปฏิบัติงาน 2 ชั้น
2.1.3 เวลาทำงาน	24 ชั่วโมง/วัน 8,400 ชั่วโมง/ปี 350 วัน/ปี
2.1.4 พื้นที่ใช้สอยรวม	19,722 ตารางเมตร

2.2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากหนังสือแจ้งค่าไฟฟ้าในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม
พ.ศ.2554 แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2554

เดือน	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
มกราคม	3,418,040.00	10,492,855.23	3.07
กุมภาพันธ์	3,579,660.00	10,871,317.52	3.04
มีนาคม	4,033,580.00	12,353,253.97	3.07
เมษายน	3,423,100.00	10,450,680.73	3.07
พฤษภาคม	4,247,880.00	13,116,064.51	3.10
มิถุนายน	3,922,840.00	12,357,921.01	3.16
กรกฎาคม	3,838,200.00	12,012,327.74	3.13
สิงหาคม	3,326,720.00	10,929,761.36	3.29

ตารางที่ 8 (ต่อ)

เดือน	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
กันยายน	3,609,840.00	11,628,158.18	3.26
ตุลาคม	3,596,640.00	11,351,535.66	3.20
พฤศจิกายน	2,695,400.00	8,761,394.16	3.29
ธันวาคม	3,136,060.00	10,048,306.68	3.22
รวม	42,827,960.00	134,373,576.75	37.89
ค่าเฉลี่ย/เดือน	3,568,996.67	11,197,798.06	3.16
ค่าเฉลี่ย/ปี	42,827,960.00	134,373,576.75	-

2.3 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีนัยสำคัญของเครื่องจักร/อุปกรณ์ ภายในอาคารควบคุม
บริษัทต้าซิงคอตตอนไทย จำกัด ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 บันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีนัยสำคัญของเครื่องจักร/อุปกรณ์หลัก

ระบบที่ใช้พลังงาน	ชื่อเครื่องจักร /อุปกรณ์หลัก	พิกัด		จำนวน	ชั่วโมงใช้งาน เฉลี่ยต่อปี	ปริมาณการใช้ พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)
		ขนาด	หน่วย			
เครื่องจักรผลิต	ห้องผสม RIETER LINE 1	68.72	กิโลวัตต์	1	7,200	494,784
เครื่องจักรผลิต	ห้องผสม RIETER LINE 2	72.12	กิโลวัตต์	1	7,200	519,264
เครื่องจักรผลิต	ห้องผสม RIETER LINE 3	70.47	กิโลวัตต์	1	7,200	507,384
เครื่องจักรผลิต	ห้องดูดฝุ่น FILTER ROOM 1	23.75	กิโลวัตต์	1	7,200	171,000
เครื่องจักรผลิต	ห้องดูดฝุ่น FILTER ROOM 2	48.91	กิโลวัตต์	4	7,200	1,408,608
เครื่องจักรผลิต	สายใย RIETER C1/2	5.2	กิโลวัตต์	36	7,200	1,347,840
เครื่องจักรผลิต	สายใย RIETER C4	9.3	กิโลวัตต์	44	6,800	2,782,560
เครื่องจักรผลิต	UNILAP RIETER E5/3	7.5	กิโลวัตต์	1	6,000	45,000
เครื่องจักรผลิต	COMBER RIETER E7/5	4	กิโลวัตต์	14	6,000	336,000
เครื่องจักรผลิต	เครื่องรีด DX-7,8	9.2	กิโลวัตต์	3	6,000	165,600
เครื่องจักรผลิต	เครื่องรีด DX-500	7	กิโลวัตต์	21	6,800	999,600
เครื่องจักรผลิต	เครื่องปั่น2 ROVVING FRAME FL-16	12.75	กิโลวัตต์	11	6,000	841,500
เครื่องจักรผลิต	เครื่องปั่น2 ROVVING FRAME FL-16	15	กิโลวัตต์	12	6,000	1,080,000
เครื่องจักรผลิต	เครื่องปั่น3 ROVVING FRAME G5/2	47	กิโลวัตต์	15	7,200	5,076,000

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ระบบที่ใช้พลังงาน	ชื่อเครื่องจักร /อุปกรณ์หลัก	พิกัด		จำนวน	ชั่วโมงใช้งาน เฉลี่ยต่อปี	ปริมาณการใช้ พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)
		ขนาด	หน่วย			
เครื่องจักรผลิต	เครื่องปั่น3 ROVVING FRAME G5/1	35.5	กิโลวัตต์	48	7,200	12,268,800
เครื่องจักรผลิต	เครื่องปั่น3 ROVVING FRAME RR	15	กิโลวัตต์	42	7,200	4536,000
เครื่องจักรผลิต	เครื่องปั่น3 ROVVING FRAME RY-2/1	17.2	กิโลวัตต์	10	7,200	1,238,400
เครื่องจักรผลิต	เครื่องปั่น3 ROVVING FRAME RY	18.5	กิโลวัตต์	9	7,200	1,198,800
เครื่องจักรผลิต	เครื่องปั่น3 ROVVING FRAME RY-2/2	20	กิโลวัตต์	31	7,200	4,464,000
เครื่องจักรผลิต	เครื่องกรอ WINDER 21C	43	กิโลวัตต์	18	7,200	5,572,800
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	เครื่องทำน้ำเย็น CVHG 500RT	268.9	กิโลวัตต์	1	5,000	1,344,500
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	เครื่องทำน้ำเย็น CVHG 600RT	338	กิโลวัตต์	1	3,000	1,014,000
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	เครื่องทำน้ำเย็น CVHG 1000RT	525	กิโลวัตต์	1	6,000	3,150,000
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	ปั้มน้ำเย็น CHILLER PUMP	40	กิโลวัตต์	3	7,200	864,000
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	ปั้มน้ำเย็น CHILLER PUMP	37	กิโลวัตต์	1	5,000	185,000
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	ปั้มน้ำดูดกลับ	11	กิโลวัตต์	1	7,200	79,200
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	ปั้มน้ำหัวสเปรย์	11	กิโลวัตต์	12	7,200	950,400
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	BLOWER COOL TOWER	7.5	กิโลวัตต์	11	7,200	594,000

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ระบบที่ใช้พลังงาน	ชื่อเครื่องจักร /อุปกรณ์หลัก	พิกัด		จำนวน	ชั่วโมงใช้งาน เฉลี่ยต่อปี	ปริมาณการใช้ พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)
		ขนาด	หน่วย			
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	พัดลมดูดแยกศูนย์รวม	22	กิโลวัตต์	1	7,200	158,400
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	พัดลมส่งลมเย็น 1	15	กิโลวัตต์	6	7,200	648,000
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	พัดลมส่งลมเย็น 2	11	กิโลวัตต์	2	7,200	158,400
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	พัดลมส่งลม SUPPLY FAN1	18.5	กิโลวัตต์	1	7,200	133,200
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	พัดลมส่งลม SUPPLY FAN2	15	กิโลวัตต์	12	7,200	1,296,000
ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	ปั๊มน้ำหล่อเย็น CONDENSER PUMP1	55	กิโลวัตต์	3	7,200	1,188,000
ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	ปั๊มน้ำหล่อเย็น CONDENSER PUMP2	40	กิโลวัตต์	1	5,000	200,000
ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	พัดลมดูดกลับ RETURN FAN 1	15	กิโลวัตต์	15	7,200	1,620,000
ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	พัดลมดูดกลับ RETURN FAN 2	48	กิโลวัตต์	1	7,200	345,600
ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	พัดลมดูดกลับ RETURN FAN 3	18.5	กิโลวัตต์	3	7,200	399,600
ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	ROTARY DRUM FILTER	0.75	กิโลวัตต์	18	7,200	97,200
ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	ROTARY WATER FILTER	0.3	กิโลวัตต์	6	7,200	12,960
ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	ระบบระบายความร้อน Centrifugal	30	กิโลวัตต์	1	4,800	144,000
ระบบอัดอากาศ	ATLAS-COPCO GA75	80	กิโลวัตต์	3	6,200	1,488,000

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ระบบที่ใช้พลังงาน	ชื่อเครื่องจักร /อุปกรณ์หลัก	พิกัด		จำนวน	ชั่วโมงใช้งาน เฉลี่ยต่อปี	ปริมาณการใช้ พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)
		ขนาด	หน่วย			
ระบบอัดอากาศ	ECO-AIR A100	80	กิโลวัตต์	1	1,000	80,000
ระบบอัดอากาศ	AIR DRYER	2.2	กิโลวัตต์	5	7,200	79,200
ระบบแสงสว่าง	FL 36 W	46	วัตต์	3430	8,400	1,325,352
ระบบแสงสว่าง	ไฟถนน	65	วัตต์	80	3,600	187,200

2.4 ข้อมูลระบบแสงสว่างภายในอาคารควบคุมบริษัทห้างคอตตอนไทย จำกัด แสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณการใช้งานระบบแสงสว่างภายในอาคารควบคุม

ชั้น ที่	อุปกรณ์แสงสว่าง	ขนาด (วัตต์)	จำนวน (หลอด)	ชั่วโมงใช้ งาน/ปี	ปริมาณการใช้พลังงาน ไฟฟ้า(กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)
1	ฟลูออเรสเซนต์ (FL)	36	1,500	8,400	579,600
	+ บาลาสต์ ขดลวด	10	1,500	8,400	
2	ฟลูออเรสเซนต์ (FL)	36	1,530	8,400	462,672
	+ บาลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์				
รวม					1,042,272

3. ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้มาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่าง

3.1 กำหนดปริมาณการส่องสว่างด้วยวิธีลูเมน เพื่อคำนวณหาจำนวนหลอดแอลอีดีที่นำมาทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์

การคำนวณในการออกแบบระบบแสงสว่างในอาคารนั้น สิ่งที่เราต้องการทราบคือจำนวนของดวงโคมในที่นี้คือจำนวนหลอดแอลอีดีที่นำมาทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ภายในอาคารควบคุม การคำนวณจะแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (CU)

ขั้นตอนที่ 2 ค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า (LLD)

ขั้นตอนที่ 3 ค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้า (LDD)

ขั้นตอนที่ 4 ค่าความเสื่อมสภาพของแสงสว่างจากพื้นผิวห้องสกปรก (RSDD)

ขั้นตอนที่ 5 ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมไฟฟ้าหรือหลอดไฟฟ้า (L_T)

ขั้นตอนที่ 6 หาจำนวนดวงโคมไฟฟ้า (N_T)

โดยการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

3.2 วิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน และระยะเวลาคืนทุนมาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่าง

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย และระยะเวลาคืนทุน โดยมีข้อมูลและสมมุติฐานในการวิเคราะห์ และเงินลงทุน แสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแอลอีดี

ชนิดของหลอด		หลอดฟลูออเรสเซนต์	หลอดแอลอีดี
ราคาหลอด (บาท)		40	800
จำนวนหลอดไฟ (หลอด)		3,030	3,782
ราคาอุปกรณ์ประกอบ (บาท)	บาลาสต์ ขดลวด	40	-
	บาลาสต์ electronic	200	-
	โคม	-	100
อายุการใช้งานเฉลี่ยของหลอด (ชั่วโมง)		15,000	50,000
ค่าใช้จ่ายชุดหลอดไฟ (บาท)		121,200	3,025,600
ค่าใช้จ่ายบาลาสต์ (บาท)		366,000	-
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (บาท)		-	150,400
เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)		478,200	3,176,000

4. ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยการใช้กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

4.1 ส่วนประกอบที่สำคัญและวิธีการออกแบบ

ในการทำงานของกังหันลมสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้านั้นต้องอาศัยชิ้นส่วนประกอบด้วย 2 ส่วน หลักๆ คือ ใบกังหันลมและเจนเนอเรเตอร์

4.1.1 ใบกังหันลม

ใบกังหันลม มีหน้าที่รับพลังงานจากลม เรียกว่าพลังงานจลน์ซึ่งใบกังหันมีส่วนสำคัญในการผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากเป็นตัวแปลงพลังงานจลน์ให้เป็นพลังงานกล ซึ่งใบกังหันจะทำหน้าที่ขับเคลื่อนเจนเนอเรเตอร์หมุนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป โดยใบกังหันลมที่ศึกษาครั้งนี้ เป็น

กังหันลมแกนนอนขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร จำนวน 5 ใบพัด มีอัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบเท่ากับ 5 โดยสร้างตามแบบจำลองของ Piggott (2005)

1) คำนวณความเร็วรอบของกังหันลม

เมื่อกังหันลมหมุนจะมีความเร็ว $u = \omega r$ สัมพันธ์กับความเร็วเชิงมุม $\omega = 2\pi n$ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วรอบ n ดังนั้นความเร็วรอบของกังหันลมจึงมีหน่วยเป็น รอบ/นาที (rpm) โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 16

$$n = \frac{60\lambda V_0}{2\pi r} \quad (16)$$

ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ความเร็วลมเฉลี่ยของปล่องลมปล่อยทิ้งจากกระบวนการกำจัดละอองฝายของบริษัท ด้าซังคอตตอนไทย ซึ่งอยู่ที่ 18 เมตร/วินาที สามารถคิดความเร็วรอบของกังหันลมดังนี้

$$n = \frac{60 \times 5 \times 18}{2\pi \times 1} = 860 \text{ รอบ/นาที}$$

4.1.2 เจนเนอเรเตอร์

เจนเนอเรเตอร์ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งได้รับพลังงานลมมาจากใบกังหันลม ซึ่งเจนเนอเรเตอร์นี้เราใช้เจนเนอเรเตอร์ที่สร้างขึ้นตามรูปแบบของ Piggott (2005) โดยใช้หลักการให้ชุดสนามแม่เหล็กเป็นตัววิ่งตัดกับชุดของขดลวด ซึ่งชุดเจนเนอเรเตอร์นี้จะมีกำลังการผลิตมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพลังงานลมที่วิ่งมากระทบกับใบกังหัน เจนเนอเรเตอร์ประกอบด้วยแม่เหล็ก 2 ชุด ชุดละ 16 ก้อน แต่ละก้อนมีขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร โดยแม่เหล็กที่ใช้เป็นแม่เหล็กแบบถาวร Ferrite มีเส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ 0.4 มิลลิเวเบอร์ ประกอบอยู่กับชุดของขดลวดที่มีจำนวนรอบการพันขดลวด 250 รอบ จำนวน 10 ชุด

1) คำนวณค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กได้ดังสมการ 12

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (12)$$

แทนค่า

$$B = \frac{0.4 \times 10^{-3} \text{ wb}}{0.00129 \text{ m}^2} = 0.31 \text{ เทสลา}$$

และนำค่าความหนาแน่นที่ได้ของฟลักซ์แม่เหล็กที่ได้ไปหาความเข้มของสนามแม่เหล็กจากกราฟแสดงการเกิดอำนาจแม่เหล็ก ดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งได้ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) $H = 1,100$ แอมป์-เทริน/เมตร สำหรับเหล็กหล่อ และระยะห่างระหว่างปลายทั้งสองด้านของขดลวดวัดได้ 0.71 เมตร จากนั้นสามารถนำค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไปหาแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดังสมการ 13

2) คำนวณแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า

$$F_m = H \times l \quad (13)$$

แทนค่า

$$F_m = 1,100 \left(\frac{\text{At}}{\text{m}} \right) \times 0.71 \text{ m}$$

$$F_m = 781 \text{ แอมป์-เทริน}$$

3) คำนวณค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดได้ดังสมการ 14

$$I = \frac{F_m}{N} \quad (14)$$

แทนค่า

$$I = \frac{781 \text{ At}}{250} = 3.12 \text{ แอมป์}$$

4) คำนวณแรงดันจากกังหันขณะไม่มีโหลดได้ดังสมการ 15

$$E_{\text{ave}} = 2 \times N \times A \times B \times \frac{n}{60} \quad (15)$$

แทนค่า

$$E_{\text{ave}} = 2 \times (250 \times 10) \times (0.00129 \times 12) \times 0.31 \times \frac{860}{60}$$

$$E_{\text{ave}} = 344 \text{ โวลต์}$$

5) คำนวณกำลังของเงินเนอเรเตอร์ได้ดังสมการ 11

$$P = E_{ave} \times I \quad (11)$$

แทนค่า $P = 344 \times 3.12 = 1,073 \text{ วัตต์}$

ดังนั้นกังหันลมมีกำลังการผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดในทางทฤษฎี เท่ากับ 1,073 วัตต์ ณ ที่ความเร็วลม 18 เมตร/วินาที และความเร็วรอบเท่ากับ 860 รอบ/นาที

4.2 วิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน และระยะเวลาคืนทุนมาตรการกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย และระยะเวลาคืนทุน โดยมีข้อมูลและสมมุติฐานในการวิเคราะห์ คือ เงินลงทุนเริ่มในการสร้างระบบกังหันลมซึ่งรวมถึงค่าโครงสร้างและค่าติดตั้ง รวมเป็นเงินลงทุนทั้งหมดเท่ากับ 45,00 บาท ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุนเริ่มต้น มูลค่าซากของระบบเมื่อครบอายุการใช้งานเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุนเริ่มต้น อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ ระบบมีอายุการใช้งาน 4 ปี และในการคำนวณระยะคืนทุน กำหนดอัตราค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4.5 บาท

ระยะเวลาการท่วิจัย

ระยะเวลาทำการวิจัย 9 เดือน ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือน มกราคม พ.ศ. 2556

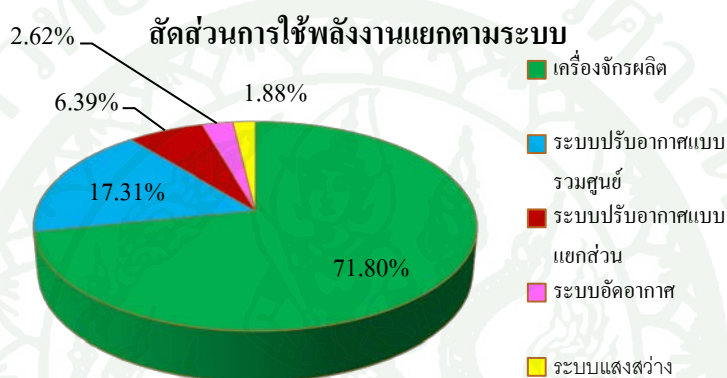
แหล่งทุนสนับสนุน

งานวิจัยนี้ใช้ทุนบริษัท ด้าซิ่งคอตตอนไทยจำกัด และทุนส่วนตัว

ผลและวิจารณ์

1. ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่าง

1.1 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบ ของบริษัท ด้าซิ่งคอตตอนไทย จำกัด สามารถแบ่งเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบได้ แสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 สัดส่วนการใช้พลังงานแยกตามระบบของบริษัท ด้าซิ่งคอตตอนไทย

จากภาพที่ 32 พบว่าพลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างของบริษัทด้าซิ่งคอตตอนไทย จำกัด คิดเป็น 1.88% ของพลังงานทั้งหมด

1.2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างอาคารควบคุมและพื้นที่อื่นๆ ของบริษัทด้าซิ่งคอตตอนไทย จำกัด แสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างอาคารควบคุมและพื้นที่อื่นๆ

พื้นที่	ระบบแสงสว่าง	ขนาด (วัตต์)	จำนวน (หลอด)	ชั่วโมง ใช้งาน/ปี	ปริมาณการใช้พลังงาน ไฟฟ้า(กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	ร้อยละ
อาคารควบคุม	FL 36 W+ballast ขดลวด	46	1,500	8,400	1,042,272	77.18
	FL 36 W+ballast electronic	36	1,530	8,400		
พื้นที่ อื่นๆ	FL 36 W+ballast electronic	36	400	8,400	308,160	22.82
	ไฟถนน	65	80	3,600		

จากตารางที่ 12 แสดงให้เห็นปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเฉพาะอาคารควบคุมคิดเป็น 77.18% ของระบบแสงสว่าง

1.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างจากหนังสือแจ้งค่าไฟฟ้าในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2554 แสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2554

เดือน	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)		
	พลังงานทั้งหมด	พลังงานแสงสว่าง	พลังงานแสงสว่าง เฉพาะอาคารควบคุม
มกราคม	3,418,040.00	64,259.15	49,595.21
กุมภาพันธ์	3,579,660.00	67,297.61	51,940.29
มีนาคม	4,033,580.00	75,831.30	58,526.60
เมษายน	3,423,100.00	64,354.28	49,668.63

ตารางที่ 13 (ต่อ)

เดือน	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)		
	พลังงานทั้งหมด	พลังงานแสงสว่าง	พลังงานแสงสว่างเฉพาะอาคารควบคุม
พฤษภาคม	4,247,880.00	79,860.14	61,636.06
มิถุนายน	3,922,840.00	73,749.39	56,919.78
กรกฎาคม	3,838,200.00	72,158.16	55,691.67
สิงหาคม	3,326,720.00	62,542.34	48,270.17
กันยายน	3,609,840.00	67,864.99	52,378.20
ตุลาคม	3,596,640.00	67,616.83	52,186.67
พฤศจิกายน	2,695,400.00	50,673.52	39,109.82
ธันวาคม	3,136,060.00	58,957.93	45,503.73
รวม	42,827,960.00	805,165.65	621,426.85
ค่าเฉลี่ย/เดือน	3,568,996.67	67,097.14	51,785.57

จากตารางที่ 13 แสดงให้เห็นปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานแสงสว่างคิดเป็น 1.88 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานทั้งหมด และพลังงานแสงสว่างเฉพาะอาคารควบคุมคิดเป็น 77.18 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานแสงสว่าง ซึ่งพบว่าบริษัท ด้าซิงคอตตอนไทย จำกัดมีการใช้พลังงานแสงสว่างเฉพาะอาคารควบคุม 621,427 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

1.4 แฟกเตอร์การใช้งานของหลอดไฟฟ้า

เนื่องจากภายในอาคารควบคุม ไม่ได้เปิดใช้งานหลอดไฟฟ้าในระบบแสงสว่างทุกหลอดพร้อมกัน และไม่ใช้งานหลอดไฟฟ้าในจำนวนเท่าๆกันของทุกวัน เนื่องจากระบบไฟฟ้าไม่มีประสิทธิภาพมากนัก จึงจำเป็นต้องคำนวณแฟกเตอร์การเปิดใช้งานของหลอดไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 17

$$\text{แฟกเตอร์การใช้งานของหลอดไฟฟ้า} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจากหนังสือแจ้งค่าไฟฟ้า}}{\text{พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจากการคำนวณ}} \times 100 \quad (17)$$

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเฉพาะอาคารควบคุมจากการคำนวณ

1,042,272 (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเฉพาะอาคารควบคุมจากหนังสือแจ้งค่าไฟฟ้า

621,426.85 (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)

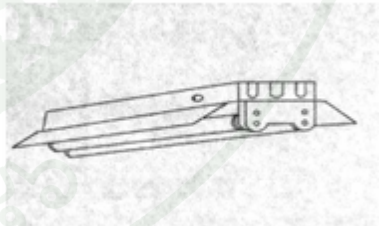
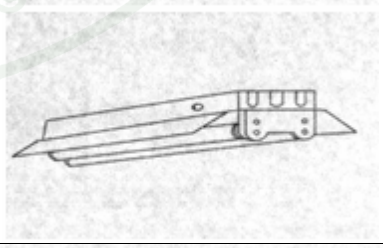
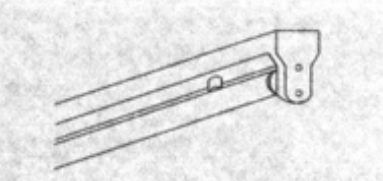
$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นแฟกเตอร์การใช้งานของหลอดไฟฟ้า} &= \frac{621,426.85}{1,042,272} \times 100 \\ &= 59.62 \text{ เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

2. ผลการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้มาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่าง

2.1 ลักษณะของอุปกรณ์ทางด้านแสงสว่าง ที่ใช้ในระบบแสงสว่างภายในอาคารควบคุม

2.1.1 โคมไฟที่ใช้ในระบบแสงสว่างภายในอาคารควบคุม

ตารางที่ 14 ลักษณะโคมไฟที่ใช้ในอาคารควบคุม

ชั้น	การใช้งาน พื้นที่ (%)	รายละเอียด	แบบ
1	30	โคมไฟรูปแบบอุตสาหกรรม แบบติดผนัง 1×36 วัตต์	
	70	โคมไฟรูปแบบอุตสาหกรรม แบบแขวน 1×36 วัตต์	
2	100	โคมไฟรูปแบบพื้นฐาน แบบติดผนัง 1×36 วัตต์	

จากตารางที่ 14 อาคารควบคุมของบริษัท ด้าซิ่งคอตตอนไทย จำกัด มีพื้นที่การใช้งานแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยชั้นที่ 1 ใช้โคมไฟรูปแบบอุตสาหกรรมแบบติดผนัง ขนาด 1×36 วัตต์ คิดเป็นพื้นที่การใช้งาน 30 เปอร์เซ็นต์ และใช้โคมไฟรูปแบบอุตสาหกรรมแบบแขวน ขนาด 1×36 วัตต์ คิดเป็นพื้นที่การใช้งาน 70 เปอร์เซ็นต์ ชั้นที่ 2 ใช้โคมไฟรูปแบบอุตสาหกรรมแบบติดผนัง ขนาด 1×36 วัตต์

2.1.2 หลอดแอลอีดี

หลอดแอลอีดีที่นำมาใช้ในการคำนวณเพื่อทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยมาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่าง เป็นชนิด T8 Tube รุ่น TORSHARE T004/T8-N8NW-120, ความยาว 120 เซนติเมตร, สี Neutral White, ค่าความสว่าง 1950 ลูเมน, กำลังไฟฟ้าต่อหลอด 20 วัตต์ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้แสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดแอลอีดี

คุณสมบัติ	หลอดฟลูออเรสเซนต์	หลอดแอลอีดี
ค่าความสว่าง	2800 ลูเมน	1950 ลูเมน
กำลังไฟฟ้าต่อหลอด	36 วัตต์	20 วัตต์
อายุการใช้งาน	15,000 ชั่วโมง	50,000 ชั่วโมง
การกระจายแสง	กระจายแสงรอบด้าน	เปล่งแสงทิศทางเดียว

2.2 การคำนวณปริมาณการส่องสว่างด้วยวิธีลูเมน

คำนวณหาค่าความสว่างของพื้นที่ จะทำการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ให้เป็นหลอดแอลอีดี ซึ่งปริมาณค่าความสว่างที่เหมาะสมกับพื้นที่ปฏิบัติงานเท่ากับ 200 ลักซ์ ผลการคำนวณของอาคารควบคุมทั้ง 2 ชั้น ได้แสดงในตารางที่ 16

การคำนวณจะแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (CU)

ขั้นตอนที่ 2 ค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า (LLD)

ขั้นตอนที่ 3 ค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้า (LDD)

ขั้นตอนที่ 4 ค่าความเสื่อมสภาพของแสงสว่างจากพื้นผิวห้องสกรปรก (RSDD)

ขั้นตอนที่ 5 ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมไฟฟ้าหรือหลอดไฟฟ้า (L_T)

ขั้นตอนที่ 6 หาจำนวนดวงโคมไฟฟ้า (N_T)

ตารางที่ 16 ผลการคำนวณปริมาณการส่องสว่างของอาคารควบคุม

ข้อมูล	อาคารควบคุม ชั้นที่ 1		อาคารควบคุม ชั้นที่ 2
	พื้นการใช้งาน 30 %	พื้นการใช้งาน 70 %	พื้นการใช้งาน 100 %
CU	0.79	0.84	0.81
LLD	0.85	0.85	0.85
LDD	0.86	0.86	0.87
RSDD	0.768	0.974	0.91
L_T (lm)	1,359,748.49	2,353,413.42	3,662,458.84
N_T (หลอด)	697.31	1,206.88	1,878.18
รวม		3,782 หลอด	

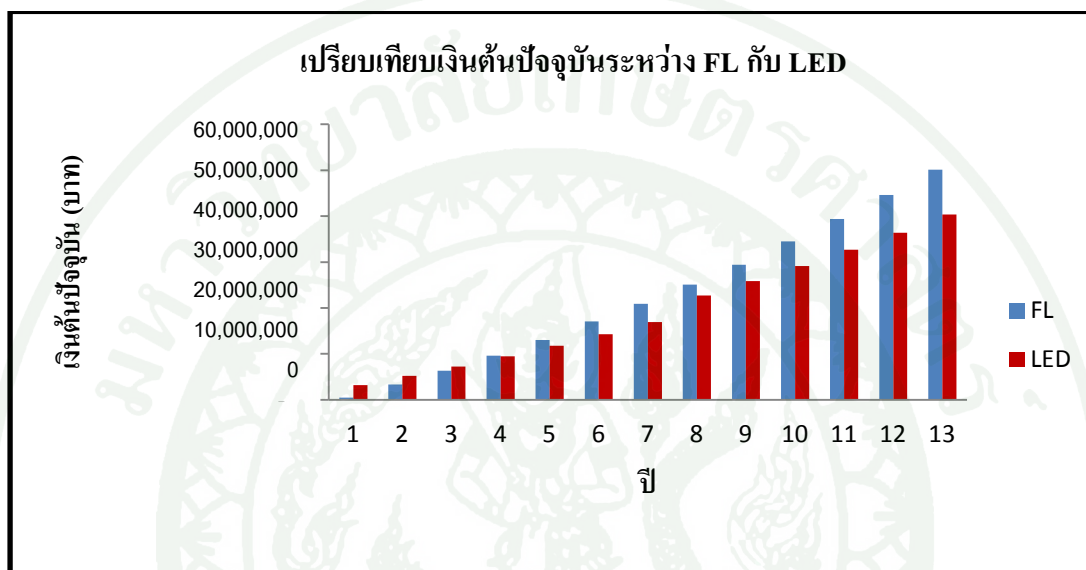
จากตารางที่ 16 การคำนวณปริมาณการส่องสว่างของอาคารควบคุมด้วยวิธีลูเมน พบว่าต้องใช้หลอดแอลอีดี จำนวน 3,782 หลอด เพื่อใช้ในการทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 3,030 หลอด เพื่อให้ได้ปริมาณค่าความสว่างที่เหมาะสมกับพื้นที่ปฏิบัติงานเท่ากับ 200 ลักซ์ ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการส่องสว่างด้วยวิธีลูเมน ได้แสดงในภาคผนวกที่ ก

2.3 การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนในมาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่าง

ตารางที่ 17 ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแอลอีดีภายในอาคารควบคุม

ชนิดของหลอด	ฟลูออเรสเซนต์	แอลอีดี
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	621,402.57	378,811.17
ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า (บาท)	2,796,311.55	1,704,650.27

จากตารางที่ 17 แสดงให้เห็นว่ามาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่างโดยการทดแทนหลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยหลอดแอลอีดีนั้นสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 242,600 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี ซึ่งสามารถคิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง 1,091,703 บาท/ปี โดยอัตราค่าไฟฟ้าคิดยูนิตละ 4.5 บาท



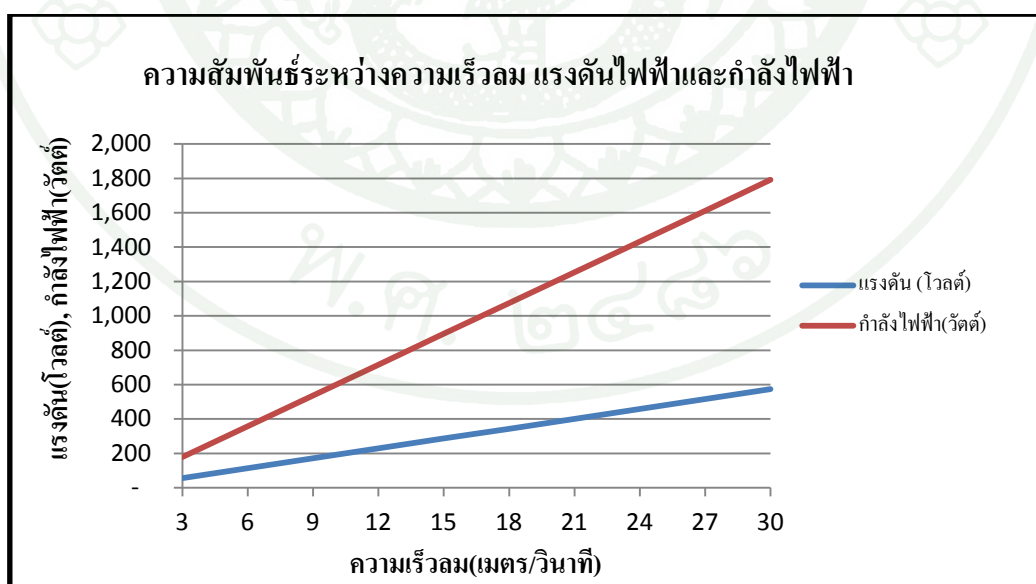
ภาพที่ 33 กราฟแสดงจุดคุ้มทุนของมาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่างโดยการทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยหลอดแอลอีดี

จากภาพที่ 33 แสดงให้เห็นว่ามาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่างโดยการทดแทนหลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยหลอดแอลอีดีนั้น การลงทุนจะมีระยะเวลาคืนทุน 30,400 ชั่วโมงหรือเท่ากับ 3.47 ปี ซึ่งตารางแสดงค่าใช้จ่ายของหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแอลอีดีตลอดอายุการใช้งานอย่างละเอียดแสดงดังตารางผนวกที่ ค

3. ผลการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยการใช้กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 18 ผลการคำนวณในทางทฤษฎีที่อัตราเร็วลมต่างๆ

อัตราเร็วลม (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	แรงดัน E_{ave} (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
3	143.31	57.32	179.08
6	286.62	114.65	358.17
9	429.94	171.97	537.25
12	573.25	229.30	716.33
15	716.56	286.62	895.41
18	859.87	343.95	1073.50
21	1003.18	401.27	1253.58
24	1146.50	458.60	1432.66
27	1289.81	515.92	1611.75



ภาพที่ 34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วลมกับ ความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของกังหันลม

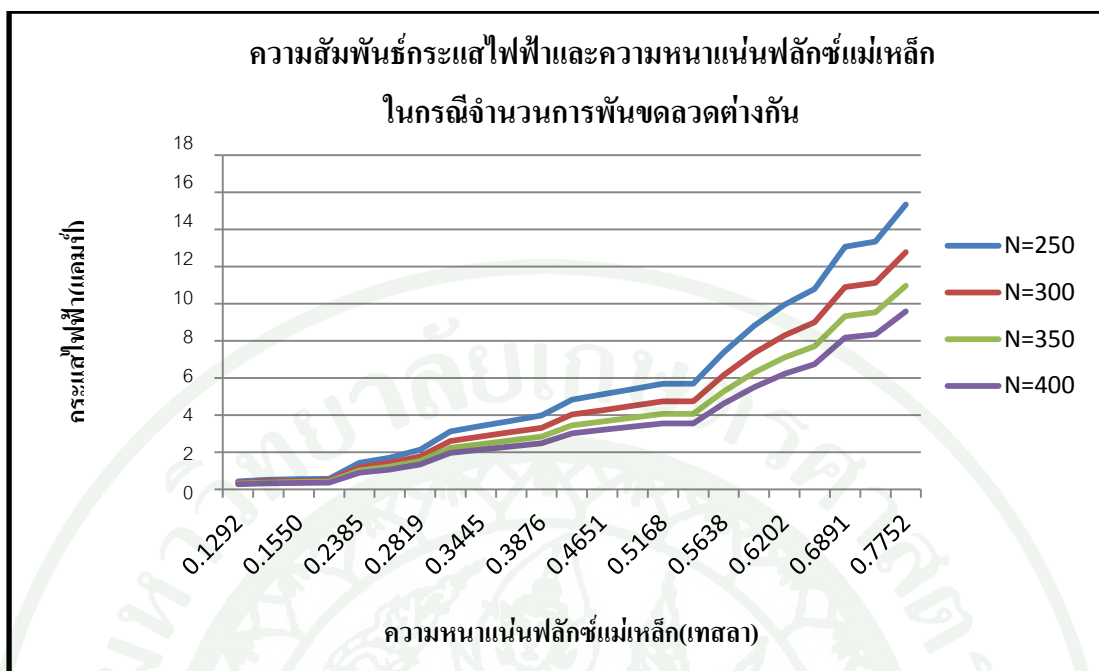
จากภาพที่ 34 แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมนั้นแปรผันตามความเร็วลม นั่นคือเมื่อความเร็วลมมากขึ้นก็จะได้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจากการคำนวณในทาง ทฤษฎีของกังหันลมเพื่อใช้ในบริษัทค้าซึ่งคอตตอนไทย พบว่า ณ ที่ความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 18 เมตร/วินาที กังหันลมสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 1073.50 วัตต์ ดังนั้นเมื่อคิดที่ชั่วโมง การทำงานปีละ 8,400 ชั่วโมง กังหันลมจึงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 9,026 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี ซึ่งคิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า 40,616 บาท/ปี โดยอัตราค่าไฟฟ้าชนิดละ 4.5 บาท

หากพิจารณาเพิ่มเติมในกรณีเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัดแม่เหล็ก (ตารางเมตร) และ เส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์) จะส่งผลให้ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก(เทสลา) เปลี่ยนแปลงไป ดัง ข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 19

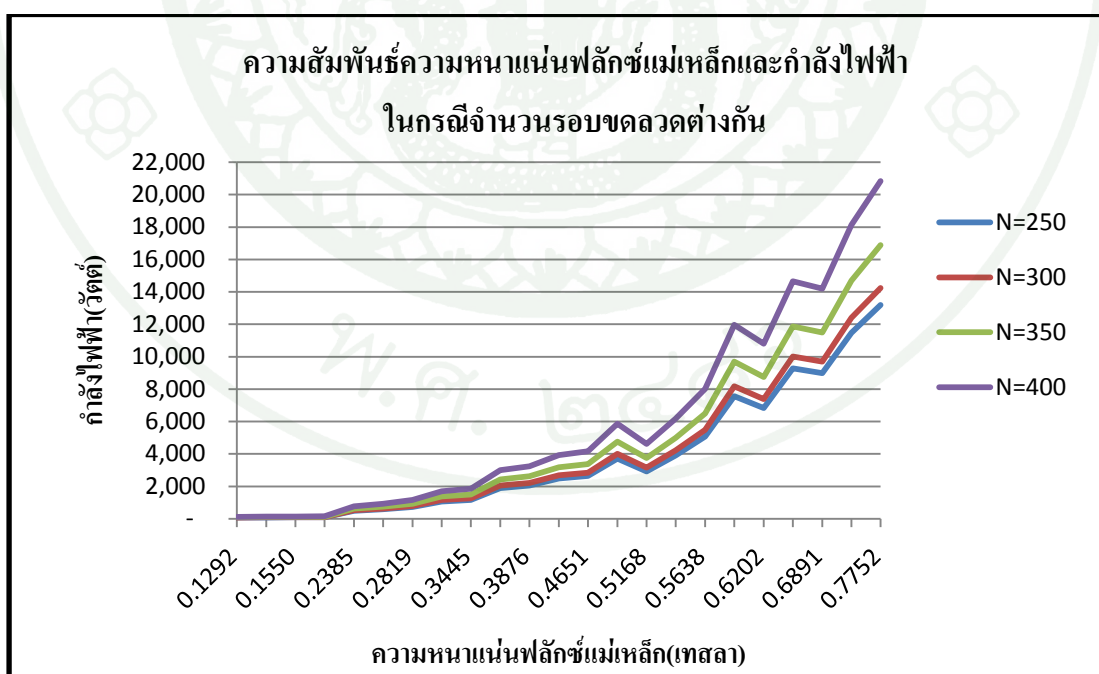
ตารางที่ 19 ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในกรณีเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัดแม่เหล็ก (ตาราง เมตร) และเส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์)

เส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์)	พื้นที่หน้าตัดแม่เหล็ก (ตารางเมตร)				
	0.00116	0.0013	0.00142	0.00155	0.00168
0.0002	0.1723	0.1550	0.1409	0.1292	0.1193
0.0004	0.3445	0.3101	0.2819	0.2584	0.2385
0.0006	0.5168	0.4651	0.4228	0.3876	0.3578
0.0008	0.6891	0.6202	0.5638	0.5168	0.4770
0.001	0.8613	0.7752	0.7047	0.6460	0.5963

จากตารางที่ 14 เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มขึ้นในกรณีนี้จะ ส่งผลให้กระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย และหากพิจารณาในกรณีเพิ่มจำนวนรอบใน การพันขดลวดร่วมกับการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กแล้ว ค่ากระแสไฟฟ้า และ พลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในภาพที่ 35 และภาพที่ 36 ตามลำดับ



ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในกรณีจำนวนการพันขดลวดต่างกัน



ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในกรณีจำนวนการพันขดลวดต่างกัน

จากภาพที่ 36 แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กและจำนวนรอบการพันขดลวดเพิ่มขึ้น การเลือกขนาดของแม่เหล็กถาวร, ชนิดของแม่เหล็กถาวรและจำนวนรอบการพันขดลวดส่งผลอย่างมากกับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งหากพิจารณาในกรณีนี้ จะส่งผลให้กังหันลมต้องรับน้ำหนักของลวดทองแดงและน้ำหนักของแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีควรต้องเพิ่มจำนวนใบพัดเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการกวาดพลังงานลม ซึ่งจะส่งผลให้กังหันลมนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย และควรมีการควบคุมความเร็วของกังหันลมเนื่องจากกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มมากขึ้นอีกเมื่อมีความเร็วเพิ่มขึ้นซึ่งกระแสที่มากเกินไปจะส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไหม้และเกิดการเสียหายได้

3.3 วิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน และระยะเวลาคืนทุนมาตรการกักกันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

รายการ	จำนวนเงิน
เงินลงทุนเริ่มต้นสร้างระบบกังหันลม	45,000.00
มูลค่าต้นทุนกังหันลมรายปี	12,986.62
ค่าบำรุงรักษารายปี	2,250.00
มูลค่าซากกังหันลมรายปี	1,028.66
ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด	14,207.96
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี	9,025.77
มูลค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี	40,615.98
ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย	1.57
ระยะคืนทุน (ปี)	1.7

หมายเหตุ: ตัวอย่างการคำนวณผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แสดงในภาคผนวกที่ ก

จากตารางที่ 20 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าระบบกังหันลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าตามแบบจำลองของ Piggott (2005) ในงานวิจัยนี้มีต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 1.57 บาท/หน่วยและมีระยะเวลาคืนทุน 1.7 ปี โดยพิจารณาสมมุติให้มูลค่าเงินคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นจึงเหมาะสมกับการลงทุน เนื่องจากความเร็วมจากปล่องลมในกระบวนการกำจัดละอองฝายนั้นมีความเร็วค่อนข้างแรง ส่งผลให้ได้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณมาก ระบบจึงมีระยะคืนทุนที่ค่อนข้างเร็ว



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการวิเคราะห์การใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษา บริษัทต้าซิงคอตตอนไทย จำกัด สามารถสรุปผลการดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้

1. การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้มาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่างโดยการนำหลอดแอลอีดีมาใช้ในการให้แสงสว่างภายในอาคารทดแทนการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ผลการศึกษาวีจย พบว่า ต้องใช้หลอดแอลอีดี จำนวน 3,782 หลอด เพื่อใช้ในการทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 3,030 หลอด เพื่อให้ได้ปริมาณค่าความสว่างที่เหมาะสมกับพื้นที่ปฏิบัติงานเท่ากับ 200 ลักซ์ ซึ่งมาตรการดังกล่าวทำให้ลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างได้ 242,601 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลดลง 1,091,704 บาท/ปี จากการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนหลอดแอลอีดี มีค่าใช้จ่าย 3,176,370 บาท โดยการลงทุนครั้งนี้มีระยะเวลาคืนทุน 3.47 ปี จากการศึกษาการอนุรักษ์พลังงานโดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้พลังงานให้คุ้มค่าและเกิดการสูญเปล่าน้อยที่สุดพบว่าหลอดแอลอีดี มีประสิทธิภาพของโคมไฟและประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดสูงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ เนื่องจากไม่มีการสูญเสียของแสงที่ด้านหลังหลอดแอลอีดี อีกทั้งยังใช้พลังงานที่น้อยกว่าจึงทำให้ช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้า อย่างไรก็ตามแม้ราคาหลอดแอลอีดีจะแพงกว่า แต่ก็มีอายุการใช้งานที่นานกว่าและการติดตั้งอุปกรณ์ที่ง่ายกว่าการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งต้องมีอุปกรณ์เสริมจำนวนมาก รวมถึงการดูแลรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งานของหลอดแอลอีดี น้อยกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังนั้นหากพิจารณาตลอดอายุการใช้งานของหลอดแอลอีดี แล้ว การเปลี่ยนมาใช้หลอดแอลอีดี จะประหยัดพลังงานมากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์

2. ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นตามรูปแบบของ Piggott (2005) จากการศึกษาพบว่าความเร็วลมจากปล่องลมในกระบวนการกำจัดละอองฝอยเฉลี่ยประมาณ 18 เมตร/วินาที กังหันลมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 9,026 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นมูลค่าพลังงานไฟฟ้า 40,616 บาท/ปี จากการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์พบว่ามีความคุ้มค่าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 1.57 บาท/หน่วย โดยมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.7 ปี อีกทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้างังกล่าวยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยการเพิ่ม

พื้นที่หน้าตัดแม่เหล็ก และจำนวนรอบการพันขดลวด ให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงขึ้นแต่
 ควรมีการเพิ่มจำนวนใบพัดเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการกวาดพลังงานลมและควรมีการควบคุมความเร็ว
 ของกังหันลมเนื่องจากกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มมากขึ้นอีกเมื่อมีความเร็วเพิ่มขึ้นซึ่งกระแสที่มากเกินไป
 จะส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไหม้และเกิดการเสียหายได้ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นเพียงต้นแบบและเป็น
 จุดเริ่มต้นของการนำกังหันลมผลิตไฟฟ้ามาใช้ในภาคอุตสาหกรรม และเป็นการกระตุ้นให้เกิดการ
 พัฒนาให้แพร่หลายและนำมาใช้เป็นพลังงานที่ยั่งยืนต่อไปในอนาคต

หากนำการอนุรักษ์พลังงานทั้งสองมาตรการมารวมกัน โดยนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จาก
 กังหันลมมาใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าให้กับหลอดแอลอีดีแล้ว จะช่วยลดระยะเวลาคืนทุนของมาตรการ
 ปรับปรุงระบบแสงสว่างลดลงจาก 3.47 ปี เหลือเพียง 3.3 ปี ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาจากกังหันลม
 เพียง 1 ตัว แต่ทางบริษัทค้าซึ่งกวดตอนไทยมีปล่องลมปล่อยพลังงานลมเหลือทิ้งในลักษณะ
 เดียวกันอีก 6 ปล่องลม ซึ่งสามารถพัฒนากังหันลมผลิตไฟฟ้ามาใช้กับลมดังกล่าวได้ หากนำ
 มาตรการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยการใช้กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้ามาใช้กับปล่องลมทุกปล่อง
 แล้ว จะทำให้ระยะเวลาคืนทุนของมาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่างลดลงได้อีกมาก

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเลือกขนาดลวด จำนวนรอบการพันขดลวด และขนาดแม่เหล็ก ให้สอดคล้องกับ
 พลังงานลมที่มีอยู่
2. ราคาของหลอดแอลอีดีอาจมีต้นทุนที่ต่ำกว่าในงานวิจัยนี้
3. ในโรงงานยังมีการใช้พลังงานอีกหลายประเภท เพราะฉะนั้นควรมีการดำเนินการ
 อนุรักษ์พลังงานให้ครอบคลุมพลังงานทุกชนิด
4. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้ากับบริษัทอื่นที่เป็นอุตสาหกรรม
 ประเภทเดียวกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กิตติคุณ สุขุมตันติ. 2554. หลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36W สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. TIEA New Sletter 5 (2): 20-22.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2547. คู่มือการฝึกอบรมการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก โครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือจากโรงงานควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535. แหล่งที่มา: <http://www.energy.go.th>, 10 มิถุนายน 2555.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2550. การตรวจวัดและการรวบรวมข้อมูลเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. แหล่งที่มา: <http://www.energy.go.th>, 10 มิถุนายน 2555.

กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553. คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (โรงงาน). กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. แหล่งที่มา: <http://www.energy.go.th>, 10 มิถุนายน 2555.

ชัยวัฒน์ เห็นถูก. 2550. การศึกษาและพัฒนาระบบแสงสว่างพลังงานต่ำด้วยหลอดแอลอีดี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชัยอนุชิต หาสูงเนิน. 2550. เทคนิคการวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ไชยะ เข้มซ้อย. 2543. คู่มือการลดค่าไฟฟ้า. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ภูวดล เทะศิลป์. 2549. การศึกษาความคุ้มค่าให้การนำ LED มาใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ในอาคารพักอาศัย. งานค้นคว้าอิสระ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

เมืองมนต์ เนตรหาญ. 2554. การวิเคราะห์และทดสอบประสิทธิภาพกักเก็บผลผลิตไฟฟ้าขนาด 800 วัตต์. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 3 (57): 57-65.

นที ศรีทอง. 2554. กักเก็บผลผลิตไฟฟ้าใช้เอง. พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์เกษตรกรรม ธรรมชาติ, กรุงเทพฯ.

นนทวุฒิ ปรีชาวุฒิ. 2552. การออกแบบใบกักเก็บผลผลิตที่ เหมาะสมสำหรับความเร็วลมต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ประไพ จักขุจินดา. 2552. แบบจำลองกักเก็บผลผลิตไฟฟ้า. โรงเรียนสกลนครพัฒนศึกษา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาสกลนครเขต 1, สกลนคร.

พัฒน์พงษ์ วีรยุทธกำจร. 2545. ศึกษาการพัฒนาระบบไฟสัญญาณจราจรชนิดหลอดแอลอีดีและ ประโยชน์ทางสังคม กรณีศึกษาจังหวัดเชียงราย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.

ยุทธศักดิ์ คณาสวัสดิ์. 2550. LED เทคโนโลยีแสงสว่าง. แหล่งที่มา: <http://gets.co.th>, 26 สิงหาคม 2555.

วรกานต์ สุขเจริญ. 2553. การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการอนุรักษ์พลังงาน ไฟฟ้าในอาคารกรณีศึกษา บริษัท เพทโทร-อินสตรูเมนต์ จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศิริพรรณ ชงชัย. 2550. การอนุรักษ์พลังงานสำหรับห้องอิเล็กทรอนิกส์สื่อสาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุธน พิทักษ์. 2550. การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา บริษัท อีพีอี แพลกเจจิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

Bystryk, J. and P.E. Sullivan. 2011. Small wind turbine power control in intermittent wind gusts.

Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics J. Wind Eng. Ind Aerodyn. 99: 624-637

Hong, Z., Q. Jian, S. Xingfa, D. Guojun and L. Peng. 2011. Shuping Le Fuzzy Control of

LED Tunnel Lighting and Energy Conservation. **Journal of Science and Technology.** 03/12: 576-582.

Piggott, H. 2005. **How to build a wind turbine the axial flux windmill plans.** UK.

Ryckaerta, W.R., K.A. Smeta, I.A. Roelandt, M.V. Gils and P. Hanselaera. 2011.

Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. **Journal of Energy and Buildings.** 49: 429-436

Soni, N.B. 2008. The transition to LED illumination: A case study on energy

conservation. **Journal of Theoretical and Applied Information Technology.** 2005-2008: 1083-1087



ภาคผนวก



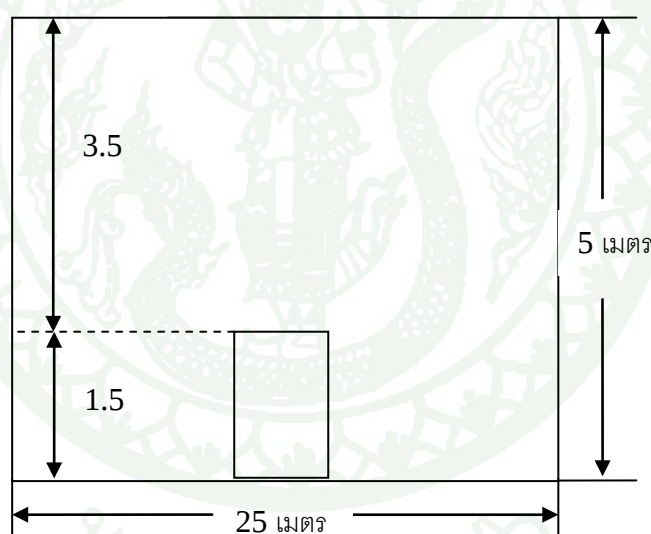
การคำนวณปริมาณการส่องสว่างด้วยวิธี Lumen Method

ตัวอย่าง การคำนวณปริมาณการส่องสว่าง ของอาคารควบคุมชั้น 1 โคมไฟรูปแบบ
อุตสาหกรรมแบบติดผนัง พื้นที่การใช้งาน 30 %

หลอดแอลอีดีที่นำมาทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ในอาคารควบคุมมีขนาด 20 วัตต์, ค่า
ความส่องสว่างเท่ากับ 1,950 ลูเมน, ค่าความส่องสว่างเริ่มแรกเท่ากับ 2,300 ลูเมน, อาคารควบคุมมี
ขนาดกว้าง 50 เมตร ยาว 200 เมตร โดยพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณคิดเป็นอัตราส่วน 1:16 ของพื้นที่
จริง คือ 625 ตารางเมตร กว้าง 25 เมตร ยาว 25 เมตร

ขั้นตอนที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (CU)

ดวงโคมไฟติดตั้งที่ระดับพื้นผิวเพดานดังภาพผนวกที่ ก1



ภาพผนวกที่ ก1 ระดับการติดตั้งดวงโคมไฟ

ความกว้างของพื้นที่ที่ต้องการหาปริมาณแห่งการส่องสว่าง (W)	= 25 เมตร
ความยาวของพื้นที่ที่ต้องการหาปริมาณแห่งการส่องสว่าง (L)	= 25 เมตร
ความสูงของพื้นที่ที่ต้องการหาปริมาณแห่งการส่องสว่าง (L)	= 5 เมตร
ค่าความสามารถในการสะท้อนแสงของโพรงเพดาน (p_c)	= 70 %
ค่าความสามารถในการสะท้อนแสงของโพรงห้อง (p_w)	= 50 %
ค่าความสามารถในการสะท้อนแสงของโพรงพื้น (p_f)	= 20 %

ดังนั้น

ค่าความสูงอัตราส่วนโพรงเพดาน (h_{cc}) = 0 เมตร

ค่าความสูงอัตราส่วนโพรงห้อง (h_{rc}) = 3.5 เมตร

ค่าความสูงอัตราส่วนโพรงพื้น (h_{fc}) = 1.5 เมตร

จากสมการแบ่งสัดส่วนโพรง

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ 6 อัตราส่วนโพรงเพดาน (CCR)} &= 5h_{cc} \frac{(W+L)}{(W \times L)} \\ &= 5 \times (0) \times \frac{(25+25)}{(25 \times 25)} \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ 7 อัตราส่วนโพรงห้อง (RCR)} &= 5h_{rc} \frac{(W+L)}{(W \times L)} \\ &= 5 \times (3.5) \times \frac{(25+25)}{(25 \times 25)} \\ &= 1.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ 8 อัตราส่วนโพรงพื้น (FCR)} &= 5h_{fc} \frac{(W+L)}{(W \times L)} \\ &= 5 \times (1.5) \times \frac{(25+25)}{(25 \times 25)} \\ &= 0.6 \end{aligned}$$

จากตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ค่าประสิทธิภาพการสะท้อนแสงสว่างของโพรงเพดาน และพื้น สำหรับพื้นผิวการสะท้อนแสงสว่างที่แตกต่างกัน (Percent Effective Ceiling and Floor Reflectances for Various Reflectance Combination) แสดงดังตารางผนวกที่ ข1

เมื่อ $\rho_c = 70 \%$, $\rho_w = 50 \%$, เมื่อ CCR = 0
 จะได้ $\rho_{cc} = 70 \%$
 และเมื่อ $\rho_f = 70 \%$, $\rho_w = 50 \%$, เมื่อ FCR = 0.6
 จะได้ $\rho_{fc} = 19 \%$

จากตารางสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่างๆ แสดงดังตารางผนวกที่ ข2, โคมไฟรูปแบบอุตสาหกรรมแบบที่ 26 ชนิดติดผนัง ซึ่งใกล้เคียงกับดวงโคมที่เลือกใช้ในอาคารควบคุม

เมื่อ $\rho_{cc} = 70\%$, $\rho_w = 50\%$, เมื่อ $RCR = 1.4$

จะเห็นได้จากตารางว่าไม่มีค่า RCR ที่ 1.4 ดังนั้นจึงต้องใช้หลักการสอดแทรก ดังนี้

ที่ $RCR = 1$ จะได้ $CU = 0.82$

$RCR = 2$ จะได้ $CU = 0.74$

ผลต่างของ $CU = 0.82 - 0.74 = 0.08$ และผลต่างของ $RCR = 2 - 1 = 1$

ถ้าผลต่างของ $RCR = 0.4$ หน่วย จะได้ $0.4 \times 0.08 = 0.032$

เพราะฉะนั้นค่า CU จะเท่ากับ $0.82 - 0.032 = 0.79$

ขั้นตอนที่ 2 ค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟฟ้า (LLD)

จากสมการที่ 9

$$LLD = \frac{\text{ค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเฉลี่ยที่ออกมาจากหลอดไฟฟ้า}}{\text{ค่าปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างเมื่อเริ่มแรกจากหลอดไฟฟ้า}}$$

$$LLD = \frac{1,950}{2,300} = 0.8478 = 85\%$$

ขั้นตอนที่ 3 ค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้า (LDD)

จากกราฟแสดงค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้าประเภทต่างๆ แสดงดังภาพผนวกที่ ข3, เมื่อทำความสะอาดทุกๆ 18 เดือน และเป็นโคมไฟฟ้าชนิดที่ 2 จะได้ค่าความเสื่อมสภาพจากความสกปรกของดวงโคมไฟฟ้า (LDD) = 0.86

ขั้นตอนที่ 4 ค่าความเสื่อมสภาพของแสงสว่างจากพื้นผิวห้องสกปรก (RSDD)

ดวงโคมไฟฟ้าเป็นแบบกระจายแสงสว่างลง จากกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามคาดหวังของพื้นผิวห้องสกปรก แสดงดังภาพผนวกที่ ข4 เมื่อห้องพักมีการทำความสะอาดทุกๆ 18 เดือน จะได้เปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามคาดหวังเท่ากับ 22% จากตารางแสดงค่าประกอบความเสื่อมสภาพของแสงสว่างจากพื้นผิวห้องสกปรก แสดงดังตารางผนวกที่ ข5 จากตารางดังกล่าว จะเห็นว่าไม่มีค่า 22% และไม่มีค่า $RCR = 1.4$ ด้วย ดังนั้นจึงต้องใช้หลักการสอดแทรกมาใช้

เมื่อ เปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามคาดหวัง = 20 %

ที่ RCR = 1 จะได้ RSDD = 0.96

RCR = 2 จะได้ RSDD = 0.96

ไม่มีผลต่าง เพราะฉะนั้นที่ค่า RCR เท่ากับ 1.4 และเปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามคาดหวังเท่ากับ 20 % จะได้

$$RSDD = 0.96$$

เมื่อ เปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามคาดหวัง = 30 %

ที่ RCR = 1 จะได้ RSDD = 0.94

RCR = 2 จะได้ RSDD = 0.94

ไม่มีผลต่าง เพราะฉะนั้นที่ค่า RCR เท่ากับ 1.4 และเปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามคาดหวังเท่ากับ 30 % จะได้

$$RSDD = 0.94$$

เมื่อ RCR = 1.4

ที่ เปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามคาดหวัง = 20 % จะได้ RSDD = 0.96

เปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามคาดหวัง = 30 % จะได้ RSDD = 0.94

ผลต่างของ RSDD = 0.96 - 0.94 = 0.02

และผลต่างของเปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามคาดหวัง = 30 - 20 = 10

แบ่งเป็น 10 หน่วยจะได้ $0.02 / 10 = 0.002$

ถ้า 2 หน่วยจะได้ $2 \times 0.002 = 0.004$

เพราะฉะนั้นที่ค่า RCR เท่ากับ 1.4 และเปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามคาดหวังเท่ากับ 22 % จะได้

$$RSDD = 0.96 - 0.004 = 0.768$$

ขั้นตอนที่ 5 ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่ออกจากดวงโคมไฟฟ้าหรือหลอดไฟฟ้า (L_T)

จากสมการที่ 5 จะได้ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างที่ตกลงบนพื้นที่งานในอัตราส่วน 1:16 ของพื้นที่จริงทั้งหมดเท่ากับ

$$L = \frac{E \times A}{CU \times LLD \times LDD \times RSDD}$$

$$= \frac{200 \times 25 \times 25}{0.79 \times 0.85 \times 0.86 \times 0.768}$$

$$= 283,280.94 \text{ ลูเมน}$$

ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างพื้นที่อาคารควบคุมทั้งหมดของชั้น 1 โคมไฟรูปแบบ
อุตสาหกรรมแบบติดผนัง

$$= 283,280.94 \times 16 = 4,532,494.98 \text{ ลูเมน}$$

ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างของอาคารควบคุมชั้น 1 โคมไฟรูปแบบอุตสาหกรรมแบบติด
ผนัง พื้นที่การใช้งาน 30 %

$$L_T = 4,532,494.98 \times 0.3 = 1,359,748.49 \text{ ลูเมน}$$

ขั้นตอนที่ 6 หาจำนวนดวงโคมไฟฟ้า (N_T)

หาจำนวนดวงโคมไฟฟ้า/หลอดไฟฟ้าซึ่งมีค่า 1,950 ลูเมน/โคม/หลอด จากสมการที่ 10

$$N_T = \frac{L_T}{I}$$

$$= \frac{1,359,748.49}{1,950}$$

$$= 697 \text{ โคม}$$

เพราะฉะนั้นอาคารควบคุมชั้น 1 โคมไฟรูปแบบอุตสาหกรรมแบบติดผนัง พื้นที่การใช้งาน
30 % ต้องใช้หลอดแอลอีดีในการทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 697 โคมไฟฟ้าจึงจะได้ค่า
ส่องสว่างภายในอาคาร 200 ลักซ์

การคำนวณผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย และระยะเวลาคืนทุน โดยมีข้อมูลและสมมุติฐานในการวิเคราะห์ คือ เงินลงทุนเริ่มในการสร้างระบบกังหันลมซึ่งรวมถึงค่าโครงสร้างและค่าติดตั้ง รวมเป็นเงินลงทุนทั้งหมดเท่ากับ 45,000 บาท ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุนเริ่มต้น มูลค่าซากของระบบเมื่อครบอายุการใช้งานเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุนเริ่มต้น อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ ระบบมีอายุการใช้งาน 4 ปี และในการคำนวณระยะคืนทุน กำหนดให้มูลค่าพลังงานต่อหน่วยเท่ากับ 4.5 บาท

ในส่วนของการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพลังงานจากระบบกังหันลมในงานวิจัยหาได้จากสมการที่ 18

$$CE = \frac{C_T}{E_a} \quad (18)$$

เมื่อ CE คือ ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)
 C_T คือ เงินลงทุนรายปีทั้งหมด (บาท/ปี)
 E_a คือ พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลม (วัตต์)

โดยเงินลงทุนรายปีทั้งหมด สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ ตามสมการที่ (19)

$$C_T = C_c + C_m - C_s \quad (19)$$

เมื่อ C_c คือ เงินลงทุนเริ่มต้นรายปี (บาท) สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (20)

$$C_c = \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} \times \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (20)$$

เมื่อ i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี (%)
 n คือ อายุการใช้งานเครื่อง (ปี)

แทนค่า

$$Cc = 45,000 \times \left[\frac{0.06(1+0.06)^4}{(1+0.06)^4 - 1} \right]$$

$$Cc = 12,986.62 \text{ บาท}$$

C_m คือ เงินลงทุนในการรักษารายปี สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (21)

$$C_m = \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} \times 0.05 \quad (21)$$

แทนค่า

$$C_m = 45,000 \times 0.05$$

$$C_m = 2,250.00 \text{ บาท}$$

C_s คือ มูลค่าซากเมื่อสิ้นอายุการใช้งาน สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (22)

$$C_s = 0.1 \times 45,000 \times \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (22)$$

แทนค่า

$$C_s = 0.1 \times 45,000 \times \left[\frac{0.06}{(1+0.06)^4 - 1} \right]$$

$$C_s = 1,028.66 \text{ บาท}$$

ดังนั้น

$$C_T = 12,986.62 + 2,250.00 - 1,028.66 = 14,207.96 \text{ บาท}$$

และ

$$CE = \frac{14,207.96}{9,026} = 1.57$$

ในส่วนของการวิเคราะห์ระยะคืนทุน ในงานวิจัยนี้เลือกใช้หลักการวิเคราะห์ระยะคืนทุนอย่างง่าย กล่าวคือสมมติให้มูลค่าเงินไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ต้นทุน (บาท)}}{\text{พลังงานที่ประหยัดได้ (บาท)}}$$

แทนค่า

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{45,000}{(40,616 - 14,207)} = 1.7 \text{ ปี}$$



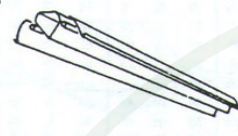
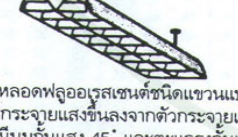
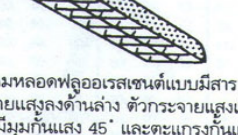
ตารางผนวกที่ ข1 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ค่าประสิทธิภาพการสะท้อนแสงสว่างของโพรเจกชัน และพื้น สำหรับพื้นผิวการสะท้อนแสงสว่างที่แตกต่างกัน

เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของพื้นที่ (Percent Base Reflectance) ¹⁾		90										80										70										60										50											
เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกำแพง (Percent Wall Reflectance) ²⁾		90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0		
อัตราส่วนโพรง (Cavity Ratio) ³⁾																																																					
P	0.2	.89	.88	.88	.87	.86	.85	.85	.84	.84	.82	.79	.78	.78	.77	.76	.76	.75	.74	.73	.72	.70	.69	.68	.68	.67	.67	.66	.66	.65	.64	.60	.59	.59	.59	.58	.57	.56	.56	.55	.53	.50	.50	.49	.49	.48	.48	.47	.46	.46	.44		
	0.4	.88	.87	.86	.85	.84	.83	.81	.80	.79	.76	.74	.73	.72	.71	.70	.68	.66	.65	.63	.61	.57	.68	.66	.64	.62	.60	.58	.56	.55	.53	.50	.59	.57	.55	.54	.51	.48	.47	.46	.43	.50	.48	.47	.45	.44	.42	.41	.38				
	0.6	.87	.86	.84	.82	.80	.77	.77	.76	.74	.73	.78	.76	.75	.73	.71	.70	.68	.66	.65	.63	.61	.57	.68	.66	.64	.62	.60	.58	.56	.55	.53	.50	.59	.57	.56	.55	.53	.51	.48	.47	.46	.43	.50	.48	.47	.45	.44	.42	.41	.38		
	0.8	.87	.85	.82	.80	.77	.75	.73	.71	.69	.67	.78	.75	.73	.71	.69	.67	.65	.63	.61	.57	.55	.53	.52	.50	.47	.44	.41	.38	.36	.35	.33	.31	.29	.57	.55	.53	.51	.48	.45	.44	.43	.41	.50	.48	.46	.44	.43	.41	.38			
	1.0	.86	.83	.80	.77	.75	.76	.69	.66	.64	.62	.77	.74	.72	.69	.67	.65	.62	.60	.57	.55	.53	.52	.50	.47	.44	.41	.38	.36	.35	.33	.31	.29	.57	.55	.53	.51	.48	.45	.44	.43	.41	.50	.48	.46	.44	.43	.41	.38	.37	.36	.34	
	1.2	.85	.82	.78	.75	.72	.69	.66	.63	.60	.57	.76	.73	.70	.67	.64	.61	.58	.55	.53	.51	.49	.67	.64	.61	.59	.57	.54	.50	.48	.46	.44	.41	.39	.56	.54	.51	.49	.46	.44	.42	.40	.38	.50	.47	.45	.43	.41	.39	.36	.35	.34	.29
	1.4	.85	.80	.77	.73	.69	.65	.62	.59	.57	.52	.76	.72	.68	.65	.62	.59	.55	.53	.50	.48	.47	.67	.63	.60	.58	.55	.51	.47	.45	.44	.41	.39	.56	.53	.49	.47	.44	.41	.39	.38	.36	.50	.47	.45	.42	.40	.38	.35	.34	.32	.27	
	1.6	.84	.79	.75	.71	.67	.63	.59	.56	.53	.50	.75	.71	.67	.63	.60	.57	.53	.50	.47	.44	.44	.67	.62	.59	.56	.53	.47	.45	.43	.41	.38	.59	.55	.52	.48	.45	.42	.39	.37	.35	.33	.50	.47	.44	.41	.39	.36	.33	.32	.30	.26	
	1.8	.83	.78	.73	.69	.64	.60	.56	.53	.50	.48	.75	.70	.66	.62	.58	.54	.50	.47	.44	.41	.41	.66	.61	.58	.54	.51	.46	.42	.40	.38	.35	.58	.55	.51	.47	.44	.40	.37	.35	.33	.31	.50	.46	.43	.40	.38	.35	.31	.30	.28	.25	
	2.0	.83	.77	.72	.67	.62	.56	.53	.50	.47	.43	.74	.69	.64	.60	.56	.52	.48	.45	.41	.38	.38	.66	.60	.56	.52	.49	.45	.40	.38	.36	.33	.58	.54	.50	.46	.43	.39	.35	.33	.31	.29	.50	.46	.43	.40	.37	.34	.30	.28	.26	.24	
	2.2	.82	.76	.70	.65	.59	.54	.50	.47	.44	.40	.74	.68	.63	.58	.54	.49	.45	.42	.38	.35	.35	.66	.60	.55	.51	.48	.43	.38	.36	.34	.32	.58	.53	.49	.45	.42	.37	.34	.31	.29	.28	.50	.46	.42	.38	.36	.33	.29	.27	.24	.22	
	2.4	.82	.75	.69	.64	.58	.53	.48	.45	.41	.37	.73	.67	.61	.56	.52	.47	.43	.40	.36	.33	.33	.65	.60	.54	.50	.46	.41	.37	.35	.32	.30	.58	.53	.48	.44	.41	.36	.32	.30	.27	.26	.50	.46	.42	.37	.35	.31	.27	.25	.23	.21	
	2.6	.81	.74	.67	.62	.56	.51	.46	.42	.38	.35	.73	.66	.60	.55	.50	.45	.41	.38	.34	.31	.31	.65	.59	.54	.49	.45	.40	.35	.33	.30	.28	.58	.53	.48	.43	.39	.35	.31	.28	.26	.24	.50	.46	.41	.37	.34	.30	.26	.23	.21	.20	
	2.8	.81	.73	.66	.60	.54	.49	.44	.40	.36	.34	.73	.65	.59	.53	.48	.43	.39	.36	.32	.29	.29	.65	.59	.53	.48	.43	.38	.33	.30	.28	.26	.58	.53	.47	.43	.38	.34	.29	.27	.24	.22	.50	.46	.41	.36	.33	.29	.25	.22	.20	.19	
	3.0	.80	.72	.64	.58	.52	.47	.42	.38	.34	.30	.72	.65	.58	.52	.47	.42	.37	.34	.30	.27	.27	.64	.58	.52	.47	.42	.37	.32	.29	.27	.24	.57	.52	.46	.42	.37	.32	.28	.25	.23	.20	.50	.45	.40	.36	.32	.28	.24	.21	.19	.17	
	3.2	.79	.71	.63	.56	.50	.45	.40	.36	.32	.28	.72	.65	.57	.51	.45	.40	.35	.33	.28	.25	.25	.64	.58	.51	.46	.40	.36	.31	.28	.25	.23	.57	.51	.45	.41	.36	.31	.27	.23	.22	.18	.50	.44	.39	.35	.31	.27	.23	.20	.18	.16	
	3.4	.79	.70	.62	.54	.48	.43	.38	.34	.30	.27	.71	.64	.56	.49	.44	.39	.34	.32	.27	.24	.24	.64	.57	.50	.45	.39	.35	.29	.27	.24	.22	.57	.51	.45	.40	.35	.30	.26	.23	.20	.17	.50	.44	.39	.35	.30	.26	.22	.19	.17	.15	
	3.6	.78	.69	.61	.53	.47	.42	.36	.32	.28	.25	.71	.63	.54	.48	.43	.38	.32	.30	.25	.23	.23	.63	.56	.49	.44	.38	.33	.28	.25	.22	.20	.57	.50	.44	.39	.34	.29	.25	.22	.19	.16	.50	.44	.39	.34	.29	.25	.21	.18	.16	.14	
	3.8	.78	.69	.60	.51	.45	.40	.35	.31	.27	.23	.70	.62	.53	.47	.41	.36	.31	.28	.24	.22	.22	.63	.56	.49	.43	.37	.32	.27	.24	.21	.19	.57	.50	.43	.38	.33	.29	.24	.21	.19	.15	.50	.44	.38	.34	.29	.25	.21	.17	.15	.13	
	4.0	.77	.69	.58	.51	.44	.39	.33	.29	.25	.22	.70	.61	.53	.46	.40	.35	.30	.26	.22	.20	.20	.63	.55	.48	.42	.36	.31	.26	.23	.20	.17	.57	.49	.42	.37	.32	.28	.23	.20	.18	.14	.50	.44	.38	.33	.28	.24	.20	.17	.15	.12	
	4.2	.77	.62	.57	.50	.43	.37	.32	.28	.24	.21	.69	.60	.52	.45	.39	.34	.29	.25	.21	.18	.18	.62	.55	.47	.41	.35	.30	.25	.22	.19	.16	.56	.49	.42	.37	.32	.27	.22	.19	.17	.14	.50	.43	.37	.32	.28	.24	.20	.17	.14	.12	
	4.4	.76	.61	.56	.49	.42	.36	.31	.27	.23	.20	.69	.60	.51	.44	.38	.33	.28	.24	.20	.17	.17	.62	.54	.46	.40	.34	.29	.24	.21	.18	.15	.56	.49	.42	.36	.31	.27	.22	.19	.16	.13	.50	.43	.37	.32	.27	.23	.19	.16	.13	.11	
	4.6	.76	.60	.55	.47	.40	.35	.30	.26	.22	.19	.69	.59	.50	.43	.37	.32	.27	.23	.19	.15	.15	.62	.53	.45	.39	.33	.28	.24	.21	.17	.14	.56	.49	.41	.35	.30	.26	.21	.18	.16	.13	.50	.43	.36	.31	.26	.22	.18	.15	.13	.10	
	4.8	.75	.59	.54	.46	.39	.34	.28	.25	.21	.18	.68	.58	.49	.42	.36	.31	.26	.22	.18	.14	.14	.62	.53	.45	.38	.32	.27	.23	.20	.16	.13	.56	.48	.41	.34	.29	.25	.21	.18	.15	.12	.50	.43	.36	.31	.26	.22	.18	.15	.13	.10	
	5.0	.75	.59	.53	.45	.38	.33	.28	.24	.20	.16	.68	.58	.48	.41	.35	.30	.25	.21	.18	.14	.14	.61	.52	.44	.36	.31	.26	.22	.19	.16	.12	.56	.48	.40	.34	.28	.24	.20	.17	.14	.11	.50	.42	.35	.30	.25	.21	.17	.14	.12	.09	
	6.0	.73	.61	.49	.41	.34	.29	.24	.20	.16	.11	.66	.55	.44	.38	.31	.27	.22	.19	.15	.10	.10	.60	.51	.41	.35	.28	.24	.19	.16	.13	.10	.56	.45	.37	.31	.25	.21	.17	.14	.11	.07	.50	.42	.34	.29	.23	.19	.15	.13	.10	.06	
	7.0	.70	.58	.45	.38	.30	.27	.21	.18	.14	.08	.64	.53	.41	.35	.28	.24	.19	.16	.12	.07	.07	.58	.48	.38	.32	.26	.22	.17	.14	.11	.06	.54	.43	.35	.30	.24	.20	.15	.12	.09	.05	.49	.41	.32	.27	.21	.18	.14	.11	.08	.05	
	8.0	.68	.55	.42	.35	.27	.23	.18	.15	.12	.06	.62	.50	.38	.32	.25	.21	.17	.14	.11	.05	.05	.57	.46	.35	.29	.23	.19	.15	.13	.10	.05	.53	.42	.33	.28	.22	.18	.14	.11	.08	.04	.49	.40	.30	.25	.19	.16	.12	.10	.07	.03	
	9.0	.66	.52	.38	.31	.25	.21	.16	.14	.11	.05	.61	.49	.36	.30	.23	.19	.15	.13	.10	.04	.04	.56	.45	.33	.27	.21	.18	.14	.12	.09	.04	.52	.40	.31	.26	.20	.16	.12	.10	.07	.03	.48	.39	.29	.24	.18	.15	.11	.09	.07	.03	
	10.0	.65	.51	.36	.29	.22	.19	.15	.11	.09	.04	.59	.46	.33	.27	.21	.18	.14	.11	.08	.03	.03	.55	.43	.31	.25	.19	.16	.12	.10	.08	.03	.51	.39	.29	.24	.18	.15	.11	.09													

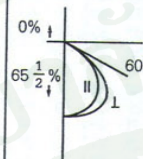
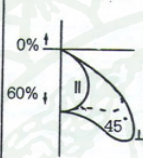
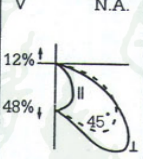
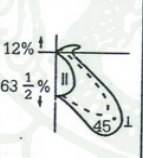
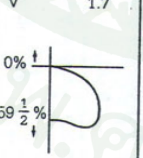
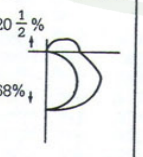
ที่มา: Kaufman (1981)

1) ใช้ตัวย่อว่า p_c, p_f 2) ใช้ตัวย่อว่า p_w 3) ใช้ตัวย่อว่า CCR, FCR

ตารางผนวกที่ ข2 ข้อมูลสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่างๆ

ลักษณะของดวงโคม	ลักษณะการกระจาย ความเข้มแสงและอัตรา ส่วนลูเมนของหลอดไฟ	P_{oc} P_w	80					70					50					30					10					0		
			50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10							
			ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิภาพของการสะท้อนแสง ของโพรทพื้นที่ค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซนต์ ($p_{ic} = 20$)																											
ประเภท ของ ดวงโคม	SC*	RCR																												
25		II 1.3 22 1/2 % 65 %	0	.99	.99	.99	.94	.94	.94	.85	.85	.85	.77	.77	.77	.69	.69	.69	.65											
			1	.88	.85	.82	.84	.81	.78	.76	.74	.72	.69	.67	.66	.62	.61	.60	.57											
			2	.78	.73	.69	.74	.70	.66	.68	.64	.61	.62	.59	.56	.56	.54	.52	.49											
			3	.70	.63	.58	.67	.61	.57	.61	.56	.53	.56	.52	.49	.51	.48	.46	.43											
			4	.62	.55	.50	.60	.53	.49	.55	.50	.46	.50	.46	.43	.46	.43	.40	.37											
			5	.58	.48	.43	.53	.47	.42	.49	.44	.39	.45	.41	.37	.41	.38	.35	.32											
			6	.50	.43	.38	.48	.41	.37	.44	.39	.35	.41	.36	.33	.37	.34	.31	.29											
			7	.45	.38	.33	.43	.37	.32	.40	.34	.30	.37	.32	.29	.34	.30	.27	.25											
			8	.40	.34	.29	.39	.32	.28	.36	.30	.27	.33	.28	.25	.31	.27	.24	.22											
			9	.36	.30	.25	.35	.29	.24	.32	.27	.23	.30	.25	.22	.28	.24	.22	.19											
			10	.33	.27	.22	.32	.26	.22	.29	.24	.20	.27	.23	.19	.25	.21	.18	.17											
26		II 1.5/1.3 17 % 66 %	0	.95	.95	.95	.91	.91	.91	.83	.83	.83	.76	.76	.76	.69	.69	.69	.65											
			1	.85	.82	.80	.82	.79	.77	.75	.73	.72	.69	.67	.66	.64	.63	.62	.60											
			2	.76	.72	.68	.74	.70	.66	.68	.65	.62	.63	.61	.58	.58	.56	.55	.52											
			3	.69	.63	.59	.66	.61	.57	.62	.58	.54	.57	.54	.51	.51	.49	.48	.46											
			4	.62	.56	.51	.60	.54	.50	.56	.51	.47	.52	.48	.45	.48	.45	.43	.41											
			5	.55	.49	.44	.53	.48	.43	.50	.45	.41	.47	.43	.41	.44	.40	.38	.36											
			6	.50	.43	.39	.48	.42	.38	.45	.40	.36	.42	.38	.35	.40	.36	.33	.31											
			7	.45	.38	.34	.43	.37	.33	.41	.36	.32	.38	.34	.30	.36	.32	.29	.27											
			8	.40	.34	.29	.39	.33	.29	.37	.31	.28	.34	.30	.26	.32	.28	.25	.24											
			9	.36	.30	.25	.35	.29	.25	.33	.28	.24	.31	.26	.23	.29	.25	.22	.20											
			10	.33	.26	.22	.32	.26	.22	.30	.25	.21	.28	.23	.20	.26	.22	.19	.18											
27		II 1.0 23 1/2 % 57 %	0	.91	.91	.91	.86	.86	.86	.77	.77	.77	.68	.68	.68	.61	.61	.61	.57											
			1	.81	.78	.76	.77	.74	.72	.69	.67	.66	.62	.61	.59	.56	.55	.54	.51											
			2	.72	.68	.64	.69	.65	.61	.62	.59	.57	.56	.54	.52	.51	.49	.47	.45											
			3	.65	.59	.55	.62	.57	.53	.56	.52	.49	.51	.48	.45	.46	.44	.42	.39											
			4	.58	.52	.48	.56	.50	.46	.51	.46	.43	.46	.43	.40	.42	.39	.37	.35											
			5	.52	.46	.41	.50	.44	.40	.46	.41	.37	.42	.38	.35	.38	.35	.33	.30											
			6	.47	.41	.36	.45	.39	.35	.41	.37	.33	.38	.34	.31	.35	.31	.29	.27											
			7	.43	.36	.32	.41	.35	.31	.38	.33	.29	.34	.30	.27	.32	.28	.26	.24											
			8	.38	.32	.28	.37	.31	.27	.34	.29	.26	.31	.27	.24	.29	.26	.23	.21											
			9	.35	.29	.24	.33	.28	.24	.31	.26	.22	.28	.24	.21	.26	.22	.20	.18											
			10	.32	.26	.22	.30	.25	.21	.28	.23	.20	.26	.22	.19	.24	.20	.18	.16											
28		II 1.5/1.1 17 % 56 1/2 %	0	.83	.83	.83	.79	.79	.79	.72	.72	.72	.65	.65	.65	.59	.59	.59	.56											
			1	.75	.72	.70	.72	.69	.67	.65	.64	.62	.60	.59	.58	.55	.54	.53	.50											
			2	.67	.63	.60	.65	.61	.58	.59	.57	.54	.55	.53	.51	.50	.49	.47	.45											
			3	.61	.56	.52	.58	.54	.51	.54	.50	.48	.50	.47	.45	.46	.44	.42	.40											
			4	.55	.49	.45	.53	.48	.44	.49	.45	.42	.45	.42	.40	.42	.39	.37	.36											
			5	.49	.44	.40	.47	.42	.39	.44	.40	.37	.41	.38	.35	.38	.35	.33	.31											
			6	.45	.39	.35	.43	.38	.34	.40	.36	.33	.37	.34	.31	.35	.32	.30	.28											
			7	.40	.35	.31	.39	.34	.30	.36	.32	.29	.34	.30	.27	.32	.29	.26	.24											
			8	.36	.31	.27	.35	.30	.26	.33	.28	.25	.31	.27	.24	.29	.25	.23	.21											
			9	.33	.27	.23	.32	.26	.23	.29	.25	.22	.28	.24	.21	.26	.22	.20	.19											
			10	.30	.24	.21	.29	.24	.20	.27	.22	.19	.25	.21	.19	.23	.20	.18	.16											
29		II 1.1 39 % 32 %	0	.75	.75	.75	.69	.69	.69	.57	.57	.57	.46	.46	.46	.37	.37	.37	.32											
			1	.67	.64	.62	.61	.59	.57	.51	.50	.49	.42	.41	.40	.34	.33	.32	.29											
			2	.59	.55	.52	.55	.51	.49	.46	.44	.42	.38	.36	.35	.31	.30	.29	.25											
			3	.53	.48	.45	.49	.45	.42	.41	.39	.36	.35	.32	.31	.28	.27	.26	.23											
			4	.47	.42	.39	.44	.40	.36	.37	.34	.32	.31	.29	.27	.26	.24	.23	.20											
			5	.43	.37	.33	.40	.35	.31	.34	.30	.28	.28	.26	.24	.23	.22	.20	.18											
			6	.39	.33	.29	.36	.31	.28	.31	.27	.25	.26	.23	.21	.22	.20	.18	.16											
			7	.35	.30	.26	.33	.28	.25	.28	.24	.22	.24	.21	.19	.20	.18	.16	.15											
			8	.32	.26	.23	.30	.25	.22	.25	.22	.20	.22	.19	.17	.18	.16	.15	.13											
			9	.29	.24	.20	.27	.22	.19	.23	.20	.17	.20	.17	.15	.16	.15	.13	.12											
			10	.26	.21	.18	.25	.20	.17	.21	.18	.15	.18	.15	.14	.15	.13	.12	.10											
30		IV 1.0 6 % 46 %	0	.61	.61	.61	.58	.58	.58	.55	.55	.55	.51	.51	.51	.48	.48	.48	.46											
			1	.54	.52	.51	.52	.51	.49	.49	.48	.47	.46	.45	.44	.43	.43	.42	.40											
			2	.48	.46	.43	.47	.44	.42	.44	.42	.40	.42	.40	.38	.39	.38	.37	.35											
			3	.44	.40	.37	.43	.39	.37	.40	.38	.35	.38	.36	.34	.36	.34	.33	.31											
			4	.40	.36	.33	.39	.35	.32	.37	.34	.31	.35	.32	.30	.33	.31	.29	.28											
			5	.36	.32	.29	.35	.31	.28	.33	.30	.28	.32	.29	.27	.30	.28	.26	.25											
			6	.33	.29	.26	.32	.28	.25	.30	.27	.25	.29	.26	.24	.28	.25	.23	.22											
			7	.30	.26	.23	.29	.25	.23	.28	.25	.22	.27	.24	.22	.26	.23	.21	.20											
			8	.27	.23	.20	.27	.23	.20	.25	.22	.20	.24	.21	.19	.23	.21	.19	.18											
			9	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.23	.20	.18	.22	.19	.17	.21	.19	.17	.16											

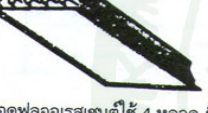
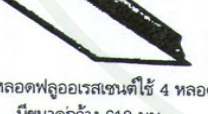
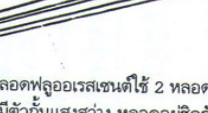
ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ลักษณะของดวงโคมไฟฟ้า	ลักษณะการกระจาย ความเข้มแสงและอัตรา ส่วนลูเมนของหลอดไฟ	$\rho_{cc} \rightarrow$ $\rho_w \rightarrow$	80			70			50			30			10			0
			50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
			ประเภท ของ ดวงโคม	SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิภาพการสะท้อนแสงสว่าง ของโพรพอนมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซนต์ ($\rho_{fc} = 20$)												
43		V 1.4/1.3 	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	.78 .78 .78 .71 .69 .67 .64 .61 .58 .58 .54 .51 .53 .48 .45 .48 .43 .39 .43 .38 .35 .39 .34 .30 .35 .30 .26 .31 .26 .23 .28 .24 .20	.76 .76 .76 .70 .68 .65 .63 .60 .58 .58 .54 .51 .51 .47 .44 .46 .42 .39 .42 .37 .34 .38 .33 .30 .34 .29 .26 .30 .26 .23 .28 .23 .20	.73 .73 .73 .67 .65 .64 .61 .59 .56 .56 .52 .50 .51 .47 .44 .46 .42 .39 .42 .37 .34 .38 .33 .30 .34 .29 .26 .30 .26 .23 .28 .23 .20	.70 .70 .70 .64 .63 .62 .59 .57 .55 .54 .51 .49 .49 .46 .43 .45 .41 .38 .40 .37 .34 .37 .33 .30 .33 .29 .26 .30 .26 .23 .27 .23 .20	.67 .67 .67 .62 .61 .60 .57 .55 .54 .52 .50 .48 .48 .45 .43 .43 .40 .38 .40 .36 .34 .36 .32 .30 .32 .29 .26 .29 .25 .23 .26 .23 .20	.66 .59 .53 .47 .42 .37 .32 .28 .25 .21 .19									
โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอด มีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงสว่าง แบบเกล็ดแก้วเรียบความสว่างต่ำ																		
44		IV N.A. 	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	.71 .71 .71 .65 .63 .61 .59 .55 .53 .53 .49 .46 .47 .43 .40 .42 .38 .34 .38 .33 .30 .34 .29 .26 .30 .25 .22 .27 .22 .18 .24 .19 .16	.70 .70 .70 .63 .62 .60 .58 .55 .52 .52 .48 .45 .47 .43 .40 .42 .37 .34 .38 .33 .30 .33 .29 .26 .30 .25 .22 .26 .21 .18 .24 .19 .16	.66 .66 .66 .61 .59 .58 .55 .53 .51 .50 .47 .45 .45 .42 .39 .41 .37 .34 .37 .33 .30 .33 .28 .25 .29 .25 .22 .26 .21 .18 .23 .19 .16	.64 .64 .64 .59 .57 .56 .54 .52 .50 .49 .46 .44 .44 .41 .39 .40 .36 .34 .36 .32 .29 .32 .28 .25 .28 .24 .22 .25 .21 .18 .22 .19 .16	.61 .61 .61 .57 .56 .55 .52 .50 .49 .47 .45 .43 .43 .40 .38 .39 .36 .33 .35 .32 .29 .32 .28 .25 .27 .24 .21 .24 .21 .18 .22 .18 .15	.60 .54 .48 .42 .37 .32 .28 .24 .20 .17 .15									
โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีการกระจายแสงสว่างเป็นแบบปีกค้างคาว																		
45		V N.A. 	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	.57 .57 .57 .44 .41 .38 .39 .35 .32 .34 .30 .27 .30 .25 .22 .26 .22 .19 .23 .19 .16 .21 .16 .13 .18 .14 .11 .16 .12 .09	.56 .56 .56 .43 .40 .38 .38 .34 .31 .33 .29 .26 .28 .24 .22 .25 .21 .18 .23 .19 .16 .19 .16 .13 .17 .14 .11 .16 .12 .09	.53 .53 .53 .41 .39 .37 .37 .33 .31 .32 .29 .26 .28 .24 .22 .25 .21 .18 .22 .18 .16 .19 .16 .13 .17 .14 .11 .16 .12 .09	.51 .51 .51 .45 .44 .43 .40 .38 .36 .35 .33 .30 .31 .28 .26 .27 .24 .21 .24 .21 .18 .21 .18 .15 .19 .15 .13 .17 .13 .11 .15 .12 .09	.49 .49 .49 .44 .43 .42 .38 .37 .35 .34 .32 .30 .30 .27 .25 .26 .23 .21 .23 .20 .18 .21 .18 .15 .18 .15 .13 .16 .13 .11 .15 .12 .09	.48 .41 .34 .29 .24 .20 .17 .14 .12 .10 .08									
โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอด มีขนาด กว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงแบบเกล็ดแก้ว เรียบกระจายแสงสว่างแบบปีกค้างคาว																		
46		V N.A. 	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	.87 .87 .87 .76 .73 .70 .66 .61 .57 .59 .53 .48 .52 .45 .40 .46 .38 .34 .41 .34 .29 .36 .30 .25 .32 .26 .21 .29 .22 .18 .26 .20 .16	.84 .84 .84 .73 .70 .67 .64 .59 .56 .56 .51 .47 .50 .44 .40 .44 .38 .33 .39 .33 .29 .35 .29 .24 .31 .25 .21 .28 .22 .18 .25 .19 .15	.77 .77 .77 .67 .65 .63 .59 .56 .52 .53 .48 .44 .47 .42 .38 .41 .36 .32 .37 .31 .27 .33 .27 .23 .29 .24 .20 .26 .21 .17 .23 .18 .15	.72 .72 .72 .63 .61 .59 .55 .52 .49 .49 .45 .42 .44 .39 .36 .38 .34 .31 .34 .30 .26 .31 .26 .23 .27 .23 .19 .24 .20 .16 .22 .17 .14	.66 .66 .66 .58 .57 .55 .51 .49 .47 .46 .43 .40 .41 .37 .34 .36 .32 .29 .32 .28 .25 .29 .25 .22 .26 .21 .18 .23 .19 .15 .20 .16 .13	.64 .53 .44 .38 .32 .27 .23 .20 .17 .14 .12									
โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ ใช้มีแผ่นกรองแสงสว่างแบบเกล็ดแก้วหุ้ม รอบด้านเปิดหัว-ท้าย																		
47		V 1.7 	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	.71 .71 .71 .62 .60 .58 .55 .51 .47 .48 .43 .39 .42 .37 .33 .37 .32 .27 .33 .27 .23 .29 .24 .20 .26 .21 .17 .23 .18 .14 .21 .16 .12	.69 .69 .69 .61 .59 .57 .53 .50 .47 .47 .43 .39 .41 .37 .33 .36 .31 .27 .32 .27 .23 .28 .23 .20 .25 .20 .17 .22 .17 .14 .20 .15 .12	.66 .66 .66 .59 .57 .55 .51 .48 .46 .45 .41 .38 .40 .36 .32 .35 .30 .27 .31 .26 .23 .28 .23 .20 .25 .20 .17 .22 .17 .14 .20 .15 .12	.63 .63 .63 .56 .55 .53 .49 .47 .45 .44 .40 .38 .39 .35 .32 .34 .30 .27 .30 .26 .23 .27 .23 .20 .24 .20 .17 .21 .17 .14 .19 .15 .12	.61 .61 .61 .54 .53 .52 .48 .45 .44 .42 .39 .37 .37 .34 .31 .33 .29 .26 .29 .25 .23 .26 .22 .19 .23 .21 .16 .21 .17 .14 .19 .15 .12	.60 .51 .42 .36 .30 .25 .21 .18 .15 .13 .11									
โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 4 หลอด มีขนาดกว้าง 610 มม. มีแผ่นกรองแสงสว่างแบบเกล็ดแก้วเรียบ																		
48		I 1.6/1.2 	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1.01 1.01 1.01 .85 .84 .77 .73 .66 .61 .63 .56 .50 .56 .47 .41 .49 .40 .34 .43 .35 .29 .39 .31 .25 .34 .27 .21 .31 .23 .18 .28 .21 .16	.96 .96 .96 .81 .77 .73 .69 .63 .58 .60 .53 .48 .53 .46 .40 .46 .39 .33 .41 .34 .28 .37 .29 .24 .33 .26 .21 .30 .23 .18 .27 .20 .16	.87 .87 .87 .73 .70 .67 .63 .58 .54 .55 .49 .44 .48 .42 .37 .42 .36 .31 .38 .34 .26 .34 .27 .23 .30 .24 .19 .27 .21 .17 .25 .19 .15	.79 .79 .79 .66 .64 .62 .57 .53 .50 .50 .45 .41 .44 .39 .34 .38 .33 .29 .34 .29 .24 .31 .25 .21 .27 .22 .18 .25 .19 .15 .22 .17 .14	.72 .72 .72 .60 .58 .56 .51 .48 .45 .45 .41 .38 .40 .35 .32 .35 .30 .26 .31 .26 .23 .28 .23 .19 .25 .20 .17 .22 .18 .15 .20 .16 .13	.68 .53 .42 .35 .29 .24 .20 .17 .15 .12 .11									
โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด แบบไม่มีตัวกันแสงสว่าง หลอดอยู่ชิดกัน																		

$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคมไฟฟ้า}}{\text{ความสูงของดวงโคมไฟฟ้าเหนือพื้นงาน}}$$

ที่มา: Kaufman (1981)

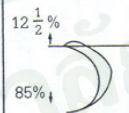
ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

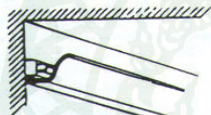
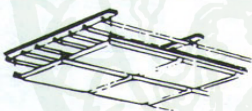
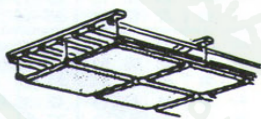
ลักษณะของดวงโคมไฟฟ้า	ลักษณะการกระจาย ความเข้มแสงและอัตรา ส่วนลูเมนของหลอดไฟ	ρ_{cc} ρ_w	80			70			50			30			10			0	
			50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0	
			ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการสะท้อนแสงสว่าง ของโคมไฟที่มีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซนต์ ($\rho_{fc} = 20$)																
ประเภท ของ ดวงโคม	SC*	RCR ↓																	
43		V 1.4/1.3	0	.78	.78	.78	.76	.76	.76	.73	.73	.73	.70	.70	.70	.67	.67	.67	.66
			1	.71	.69	.67	.70	.68	.65	.67	.65	.64	.64	.63	.62	.62	.61	.60	.59
			2	.64	.61	.58	.63	.60	.58	.61	.59	.56	.59	.57	.55	.57	.55	.54	.53
			3	.58	.54	.51	.58	.54	.51	.56	.52	.50	.54	.51	.49	.52	.50	.48	.47
			4	.53	.48	.45	.52	.48	.44	.51	.47	.44	.49	.46	.43	.48	.45	.43	.42
			5	.48	.43	.39	.47	.42	.39	.46	.42	.39	.45	.41	.38	.43	.40	.38	.37
			6	.43	.38	.35	.43	.38	.34	.42	.37	.34	.40	.37	.34	.40	.36	.34	.32
			7	.39	.34	.30	.38	.34	.30	.38	.33	.30	.37	.33	.30	.36	.32	.30	.28
			8	.35	.30	.26	.35	.30	.26	.34	.29	.26	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.25
			9	.31	.26	.23	.31	.26	.23	.30	.26	.23	.30	.26	.23	.29	.25	.23	.21
			10	.28	.24	.20	.28	.23	.20	.28	.23	.20	.27	.23	.20	.26	.23	.20	.19
44		IV N.A.	0	.71	.71	.71	.70	.70	.70	.66	.66	.66	.64	.64	.64	.61	.61	.61	.60
			1	.65	.63	.61	.63	.62	.60	.61	.59	.58	.59	.57	.56	.57	.56	.55	.54
			2	.59	.55	.53	.58	.55	.52	.55	.53	.51	.54	.52	.50	.52	.50	.49	.48
			3	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.50	.47	.45	.49	.46	.44	.47	.45	.43	.42
			4	.47	.43	.40	.47	.43	.40	.45	.42	.39	.44	.41	.39	.43	.40	.38	.37
			5	.42	.38	.34	.42	.37	.34	.41	.37	.34	.40	.36	.34	.39	.36	.33	.32
			6	.38	.33	.30	.38	.33	.30	.37	.33	.30	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.28
			7	.34	.29	.26	.33	.29	.26	.33	.28	.25	.32	.28	.25	.32	.28	.25	.24
			8	.30	.25	.22	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.24	.22	.27	.24	.21	.20
			9	.27	.22	.18	.26	.22	.18	.26	.21	.18	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.17
			10	.24	.19	.16	.24	.19	.16	.23	.19	.16	.22	.19	.16	.22	.18	.16	.15
45		V N.A.	0	.57	.57	.57	.56	.56	.56	.53	.53	.53	.51	.51	.51	.49	.49	.49	.48
			1	.50	.48	.47	.49	.47	.46	.47	.46	.44	.45	.44	.43	.44	.43	.42	.41
			2	.44	.41	.38	.43	.40	.38	.41	.39	.37	.40	.38	.36	.38	.37	.35	.34
			3	.39	.35	.32	.38	.34	.31	.37	.33	.31	.35	.33	.30	.34	.32	.30	.29
			4	.34	.30	.27	.33	.29	.25	.32	.29	.26	.31	.28	.26	.30	.27	.25	.24
			5	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.24	.22	.27	.24	.21	.26	.23	.21	.20
			6	.26	.22	.19	.26	.22	.18	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.23	.20	.18	.17
			7	.23	.19	.16	.23	.19	.16	.22	.18	.16	.21	.18	.15	.21	.18	.15	.14
			8	.21	.16	.13	.20	.16	.13	.19	.16	.13	.19	.15	.13	.18	.15	.13	.12
			9	.18	.14	.11	.18	.14	.11	.17	.14	.11	.17	.13	.11	.16	.13	.11	.10
			10	.16	.12	.09	.16	.12	.09	.16	.12	.09	.15	.12	.09	.15	.12	.09	.08
46		V N.A.	0	.87	.87	.87	.84	.84	.84	.77	.77	.77	.72	.72	.72	.66	.66	.66	.64
			1	.76	.73	.70	.73	.70	.67	.67	.65	.63	.63	.61	.59	.58	.57	.55	.53
			2	.66	.61	.57	.64	.59	.56	.59	.56	.52	.55	.52	.49	.51	.49	.47	.44
			3	.59	.53	.48	.56	.51	.47	.53	.48	.44	.49	.45	.42	.46	.43	.40	.38
			4	.52	.45	.40	.50	.44	.40	.47	.42	.38	.44	.39	.36	.41	.37	.34	.32
			5	.46	.38	.34	.44	.38	.33	.41	.36	.32	.38	.34	.31	.36	.32	.29	.27
			6	.41	.34	.29	.39	.33	.29	.37	.31	.27	.34	.30	.26	.32	.28	.25	.23
			7	.36	.30	.25	.35	.29	.24	.33	.27	.23	.31	.26	.23	.29	.25	.22	.20
			8	.32	.26	.21	.31	.25	.21	.29	.24	.20	.27	.23	.19	.26	.21	.18	.17
			9	.29	.22	.18	.28	.22	.18	.26	.21	.17	.24	.20	.16	.23	.19	.15	.14
			10	.26	.20	.16	.25	.19	.15	.23	.18	.15	.22	.17	.14	.20	.16	.13	.12
47		V 1.7	0	.71	.71	.71	.69	.69	.69	.66	.66	.66	.63	.63	.63	.61	.61	.61	.60
			1	.62	.60	.58	.61	.59	.57	.59	.57	.55	.56	.55	.53	.54	.53	.52	.51
			2	.55	.51	.47	.53	.50	.47	.51	.48	.46	.49	.47	.45	.48	.45	.44	.42
			3	.48	.43	.39	.47	.43	.39	.45	.41	.38	.44	.40	.38	.42	.39	.37	.36
			4	.42	.37	.33	.41	.37	.33	.40	.36	.32	.39	.35	.32	.37	.34	.31	.30
			5	.37	.32	.27	.36	.31	.27	.35	.30	.27	.34	.30	.27	.33	.29	.26	.25
			6	.33	.27	.23	.32	.27	.23	.31	.26	.23	.30	.26	.23	.29	.25	.23	.21
			7	.29	.24	.20	.29	.24	.20	.28	.23	.20	.27	.23	.20	.26	.22	.19	.18
			8	.26	.21	.17	.25	.20	.17	.25	.20	.17	.24	.20	.17	.23	.21	.16	.15
			9	.23	.18	.14	.23	.18	.14	.22	.17	.14	.21	.17	.14	.21	.17	.14	.13
			10	.21	.16	.12	.20	.16	.12	.20	.15	.12	.19	.15	.12	.19	.15	.12	.11
48		I 1.6/1.2	0	1.01	1.01	1.01	.96	.96	.96	.87	.87	.87	.79	.79	.79	.72	.72	.72	.68
			1	.85	.84	.77	.81	.77	.73	.73	.70	.67	.66	.64	.62	.60	.58	.56	.53
			2	.73	.66	.61	.69	.63	.58	.63	.58	.54	.57	.53	.50	.51	.48	.45	.42
			3	.63	.56	.50	.60	.53	.48	.55	.49	.44	.50	.45	.41	.45	.41	.38	.35
			4	.56	.47	.41	.53	.46	.40	.48	.42	.37	.44	.39	.34	.40	.35	.32	.29
			5	.49	.40	.34	.46	.39	.33	.42	.36	.31	.38	.33	.29	.35	.30	.26	.24
			6	.43	.35	.29	.41	.34	.28	.38	.34	.26	.34	.29	.24	.31	.26	.23	.20
			7	.39	.31	.25	.37	.29	.24	.34	.27	.23	.31	.25	.21	.28	.23	.19	.17
			8	.34	.27	.21	.33	.26	.21	.30	.24	.19	.27	.22	.18	.25	.20	.17	.15
			9	.31	.23	.18	.30	.23	.18	.27	.21	.17	.25	.19	.15	.22	.18	.14	.12
			10	.28	.21	.16	.27	.20	.16	.25	.19	.15	.22	.17	.14	.20	.16	.13	.11

$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคมไฟฟ้า}}{\text{ความสูงของดวงโคมไฟฟ้าเหนือพื้นงาน}}$$

ที่มา: Kaufman (1981)

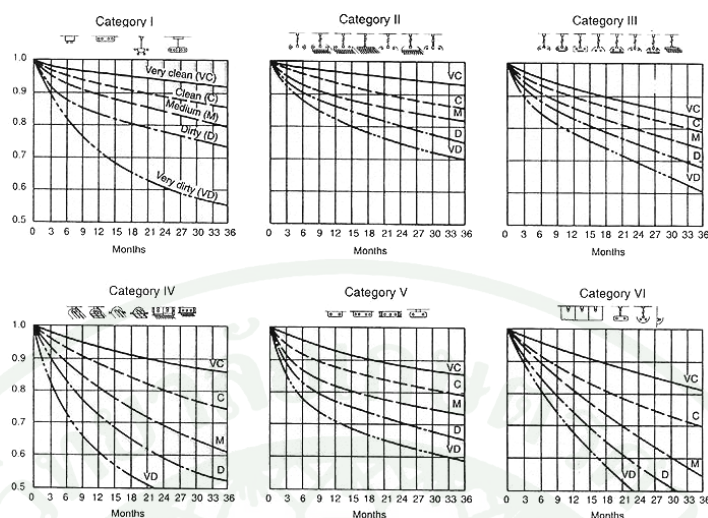
ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ลักษณะของดวงโคมไฟฟ้า	ลักษณะการกระจาย ความเข้มแสงและอัตรา ส่วนลูเมนของหลอดไฟ	$\rho_{cc} \rightarrow$																$\rho_w \rightarrow$																																																																																													
		80																70																50																30																10																0																													
		50 30 10																50 30 10																50 30 10																50 30 10																50 30 10																50 30 10																0													
ประเภท ของ ดวงโคม	SC*	RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิภาพการสะท้อนแสงสว่าง ของโพรพอร์ชั่นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซนต์ ($\rho_{fc} = 20$)																																																																																																												
 โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ 2 หลอด ไม่มีตัวกันแสงสว่าง มีมุมกระจายแสง 235° หลอดอยู่ชิดกัน		I	1.13	1.13	1.13	1.09	1.09	1.09	1.01	1.01	1.01	.94	.94	.94	.88	.88	.88	.85																																																																																													
		0	.96	.92	.88	.93	.89	.85	.87	.83	.80	.81	.78	.75	.75	.73	.71	.68																																																																																													
		1	.83	.76	.70	.80	.74	.68	.75	.69	.65	.70	.65	.61	.65	.61	.58	.55																																																																																													
		2	.73	.65	.58	.70	.63	.57	.66	.59	.54	.61	.56	.52	.57	.53	.49	.46																																																																																													
		3	.64	.55	.49	.62	.54	.48	.58	.51	.46	.54	.48	.44	.51	.46	.42	.39																																																																																													
		4	.56	.47	.41	.55	.46	.40	.51	.44	.38	.48	.42	.37	.45	.39	.35	.33																																																																																													
		5	.50	.41	.35	.49	.40	.34	.46	.38	.33	.43	.36	.32	.40	.35	.32	.28																																																																																													
		6	.45	.36	.30	.44	.35	.30	.41	.34	.28	.38	.32	.27	.36	.31	.26	.24																																																																																													
		7	.40	.32	.25	.39	.31	.25	.37	.30	.25	.35	.28	.24	.33	.27	.23	.21																																																																																													
		8	.36	.28	.22	.35	.27	.22	.33	.26	.21	.31	.25	.20	.29	.24	.20	.18																																																																																													
		9	.33	.25	.20	.32	.24	.19	.30	.23	.19	.28	.22	.18	.27	.21	.17	.15																																																																																													

ลักษณะของดวงโคมไฟฟ้า		$\rho_{cc} \rightarrow$							$\rho_w \rightarrow$								
		80							70								
		50							30								
		RCR ↓	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์เมื่อค่าประสิทธิภาพการสะท้อนแสงสว่าง ของโพรพอร์ชั่นมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซนต์ ($\rho_{fc} = 20$)														
50		โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดแฉกเดี่ยว พร้อมตัวสะท้อนแสงสว่าง	1	.42	.40	.39	.36	.35	.33	.25	.24	.23					
			2	.37	.34	.32	.32	.29	.27	.22	.20	.19					
			3	.32	.29	.26	.28	.25	.23	.29	.27	.26					
			4	.29	.25	.22	.25	.22	.19	.17	.15	.13					
			5	.25	.21	.18	.22	.19	.16	.15	.13	.11					
			6	.23	.19	.16	.20	.16	.14	.14	.12	.10					
			7	.20	.17	.14	.17	.14	.12	.12	.10	.09					
			8	.18	.15	.12	.16	.13	.10	.11	.09	.08					
			9	.17	.13	.10	.15	.11	.09	.10	.08	.07					
			10	.15	.12	.09	.13	.10	.08	.09	.07	.06					
51		โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีพลาสติก หรือแก้วสะท้อนแสงสว่างประสิทธิภาพของเพดาน 60% แสงสว่างส่งผ่านได้ 50% สะท้อนแสงสว่างได้ 40%	1				.60	.58	.56	.58	.56	.54					
			2				.53	.49	.45	.51	.47	.43					
			3				.47	.42	.37	.45	.41	.36					
			4				.41	.36	.32	.39	.35	.31					
			5				.37	.31	.27	.35	.30	.26					
			6				.33	.27	.23	.31	.26	.23					
			7				.29	.24	.20	.28	.23	.20					
			8				.26	.21	.18	.25	.20	.17					
			9				.23	.19	.15	.23	.18	.15					
			10				.21	.17	.13	.21	.16	.13					
52		โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดมีพลาสติกหรือแก้วสะท้อนแสงสว่าง แบบเกล็ดแก้ว มีประสิทธิภาพของเพดาน 67% แสงสว่างส่งผ่านได้ 72% สะท้อนแสงสว่างได้ 18%	1				.71	.68	.66	.67	.66	.65	.65	.64	.62		
			2				.63	.60	.57	.61	.58	.55	.59	.56	.54		
			3				.57	.53	.49	.55	.52	.48	.54	.50	.47		
			4				.52	.47	.43	.50	.45	.42	.48	.44	.42		
			5				.46	.41	.37	.44	.40	.37	.43	.40	.36		
			6				.42	.37	.33	.41	.36	.32	.40	.35	.32		
			7				.38	.32	.29	.37	.31	.28	.36	.31	.28		
			8				.34	.28	.25	.33	.28	.25	.32	.28	.25		
			9				.30	.25	.22	.30	.25	.21	.29	.25	.21		
			10				.27	.23	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.19		
53		โคมหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีประสิทธิภาพ เพดานการส่องสว่าง 50% สะท้อนแสงสว่างได้ 80%	1							.51	.49	.48			.47	.46	.45
			2							.46	.44	.42			.43	.42	.40
			3							.42	.39	.37			.39	.38	.36
			4							.38	.35	.33			.36	.34	.32
			5							.35	.32	.29			.33	.31	.29
			6							.32	.29	.26			.30	.28	.26
			7							.29	.26	.23			.28	.25	.23
			8							.27	.23	.21			.26	.23	.21
			9							.24	.21	.19			.24	.21	.19
			10							.22	.19	.17			.22	.19	.17

$$SC^* = \frac{S}{MH} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคมไฟฟ้า}}{\text{ความสูงของดวงโคมไฟฟ้าเหนือพื้นงาน}}$$

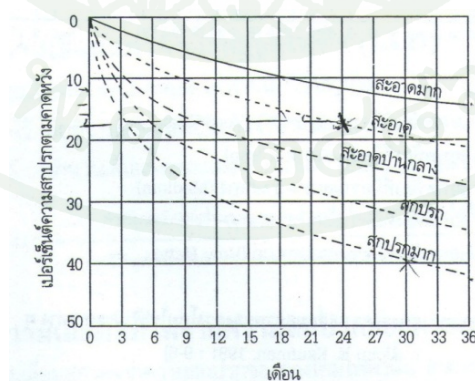
ที่มา: Kaufman (1981)



ภาพผนวกที่ ข1 กราฟแสดงค่าความเสื่อมสภาพของดวงโคมไฟฟ้าประเภทต่างๆ

ที่มา: กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553)

เมื่อ	VC	คือ สภาพห้องที่มีความสะอาดมาก (<i>Very Clean</i>)
	C	คือ สภาพห้องที่มีความสะอาด (<i>Clean</i>)
	M	คือ สภาพห้องที่มีความสะอาดปานกลาง (<i>Medium</i>)
	D	คือ สภาพห้องที่มีความสกปรก (<i>Dirty</i>)
	VD	คือ สภาพห้องที่มีความสกปรกมาก (<i>Very Dirty</i>)



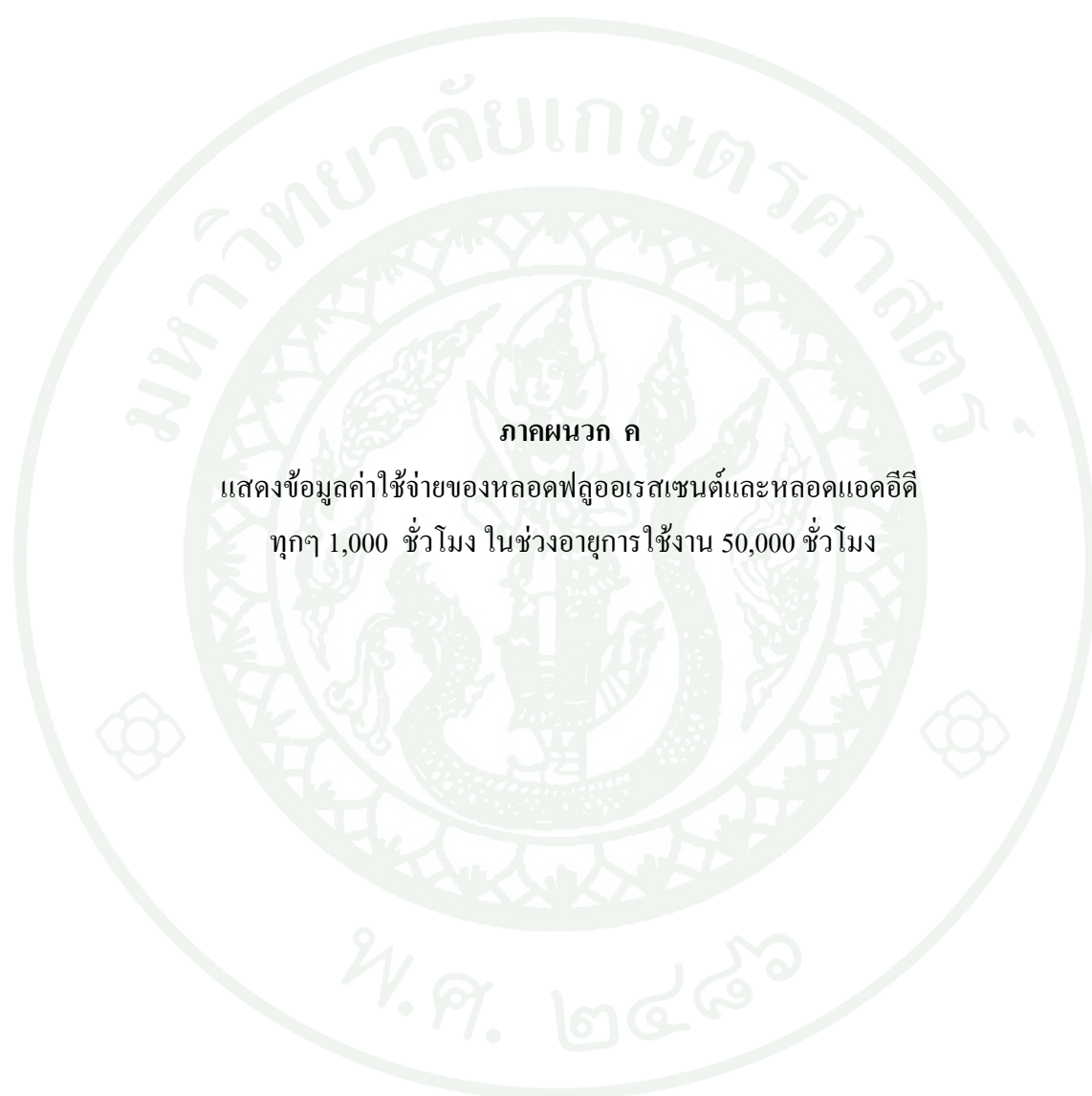
ภาพผนวกที่ ข2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความสกปรกตามคาดหวังของพื้นผิวห้องสกปรก

ที่มา: Kaufman (1981)

ตารางผนวกที่ ๓ ข้อมูลค่าประกอบความเสื่อมสภาพของแสงสว่างจากพื้นผิวห้องสกรปรก

เปอร์เซ็นต์ ความสกปรก ตามคาดหวัง	ชนิดของการกระจายแสงสว่าง																				
	กระจายแสงสว่างลง				กระจายแสงสว่างกึ่งลง				กระจายแสงสว่างขึ้น-ลง				กระจายแสงสว่างกึ่งขึ้น				กระจายแสงสว่างขึ้น				
	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	
อัตราส่วนโพรง ของห้อง (RCR)	1	.98	.96	.94	.92	.97	.92	.89	.84	.94	.87	.80	.76	.94	.87	.80	.73	.90	.80	.70	.60
2	.98	.96	.94	.92	.96	.92	.88	.83	.94	.87	.80	.75	.94	.87	.79	.72	.90	.80	.69	.59	
3	.98	.95	.93	.90	.96	.91	.87	.82	.94	.86	.79	.74	.94	.86	.78	.71	.90	.79	.68	.58	
4	.97	.95	.92	.90	.95	.90	.85	.80	.94	.86	.79	.73	.94	.86	.78	.70	.89	.78	.67	.56	
5	.97	.94	.91	.89	.94	.90	.84	.79	.93	.86	.78	.72	.93	.86	.77	.69	.89	.78	.66	.55	
6	.97	.94	.91	.88	.94	.89	.83	.78	.93	.85	.78	.71	.93	.85	.76	.68	.89	.77	.66	.54	
7	.97	.94	.90	.87	.93	.88	.82	.77	.93	.84	.77	.70	.93	.84	.76	.68	.89	.76	.65	.53	
8	.96	.93	.89	.86	.93	.87	.81	.75	.93	.84	.76	.69	.93	.84	.76	.68	.88	.76	.64	.52	
9	.96	.92	.88	.85	.93	.87	.80	.74	.93	.84	.76	.68	.93	.81	.75	.67	.88	.75	.63	.51	
10	.96	.92	.87	.83	.93	.86	.79	.72	.93	.84	.75	.67	.92	.83	.75	.67	.88	.75	.62	.50	

ที่มา: Kaufman (1981)



ภาคผนวก ก

แสดงข้อมูลค่าใช้จ่ายของหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดแอลอีดี
ทุกๆ 1,000 ชั่วโมง ในช่วงอายุการใช้งาน 50,000 ชั่วโมง

ตารางผนวกที่ ค1 ข้อมูลค่าใช้จ่ายของหลอดไฟลูออเรสเซนต์เมื่อเทียบที่อายุการใช้งาน 50,000 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	Initial Cost			Running Cost		ค่าใช้จ่ายรวม(บาท)	MRR 6%	มูลค่าการลงทุน	ค่าใช้จ่ายรายชั่วโมง
	ค่าหลอดไฟ (บาท)	ค่าบาลาสต์ (บาท)	ค่าซ่อมบำรุง (บาท)	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าใช้ไฟฟ้า (บาท)				
0	121,200.00	366,000.00	1,111.59	-	-	487,200.00	-	487,200.00	-
1000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	3,334.77	824,540.60	824.54
2000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	5,643.79	1,164,190.21	582.10
3000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	7,968.62	1,506,164.65	502.05
4000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	10,309.36	1,850,479.83	462.62
5000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	12,666.11	2,197,151.77	439.43
6000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	15,039.01	2,546,196.60	424.37
7000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	17,428.14	2,897,630.56	413.95
8000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	19,833.62	3,251,470.01	406.43
9000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	22,255.57	3,607,731.41	400.86
10000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	24,694.10	3,966,431.33	396.64
11000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	27,149.32	4,327,586.48	393.42
12000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	29,621.35	4,691,213.65	390.93

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ชั่วโมงที่	Initial Cost			Running Cost		ค่าใช้จ่าย รวม(บาท)	MRR 6%	มูลค่าการ ลงทุน	ค่าใช้จ่ายราย ชั่วโมง
	ค่าหลอดไฟ (บาท)	ค่าบาลาสต์ (บาท)	ค่าซ่อมบำรุง (บาท)	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าใช้ไฟฟ้า (บาท)				
13000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	32,110.29	5,057,329.77	389.03
14000			1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	34,616.28	5425,951.86	387.57
15000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	37,139.41	5797,097.10	386.47
16000	121,200.00	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	455,205.82	39,679.81	6291,982.73	393.25
17000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	43,067.19	6669,055.75	392.30
18000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	45,648.17	7048,709.75	391.59
19000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	48,246.82	7430,962.39	391.10
20000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	50,863.25	7815,831.47	390.79
21000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	53,497.59	8203,334.88	390.63
22000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	56,149.97	8593,490.67	390.61
23000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	58,820.49	8986,316.99	390.71
24000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	61,509.30	9381,832.11	390.91
25000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	64,216.51	9780,054.45	391.20

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ชั่วโมงที่	Initial Cost			Running Cost		ค่าใช้จ่าย รวม(บาท)	MRR 6%	มูลค่าการ ลงทุน	ค่าใช้จ่ายราย ชั่วโมง
	ค่าหลอดไฟ (บาท)	ค่าบาลาสต์ (บาท)	ค่าซ่อมบำรุง (บาท)	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าใช้ไฟฟ้า (บาท)				
26000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	66,942.25	10181,002.53	391.58
27000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	69,686.65	10584,695.00	392.03
28000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	72,449.84	10991,150.66	392.54
29000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	75,231.93	11400,388.42	393.12
30000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	78,033.07	11812,427.32	393.75
31000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	80,853.39	12227,286.52	394.43
32000	121,200.00	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	455,205.82	83,693.00	12766,185.35	398.94
33000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	87,381.64	13187,572.82	399.62
34000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	90,265.94	13611,844.58	400.35
35000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	93,169.99	14039,020.40	401.11
36000	-	366,000.00	1,111.59	73,976.50	332,894.23	700,005.82	96,093.91	14835,120.13	412.09
37000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	101,543.03	15270,668.98	412.72
38000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	104,524.27	15709,199.07	413.40

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ชั่วโมงที่	Initial Cost			Running Cost		ค่าใช้จ่าย รวม(บาท)	MRR 6%	มูลค่าการ ลงทุน	ค่าใช้จ่ายราย ชั่วโมง
	ค่าหลอดไฟ (บาท)	ค่าบาลาสต์ (บาท)	ค่าซ่อมบำรุง (บาท)	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าใช้ไฟฟ้า (บาท)				
39000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	107,525.90	16150,730.80	414.12
40000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	110,548.09	16595,284.71	414.88
41000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	113,590.96	17042,881.49	415.68
42000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	116,654.66	17493,541.97	416.51
43000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	119,739.33	17947,287.12	417.38
44000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	122,845.11	18404,138.06	418.28
45000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	125,972.15	18864,116.03	419.20
46000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	129,120.60	19327,242.45	420.16
47000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	132,290.59	19793,538.86	421.14
48000	121,200.00	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	455,205.82	135,482.28	20384,226.97	424.67
49000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	139,525.41	20857,758.20	425.67
50000	-	-	1,111.59	73,976.50	332,894.23	334,005.82	142,766.62	21334,530.65	426.69

ตารางผนวกที่ ค2 ข้อมูลค่าใช้จ่ายของหลอดแอลอีดีเมื่อเทียบกับอายุการใช้งาน 50,000 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	Initial Cost			Running Cost		ค่าใช้จ่าย รวม(บาท)	MRR 6%	มูลค่าการ ลงทุน	ค่าใช้จ่ายราย ชั่วโมง
	ค่าหลอดไฟ (บาท)	ค่าติดตั้ง (บาท)	ค่าซ่อมบำรุง (บาท)	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าใช้ไฟฟ้า (บาท)				
0	3025,600.00	150,400.00	-	-	-	3176,000.00	-	3176,000.00	-
1000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	21,739.00	3407,919.89	3,407.92
2000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	23,326.44	3641,427.22	1,820.71
3000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	24,924.74	3876,532.85	1,292.18
4000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	26,533.99	4113,247.73	1,028.31
5000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	28,154.25	4351,582.86	870.32
6000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	29,785.60	4591,549.35	765.26
7000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	31,428.11	4833,158.35	690.45
8000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	33,081.87	5076,421.11	634.55
9000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	34,746.95	5321,348.95	591.26
10000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	36,423.43	5567,953.27	556.80
11000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	38,111.38	5816,245.54	528.75
12000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	39,810.88	6066,237.31	505.52

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

ชั่วโมงที่	Initial Cost			Running Cost		ค่าใช้จ่าย รวม(บาท)	MRR 6%	มูลค่าการ ลงทุน	ค่าใช้จ่ายราย ชั่วโมง
	ค่าหลอดไฟ (บาท)	ค่าติดตั้ง (บาท)	ค่าซ่อมบำรุง (บาท)	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าใช้ไฟฟ้า (บาท)				
13000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	41,522.02	6317,940.21	486.00
14000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	43,244.87	6571,365.97	469.38
15000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	44,979.51	6826,526.37	455.10
16000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	46,726.02	7083,433.28	442.71
17000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	48,484.49	7342,098.67	431.89
18000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	50,255.00	7602,534.56	422.36
19000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	52,037.62	7864,753.07	413.93
20000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	53,832.45	8128,766.41	406.44
21000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	55,639.56	8394,586.86	399.74
22000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	57,459.04	8662,226.79	393.74
23000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	59,290.98	8931,698.66	388.33
24000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	61,135.45	9203,015.00	383.46
25000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	62,992.55	9476,188.44	379.05

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

ชั่วโมงที่	Initial Cost		Running Cost			ค่าใช้จ่าย รวม(บาท)	MRR 6%	มูลค่าการ ลงทุน	ค่าใช้จ่าย รายชั่วโมง
	ค่าหลอดไฟ (บาท)	ค่าติดตั้ง (บาท)	ค่าซ่อม บำรุง(บาท)	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าใช้ไฟฟ้า (บาท)				
26000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	64,862.36	9751,231.69	375.05
27000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	66,744.97	10028,157.55	371.41
28000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	68,640.46	10306,978.90	368.11
29000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	70,548.93	10587,708.72	365.09
30000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	72,470.46	10870,360.08	362.35
31000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	74,405.15	11154,946.11	359.84
32000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	76,353.08	11441,480.08	357.55
33000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	78,314.34	11729,975.30	355.45
34000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	80,289.02	12020,445.21	353.54
35000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	82,277.22	12312,903.32	351.80
36000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	84,279.03	12607,363.24	350.20
37000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	86,294.54	12903,838.67	348.75
38000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	88,323.85	13202,343.41	347.43

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

ชั่วโมงที่	Initial Cost			Running Cost		ค่าใช้จ่าย รวม(บาท)	MRR 6%	มูลค่าการ ลงทุน	ค่าใช้จ่ายราย ชั่วโมง
	ค่าหลอดไฟ (บาท)	ค่าติดตั้ง (บาท)	ค่าซ่อมบำรุง (บาท)	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าใช้ไฟฟ้า (บาท)				
39000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	90,367.05	13502,891.35	346.23
40000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	92,424.23	13805,496.46	345.14
41000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	94,495.49	14110,172.84	344.15
42000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	96,580.93	14416,934.67	343.26
43000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	98,680.65	14725,796.20	342.46
44000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	100,794.73	15036,771.83	341.74
45000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	102,923.29	15349,876.01	341.11
46000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	105,066.42	15665,123.32	340.55
47000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	107,224.22	15982,528.42	340.05
48000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	109,396.78	16302,106.09	339.63
49000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	111,584.22	16623,871.20	339.26
50000	-	-	7,246.33	45,096.57	202,934.56	210,180.89	113,786.63	16947,838.72	338.96

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวชิดชนก ประสพสุข
เกิดวันที่	5 พฤษภาคม พ.ศ. 2531
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (พ.ศ. 2554)
ตำแหน่งปัจจุบัน	—
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	—
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	—
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัยประเภทวิทยานิพนธ์ ระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2555