

การศึกษาเปรียบเทียบเครื่องส่งลมเย็นเพื่อควบคุมคุณภาพอากาศ
ที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก



สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Comparative study of Air handling unit for air quality control
using photocatalytic reaction



An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management
Inter-Department of Energy Technology and Management

GRADUATE SCHOOL

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบเครื่องส่งลมเย็นเพื่อควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก
โดย	น.ส.ณัฐกานต์ จันทรมมิน
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ณัฐกานต์ จันทรมนิน : การศึกษาเปรียบเทียบเครื่องส่งลมเย็นเพื่อควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก. (Comparative study of Air handling unit for air quality control using photocatalytic reaction) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.วิทยา ยงเจริญ

ปัจจุบันมีการแพร่ของเชื้อไวรัสทางอากาศเข้าไปในห้องปรับอากาศโดยพัดลมหมุนเวียนของเครื่องส่งลมเย็น เพื่อรักษาคุณภาพอากาศให้ปลอดภัยเชื้อโรคและฝุ่นละอองขนาดเล็กจึงมีการนำแสง อัลตราไวโอเลต (UV-C) ร่วมกับแผ่นกรองประสิทธิภาพสูงมาใช้ในเครื่องส่งลมเย็น เมื่อแผ่นกรองดักจับฝุ่นจะมีความดันตกคล่อมสูงขึ้นทำให้ต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการใช้พลังงานเครื่องส่งลมเย็นที่มีอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกร่วมกับแผ่นกรองประสิทธิภาพสูง ในการเลือกชนิดพัดลมและขนาดใบพัดรวมทั้งชนิดมอเตอร์ต้องทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยกำหนดให้ใช้อัตราการไหลของอากาศ 24,500 cfm ที่ความดันสถิต 3.25 in.wg. เพื่อสามารถใช้กับระบบท่อลมที่มีอยู่เดิมได้ วิธีการเลือกขนาดและชนิดพัดลมได้เลือกขนาดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดบนกราฟสมรรถนะของพัดลมซึ่งหาได้จากโปรแกรม Kruger selection จากการศึกษาพบว่าอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศในเครื่องส่งลมเย็นได้ใช้แสง UV-C มีความยาวคลื่น 253.7 nm และความเข้มแสง 270 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ และใช้แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง 99.999% ในการกรองฝุ่นขนาด 0.3 ~ 1 μm สำหรับการเลือกพัดลมและมอเตอร์ที่ใช้แบ่งได้เป็น 2 กรณี คือกรณีที่ 1 อัตราการไหลลดลงตามความดันสถิตที่เพิ่มขึ้น และกรณีที่ 2 อัตราการไหลคงที่แม้ว่าความดันสถิตจะเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ 1 โครงการพัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำใช้พลังงานน้อยกว่าโครงการพัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้ารุ่น FAD 710 ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำและ VSD ส่วนกรณีที่ 2 โครงการพัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ที่ขับเคลื่อนด้วย Electronically controlled motor หรือ EC motor ใช้พลังงานน้อยกว่าโครงการพัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้ารุ่น FAD 800 ที่ขับเคลื่อนด้วย EC motor ทั้งกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 โครงการมีค่า NPV 608,440 บาท และ 588,670 บาท ตามลำดับ จึงมีความคุ้มค่าในการลงทุน

สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)	ลายมือชื่อนิสิต
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6280014020 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORD: Air handling unit, Photocatalytic reaction, EC motor, Centrifugal Fan

Nuttakan Janprommin : Comparative study of Air handling unit for air quality control using photocatalytic reaction. Advisor: Assoc. Prof. Withaya Yongchareon, Ph.D.

At present time, the decease is a kind of virus that diffuses into the air condition space by a circulating fan in the air handling unit. The UV-C light with PCO and a high efficient filter were used in the air handling unit to control the air quality to get no decease and dustless. When the filter collected more dust, the static pressure drop across the filter was increased then the energy consumption was also increased. Thus, the objective of this research was to study the energy used in the air handling unit to control the air quality by using Photo catalytic reaction together with HEPA filter. A fan type and impeller size were selected to get maximum efficiency. The conditions were given by the air flow rate of 24,500 cfm at the static pressure of 3.25 in.wg to use the old duct system. The method of selection was based on the maximum efficiency of the fan performance curves by using Kruger Selection program. From the study, it was found that devices installed in the air handling unit to control the quality of air consisted of UV-C Lamp with PCO and HEPA filter. UV-C Lamp generated the light with a wavelength of 253.7 nm and power density of 270 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ could kill the decease and HEPA filters with the efficiency of 99.999% could eliminated the dust size in the range of 0.3 ~ 1 μm Also, for fan selection, there were 2 cases. The first case, the air flow rate decreased when the static pressure increased and the second case, the air flow rate kept at constant when the static pressure increased. For the first case, the project of using a backward curved blade centrifugal fan model BDB 710 with an induction motor consumed energy less than the project of using a forward curved blade centrifugal fan model FDA710 with an induction motor associated with VSD. For the second case, the project of using a backward curved blade centrifugal fan model BDB 710 with an EC motor consumed energy less than the project of using a forward curved blade centrifugal fan model FDA800 with an EC motor. The first case and the second case gave the NPV value of 608,440 and 588,670 Baht indicating that the projects were worth for investment.

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature
Academic Year:	2021	Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยความช่วยเหลือและการให้คำปรึกษาอย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำแนะนำในการทำวิจัยและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขและปรับปรุงเพิ่มเติมจนทำให้สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์ทุกท่านรองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิ และ รศ.ดร. ประพันธ์ คุชลธารา ที่กรุณาให้คำแนะนำรวมถึงให้ข้อเสนอแนะจนทำให้สารนิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณบริษัท แอร์โค จำกัด และ บริษัท แคเรียร์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุเคราะห์ข้อมูลและเอกสารต่างๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการทำการศึกษาครั้งนี้ งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ณัฐกานต์ จันทรมิน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	3
2.1.1 พัดลมและมอเตอร์ในเครื่องส่งลมเย็น	3
2.2.1 อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก	7
2.2 ด้านความคุ้มค่าในการลงทุน.....	11
2.2.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value หรือ NPV)	11
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	14

3.1 กำหนดขอบเขตข้อมูลของเครื่องส่งลมเย็น	14
3.2 เลือกชนิดและขนาดพัดลมให้เหมาะสมและกำหนดขนาดมอเตอร์จาก Performance curve โดยใช้โปรแกรม Kruger selection	15
3.2.1 การเลือกใช้ชนิดและขนาดพัดลม.....	15
3.3 อ่านค่ากำลังงานที่พัดลมใช้เมื่อแผ่นกรองสกปรกทำให้มีความดันสถิตเพิ่มขึ้นจาก Performance curve โดยใช้โปรแกรม Kruger selection.....	16
3.4 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น 2 กรณีที่ใช้ใบพัดลมและมอเตอร์ต่างชนิดกัน	18
3.5 การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน.....	18
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	19
4.1 ผลการเลือกชนิดและขนาดพัดลมให้เหมาะสมและกำหนดขนาดมอเตอร์จาก Performance curve โดยใช้โปรแกรม Kruger selection.....	19
4.1.1 พัดลมหนีศูนย์กลาง ชนิดใบพัดโค้งหน้า (Forward curved blade).....	19
4.1.2 พัดลมหนีศูนย์กลาง ชนิดใบพัดโค้งหลัง (Backward curved blade).....	21
4.2 ผลกำลังงานที่พัดลมใช้เมื่อแผ่นกรองสกปรกทำให้มีความดันสถิตเพิ่มขึ้นจาก Performance curve โดยใช้โปรแกรม Kruger selection	23
4.2.1 การเลือกใช้ชนิดและชนิดใบพัดลมให้เหมาะสมกับชนิดมอเตอร์.....	23
4.2.2 กรณีที่ยอมให้อัตราการไหลลดลงเมื่อความดันสถิตเพิ่มขึ้น	24
4.2.3 กรณีที่ให้อัตราการไหลคงที่เท่าเดิมเมื่อความดันสถิตเพิ่มขึ้น	26
4.3 ผลการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น 4 เครื่องที่ใช้ใบพัดลมและมอเตอร์ ต่างชนิดกัน.....	27
4.4 ผลประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน	28
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	30
5.1 สรุปผลวิจัย	30
5.1.1 เปรียบเทียบการใช้พลังงานเครื่องส่งลมเย็นที่มีอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกร่วมกับแผ่นกรองประสิทธิภาพสูง 2 กรณี ดังนี้.....	30

5.1.2 ความคุ้มค่าในการลงทุนของทั้ง 2 กรณี	30
5.2 ข้อเสนอแนะ	31
บรรณานุกรม.....	32
ภาคผนวก.....	34
ภาคผนวก ก วิธีคำนวณการเลือกใช้ชนิดพัสดุ	35
ภาคผนวก ข วิธีการเลือกขนาดพัสดุโดยใช้ Performance Curve ของพัสดุ.....	36
ภาคผนวก ค การคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์	41
ภาคผนวก ง ราคาพัสดุและมอเตอร์	42
ประวัติผู้เขียน.....	44



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ขอบเขตเครื่องส่งลมเย็น (Air handling unit).....	14
ตารางที่ 2 ขอบเขตการคำนวณหากำลังเชิงกลของกล.....	17
ตารางที่ 3 สมมุติฐานด้านการเงินและราคาอุปกรณ์.....	18
ตารางที่ 4 สมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA ที่จุดทำงานที่ความเร็วรอบ 650 rpm.....	21
ตารางที่ 5 สมรรถนะของพัดลมรุ่น BDB 710 ที่จุดทำงานที่ความเร็วรอบ 1,287 rpm.....	23
ตารางที่ 6 สมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA 710 และ รุ่น BDB 710 ที่จุดทำงาน.....	23
ตารางที่ 7 สมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA710 ที่ความเร็วรอบคงที่ 650 rpm.....	24
ตารางที่ 8 สมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA710 ที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	25
ตารางที่ 9 สมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA710 ที่ความเร็วรอบคงที่ 1,287 rpm.....	25
ตารางที่ 10 สมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA 800 ที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	26
ตารางที่ 11 แสดงสมรรถนะของพัดลมรุ่น BDB 800 ที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	27
ตารางที่ 12 ผลการใช้พลังงานของพัดลมกรณีใช้อัตราการไหลของอากาศลดลง.....	27
ตารางที่ 13 แสดงผลการใช้พลังงานของชนิดพัดลมที่ขับเคลื่อนด้วย EC Motor.....	28
ตารางที่ 14 ต้นทุนของอุปกรณ์ต่างๆ.....	29

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกกับ HEPA ในเครื่องส่งลมเย็น.....	7
รูปที่ 2 แสดงแผ่นคะตะไลติก ไททาเนียมออกไซด์ (TiO ₂) ในระบบปรับอากาศ.....	8
รูปที่ 3 แสดงกระบวนการทำปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก.....	8
รูปที่ 4 แสดงหลอด UVGI เมื่ออยู่ในเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit).....	10
รูปที่ 7 แสดงทิศทางของอากาศเมื่อเข้าเครื่องส่งลมเย็น.....	16
รูปที่ 8 กราฟสมรรถนะของพัดลมใบพัดโค้งหน้ารุ่น FDA 710 ที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	19
รูปที่ 9 กราฟสมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA710 ที่ความเร็วรอบ 650 rpm.....	20
รูปที่ 10 กราฟสมรรถนะของพัดลมใบพัดโค้งหน้ารุ่น BDB 710 ที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	21
รูปที่ 11 กราฟสมรรถนะของพัดลมรุ่น BDB 710 ที่จุดทำงานที่ความเร็วรอบ 1287 rpm.....	22

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการแพร่ของเชื้อไวรัสทางอากาศเข้าไปในห้องปรับอากาศโดยพัดลมหมุนเวียนของเครื่องส่งลมเย็น เพื่อรักษาคุณภาพอากาศให้ปลอดภัยเชื้อโรคและฝุ่นละอองขนาดเล็กจึงมีการนำแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV-C) ร่วมกับแผ่นกรองประสิทธิภาพสูงมาใช้ในเครื่องส่งลมเย็น เมื่อแผ่นกรองดักจับฝุ่นจะมีความตันตกล่อมสูงขึ้นทำให้ต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีผู้วิจัยศึกษา ด้านการจัดการพลังงานระบบปรับอากาศในอาคารขนาดใหญ่ ในส่วนของเครื่องส่งลมเย็น เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลาประมาณ 10-15 ปี (เชษฐา พงษ์ผล, 2559) มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น มาตรการที่จะช่วยลดพลังงานใช้ไฟฟ้า คือ ปรับปรุงอุปกรณ์และเครื่องจักรได้ผลดีที่สุด (พลสันต์ นำหน้ากองทัพ, 2557) ประหยัดเงินได้ 713,475 บาทต่อปี (กฤษกร อุดศรี, 2553) ในส่วนด้านการควบคุมคุณภาพอากาศจากการศึกษาปฏิบัติการโฟโตคะตะไลติกมาช่วยในการเจือจางและทำลายผนังของเชื้อไวรัส (พรณิกา วะระมย์, 2555)

จากคำแนะนำของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข และสมาคมส่งเสริมคุณภาพอากาศในอาคาร เรื่องการระบายอากาศเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ได้กล่าวถึง การติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบระบายอากาศ ระบบฆ่าเชื้อโรค ซึ่งอาจจะต้องมีการลงทุนที่เพิ่มขึ้น (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2564) ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการใช้พลังงานเครื่องส่งลมเย็นที่มีอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิบัติการโฟโตคะตะไลติกร่วมกับแผ่นกรองประสิทธิภาพสูง ในการเลือกชนิดพัดลมและขนาดใบพัดรวมทั้งชนิดมอเตอร์ต้องทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยกำหนดให้ใช้อัตราการไหลของอากาศ 24,500 cfm ที่ความดันสถิต 3.25 in.wg. เพื่อสามารถใช้กับระบบท่อลมที่มีอยู่เดิมได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานเครื่องส่งลมเย็นที่มีอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิบัติการโฟโตคะตะไลติกร่วมกับแผ่นกรองประสิทธิภาพสูง 2 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 อัตราการไหลของอากาศลดลงตามความดันสถิตที่เพิ่มขึ้น และกรณีที่ 2 อัตราการไหลของอากาศคงที่แม้ว่าความดันสถิตจะเพิ่มขึ้น

2. เพื่อศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนของทั้ง 2 กรณี

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. กรณีที่ 1 พัดลมและมอเตอร์ที่ใช้ คือ พัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำและพัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้ารุ่น FAD 710 ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำและVSD

2. กรณีที่ 2 พัดลมและมอเตอร์ที่ใช้ คือ โครงการพัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ที่ขับเคลื่อนด้วย EC motor หรือ Electronically controlled motor และพัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้ารุ่น FAD 800 ที่ขับเคลื่อนด้วย EC motor เช่นเดียวกับใบพัดโค้งหลัง

3. เครื่องส่งลมเย็นมีอัตราการไหลของอากาศ 24,500 CFM ที่ความดันสถิต 3.25 in.wg. พื้นที่หน้าตัดขาออก 0.8 m²

4. ด้านความคุ้มค่าในการลงทุนใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value หรือ NPV)

5. อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศเลือกใช้ความเข้มแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV-C) ที่มีความยาวแสง 253.7 นาโนเมตรกับแผ่นไทเทเนียมออกไซด์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic oxidation) และแผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง (High efficiency particulate air filter) ตามมาตรฐาน ASHRAE 52.2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างของเครื่องส่งลมเย็นที่เลือกใช้พัดลมและมอเตอร์ต่างชนิดกันมาวิเคราะห์ เพื่อการเลือกใช้พัดลมและมอเตอร์ที่เหมาะสมในเครื่องส่งลมเย็นเมื่อเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก

2. ได้ข้อมูลความคุ้มค่าด้านในลงทุนของจัดการพลังงานของเครื่องส่งลมเย็นในมาตรการปรับปรุงอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นหรือเปลี่ยนชนิดพัดลมในเครื่องส่งลมเย็น

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการศึกษาค้นคว้าวิจัย

2.1 ด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า

2.1.1 พัดลมและมอเตอร์ในเครื่องส่งลมเย็น

พัดลม คือ เครื่องจักรของไหลที่มีใบพัดหมุนและได้รับพลังงานกลจากภายนอก พัดลมใช้เพื่อลำเลียงอากาศหรือแก๊สให้ไหลออกอย่างต่อเนื่องโดยทั่วไปแล้วงานของพัดลมต่อหน่วยมวลแก๊สไม่เกิน 25 kJ/kg หรืออาจมีการนิยามพัดลมเพิ่มเติมในปัจจุบันว่า เป็นเครื่องจักรกลของไหลที่มีใบพัดหมุนและได้รับพลังงานจากภายนอกที่ความดันค่าหนึ่งโดยค่าความหนาแน่นของของไหลไม่เปลี่ยนแปลงหน้าทำการหลักของพัดลมคือการส่งของไหลสถานะแก๊สจำนวนมากจากสู่ที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งกราฟสมรรถนะของพัดลมแสดงด้วยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความดันสุทธิประสิทธิภาพสูงสุดของพัดลมเกิดขึ้นที่อัตราการไหลหนึ่งบนช่วงการใช้งาน อาจจะถูกกล่าวได้ว่าเป็นตำแหน่งที่พัดลมให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดโดยพัดลมต้องการกำลังไฟฟ้าต่ำสุดเมื่อทำงานที่ตำแหน่งนี้ อย่างไรก็ตาม พัดลมสามารถทำงานที่ตำแหน่งอื่นนอกเหนือจากช่วงกราฟความสัมพันธ์ที่มีอยู่

2.1.1.1) การเลือกพัดลม

การเลือกพัดลมที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งซึ่งจะทำให้พัดลมทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพและบรรลุวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ในการเลือกประเภทและขนาดพัดลมจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ประสิทธิภาพของพัดลม ปัจจัยนี้จำเป็นต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก โดยเฉพาะในการใช้งาน

- พัดลมขนาดใหญ่หรือพัดลมที่ทำงานตลอดเวลา

- ปริมาณอากาศที่ต้องการต่อหน่วยเวลา

- เสดความดันที่เพิ่มขึ้นของอากาศ ค่าที่ได้ต้องมากกว่าเสดความดันสูญเสีย

ของระบบ

- ปริมาณเสียงที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ ค่าความดังของเสียงจะเป็นปัจจัยที่ไม่ค่อยนำมาพิจารณาใน

- การเลือกพัดลมมากนัก
- พื้นที่ติดตั้งพัดลมรวมถึงขนาดของพัดลม
- น้ำหนักพัดลมเป็นปัจจัยที่ต้องสนใจเป็นอันดับแรกถ้าพัดลมนี้ติดตั้งกับ

อุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่

- ชนิดของต้นกำลังและรอบการทำงาน
- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและการบำรุงรักษา

2.1.1.2) สูตรการหาความดันรวมและประสิทธิภาพของพัดลม

หาความดันรวม (Total Pressure) ของพัดลมได้จากสมการที่ (1)

$$P_{total} = P_s + P_v \dots\dots\dots(1)$$

โดย P_{total} หมายถึง ความดันรวมของพัดลม มีหน่วยเป็น Pa

P_s หมายถึง ความดันสถิตของพัดลม มีหน่วยเป็น Pa

P_v หมายถึง ความดันไดนามิกเนื่องจากความเร็วที่ขาออกใบพัด มีหน่วยเป็น Pa

หาความดันไดนามิก (Velocity Pressure) ของพัดลมได้จากสมการที่ (2)

$$P_v = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \dots\dots\dots(2)$$

โดย ρ หมายถึง ความหนาแน่นของอากาศ มีหน่วยเป็น kg/m^3

V หมายถึง ความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่ออกจากพัดลม มีหน่วยเป็น m/s

หาความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่ออกจากพัดลม (Velocity) ได้จากสมการที่ (3)

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(3)$$

โดย Q หมายถึง อัตราการไหลของอากาศ มีหน่วยเป็น m^3/s

A หมายถึง พื้นที่หน้าตัดขาออก มีหน่วยเป็น m^2

หาประสิทธิภาพของพัดลม (h_{fan}) ได้จากสมการที่ (4) ดังนี้

$$h_{fan} = \frac{Q' P_{Total}}{Power} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

โดย h_{Total} หมายถึง ประสิทธิภาพรวมทั้งหมด มีหน่วยเป็น%

Q หมายถึง อัตราการไหลที่อากาศไหลผ่าน มีหน่วยเป็น m^3/s

P_{Total} หมายถึง ความดันสถิตรวม มีหน่วยเป็น Pa

$Power$ หมายถึง กำลังเชิงกลที่ป้อนให้กับพัดลม มีหน่วยเป็น Watt

2.1.1.3) ชนิดพัดลม

พัดลมที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือ พัดลมชนิดหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Fan) ใบพัดโค้งหน้า (Forward Curved Blades) และใบพัดโค้งหลัง (Backward Curved Blades) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1.3.1. พัดลมชนิดหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Fan)

เมื่อทิศทางการไหลของอากาศเข้าพัดลมตามแนวแกนแต่ไหลออกในแนวรัศมีเนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของใบพัด เราเรียกว่าเครื่องจักรกลของไหลนี้ว่า “พัดลมหนีศูนย์กลาง” แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเป็นผลมาจากการหมุนของใบพัดทำให้ความเร็วอากาศเพิ่มขึ้น ครีบใบพัดอาจมีรูปร่างแบบแผ่นเอียงหรือโค้งก็ได้ พัดลมชนิดนี้เหมาะกับการใช้งานที่สัดส่วนอัตราการไหลต่อความดันต่ำสมรรถนะของพัดลมขึ้นอยู่กับรูปร่างใบพัดที่หมุนในตัวเรือนพัดลมโดยรูปร่างใบพัดลมชนิดหนีศูนย์กลางที่ใช้ในเครื่องส่งลมเย็นที่นิยมส่วนมากมี 2 ชนิดคือ

2.1.1.3.2. พัดลมชนิดใบพัดโค้งหน้า (Forward Curved Blades)

ใบพัดชนิดโค้งหน้าจะโค้งจากโคนใบสู่ปลายใบตามทิศทางการหมุนของใบพัด ส่งผลให้มุมใบพัดมีค่าสูงและอัตราการไหลสูงกว่าใบพัดชนิดอื่นๆ ที่รอบการทำงานเดียวกัน นิยมใช้งานที่มีข้อจำเป็นด้านพื้นที่และความดันต่ำ ข้อดีขณะทำงาน เสียงเงียบ ข้อเสียคือ มอเตอร์อาจจะเกิดภาระการทำงานเกินกำลังและช่วงทำงานที่ไม่เสถียร อาจจะเกิดสะสมสิ่งสกปรกที่ผิวใบพัด จึงควรใช้กับสภาพอากาศที่สะอาด

2.1.1.3.3. พัดลมชนิดใบพัดโค้งหลัง (Backward Curved Blades)

ใบพัดเอียงโค้งหลังมีรูปร่างคล้ายใบพัดแบบแพนอากาศยกเว้นที่ความหนาใบพัดชนิดนี้มีค่าคงที่ ตัวใบพัดแต่ละใบเป็นแผ่นโค้งเอียงจากโคนใบสู่ปลายใบในทิศตรงข้ามกับทิศการหมุนของชุดใบพัด ใบพัดโค้งเอียงหลังช่วยทำให้เกิดแรงยกทำให้สามารถใช้งานพัดลมที่อัตราการไหลเข้าใกล้ศูนย์ การทำงานเสถียรตลอดช่วงการใช้งาน พัดลมสามารถทำงานที่รอบหมุนสูงเนื่องจากความแข็งแรงที่เกิดจากมุมเข้าครีบบใบพัดที่ชันกว่าขาออก ราคาของพัดลมค่อนข้างสูงเนื่องจากการประกอบใบพัดไม่สามารถใช้วิธีขันน็อต ยึดด้วยหมุดย้ำ หรือเชื่อมบางตำแหน่ง เป็นต้น

2.1.1.4 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้า (Motor) หมายถึง เครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ต้นกำลังและเป็นอุปกรณ์ควบคุมเครื่องจักรกลต่างๆ ที่ใช้ในระบบต่างๆ

2.1.1.4.1 มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Induction motor)

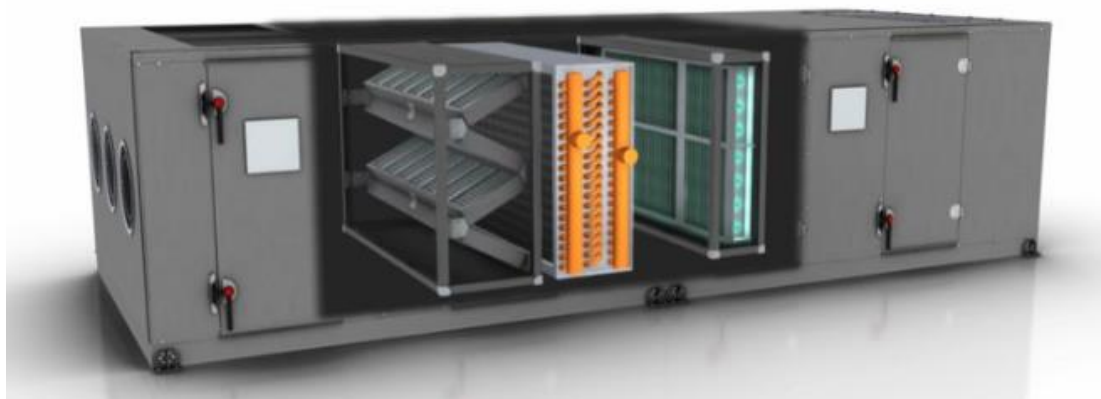
มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำเป็นมอเตอร์กระแสสลับ 3 เฟส มีคุณสมบัติที่ดีคือมีความเร็วรอบคงที่ มีราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษาเพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้ร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable speed drive หรือ VSD) สามารถควบคุมความเร็ว (Speed) ได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วตามพิกัดของมอเตอร์ ในการเลือกใช้มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ จำเป็นต้องเข้าใจลักษณะโหลดประเภทต่างๆ ที่มอเตอร์ขับเคลื่อนซึ่งโหลดของมอเตอร์ที่ใช้กับพัดลมในเครื่องส่งลมเย็นเป็นโหลดประเภทแรงบิดแปรผันตามความเร็ว (Variable torque) ซึ่งเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น แรงบิดจะเพิ่มตามความเร็วรอบ และกำลังกลที่ใช้ก็จะแปรผันตรงกับความเร็วรอบ

2.1.1.4.2 EC motor (Electronically Controlled motor)

มอเตอร์แบบควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brush less direct current) ประกอบด้วย โรเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวร สเตเตอร์ที่มีขดลวดพันอยู่รอบสเตเตอร์ และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งในตัวมอเตอร์เพื่อควบคุมการทำงาน EC motor มีข้อดีทั้งของมอเตอร์กระแสตรงและกระแสสลับ ทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ลดกระแสไฟฟ้า และมีอายุการใช้งานนานขึ้น ในการทำงานกระแสไฟฟ้าสลับจะถูกแปลงเป็นกระแสตรง แล้วนำพลังงานไฟฟ้าไปเก็บไว้ในคาปาซิเตอร์ จากนั้นระบบควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์จะดึงกระแสตรงจากคาปาซิเตอร์ มาสร้างพัลส์ความถี่ (Pulse width modulator หรือ PWM) ให้กับสเตเตอร์ของ

มอเตอร์ทำให้เกิดแรงผลักดันกับแรงแม่เหล็กถาวรที่อยู่ในโรเตอร์จึงเกิดการหมุนขึ้น และความเร็วรอบของโรเตอร์จะขึ้นกับพัลส์ความถี่ ระบบควบคุมจะปรับแรงดันไฟฟ้าเพื่อควบคุมแรงบิดให้เหมาะสมกับภาระมอเตอร์ที่ความเร็วที่ต้องการ

2.2.1 อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก



รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกกับ HEPA ในเครื่องส่งลมเย็น

ที่มา : <https://www.trane.com/commercial/north-america/us/en/products-systems/air-handlers/air-handling>

อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศในเครื่องส่งลมเย็น (Air handling unit) ทำงานร่วมกันอยู่ 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 คือ 1.ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic oxidation หรือ PCO) 2.รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้ฉายเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ (Ultraviolet germicidal irradiation หรือ UVGI) 3.แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง (High efficiency particulate air filter หรือ HEPA) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.2.1 ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic oxidation หรือ PCO)

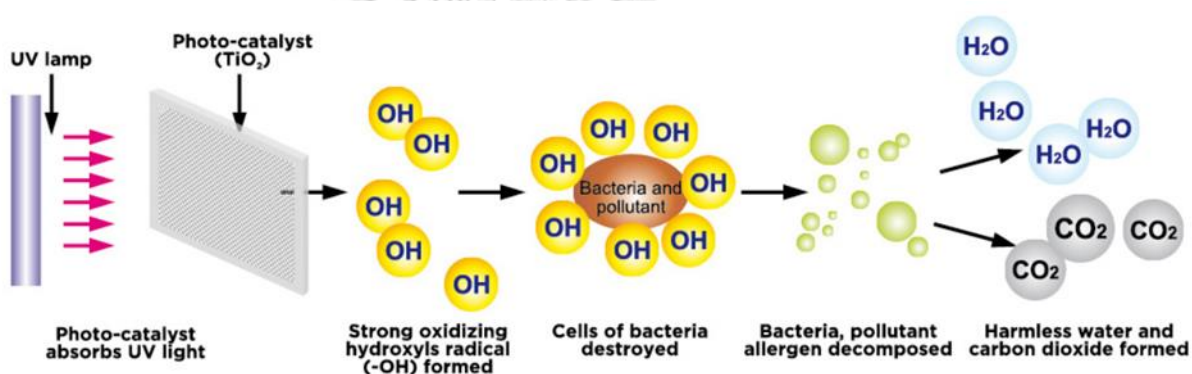
โฟโตคะตะไลซิสจะฟอกอากาศโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเซมิคอนดักเตอร์ คือ ไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) ที่แสดงในรูปที่ 2.2 กระบวนการออกซิเดชันที่เกิดจาก UVGI จะใช้โฟตอนอัลตราไวโอเล็ตในการสร้างไฮดรอกซิลซึ่งประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เชื้อโรคกับแบคทีเรียจะถูกออกซิไดซ์ย่อยสลายไป



รูปที่ 2 แสดงแผ่นคะตะไลติก ไททาเนียมออกไซด์ (TiO₂) ในระบบปรับอากาศ

ที่มา : <https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/ap/thailand/News/>

TraneThailand



รูปที่ 3 แสดงกระบวนการทำปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก

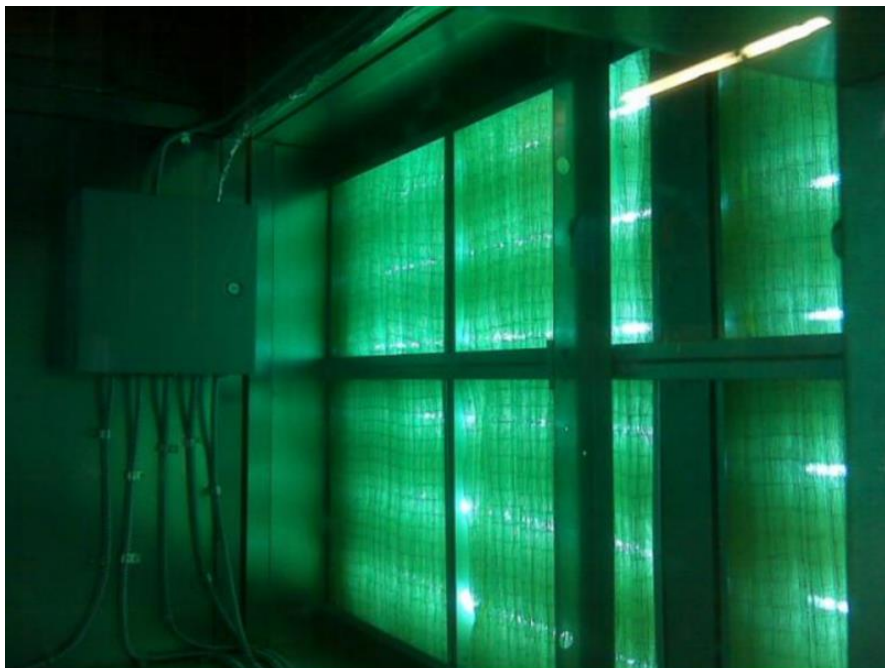
ที่มา : <https://www.bwellairpurifier.com/technology/photocatalytic-oxidation-pco/>

โดยกระบวนการทำปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกแสดงดังภาพที่ 2.3 เมื่อพลังงานแสงของโฟตอนที่มี พลังงานมากกว่าพลังงาน band-gap ของโฟโตคะทาลิสต์ ถูกดูดซับโดยโฟโตคะตะไลสต์ (ค่าพลังงาน มีค่า 3.2eV สำหรับ TiO₂) อิเล็กตรอนของวงเวเลนซ์ (VB) จะถูกกระตุ้นไปที่แถบการนำไฟฟ้า Conduction Band (CB) เพื่ออำนวยความสะดวกของการเกิดปฏิกิริยากับแสง (โฟตอน) ได้จำนวนมาก พื้นผิวโฟโตคะตะไลติกที่มีพลังงานโฟตอนเพียงพอ นำไปสู่การก่อตัวของหลุมบวก positive hole (h⁺) ในแถบวาเลนซ์และอิเล็กตรอน (e⁻) ในแถบการนำไฟฟ้า (CB) หลุมบวกสามารถออกซิไดซ์สารปนเปื้อนอินทรีย์โดยตรงหรือสร้างอนุมูลไฮดรอกซิลที่มีปฏิกิริยามาก (OH •)

อนุมูลไฮดรอกซิล ($\text{OH} \bullet$) ทำหน้าที่เป็นสารออกซิแดนท์หลักในระบบโฟโตคะตะไลติก ซึ่งสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในแถบ การนำไฟฟ้า (CB) อาจรวมตัวอีกครั้งกับหลุม (h^+) ในแถบวาเลนซ์ (VB) และผลิตความร้อนหรือลดออกซิเจนที่ดูดซับบนโฟโตคะทาไลสต์ และสร้างอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($\text{O}_2^{\bullet -}$) อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ superoxide radical ($\text{O}_2^{\bullet -}$) สามารถถูกเพิ่มโปรตอนต่อไปเพื่อสร้าง hydroperoxyl radical ($\text{HOO} \bullet$) และนำไปสู่การเกิดออกซิเดชันของสารอินทรีย์และจะถูกย่อยสลายไปยังสารตัวกลาง (intermediate ซึ่งหมายถึงสารที่ไม่เสถียร ที่เกิดขึ้นเพียงชั่วขณะหนึ่งในระหว่างปฏิกิริยา) ก่อนและถูกทำให้เป็นแร่ธาตุเป็น CO_2 และ H_2O ในที่สุด

2.1.2.2 รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้ฉายเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ (Ultraviolet Germicidal Irradiation หรือ UVGI)

UV-C เป็นแสงเป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิดหนึ่ง มีความยาวคลื่น 200-280 nm. ในธรรมชาติรังสี UV-C ถูกกรองไว้โดยชั้นโอโซน จึงไม่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศของโลกลงมาได้ มีความสามารถทำลายเชื้อโรคที่เรียกว่า Ultraviolet Germicidal (UVGI) ทำลายได้ทั้งแบคทีเรีย ไวรัส ราเส้นใย ยีสต์ เป็นต้น เนื่องจากรังสี ถูกดูดซับโดยโมเลกุล อินทรีย์ รวมถึง DNA ทำให้เกิดการตายของจุลินทรีย์ การทำลายเชื้อโรคจึงต้องใช้แหล่งกำเนิดรังสี ได้แก่ หลอดไอปรอทที่มีแรงดันภายในหลอดต่ำ (Low Pressure Hg Discharge Lamp) หรือที่ทั่วไปเรียกว่า “หลอดฆ่าเชื้อ” (Germicidal Lamp) และ UVC-LEDs ที่ให้รังสี UVC ที่มีความยาวคลื่นไม่ต่ำกว่า 253.7 nm. การนำมาในอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศหลอด UVGI จะอยู่ระหว่างแผ่นคะตะไลติก ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงหลอด UVGI เมื่ออยู่ในเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit)

ที่มา : <https://www.trane.com/commercial/north-america/us/en/products-systems/air-handlers/air-handling>

2.1.2.3. แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Particulate Air Filter)

แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง มีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นที่สูงกว่าแบบปกติ สามารถดักจับฝุ่นที่มีอนุภาคขนาดเล็กที่ 0.3 ไมครอน ได้อย่างน้อย 99.999 % ด้วยวัสดุที่ทำจากเทคโนโลยีเส้นใยชั้นสูง ฝุ่นที่มีขนาดเล็กมากๆ รวมไปถึงสิ่งสกปรกอื่นๆ เช่น ละอองเกสร ควัน หรือแม้แต่แบคทีเรียและเชื้อราที่ลอยอยู่ในอากาศ ก็จะถูกดักจับไว้ได้ แผ่นกรองประสิทธิภาพสูงที่ใช้ส่วนใหญ่จะเริ่มต้นด้วยมาตรฐาน MERV 13 ขึ้นไปในการใช้แผ่นกรองประสิทธิภาพสูง เมื่อดักจับฝุ่นไว้จะมีความดันตกคร่อมแผ่นกรองสูง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากด้วย

2.2 ด้านความคุ้มค่าในการลงทุน

เครื่องมือในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการจะใช้การเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่เพิ่มขึ้นกับค่าใช้จ่ายในการลงทุน ใช้ดัชนี NPV

2.2.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value หรือ NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value หรือ NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน โดยใช้อัตราคิดลด (discount rate) ตัวใดตัวหนึ่งมาปรับมูลค่าของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาให้มาอยู่ที่จุดเดียวกัน คือ ณ ปัจจุบัน วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ หรือ NPV นับเป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุนที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีการนำเรื่องค่าของเงินตามเวลามาร่วมพิจารณาและเป็นการคำนวณกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นตลอดอายุโครงการ NPV สามารถคำนวณได้ตามสมการคำนวณที่ (5)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 \dots\dots\dots(5)$$

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษางานวิจัยหัวข้อเรื่อง “การจัดการพลังงานเพื่อควบคุมคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงาน โดยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก” ผู้วิจัยได้ทบทวนเอกสารและวิจัยที่เกี่ยวข้องมา 3 ประเด็น ดังนี้ การจัดการพลังงานระบบปรับอากาศในอาคารขนาดใหญ่ การควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคาร และการฆ่าเชื้อโดยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก โดยแยกเป็นส่วนแนวคิด ผลการวิจัย เพื่อนำข้อมูลที่สอดคล้องไปสู่งานวิจัยนี้

ด้านการจัดการพลังงานในส่วนของเครื่องส่งลมเย็น (AHU) ในอาคารขนาดใหญ่ (พลสัมพันธ์ นำหน้ากองทัพ, 2557) มาตรการประหยัดพลังงานระบบปรับอากาศสำหรับเครื่องส่งลมเย็น แบ่งเป็น 5 มาตรการ พบว่า กลุ่มมาตรการปรับปรุงอุปกรณ์และเครื่องจักรโดยดำเนินการเปลี่ยนมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ประหยัดเงินได้ 307,645.18 บาทต่อปี และดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพ AHU ประหยัดเงินได้ 713,475.00 บาทต่อปีได้ผลดีที่สุด (กฤษกร อุดมศรี , 2553) เครื่องส่งลมเย็นมีอายุการใช้งาน 10-15 ปี (Fan, Cooling coil, Drain Basin, Casing, Pulley (เซษฐา พงษ์ผล, 2559) Belt มีการชำรุดเกิดขึ้นแบบกระจายไปทุกที่โดยพบมากในช่วงปีที่ 5-8 และอีกช่วงในปีที่ 11-13 , Filter และ Motor มีการชำรุดเกิดขึ้นแบบกระจายไปทุกปีโดยพบมากในช่วงปี 5-7 , Coil

พบการชำรุดเป็นช่วงเวลาติดต่อกันในช่วงปีที่ 11- 15, Power & Control พบการชำรุดบ่อยในปี ช่วงปีที่ 7 ถึงปีที่ 10 และพบอีกครั้งปีที่ 13 และ 15 จะต้องมีการเปลี่ยนอุปกรณ์หลักทั้ง 3 ส่วน ประมาณ 2 รอบทำให้เกิดการลงทุนของ AHU ซึ่งพบว่ามีความสูงในการลงทุน แต่หากผู้ใช้มีการวางแผนการบำรุงรักษาอย่างเป็นระบบ เพื่อยืดอายุการใช้งาน ก็จะทำให้ลดต้นทุนในส่วนการบำรุงรักษาได้ และอีกหนึ่งแนวทางในการจัดการพลังงานในห้องสะอาดที่ต้องใช้พลังงานมากขึ้น (เกศินี พรหมธิ , 2555) ให้อุณหภูมิของห้องสะอาดทุกคลาสเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส และให้ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องสะอาดทุกคลาสเพิ่มขึ้น 1% ใน 24 เดือนสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้เท่ากับ 5,969,556 บาท

ด้านการควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคาร (วรรณิ วัฒนไพสิน , 2552) เดิมทีในสถานพยาบาลจะให้ความสำคัญกับเรื่องนี้มากที่สุด ผลการสำรวจที่ได้ระดับความสำคัญของเกณฑ์ที่ประเมินอาคารเขียวได้ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ปริมาณการระบายอากาศภายในอาคาร กลุ่มผู้ป่วยที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุด หลังจากตรวจวัดคุณภาพอากาศ ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบอินทรีย์ระเหยรวม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม อัตราการระบายอากาศ แבקที่เรียรวมในอากาศ และเชื้อรารวมในอากาศ ภายในโรงพยาบาลกลาง (จิตรลดา ต้นพรหม, 2553) พบว่ากลุ่มผู้ได้รับผลกระทบจะเป็นกลุ่มคนที่มีประวัติโรคภูมิแพ้มากที่สุด

ด้านการฆ่าเชื้อโดยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก เนื่องจากปัจจุบันขนาดของไวรัส SARS-CoV-2 มีขนาดเล็กถึง 0.08-0.12 ไมครอน แผ่นกรองอากาศชนิด HEPA (อภินันท์ ชวดชุม, 2557) รูปแบบแผ่นกรองอากาศ (Prefilter , Medium filter , HEPA) 20% , 95% , 99.99% ไม่สามารถกรองอนุภาคไวรัสชนิดนี้ได้ จึงได้นำเอาปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกมาช่วยในการเจือจางและทำลายผนังของเชื้อไวรัส (พรรณิกา วนะรมย์, 2555) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นฟอกอากาศโฟโตคะตะไลติกในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในอากาศ โดยทำการทดลองในห้องทดลองจำลองขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร (1,000 ลิตร) ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิคงที่ 25 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 ± 5 ด้วยแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์คือ Bacillus subtilis และ Staphylococcus epidermidis ในการทดลองใช้แผ่นฟอกอากาศโฟโตคะตะไลติกขนาด 0.23 ตารางเมตร ช่วงเวลาทำปฏิกิริยา 120 นาที และใช้แหล่งกำเนิดแสง 2 ประเภทที่มีความเข้มแสงต่างกัน ได้แก่หลอดฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสง 1.0 3.0 และ 3.7 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และหลอดแบล็คไลท์ความเข้มแสง 70 220 และ 270 ไมโครวัตต์ต่อตารางเมตร ผลการทดลองพบว่า แหล่งกำเนิดแสงหลอดแบล็คไลท์ที่มีความเข้มแสง

270 ไมโครวัตต์ต่อตารางเมตรสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ Bacillus subtilis และ Staphylococcus epidermidis ได้ดีที่สุดใน

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อวิจัยสรุปได้สังเขปดังนี้ ด้านการจัดการพลังงานระบบปรับอากาศในอาคารขนาดใหญ่ ในส่วนของเครื่องส่งลมเย็น (AHU) เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลาประมาณ 10-15 ปี มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น มาตรการที่จะช่วยลดพลังงานใช้ไฟฟ้า คือ ปรับปรุงอุปกรณ์และเครื่องจักร เช่นการเปลี่ยนมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง การปรับปรุงประสิทธิภาพ AHU และการปรับอุณหภูมิน้ำเย็นเครื่อง AHU ด้านการควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคาร ในส่วนของอาคารโรงพยาบาล และห้างสรรพสินค้า มีความสนใจที่จะควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคารให้มีประสิทธิภาพ และด้านปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก ความเข้มแสงที่สามารถกำจัดแบคทีเรียได้ดีคือช่วง 270 ไมโครวัตต์ต่อตารางเมตร ข้อมูลที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวรรณกรรมเป็นส่วนหนึ่งในการทำหัวข้อวิจัยนี้ด้วย



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบเครื่องส่งลมเย็นเพื่อควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก โดยการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนในการศึกษาวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดขอบเขต
2. เลือกชนิดและขนาดพัดลมให้เหมาะสมและกำหนดขนาดมอเตอร์จาก Performance curve โดยใช้โปรแกรม Kruger selection
3. อ่านค่ากำลังงานที่พัดลมใช้เมื่อแผ่นกรองสกปรกทำให้มีความดันสถิตเพิ่มขึ้นจาก Performance curve โดยใช้โปรแกรม Kruger selection
4. เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น 2 กรณี ที่ใช้ใบพัดลมและมอเตอร์ต่างชนิดกัน
5. ประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้ดัชนี NPV

3.1 กำหนดขอบเขตข้อมูลของเครื่องส่งลมเย็น

เครื่องส่งลมเย็นเครื่องประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ คอยล์น้ำเย็น พัดลม มอเตอร์ไฟฟ้า แผ่นกรอง และแหล่งกำเนิดแสง UV-C พร้อม แผ่นไททานเนียมออกไซด์ TiO₂ พัดลมมีอัตราการไหลของอากาศ 24,500 CFM ที่ความดันสถิต 3.25 in.wg. สำหรับระบบท่อลมเดิม และแผ่นกรอง HEPA มีความดันตกคล่อมเริ่มต้น 250 Pa และสุดท้าย 750 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขอบเขตเครื่องส่งลมเย็น (Air handling unit)

ขอบเขต	รายละเอียด
อัตราการไหลของอากาศ (Flow Rate)	24,500 CFM
พื้นที่หน้าตัดขาออก	0.8 m ²
ความดันสถิต (Static Pressure)	3.25 in.wg.

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ขอบเขต	รายละเอียด
พัดลม (Fan)	พัดลมหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Fan) - ชนิดใบพัดโค้งหน้า (Forward Curved Blades) - ชนิดใบพัดโค้งหลัง (Backward Curved Blades)
มอเตอร์ (Motor)	- แบบเหนี่ยวนำ (Induction Motor) - แบบเหนี่ยวนำทำงานร่วมกับ VSD - EC Motor (Electronically controlled motor)
แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง	- ยีห้อ AAF - เนื้อกรองอากาศ Poly Tetra Flour Ethylene (PTFE) - HEPA MERV 14 - ความดันตกคร่อมเริ่มต้น 250 Pa และความดันตกคร่อมสุดท้าย 750 Pa
อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศ	- แผ่นไททาเนียมออกไซด์ (TiO ₂) - หลอด UV-C ความยาวแสง 253.7 นาโนเมตร

3.2 เลือกชนิดและขนาดพัดลมให้เหมาะสมและกำหนดขนาดมอเตอร์จาก Performance curve โดยใช้โปรแกรม Kruger selection

3.2.1 การเลือกใช้ชนิดและขนาดพัดลม

3.2.1.1. การเลือกใช้ชนิดพัดลม

การเลือกใช้ชนิดพัดลมจากเงื่อนไขการใช้งานของเครื่องส่งลมเย็นนี้ที่อัตราการไหล 24,500 CFM ความดัน

สถิต 3.25 in.wg. จะหาความดันรวมทั้งหมด ได้จากสมการที่ (4)

$$P_{total} = P_s + P_v \dots\dots\dots(4)$$

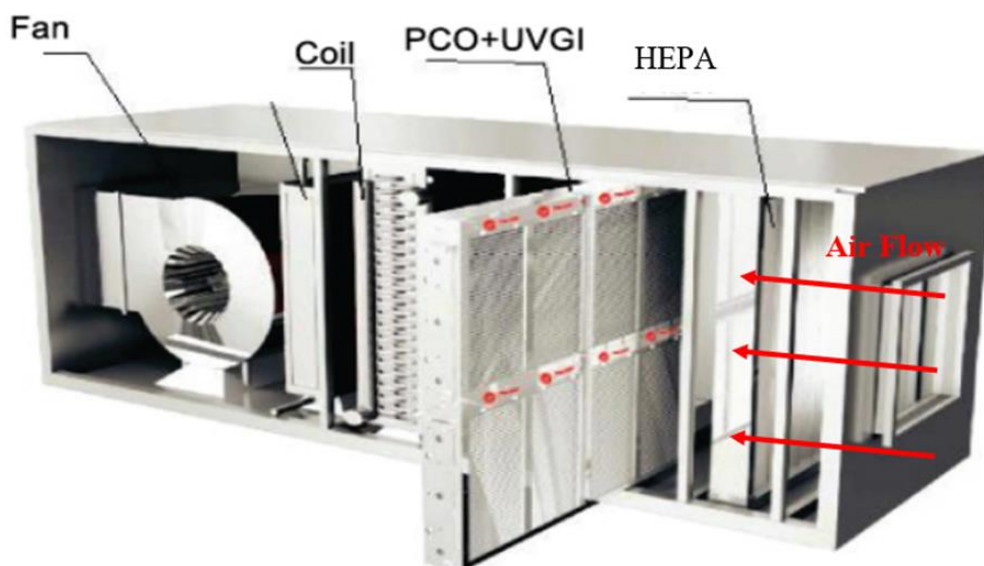
ที่ความเร็ว 11.56 m/s และความดันสถิต 809.52 Pa (3.25 in.wg) จะได้ความดันรวม 936.52 Pa (3.75 in.wg) เมื่อจัดระดับความดันจะอยู่ในช่วงความดันระดับกลาง (Medium

Static Pressure) 3.75-6.75 in.wg. จะเลือกใช้ชนิดพัดลมหนีศูนย์กลางยี่ห้อ Kruger ชนิดใบพัดโค้งหน้ากับชนิดใบพัดโค้งหลัง

3.2.1.2. การเลือกขนาดพัดลม

การเลือกขนาดพัดลม ที่อัตราการไหลของอากาศและความดันสถิตตามกำหนด สามารถเลือกชนิดพัดลมได้หลายชนิด และขนาดใบพัดได้หลายขนาด พัดลมขนาดใบพัดใหญ่จะหมุนที่ความเร็วรอบต่ำ ขณะที่ขนาดใบพัดที่เล็กกว่าจะต้องหมุนที่ความเร็วรอบที่สูงกว่า แต่จะมีประสิทธิภาพที่ต่างกัน สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม Kruger selection ในการเลือกขนาดของพัดลมโดยโปรแกรมจะเลือกขนาดใบพัดที่ให้ประสิทธิภาพที่สูงที่สุดให้ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกพัดลมยี่ห้อ Kruger เนื่องจากมีโปรแกรมในการเลือกชนิดและขนาดใบพัดได้ จากโปรแกรมเมื่อป้อนค่า อัตราการไหลและความดัน โปรแกรมจะให้ขนาดใบพัดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดและกำลังที่ใช้ขับพัดลมรวมทั้งค่าสมรรถนะต่างๆของพัดลม ทั้งพัดลมแบบ Centrifugal ชนิดใบพัดโค้งหน้า และชนิดใบพัดโค้งหลังจะได้ขนาดใบพัดเท่ากันที่ 710 mm

3.3. อ่านค่ากำลังงานที่พัดลมใช้เมื่อแผ่นกรองสกปรกทำให้มีความดันสถิตเพิ่มขึ้นจาก Performance curve โดยใช้โปรแกรม Kruger selection



รูปที่ 5 แสดงทิศทางของอากาศเมื่อเข้าเครื่องส่งลมเย็น

ที่มา : <https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/ap/thailand/News/TraneThailand->

ซึ่งแผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูงนี้หากใช้งานไปมีสิ่งสกปรกมาจับที่แผ่นกรองทำให้อากาศผ่านได้ยากเกิดความดันตกคร่อมที่แผ่นกรองสูงขึ้น การหาค่ากำลังงานจึงต้องเริ่มจากการใช้งานของพัดลมร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศฯ ความดันสถิตเริ่มต้นจะเพิ่มขึ้นตามกราฟสมรรถนะ จนแผ่นกรองอากาศตันโดยกำหนดอายุการใช้งานของแผ่นกรองอากาศอยู่ที่ 6 เดือน การทำงานของพัดลมใบพัดโค้งหลังที่ใช้มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ จะมีอัตราการไหลของอากาศลดลงเมื่อความดันสถิตเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของแผ่นกรอง ทำให้การหมุนเวียนของอากาศในห้องปรับอากาศลดลงด้วย ส่วนพัดลมใบพัดโค้งหน้าที่ใช้มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำไม่สามารถสร้างความดันสถิตให้เพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของแผ่นกรองได้จึงจำเป็นต้องเพิ่มความเร็วยกขึ้นโดยใช้ร่วมกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD) แต่ถ้าไม่ให้อัตราการไหลของอากาศลดลงจำเป็นต้องปรับความเร็วรอบเพิ่มขึ้นทั้งกรณีที่เป็นใบพัดโค้งหลังและใบพัดโค้งหน้า สำหรับใบพัดโค้งหน้าจำเป็นต้องเพิ่มขนาดใบพัดเป็น 800 mm ในการเพิ่มความเร็วยกจะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำร่วมกับ VSD หรือใช้ EC motor ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแต่ก็มีราคาแพงกว่าด้วย ตารางที่ 2 แสดงกรณีเปรียบเทียบการใช้กำลังงานกลโดยค่ากำลังงานกลอ่านได้จากกราฟสมรรถนะในโปรแกรม Kruger selection

ตารางที่ 2 ขอบเขตการคำนวณหาค่ากำลังเชิงกลของกล

ลำดับ	ชนิดพัดลมที่นำมาเปรียบเทียบ	ชนิดมอเตอร์	เงื่อนไข
1	FDA710 (Fix Speed+VSD) - BDB710 (Fix Speed)	Induction Motor	Q ลดลง เมื่อ Ps เพิ่มขึ้น
2	FDA710 (Variable Speed) - BDB710 (Variable Speed)	EC Motor	Q คงที่ เมื่อ Ps เพิ่มขึ้น

หมายเหตุ Fix Speed หมายถึง ความเร็วรอบของพัดลมคงที่ (rpm)
 Variable Speed หมายถึง ความเร็วรอบของพัดลมสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามการใช้งาน (rpm)
 Q หมายถึง อัตราการไหลของอากาศ (CFM)
 Ps หมายถึง ความดันสถิตของพัดลม (in.wg.)

โดยที่อายุการใช้งานผู้วิจัยจะเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศ HEPA ทุก ๆ 6 เดือน คิดอัตราค่าไฟฟ้าสำหรับประเภทกิจการขนาดกลาง ในอัตราปกติ อยู่ที่ 3.0197 บาท/kWh (การไฟฟ้านครหลวง, 2561) เปิดการใช้งานเครื่องส่งลมเย็น 12 ชั่วโมงต่อวันและใช้งานทุกวัน จะมีชั่วโมงการทำงานอยู่ที่ 360 ชั่วโมงต่อเดือนหรือ 4320 ชั่วโมงต่อปี

3.4. เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น 2 กรณีที่ใช้ใบพัดลมและมอเตอร์ต่างชนิดกัน

โดยจะนำค่ากำลังงานที่ได้จากข้อ 3.3. มาคิดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี และค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายต่อปีสำหรับชนิดพัดลมที่ใช้งานตามการใช้งานของมอเตอร์

3.5. การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน

ใช้เครื่องมือการตัดสินใจ NPV สำหรับกรณีตามตาราง 2 และสมมติฐานด้านการเงินและราคาอุปกรณ์ตามตารางที่ 3 รายละเอียดตารางอุปกรณ์แสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 3 สมมติฐานด้านการเงินและราคาอุปกรณ์

อายุการใช้งานเครื่องส่งลมเย็น (ปี)	10 ปี
อัตราลดคิด (Discount Rate,%)	7 %
การใช้งานเครื่องส่งลมเย็น (ชม.)	4,350 ชั่วโมงต่อปี (12 ชั่วโมงต่อวัน x 30 วัน)
อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	อัตราปกติสำหรับกิจการขนาดกลาง 3.0197 บาท/หน่วย
ราคาพัดลม (บาท)	
- พัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้า รุ่น FDA710	47,000
- พัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้า รุ่น FDA800	62,000
- พัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลัง รุ่น BDB710	58,000
ราคามอเตอร์ (บาท)	
- Induction Motor 18.5 kW	45,000
- Induction Motor 18.5 kW + VSD	65,000
- EC Motor 24 kW	120,000
- EC Motor 32 kW	135,000

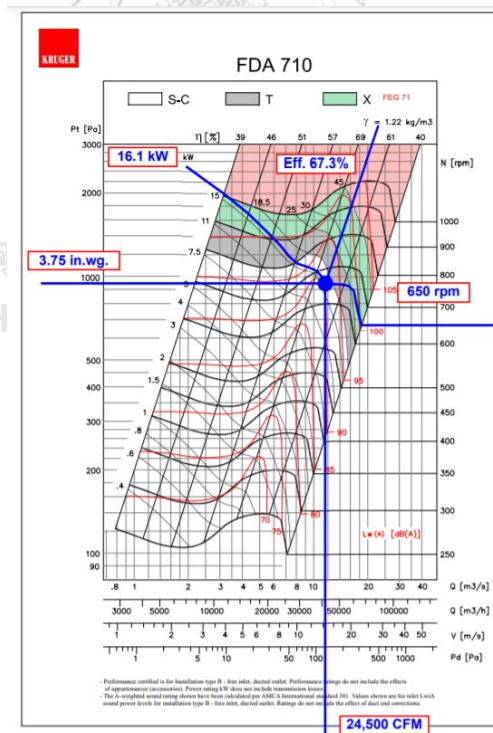
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการเลือกชนิดและขนาดพัดลมที่เหมาะสมและกำหนดขนาดมอเตอร์จาก Performance curve โดยใช้โปรแกรม Kruger selection

จากเงื่อนไขการใช้งานของเครื่องส่งลมเย็นนี้ที่อัตราการไหล 24500 CFM ความดันรวมของพัดลม 3.75 in.wg. ความดันสถิตย์ 3.25 in.wg. เมื่อจัดระดับความดันในห้องลมซึ่งใช้ค่าความดันรวมจะอยู่ในช่วงความดันระดับกลาง (Medium static pressure) 3.75-6.75 in.wg จะสามารถเลือกใช้พัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้า (Forward curved blade) กับชนิดใบพัดโค้งหลัง (Backward curved blade) โดยใช้พัดลมยี่ห้อ Kruger

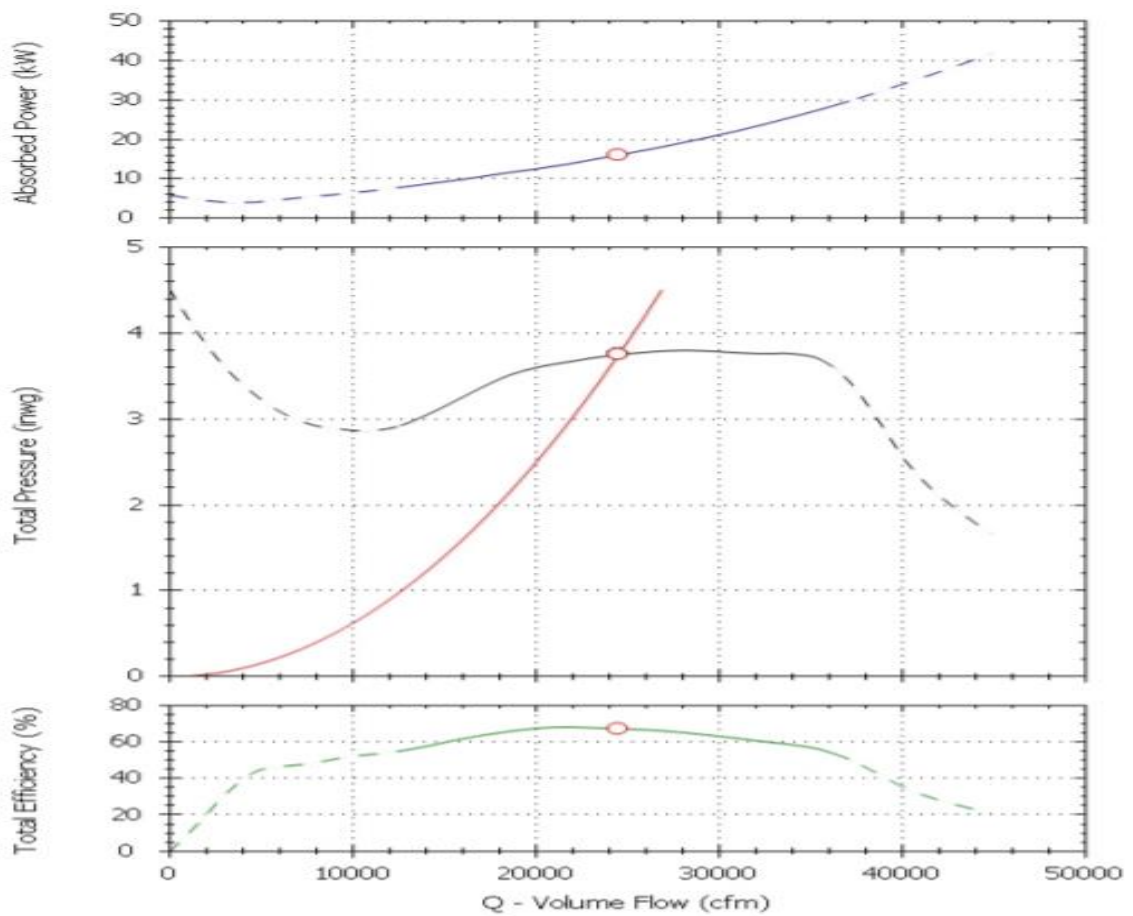
4.1.1. พัดลมหนีศูนย์กลาง ชนิดใบพัดโค้งหน้า (Forward curved blade)

เริ่มต้นใช้โปรแกรมเลือกขนาดพัดลมของ Kruger กำหนดอัตราการไหล และความดันรวม จะแสดงกราฟสมรรถนะของพัดลมใบพัดโค้งหน้ารุ่น FDA 710 ที่ความเร็วรอบต่างๆแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟสมรรถนะของพัดลมใบพัดโค้งหน้ารุ่น FDA 710 ที่ความเร็วรอบต่างๆ

ที่อัตราการไหล 24,500 cfm ความดันรวม 3.75 in. และ ความเร็วรอบ 650 rpm จะได้ประสิทธิภาพ 67.3 % และ กำลังงานกลที่ใช้ขับ 16.1 kW ตามรูปที่ 7 จะแสดงรายละเอียดตลอดช่วงใช้งานที่ความเร็ว 650 rpm และแสดงจุดใช้งานซึ่งเป็นจุดตัดกับกราฟของระบบ (System curve) และตารางที่ 4 แสดงสมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA ที่จุดทำงานที่ความเร็วรอบ 650 rpm ในการทำงานเมื่อความดันสถิตลดขึ้นอัตราการไหลจะลดลงด้วย

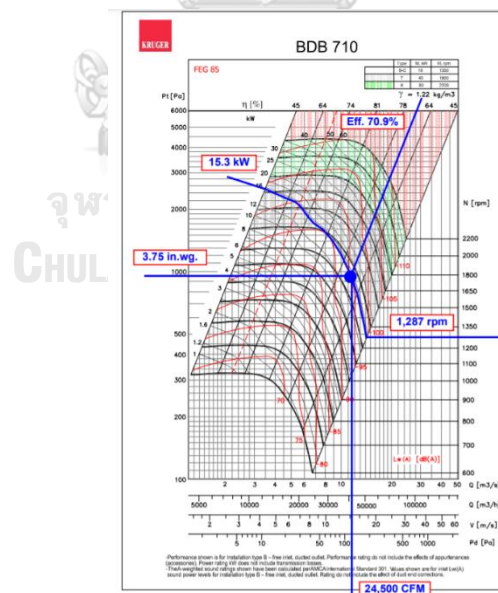


รูปที่ 7 กราฟสมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA710 ที่ความเร็วรอบ 650 rpm

ตารางที่ 4 สมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA ที่จุดทำงานที่ความเร็วรอบ 650 rpm

ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Kruger selection ของ Forward curved blade	
Fan Type	FDA710
Air Volume	24,500 cfm
Static Pressure	3.25 in.wg.
Velocity Pressure	0.498 in.wg.
Total Pressure	3.75 inwg
Outlet Velocity	14.35 m/s
Fan Total Efficiency	67.3 %
Fan Speed	650 rpm
Fan Absorbed Power	16.1 kW

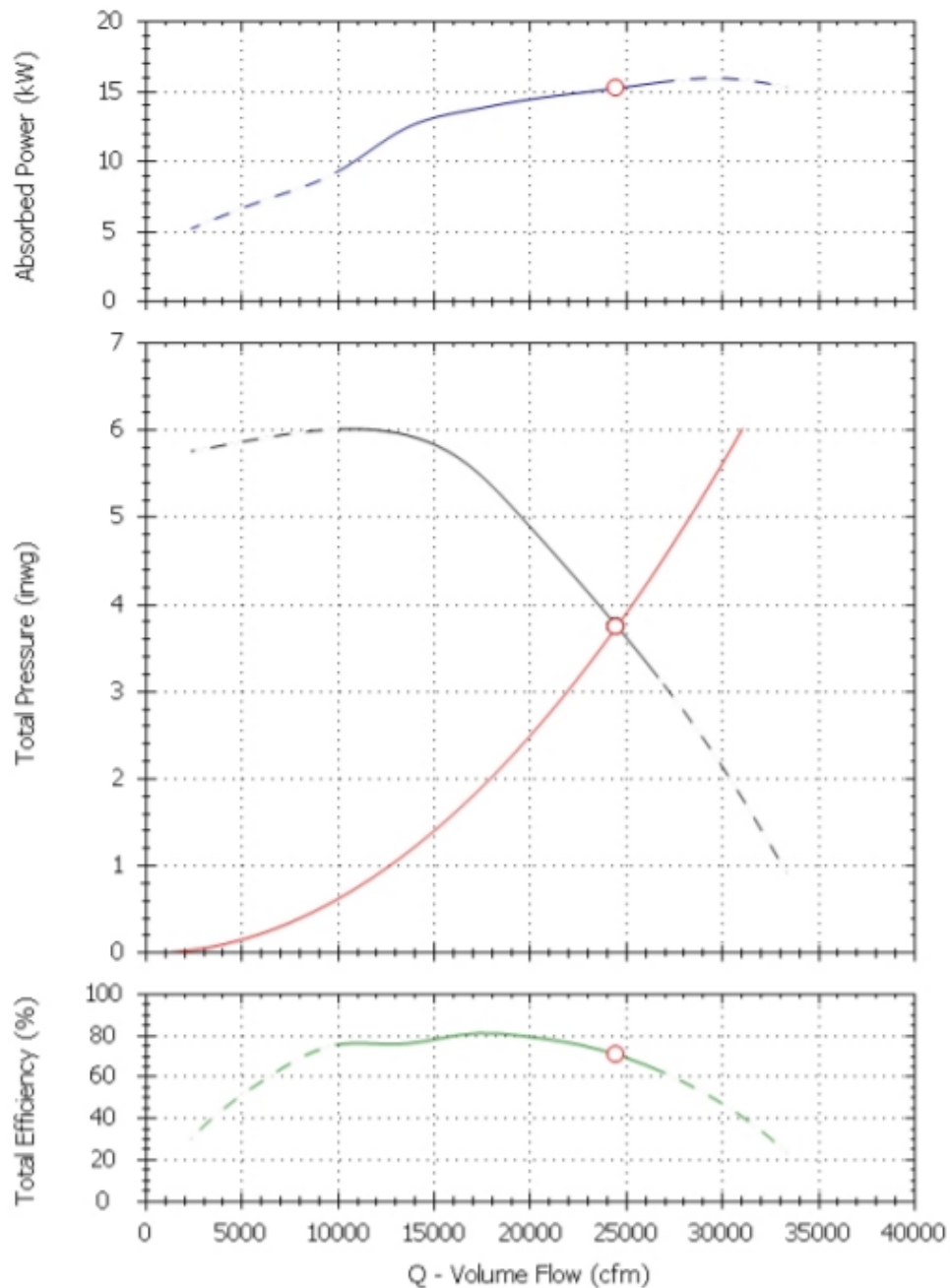
4.1.2 พัดลมหนีศูนย์กลาง ชนิดใบพัดโค้งหลัง (Backward curved blade)



รูปที่ 8 กราฟสมรรถนะของพัดลมใบพัดโค้งหน้ารุ่น BDB 710 ที่ความเร็วรอบต่างๆ

รูปที่ 10 แสดงกราฟสมรรถนะของพัดลมใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ที่ความเร็วรอบต่างๆ ที่อัตราการไหล 24,500 cfm ความดันรวม 3.75 in. และ ความเร็วรอบ 1,287 rpm จะได้

ประสิทธิภาพ 70.9 % และ กำลังงานกลที่ใช้ขับ 15.3 kW ตามรูปที่ 9 จะแสดงรายละเอียด ตลอดช่วงใช้งานที่ความเร็ว 1,287 rpm และแสดงจุดใช้งานซึ่งเป็นจุดตัดกับกราฟของระบบ (System curve) และ ตารางที่ 5 แสดงสมรรถนะของพัดลมรุ่น BDB 710 ที่จุดทำงานที่ ความเร็วรอบ 1,287 rpm ในการทำงานเมื่อความดันสถิตเพิ่มขึ้นอัตราการไหลจะลดลง



รูปที่ 9 กราฟสมรรถนะของพัดลมรุ่น BDB 710 ที่จุดทำงานที่ความเร็วรอบ 1287 rpm

ตารางที่ 5 สมรรถนะของพัดลมรุ่น BDB 710 ที่จุดทำงานที่ความเร็วรอบ 1,287 rpm

ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Kruger selection ของ Backward curved blade	
Fan Type	BDB710
Air Volume	24,500 cfm
Static Pressure	3.25 in.wg.
Velocity Pressure	0.498 in.wg.
Total Pressure	3.75 inwg
Outlet Velocity	14.35 m/s
Fan Total Efficiency	70.9 %
Fan Speed	1,287 rpm
Fan Absorbed Power	15.3 kW

ตารางที่ 6 แสดงสมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA 710 และ รุ่น BDB 710 ที่จุดทำงาน

ตารางที่ 6 สมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA 710 และ รุ่น BDB 710 ที่จุดทำงาน

รายการ	Forward curved blade	Backward curved blade
ขนาดของพัดลม	710	710
ประสิทธิภาพของพัดลม ($h_{fan}, \%$)	67.3	70.9
กำลังเชิงกลที่ป้อนให้กับพัดลม (kW)	16.1	15.3
ความเร็วรอบ (rpm)	650	1287

4.2. ผลกำลังงานที่พัดลมใช้เมื่อแผ่นกรองสกปรกทำให้มีความดันสถิตเพิ่มขึ้นจาก Performance curve โดยใช้โปรแกรม Kruger selection

4.2.1 การเลือกใช้ขนาดและชนิดใบพัดลมให้เหมาะสมกับชนิดมอเตอร์

ในการใช้งานของพัดลมที่มีแผ่นกรองประสิทธิภาพสูง (HEPA) เมื่อแผ่นกรองเริ่มตัน ความดันสถิตเริ่มต้นจะเพิ่มขึ้นจึงได้กำหนดความดันสถิตที่ตกคล่อมให้เพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานและหมดอายุเมื่อใช้งานได้ 6 เดือน การเลือกพัดลมจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ยอมให้

อัตราการไหลลดลงเมื่อความดันสถิตเพิ่มขึ้น กับกรณีที่ให้อัตราการไหลคงที่เท่าเดิมเมื่อความดันสถิตเพิ่มขึ้น กรณีแรกจะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นตัวขับเคลื่อนส่วนกรณีที่สองจะใช้ EC motor เป็นตัวขับเคลื่อน

4.2.2 กรณีที่ยอมให้อัตราการไหลลดลงเมื่อความดันสถิตเพิ่มขึ้น

4.2.2.1. พัฒนาศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้า

ตารางที่ 7 แสดงสมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA710 ที่ความเร็วรอบคงที่ 650 rpm จากตารางจะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลลดลงกำลังงานก็จะลดลงตามไปด้วย

ตารางที่ 7 สมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA710 ที่ความเร็วรอบคงที่ 650 rpm

Centrifugal fan forward curved blade (Model FDA710 Fix speed)					
อัตราการไหลของอากาศ (CFM)	ความดันรวม (in.wg)	ความดันสถิต (in.wg)	กำลังงาน (kW)	ประสิทธิภาพของพัดลม (%)	ความเร็วรอบ (rpm)
24,500	3.75	3.25	16.10	67.30	650
21,632	3.62	3.23	13.64	68.31	650
20,000	3.60	3.27	12.59	67.67	650
18,542	3.51	3.22	11.63	65.92	650
15,452	3.20	3.00	9.56	60.78	650
13,958	3.04	2.88	8.64	57.52	650

จากสมรรถนะของพัดลมจะเห็นว่าพัดลมรุ่น FDA710 Fix Speed ไม่สามารถนำไปใช้ร่วมกับแผ่นกรองประสิทธิภาพสูง (HEPA) ได้ เนื่องจากที่จุดทำงานเมื่ออัตราการไหลลดลงความดันสถิตจะลดลงด้วย จึงจำเป็นต้องเพิ่มความเร็วโดยใช้งานร่วมกับ VSD โดยกำหนดให้ความดันสถิตเพิ่มขึ้นตามอายุของแผ่นกรอง ตารางที่ 8 แสดง สมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA710 ที่ความเร็วรอบต่างๆ จากตารางจะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลลดลงแต่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นกำลังงานก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 8 สมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA710 ที่ความเร็วรอบต่างๆ

อัตราการไหล ของอากาศ (CFM)	ความดันรวม (in.wg)	ความดันสถิต (in.wg)	กำลังเชิงงาน (kW)	ประสิทธิภาพ ของพัดลม (%)	ความเร็วรอบ (rpm)
24500	3.75	3.25	16.10	67.30	650
22643	4.22	3.80	16.60	67.90	700
20507	4.96	4.41	17.90	64.00	769
18371	5.28	5.00	19.80	57.60	856
16235	5.69	5.47	20.30	53.60	913
15167	5.82	5.63	19.70	52.80	927
14100	5.91	5.75	18.90	51.70	930
12963	6.01	5.87	18.10	50.60	937

4.2.2.2. พัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลัง

ตารางที่ 9 แสดงสมรรถนะของพัดลมรุ่น BDB710 มีความเร็วรอบคงที่ 1,287 rpm จากสมรรถนะของพัดลมจะเห็นได้ว่าพัดลมรุ่น BDB710 สามารถนำไปใช้ร่วมกับแผ่นกรองประสิทธิภาพสูง (HEPA) ได้โดยไม่ต้องเพิ่มความเร็วรอบ เนื่องจากที่จุดทำงานเมื่อความดันสถิตจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลที่ลดลง และเมื่ออัตราการไหลลดลง กำลังงานก็จะลดลงตามไปด้วย

ตารางที่ 9 สมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA710 ที่ความเร็วรอบคงที่ 1,287 rpm

อัตราการไหล ของอากาศ (CFM)	ความดันรวม (in.wg)	ความดันสถิต (in.wg)	กำลังงาน (kW)	ประสิทธิภาพ ของพัดลม (%)	ความเร็วรอบ (rpm)
24,500	3.75	3.25	15.30	70.90	1,287
22,643	4.23	3.80	14.92	75.50	1,287
20,507	4.76	4.41	14.56	78.88	1,287
18,371	5.28	5.00	14.08	81.02	1,287
16,235	5.69	5.47	13.52	80.32	1,287

ตารางที่ 9 (ต่อ)

อัตราการไหล ของอากาศ (CFM)	ความดันรวม (in.wg)	ความดันสถิต (in.wg)	กำลังงาน (kW)	ประสิทธิภาพ ของพัดลม (%)	ความเร็วรอบ (rpm)
15,167	5.82	5.63	13.21	78.59	1,287
14,100	5.91	5.75	12.76	76.56	1,287
12,963	6.01	5.87	11.09	76.15	1,287

4.2.3 กรณีที่ให้อัตราการไหลคงที่เท่าเดิมเมื่อความดันสถิตเพิ่มขึ้น

4.2.3.1. พัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้า

จากสมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA 710 เมื่อให้อัตราการไหลคงที่จำเป็นต้องเพิ่มความเร็วยรอบสูงมากทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลงมากจึงได้เพิ่มขนาดใบพัดเป็นรุ่น 800 ตารางที่ 10 แสดงสมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA 800 ที่ความเร็วรอบต่างๆ จากตารางเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น กำลังงานก็จะเพิ่มตามไปด้วย

4.2.3.2. พัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลัง

ค่าจากตารางที่ 11 แสดงสมรรถนะของพัดลมรุ่น BDB 800 ที่ความเร็วรอบต่างๆ จากตารางเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น กำลังงานก็จะเพิ่มตามไปด้วย

ตารางที่ 10 สมรรถนะของพัดลมรุ่น FDA 800 ที่ความเร็วรอบต่างๆ

อัตราการไหล ของอากาศ (CFM)	ความดันรวม (in.wg)	ความดันสถิต (in.wg)	กำลังงาน (kW)	ประสิทธิภาพ ของพัดลม (%)	ความเร็วรอบ (rpm)
24500	3.75	3.25	16.00	64.00	562
24500	4.12	3.81	18.90	62.90	613
24500	4.72	4.41	22.20	61.40	666
24500	5.24	4.93	25.20	60.00	710
24500	5.56	5.25	27.10	59.00	735
24500	5.94	5.63	29.60	57.80	767
24500	6.06	5.75	30.40	57.50	776
24500	6.18	5.87	31.20	57.26	786

ตารางที่ 11 แสดงสมรรถนะของพัดลมรุ่น BDB 800 ที่ความเร็วรอบต่างๆ

อัตราการไหล ของอากาศ (CFM)	ความดันรวม (in.wg)	ความดันสถิต (in.wg)	กำลังงาน (kW)	ประสิทธิภาพ ของพัดลม (%)	ความเร็วรอบ (rpm)
24,500	3.75	3.25	15.30	70.90	1,287
24,500	4.31	3.81	16.90	73.40	1,337
24,500	4.91	4.41	18.80	75.40	1,431
24,500	5.43	4.93	20.40	76.60	1,281
24,500	5.75	5.25	21.40	77.30	1,452
24,500	6.13	5.63	22.70	77.90	1,487
24,500	6.25	5.75	23.10	78.10	1,496
24,500	6.37	5.87	23.40	78.30	1,505

4.3 ผลการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งลมเย็น 4 เครื่องที่ใช้ใบพัดลมและมอเตอร์ต่างชนิดกัน

กำหนด ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 3.0197 บาทต่อหน่วย

อายุของแผ่นกรองอากาศ (HEPA) 6 เดือน

เวลาการใช้งานของเครื่องส่งลมเย็น 12 ชั่วโมงต่อวัน

ตารางที่ 12 แสดงผลการใช้พลังงานของพัดลมกรณีใช้อัตราการไหลของอากาศลดลง จากตารางพัดลมรุ่น FDA 710 ร่วมกับ VSD จะเสียค่าใช้จ่ายต่อปี 320,475 บาท ส่วนพัดลมรุ่น BDB710 จะเสียค่าใช้จ่ายต่อปี 237,943 บาททำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปีได้ 82,532 บาท

ตารางที่ 12 ผลการใช้พลังงานของพัดลมกรณีใช้อัตราการไหลของอากาศลดลง

มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ	ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)
FDA710 (Fix Speed+ VSD)	106,128.00	320,474.72
BDB710 (Fix Speed)	78,796.80	237,942.70

ตารางที่ 13 ผลการใช้พลังงานของพัดลมกรณีที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ จากตารางพัดลมรุ่น BDB 800 ขับด้วย EC มอเตอร์ จะเสียค่าใช้จ่ายต่อปี 43,641 บาท ส่วนพัดลมรุ่น BDB710 จะเสียค่าใช้จ่ายต่อปี 352,218 บาททำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปีได้ 166,455 บาท

ตารางที่ 13 แสดงผลการใช้พลังงานของชนิดพัดลมที่ขับเคลื่อนด้วย EC Motor

EC Motor	ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)
FDA800 (Variable Speed)	144,432.00	436,141.31
BDB710 (Variable Speed)	116,640.00	352,217.81

4.4. ผลประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน

ความคุ้มค่าในการลงทุนพิจารณาจากผลประโยชน์และเงินลงทุนของโครงการ โครงการที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบมี 2 กรณี คือกรณีแรกเป็น โครงการใช้พัดลมแบบหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้ารุ่น FDA 710 ร่วมกับมอเตอร์เหนี่ยวนำและ VSD เทียบกับโครงการใช้พัดลมแบบหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ร่วมกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ และกรณีหลังเป็นโครงการใช้พัดลมแบบหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้ารุ่น FDA 800 ร่วมกับ EC motor เทียบกับโครงการใช้พัดลมแบบหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ร่วมกับ EC motor กรณีแรกโครงการใช้พัดลมแบบหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ร่วมกับมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ผลประโยชน์เป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลงต่อปี 82,532 บาท ส่วนกรณีหลังโครงการใช้พัดลมแบบหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ร่วมกับ EC motor ได้ผลประโยชน์เป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลงต่อปี 83,923 บาท

ตารางที่ 1 แสดงต้นทุนของอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับกรณีแรก โครงการใช้พัดลมแบบหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้ารุ่น FDA 710 ร่วมกับมอเตอร์เหนี่ยวนำใช้เงินลงทุน 112,000 บาท ส่วนโครงการใช้พัดลมแบบหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ร่วมกับมอเตอร์เหนี่ยวนำใช้เงินลงทุน 103,000 บาท ซึ่งใช้เงินลงทุนน้อยกว่า 9,000 บาท ส่วนกรณีหลัง โครงการใช้พัดลมแบบหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้ารุ่น FDA 800 ร่วมกับ EC motor ใช้เงินลงทุน 197,000 บาท ส่วนโครงการใช้พัดลมแบบหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ร่วมกับ EC motor ใช้เงินลงทุน 178,000 บาท ซึ่งใช้เงินลงทุนน้อยกว่า 19,000 บาท ทั้งสองกรณีจะใช้อุปกรณ์ฆ่าเชื้อโรคเหมือนกัน จึงไม่ได้นำต้นทุนมาใช้

ตารางที่ 14 ต้นทุนของอุปกรณ์ต่างๆ

ชนิดพัดลม	ชนิดมอเตอร์	ต้นทุน (บาท)	รวมทั้งหมด (บาท)
FDA710	Induction Motor 18.5 kW + VSD	47,000 + 65,000	112,000
BDB710	Induction Motor 18.5 kW	58,000 + 45,000	103,000
FDA800	EC Motor 32 kW	62,000 + 135,000	197,000
BDB710	EC Motor 24 kW	58,000 + 120,000	178,000

เนื่องจากทั้ง 2 กรณีโครงการใช้พัดลมใบพัดโครงหลังมีการลงทุนน้อยกว่าโครงการใช้พัดลมใบพัดโค้งหน้าแต่ได้ผลประโยชน์มากกว่า ดังนั้นความคุ้มค่าในการลงทุนจึงมีเพียง NPV สำหรับกรณีแรก จะได้ค่า NPV 588,670 บาท ส่วนกรณีหลังจะได้ค่า NPV 608,440 บาท จึงสรุปได้ว่าโครงการใช้พัดลมใบพัดโครงหลังมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่าโครงการใช้พัดลมใบพัดโครงหน้า ทั้งกรณีที่ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำและกรณีที่ใช้ EC motor

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องส่งลมเย็นที่มีอุปกรณ์เพื่อควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกร่วมกับแผ่นกรองประสิทธิภาพสูง (HAPA) ที่ใช้งานร่วมกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ และ Electronically controlled motor (EC motor) เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของอากาศ 24,500 CFM ความความดันสถิตย์ 3.25 in.wg. เพื่อใช้กับระบบท่อลมเดิมได้

5.1 สรุปผลวิจัย

5.1.1 เปรียบเทียบการใช้พลังงานเครื่องส่งลมเย็นที่มีอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกร่วมกับแผ่นกรองประสิทธิภาพสูง 2 กรณี ดังนี้

5.1.1.1. กรณีที่ 1 อัตราการไหลของอากาศลดลงตามความดันสถิตย์ที่เพิ่มขึ้น

เมื่ออัตราการไหลลดลงเมื่อแผ่นกรองประสิทธิภาพสูงดักจับฝุ่นทำให้ความดันสถิตย์ของพัดลมเพิ่มขึ้น พัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ทำงานร่วมกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีได้ 27,331.20 kWh เมื่อเทียบกับพัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้ารุ่น FAD 710 ทำงานร่วมกับมอเตอร์เหนี่ยวนำและ VSD

5.1.1.2. กรณีที่ 2 อัตราการไหลของอากาศคงที่แม้ว่าความดันสถิตย์จะเพิ่มขึ้น

เมื่ออัตราการไหลคงที่เมื่อแผ่นกรองประสิทธิภาพสูงดักจับฝุ่นทำให้ความดันสถิตย์ของพัดลมเพิ่มขึ้น พัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ทำงานร่วมกับ EC motor สามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีได้ 2,208.00 kWh เมื่อเทียบกับพัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้ารุ่น FAD 800 ทำงานร่วมกับ EC motor

5.1.2 ความคุ้มค่าในการลงทุนของทั้ง 2 กรณี

5.1.2.1. ความคุ้มค่าในการลงทุนกรณีที่ 1

พัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ทำงานร่วมกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการทำงานได้ 82,532 บาทต่อปี เมื่อเทียบกับพัดลมหนีศูนย์กลาง

ชนิดใบพัดโค้งหน้ารุ่น FAD 710 ทำงานร่วมกับมอเตอร์เหนียว และ VSD แต่มีเงินลงทุนที่น้อยกว่าจำนวน 9,000 บาทจึงได้ค่า NPV 588,670 บาท เมื่อใช้อายุโครงการ 10 ปี จึงคุ้มค่าในการลงทุน

5.1.2.2. ความคุ้มค่าในการลงทุนกรณีที่ 2

พัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหลังรุ่น BDB 710 ทำงานร่วมกับ EC motor สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการทำงานได้ 83,923 บาทต่อปี เมื่อเทียบกับพัดลมหนีศูนย์กลางชนิดใบพัดโค้งหน้ารุ่น FAD 800 ทำงานร่วมกับ EC motor แต่มีเงินลงทุนที่น้อยกว่าจำนวน 19,000 บาท บาทจึงได้ค่า NPV 608,440 บาท เมื่อใช้อายุโครงการ 10 ปี จึงคุ้มค่าในการลงทุน

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางการเลือกใช้ หรือการเปลี่ยน ชนิดพัดลมกับชนิดมอเตอร์ ในเครื่องส่งลมเย็นที่มีอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกร่วมกับแผ่นกรอง Hepa ทำให้เกิดความดันตกคร่อมมากขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้พัดลมเพิ่มความเร็วยิ่งขึ้นเพื่อเอาชนะความดันตกคร่อมที่เพิ่มขึ้นจึงต้องใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นตามมา แต่ด้วยปัจจุบัน มีการระบาดของไวรัสที่แพร่ได้ทางอากาศ จึงควรคำนึงถึงความสะอาดของอากาศภายในอาคารและการประหยัดพลังงานควบคู่กันไปด้วยเพื่อความปลอดภัยต่อผู้คนและการใช้พลังงานของอาคาร

บรรณานุกรม

- กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2564). คำแนะนำการระบายอากาศเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19). สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2564 จาก <https://covid19.anamai.moph.go.th>
- กฤษกร อุดศรี. (2553). การบำรุงรักษาระบบปรับอากาศแบบรวมสำหรับอาคารขนาดใหญ่ [สาขาสถาปัตยกรรมภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- เกศินี พรหมธี. (2555). การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงการใช้พลังงานของห้องสะอาดด้วยวิธีการเชิงสถิติกรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิต วอยซ์ มอเตอร์ [สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- เชษฐา พงษ์ผล. (2559). ลักษณะอาการชำรุดของระบบปรับอากาศแบบรวมของศูนย์การค้า ไฮเปอร์มาร์เก็ตในช่วงอายุ 5-12 ปี กรณีศึกษา อาคาร บมจ. บีที ซีพี เซ็นเตอร์ 5 อาคาร [สาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- दनัย ถิวันดา. (2562). การเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร. การสัมมนาวิชาการ เรื่อง *My building is killing me: How to grow fresh indoor air*, ณ วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช.
- ตุลย์ มณีวัฒนา. (2562). การจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร และมาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้. การสัมมนาวิชาการ เรื่อง *My building is killing me: How to grow fresh indoor air*, ณ วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช.
- พรณิกา วนระมย์. (2555). การกำจัดแบคทีเรียในอากาศด้วยแผ่นฟอกอากาศโฟโตคะตะไลติก [สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- พลสันต์ นำหน้ากองทัพ. (2557). แนวทางการประหยัดพลังงานของศูนย์การค้า ผลการศึกษา 6 กรณีศึกษาในกรุงเทพมหานคร [สาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- วรรณิ วัฒนไพลิน. (2552). การให้ความสำคัญกับการประหยัดพลังงานและการจัดการสิ่งแวดล้อมในอาคาร โรงพยาบาลกลาง ตามหลักเกณฑ์อาคารเขียว [สาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

- องค์วรรณดี, ม. (2562). 13 ปี งานวิจัยคุณภาพอากาศในอาคาร. การสัมมนาวิชาการ เรื่อง My building is killing me: How to grow fresh indoor air, ณ วิทยาลัย พัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช.
- อภิรักษ์ ชวดชุม. (2557). ระบบสนับสนุนการเลือกใช้แผ่นกรองอากาศสำหรับห้องสะอาด [สาขา วิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- Armellino, D., Walsh, T. J., Petraitis, V., & Kowalski, W. (2019). Assessment of focused multivector ultraviolet disinfection with shadowless delivery using 5-point multisided sampling of patient care equipment without manual-chemical disinfection. *Am J Infect Control*, 47, 409-414.
- Armellino, D. G., Thomas, L., Walsh, T., & Petraitis, V. (2020). Comparative evaluation of operating room terminal cleaning by two methods: Focused multivector ultraviolet (FMUV) versus manual- chemical disinfection. *Am J Infect Contr (Accepted)*.
- ASHRAE. (2020). *ASHRAE Resources Available to Address COVID-19 Concerns*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- Stadnytskyi, V., Bax, C., Bax, A., & Anfinrud, P. (2020). *The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission*.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
วิธีคำนวณการเลือกใช้ชนิดพัดลม

1. วิธีหาความดันรวมของพัดลม (Total Pressure)

มีข้อมูลอัตราการไหล 24,500 CFM (11.52 m³/s) ความดันสถิต 809.52 Pa (3.25 in.wg.) และพื้นที่หน้าตัดขาออก 0.8 m² เริ่มจากหาความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่ออกจากพัดลม (Velocity) ได้จากสมการที่ (3)

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(3)$$

โดย Q หมายถึง อัตราการไหลของอากาศ มีหน่วยเป็น m³/s

A หมายถึง พื้นที่หน้าตัดขาออก มีหน่วยเป็น m²

แทนค่า $Q = 11.52 \text{ m}^3 / \text{s}, A = 0.8 \text{ m}^2$ จะได้ $V = 14.4 \text{ m} / \text{s}$

หาความดันไดนามิก (Velocity Pressure) ของพัดลมได้จากสมการที่ (2)

$$P_v = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \dots\dots\dots(2)$$

โดย ρ หมายถึง ความหนาแน่นของอากาศ มีหน่วยเป็น kg/m³

V หมายถึง ความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่ออกจากพัดลม มีหน่วยเป็น m/s

แทนค่า $\rho = 1.225 \text{ kg} / \text{m}^3, V = 14.4 \text{ m} / \text{s}$ จะได้ $P_v = 127 \text{ Pa}$ (0.5 in.wg.)

หาความดันรวมของพัดลม (Total Pressure) คำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$P_{total} = P_s + P_v \dots\dots\dots(1)$$

โดย P_{total} หมายถึง ความดันรวมของพัดลม มีหน่วยเป็น Pa

P_s หมายถึง ความดันสถิตของพัดลม มีหน่วยเป็น Pa

P_v หมายถึง ความดันไดนามิกเนื่องจากความเร็วที่ขาออกใบพัด มีหน่วยเป็น Pa

แทนค่า $P_s = 809.52 \text{ Pa}, P_v = 127 \text{ Pa}$ จะได้ $P_{total} = 936.52 \text{ Pa}$

2. การเลือกชนิดพัดลม

เมื่อได้ความดันรวม (Total Pressure) เท่ากับ 936.52 Pa หรือ 3.75 in.wg จัดระดับความดันรวมจะอยู่ในช่วงความดันระดับกลางของท่อลม (Medium Static Pressure) 3.75-6.75 in.wg. จะเลือกใช้ชนิดพัดลมหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Fan)

ภาคผนวก ข

วิธีการเลือกขนาดพัดลมโดยใช้ Performance Curve ของพัดลม

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม Kruger Selection ในการเลือกขนาดของพัดลม แต่จะแสดงวิธีการเลือกขนาดพัดลมโดยวิธีเบื้องต้น โดยใช้ Performance Curve ดังนี้ เริ่มต้นจะใช้ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลและความดันรวม ทางผู้วิจัยได้เลือกขนาดของพัดลมไว้ที่ ขนาดของพัดลมยี่ห้อ Kruger แบบพัดลมหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Fan) ชนิดใบพัด 2 แบบ คือ Forward Curved Blade และ Backward Curved Blade ทางผู้ผลิตกำหนดขอบเขต Model ของพัดลมอยู่ใน Type C ตามการใช้งานของอัตราการไหลของอากาศ และความดันสถิตที่ผู้วิจัยกำหนด เริ่มต้นการเลือกขนาดของพัดลม ดังนี้

Centrifugal Fan Forward Curved Blade Type C มีขอบเขตการใช้งานตามผู้ผลิตดังนี้

Model Fan Size : FDA160 – FDA710

Flow Rate : 590 – 30,000 CFM

Total Pressure : 5.62 in.wg.

ตารางที่ ข-1 แสดงรูปภาพและ Model ของพัดลม Centrifugal Fan Forward Curved Blade Type C


	Model Fan Size ของ Forward Curved Blade Type C
	FDA500
	FDA560
	FDA630
	FDA710

รูปที่ ข-1 แสดง Centrifugal Fan Forward Curved Type C

Centrifugal Fan Backward Curved Blade Type C มีขอบเขตการใช้งานตามผู้ผลิตดังนี้

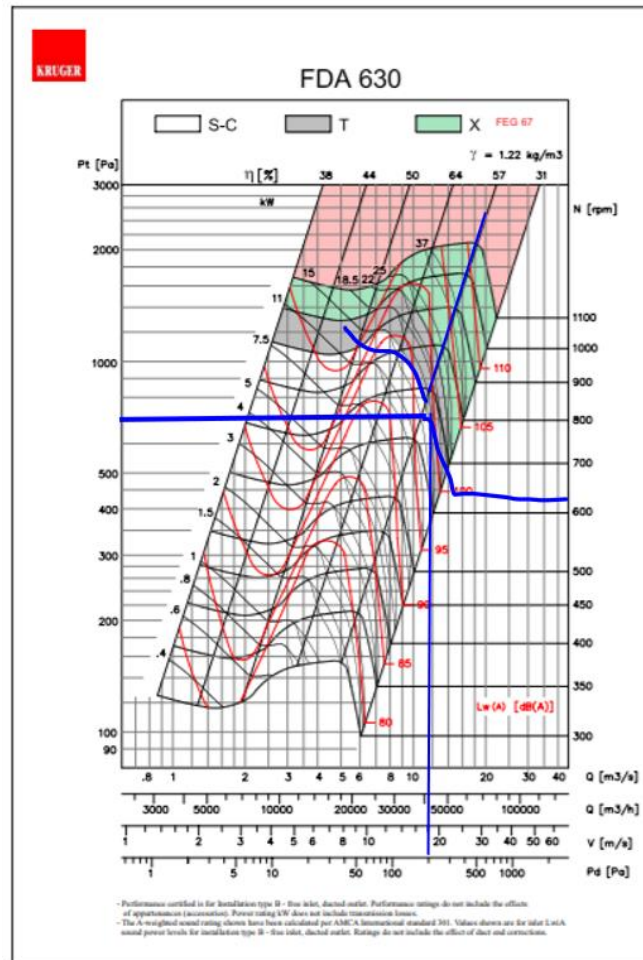
Model Fan Size : BDB315 – BDB710
 Flow Rate : 1,120 – 30,000 CFM
 Total Pressure : 5.62 in.wg.

ตารางที่ ข-2 แสดงรูปภาพและ Model ของพัดลม Centrifugal Fan Backward Curved Blade Type C

	Model Fan Size ของ Backward Curved Blade Type C
	BDB500
	BDB560
	BDB630
	BDB710

รูปที่ ข-2 Centrifugal Fan Backward Curved Type C

ด้วยอัตราการไหลของอากาศ จึงเลือก ใช้ Model Fan Size ϕ 400 – 710 hubs สำหรับ ชนิดใบพัดลมทั้ง 2 ชนิดเพื่ออ่านค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความดันของของไหล จะได้ กราฟสมรรถนะของพัดลม (Performance curve) สามารถอ่านค่า ความเร็วรอบของพัดลม (rpm), กำลังเชิงกลที่ป้อนให้กับพัดลม (kW) และ ประสิทธิภาพของพัดลมของแต่ละ Model ยกตัวอย่างการอ่านค่า ของ Forward Curved Blade (Model FDA630) และ Backward Curved Blade (Model BDB630) ดังนี้



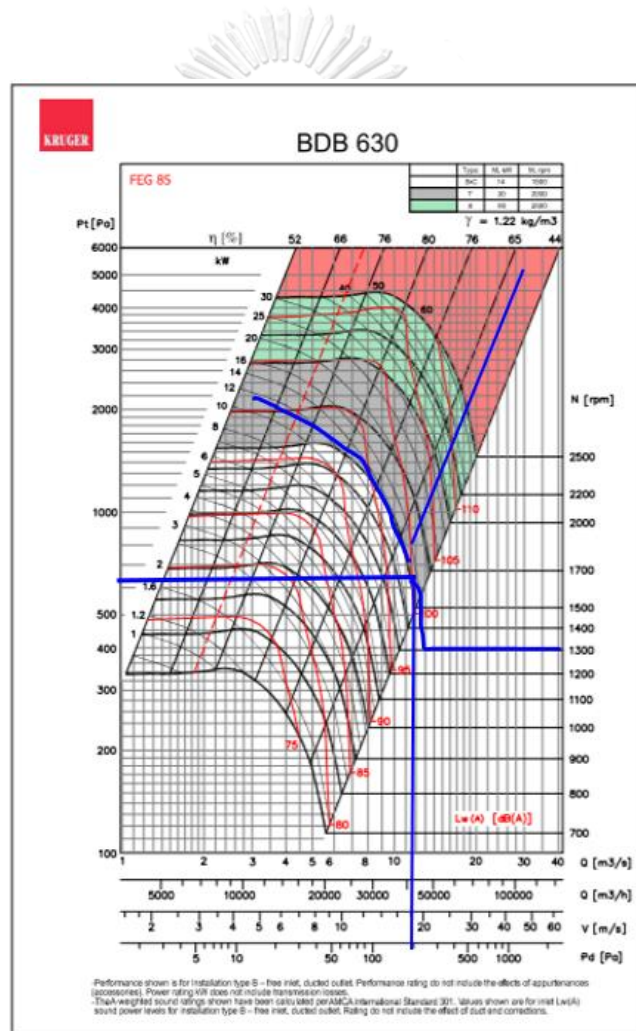
รูปที่ ข-3 แสดงกราฟสมรรถนะของพัดลม (Performance curve) ของ Forward Curved Blade Model FDA630

กำหนด อัตราการไหลของอากาศที่ 24,500 CFM หรือ 41,625 CMH และ ความดันสถิตของของไหลที่ 3.75 in.wg.หรือ 936.52 Pa จะได้ค่าดังตารางที่ ข-3

ตารางที่ ข-3 แสดง Performance curved ของ Forward Curved Blade Model FDA630

ค่าที่อ่านได้จาก Performance curved ของ Forward Curved Blade Model FDA630	
ประสิทธิภาพของพัดลม ($h_{fan}, \%$)	60
กำลังเชิงกลที่ป้อนให้กับพัดลม (kW)	18.5
ความเร็วรอบของพัดลม (rpm)	750

ต่อมาเป็นตัวอย่งการอ่านค่าจาก Performance Curved ของ Backward Curved Blade Model BDB630



รูปที่ ข-4 กราฟสมรรถนะของพัดลม (Performance curve) ของ Backward Curved Blade Model BDB630

กำหนด อัตราการไหลของอากาศที่ 24,500 CFM หรือ 41,625 CMH และ ความดันสถิต
ของของไหลที่ 3.75 in.wg. หรือ 936.52 Pa จะได้ค่าดังตารางที่ ข-4

ตารางที่ ข-4 Performance curvedของ Backward Curved Blade Model BDB630

ค่าที่อ่านได้จาก Performance curvedของ Backward Curved Blade Model BDB630	
ประสิทธิภาพของพัดลม (h_{fan} , %)	63
กำลังเชิงกลที่ป้อนให้กับพัดลม (kW)	17
ความเร็วรอบของพัดลม (rpm)	1600



ภาคผนวก ค
การคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์

เปรียบเทียบ FDA710 (Fix Speed+ VSD) - BDB710 (Fix Speed) :Induction Motor											
Project Life,year	10										
Interest Rate(discount),%	7										
List	Year										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investment Cost, Baht	-9000										
Benefit, Baht	82,532.02	82532	82532	82532	82532	82532	82532	82532	82532	82532	82532
Sunk	0						0				
Other Cost, Baht											
Expense, Baht		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maintenance ,Baht	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Replace Equipment, Baht							0				
Other Cost, Baht											
Ben-Exp-Other, Baht	82532.02	82532	82532	82532	82532	82532	82532	82532	82532	82532	82532
Yearly PV	0	77133	72087	67371	62963	58844	54995	51397	48034	44892	41955
Accumulate PV		77133	149219	216590	279553	338398	393392	444789	492823	537715	579670
Cash Flow, Baht	9000	86133	158219	225590	288553	347398	402392	453789	501823	546715	588670
GPV , Baht	579,670										
NPV ,Baht	588,670	3436	3245	3065	2894	2734	2582	2438	2303	2175	2054
Pay Back ,yr	#DIV/0!										
IRR, %	#NUM!										

รูปที่ ค-1 แสดงผลการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์จากโปรแกรม Excel ของFDA710
(Fix Speed+ VSD) กับBDB710 (Fix Speed) โดยใช้ Induction Motor ขับเคลื่อนพัดลม

เปรียบเทียบ FDA800 (Variable Speed) - BDB710 (Variable Speed) :EC Motor											
Project Life,year	10										
Interest Rate(discount),%	7										
List	Year										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investment Cost, Baht	-19000										
Benefit, Baht	83,923.00	83923	83923	83923	83923	83923	83923	83923	83923	83923	83923
Sunk	0						0				
Other Cost, Baht											
Expense, Baht		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maintenance ,Baht	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Replace Equipment, Baht							0				
Other Cost, Baht											
Ben-Exp-Other, Baht	83923	83923	83923	83923	83923	83923	83923	83923	83923	83923	83923
Yearly PV	0	78433	73302	68506	64024	59836	55921	52263	48844	45649	42662
Accumulate PV		78433	151734	220240	284265	344101	400022	452285	501129	546778	589440
Cash Flow, Baht	19000	97433	170734	239240	303265	363101	419022	471285	520129	565778	608440
GPV , Baht	589,440										
NPV ,Baht	608,440	3436	3245	3065	2894	2734	2582	2438	2303	2175	2054
Pay Back ,yr	#DIV/0!										
IRR, %	#NUM!										

รูปที่ ค-2 แสดงผลการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์จากโปรแกรม Excel ของFDA800 (Variable
Speed) กับ BDB710

ภาคผนวก ง
ราคาพัดลมและมอเตอร์

ราคาพัดลมและมอเตอร์ในเครื่องส่งลมเย็นเพื่อควบคุมคุณภาพอากาศที่ใช้ปฏิกิริยา
โฟโตคะตะไลติก

Fan Size	FDA - Forward Curve			BDB - Backward Curve		
	CM	TM	XM	CM	TM	XM
180	6,160	-	-	-	-	-
200	6,400	-	-	10,880	-	-
225	6,620	-	-	11,080	-	-
250	6,720	9,020	-	11,380	15,320	-
280	8,220	10,680	-	12,680	17,100	-
315	9,420	12,020	-	13,260	17,860	23,860
355	11,260	14,380	-	16,140	21,240	28,320
400	12,960	17,180	-	16,200	23,120	30,880
450	15,780	19,980	-	21,120	28,440	37,940
500	19,100	24,880	-	24,020	34,180	45,640
560	23,140	29,620	38,480	31,500	40,620	50,800
630	34,960	42,920	57,160	38,860	49,020	65,400
710	42,360	47,480	61,640	53,260	57,000	76,000
800	-	59,920	74,960	-	71,120	83,660
900	-	82,660	105,120	-	88,780	110,280
1000	-	98,800	122,260	-	114,800	136,340

รูปที่ ง-1 ราคาของพัดลมบริษัท A ข้อมูลวันที่ 15 พฤศจิกายน 2564

Motor		T/P (Baht)
1 Hp	(0.75 kW)	9,480
2 Hp	(1.5 kW)	11,840
3 Hp	(2.2 kW)	13,840
5.5 Hp	(4 kW)	17,220
7.5 Hp	(5.5 kW)	25,180
10 Hp	(7.5 kW)	29,180
15 Hp	(11 kW)	45,840
20 Hp	(15 kW)	56,300
25 Hp	(18 kW)	63,460
30 Hp	(22 kW)	75,460
40 Hp	(30 kW)	97,720

รูปที่ ง-2 ราคาของมอเตอร์เหนี่ยวนำบริษัท A ข้อมูลวันที่ 15 พฤศจิกายน 2564

Condition				Provided by ZA					
CFM	Total Acc	Ext.stat	Total stati	EC model	article no.	Q'ty	Price/Unit	Total Price	
24,514	2.55	1.20	3.75	GR50I-ZID.GL.CR	116905/A01	4	THB 40,250.00	THB 161,000.00	
23,892	2.49	1.20	3.69	GR50I-ZID.GL.CR	116905/A01	4	THB 40,250.00	THB 161,000.00	
26,475	2.07	1.20	3.27	GR56I-ZID.GQ.CR	116909/A01	4	THB 46,500.00	THB 186,000.00	
22,061	2.56	1.20	3.76	GR50I-ZID.GL.CR	116905/A01	4	THB 40,250.00	THB 161,000.00	
24,435	2.35	1.50	3.85	GR50I-ZID.GL.CR	116905/A01	4	THB 40,250.00	THB 161,000.00	
22,012	2.56	1.20	3.76	GR50I-ZID.GL.CR	116905/A01	4	THB 40,250.00	THB 161,000.00	
21,111	2.55	1.20	3.75	GR56I-ZID.GQ.CR	116909/A01	3	THB 46,500.00	THB 139,500.00	
20,221	2.44	1.20	3.64	GR56I-ZID.GQ.CR	116909/A01	3	THB 46,500.00	THB 139,500.00	
19,110	2.57	1.20	3.77	GR50I-ZID.GL.CR	116905/A01	3	THB 40,250.00	THB 120,750.00	

รูปที่ ง-3 ราคาของ EC motor บริษัท A ข้อมูลวันที่ 15 พฤศจิกายน 2564



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณัฐกานต์ จันทรมมิน
วัน เดือน ปี เกิด	21 กรกฎาคม 2532
สถานที่เกิด	จ.ลำปาง
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ที่อยู่ปัจจุบัน	หมู่บ้าน inizio3 ปิ่นเกล้า-วงแหวน บ้านเลขที่ 81/144. ซอย11/1. ซอย ถนนสำเร็จพัฒนา. ตำบลศาลากลาง. อำเภอบางกรวย. จังหวัด นนทบุรี. 11130



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY