การลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็น
กรณีศึกษา โรงไฟฟ้าแหลมฉบัง

ณัฐวุฒิ อิ่มทอง

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
พ.ศ. 2562

Reducing Cost of Electrical Energy Consumption of Cooling Tower System, A Case Study of Laem Chabang Power Plant

Natthawut Imthong

A Thematic paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department Engineering Management.

Dhurakij Pundit University

2019

ใบรับรองสารนิพนธ์

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อสารนิพนธ์ การลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็น
กรณีศึกษา โรงไฟฟ้าแหลมฉบัง

เสนอโดย ณัฐวุฒิ อิ่มทอง

สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์แล้ว

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)
คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 29 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2562

หัวข้อสารนิพนธ์	การลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็น กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแหลมฉบัง
ชื่อผู้เขียน	ณัฐวุฒิ อิ่มทอง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์
สาขาวิชา	การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็น กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแหลมฉบัง โดยใช้แผนผังก้างปลาเป็นเครื่องมือช่วยค้นหาอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานสิ้นเปลืองที่มีศักยภาพสามารถปรับปรุงด้านพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า จากผลการวิเคราะห์แผนผังก้างปลาพบว่า สามารถปรับปรุงพลังงานไฟฟ้าที่ชุดใบพัดลมของหอหล่อเย็นได้ จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลชั่วโมงการทำงาน ค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าและประสิทธิภาพรวมของระบบ โดยนำข้อมูลทั้งหมดทำการเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงเพื่อนำไปวิเคราะห์หาอัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุน

ผลการศึกษาพบว่าระบบหอหล่อเย็นก่อนปรับปรุงมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 434.1 kWh คิดเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 8,061,570 บาทต่อปี จากนั้นได้ทำการการลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนใบพัดชนิดประหยัดพลังงาน หลังเปลี่ยนใบพัดพบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเหลือ 315.52 kWh คิดเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 5,900,224 บาทต่อปี คิดเป็นการลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังเปลี่ยนใบพัดเท่ากับ 2,217,446 บาทต่อปีหรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 27.28 %

Thematic Paper Title	Reducing Cost of Electric Energy Consumption of the Cooling Tower System: a Case Study of Laem Chabang Power Plant
Author	Natthawut Imthong
Thematic Paper Advisor	Assistant Professor Suparatchai Vorarat, Ph.D.
Department	Engineering Management
Academic	2018

Abstract

This research is to study reduction of electric energy consumption costs in the cooling tower system at Laem Chabang Power Plant. The fishbone diagram was utilized as a tool in order to determine devices that consumed substantial energy that were potentially improved in terms of both thermal and electric energy. The results of the fishbone diagram analysis showed that the electric energy could be decreased by improving the cooling tower fan set. Consequently, data regarding operating hours, electricity consumption and total efficiency of the cooling tower system were collected. All data were analyzed to make comparisons between before and after the improvement and to analyze the Internal Rate of Return (IRR) and Payback Period (PB).

The results of the study demonstrated that the electricity consumption of the cooling tower system before the improvement was 434.1 kWh, costing 8,061,570 baht per year. The initiative of changing the cooling fan blades was implemented in order to reduce electric energy cost. After the cooling fan blade alteration, it was found that the electricity consumption reduced to 315.52 kWh, costing 5,900,224 baht per year. This led to the electricity cost saving of 2,217,446 baht per year, or an average energy saving of 27.28%.

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ในหัวข้อ การลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็นกรณีศึกษาโรงไฟฟ้าแหลมฉบัง ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ โดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์ ที่กรุณาแนะนาหัวข้อ ในการศึกษาครั้งนี้ตลอดจนให้คำปรึกษาให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ พร้อมท้งชี้แนะแนวทางในการวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณะผู้บริหาร วิศวกร ช่างเทคนิค ตลอดจนถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านของโรงไฟฟ้าแหลมฉบังที่ให้ความเอื้อเฟื้อช่วยเหลือในด้านข้อมูล ที่ใช้ในการทำวิจัยจนสำเร็จไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อนๆ และเจ้าหน้าที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ทุกท่านที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจ ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ที่มีส่วนในการวางรากฐานการศึกษาให้แก่ผู้วิจัย

ณัฐวุฒิ อิ่มทอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ฆ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ง

กิตติกรรมประกาศ..... จ

สารบัญตาราง..... ซ

สารบัญภาพ..... ฌ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 5

1.3 ขอบเขตการวิจัย..... 5

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 5

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 8

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 9

2.1 กรอบแนวคิดทางทฤษฎี..... 9

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 34

3. ระเบียบวิธีวิจัย..... 36

3.1 ข้อมูลทั่วไป..... 36

3.2 ข้อมูลทั่วไปของระบบหอหล่อเย็นของบริษัทกรณีศึกษา..... 39

3.3 ข้อมูลการศึกษาและสำรวจสภาพการดำเนินงานด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า ชุดมอเตอร์ขับใบพัดลมของหอหล่อเย็นก่อนปรับปรุง..... 41

3.4 ข้อมูลความเร็วลมและอัตราการไหลของลมของชุดใบพัดของหอหล่อเย็น..... 42

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมู..... 45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลและศึกษาแนวทางการแก้ไข……	46
3.7 การสรุปผล.....	47
4. ผลการวิจัย……	48
4.1 วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบต้นทุน เทคโนโลยีและประโยชน์ที่จะได้รับสูงสุดของใบพัดของแต่ละบริษัทผู้ผลิตใบพัด……...……	48
4.2 ผลหลังการแก้ไขปรับปรุง……...……	51
4.3 ปัญหาและอุปสรรคที่พบในงานวิจัย……	58
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ……...	74
5.1 สรุปผลการวิจัย……...……..	74
5.2 ข้อเสนอแนะ……	75
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย……..	76
บรรณานุกรม……	77
ภาคผนวก……	79
ประวัติผู้เขียน……..	101

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แผนการศึกษางานวิจัย..... 7

3.1 แสดงบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ขับใบพัดทั้ง 3 หน่วยก่อนเริ่ม ปรับปรุงใบพัด……... 42

3.2 แสดงข้อมูลความเร็วของลมและอัตราการไหลของใบพัดหน่วยที่ 1 ก่อนเริ่มทำการปรับปรุงใบพัด..... 43

3.3 แสดงข้อมูลความเร็วของลมและอัตราการไหลของใบพัดหน่วยที่ 2 ก่อนเริ่มทำการปรับปรุงใบพัด..... 44

3.4 แสดงข้อมูลความเร็วของลมและอัตราการไหลของใบพัดหน่วยที่ 3 ก่อนเริ่มทำการปรับปรุงใบพัด..... 44

4.1 การเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อประกอบการพิจารณาการคัดเลือกใบพัดชุดใหม่….... 49

4.2 แผนการทำงานการเปลี่ยนใบพัดชุดใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ…….. 50

4.3 ตารางการบันทึกค่า Fan Performance test ของหอหล่อเย็น หลังเปลี่ยนใบพัดใหม่…… 55

4.4 ตารางการวิเคราะห์ทางการเงินโดยวิเคราะห์จากอัตราผลตอบแทนภายใน…… 57

4.5 แสดงรายการเปรียบเทียบก่อนและหลังล้างไส้หอหล่อเย็น……..... 63

4.6 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายในเมื่อทำการล้างไส้หอหล่อเย็น หน่วยที่ 3……..... 65

5.1 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังล้างไส้หอหล่อเย็น หน่วยที่ 3…..... 74

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1.1 ภาพวงจรการทำงานของระบบหอหล่อเย็นของบริษัทกรณีศึกษา [จากเครื่องควบคุมการทำงานของบริษัทกรณีศึกษาระบบ DCS]…….. 2

1.2 แสดงแผนผังก้างปลาเพื่อค้นหาอุปกรณ์ที่สามารถประหยัดพลังงานได้……. 3

2.1 ระบบน้ำหล่อเย็นแบบเปิดหรือระบบไหลผ่าน (Once through system) 10

2.2 ระบบน้ำหล่อเย็นแบบปิด (Closed loop systems)…….. 12

2.3 Make up water pump..... 12

2.4 ระบบน้ำหล่อเย็นแบบเปิดทำงานร่วมกับกับแบบปิด (Combined system)..... 11

2.5 หอหล่อเย็นแบบเปียก..... 13

2.6 หอหล่อเย็นแบบเปียกโดยอาศัยใบพัดลมที่อยู่ด้านบนเป็นตัวดูด..... 14

2.7 หอหล่อเย็นแบบเปียกโดยอาศัยใบพัดลมที่อยู่ด้านล่างเป็นตัวดูด..... 14

2.8 หอหล่อเย็นแบบไหลสวนทาง (Counter flow cooling tower) ไส้ของหอหล่อเย็นจะวางในลักษณะแนวนอน แนวตั้ง…… 15

2.9 หอหล่อเย็นแบบไหลขวางทาง (Cross flow cooling tower) ไส้ขอหอหล่อเย็นจะวางในลักษณะแนวตั้ง..... 17

2.10 แบบเป่าลม (Forced draft type, FD)..... 17

2.11 แบบดูดลม (Induced draft type, ID)..... 17

2.12 พัดลมที่ใช้ในหอหล่อเย็น..... 18

2.13 หอหล่อเย็นแบบไหลเวียนตามธรรมชาติ (Natural draft cooling tower)..... 19

2.14 หอหล่อเย็นแบบทำงานร่วม (A Hybrid wet tower)..... 20

2.15 ระบบกระจายน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity) 21

2.16 ระบบกระจายน้ำด้วยการสเปรย์น้ำ (Spray)..... 21

2.17 ระบบกระจายน้ำโดยการหมุน (Rotary) 22

2.18 แบบเปียก (Splash type)..... 23

2.19 แบบฟิล์ม (Film type)..... 23

2.20 ละอองน้ำและชุดดักละอองน้ำ (Drift and Drift eliminators)..... 24

2.21 ละอองน้ำและชุดดักละอองน้ำ (Drift and Drift eliminators)..... 25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2.22 อ่างน้ำเย็น (The cold water basin)..... 26

2.23 ใบพัด (Cooling fan blade)..... 27

2.24 เกียร์ทดรอบ (Reducing gear)..... 27

2.25 เพลาขับ (Fan shaft coupling)..... 28

2.26 ปล่องหอหล่อเย็น (Fan stack)..... 28

2.27 มอเตอร์ขับใบพัด (Motor driven cooling fan)..... 29

2.28 ผังก้างปลา..... 31

3.1 บริษัท บีกริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด หรือ บริษัทกรณีศึกษา..... 36

3.2 วงจรของกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา..... 37

3.3 วงจรการทำงานของระบบหอหล่อเย็นของบริษัทกรณีศึกษา [จากเครื่องควบคุม การทำงานของบริษัทกรณีศึกษาระบบ DCS]..... 38

3.4 แสดงใบพัดชุดเก่า..... 41

3.5 แสดงตำแหน่งของการติดตั้งเครื่องมือวัดความเร็วลมและอัตราการไหล ของลม..... 42

3.6 แสดงมิติของหอหล่อเย็นเพื่อบ่งชี้ตำแหน่งการวัดความเร็วลมและอัตราการไหล ของลม..... 43

3.7 แสดงเครื่องวัดและเครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและพลังงาน..... 45

3.8 แสดงเครื่องวัดในการตรวจวัดความเร็วลม อุณหภูมิของอากาศและ การไหลของอากาศ..... 46

4.1 แสดงการวัดอัตราการไหลของลมก่อนเปลี่ยนครั้งสุดท้าย..... 51

4.2 แสดงการถอดใบพัดชุดเดิมเพื่อเตรียมพร้อมจะถอดชุดเกียร์ทดร..... 51

4.3 แสดงการถอดและประกอบชุดเกียร์ทดรอบ..... 52

4.4 แสดงการประกอบใบพัดชุดใหม่ทั้งหมด 6 ใบเข้ากับดุม..... 52

4.5 แสดงการประกอบใบพัดชุดใหม่ทั้งหมด 6 ใบพร้อมทดสอบ..... 53

4.6 แสดงมอเตอร์ขับใบพัด..... 53

4.7 แสดงการทดสอบเดินใบพัดจริงและบันทึกพลังงานไฟฟ้าเพื่อทำการวิเคราะ..... 54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.8 แสดงการทดสอบเดินใบพัดจริงและบันทึกอัตราการไหลของลมเพื่อวิเคราะห์..... 54
4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนเปลี่ยนละหลังเปลี่ยนใบพัด..... 56
4.10 แผนผังก้างปลาเพื่อวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุหลังจากการติดตั้งชุดใบพัด..... 59
4.11 แสดงการตั้งนั่งร้านและการเริ่มรื้อไส้หอหล่อเย็นออกเพื่อทำความสะอาด..... 60
4.12 แสดงการตั้งนั่งร้านและการเริ่มรื้อไส้หอหล่อเย็นออกเพื่อทำคสะอาด..... 60
4.13 แสดงดินโคลนที่อุดตัน เกาะติดที่ผิวไส้กหอหล่อเย็น..... 61
4.14 แสดงน้ำหนักของไส้หอหล่อเย็นที่ทำความสะอาดเสร็จแล้ว..... 61
4.15 แสดงเศษดินโคลนที่เก็บได้หลังการล้างไส้หอหล่อเย็น..... 62
4.16 ภาพแสดงการประกอบไส้หอหล่เย็นกลับเข้าตำแหน่งเดิม..... 62
4.17 แสดงกราฟการวัดผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังล้างไส้หอหล่อเย็น..... 64
4.18 แสดงกราฟการวัดผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าหลังล้างไส้หอหล่อเย็นหน่วยที่ 3..... 65
4.19 แสดงการวัดค่าความสั่นสะเทือนหลังเปลี่ยนใบพัดชุดใหม่..... 66
4.20 ปล่องลมที่ไม่ได้ทำการออกแบบในรูปแบบเสริมความแข็งแกร่ง..... 67
4.21 แสดงค่าความสะสะเทือนที่วัดได้จริงหลังเปลี่ยนใบพัดชุดใหม่ที่หน่วยที่ 3..... 68
4.22 แสดงการติดตั้งโครงสร้างเหล็กรัดกับปล่องลมเพื่อลดการสั่นสะเทือน..... 68
4.23 แสดงการวัดค่าความสั่นสะเทือนหลังติดตั้งโครงสร้างเหล็กรัดกับปล่องลม..... 68
4.24 แสดงค่าความสั่นสะเทือนของปล่องลมที่ลดลง..... 69
4.25 แสดงการเสื่อมสภาพของไส้หอหล่อเย็นที่มีอายุมากกว่า 15 ปี..... 70
4.26 ปัญหาจากการหยุดหน่วยผลิตล่าช้าส่งผลให้ทำการติดตั้งใบพัดจุดใหม่ล่าช้า..... 71
4.27 แสดงการทดสอบประกอบชุดดุมกลางกับ ชุด shaft Gearbox พบปัญหาไม่สามารถประกอบได้..... 72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.28 แสดงดินโคลนที่ถูกล้างซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีดินโคลนปนเปื้อนอยู่ในระบบน้ำหล่อเย็น..... 72

5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนเปลี่ยนกับหลังเปลี่ยนใบพัด..... 75

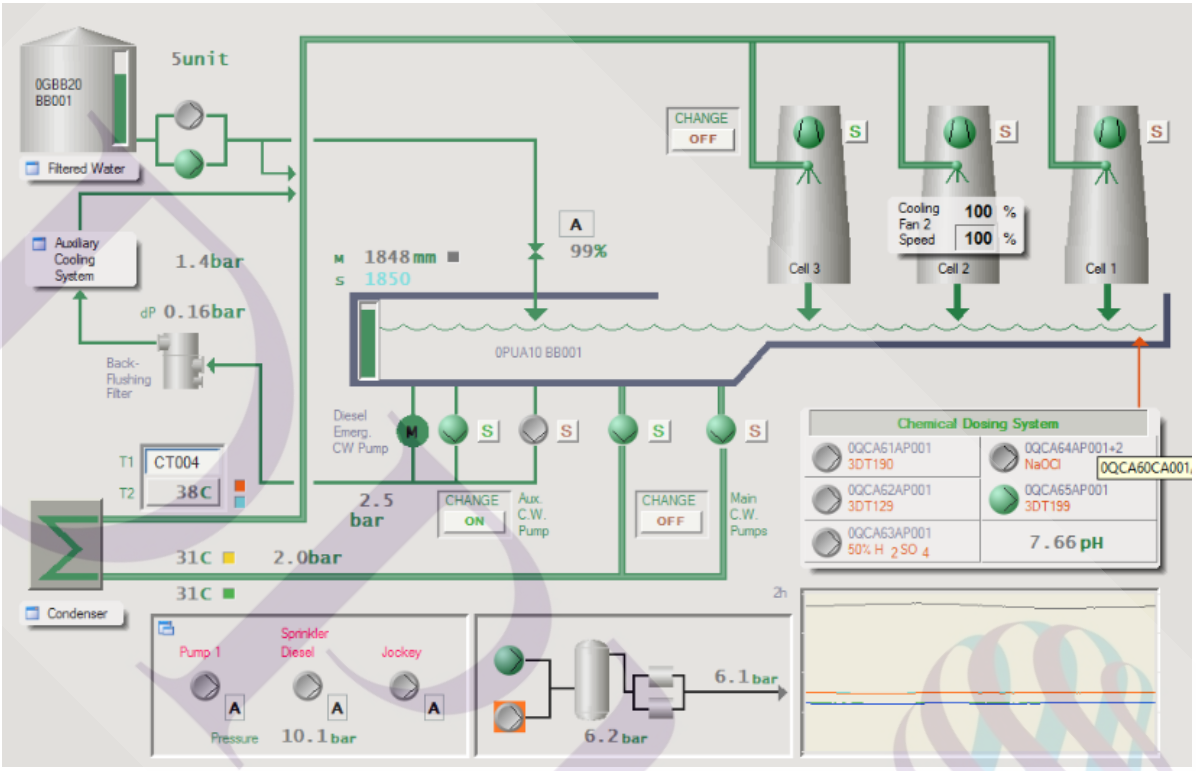
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

กระบวนการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำของบริษัท บีกริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัดหรือเรียกว่า บริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมโดยใช้ก๊าซธรรมชาติจาก บริษัท ปตท จำกัด (มหาชน) เป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ และรับน้ำดิบอุตสาหกรรมจากบริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด หรือ GUSCO เข้ามาสู่ในกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธ์ปราศจากแร่ธาตุ เพื่อนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำและน้ำหล่อเย็น เนื่องด้วยการผลิตไฟฟ้าที่มีต้นทุนที่สูงอยู่แล้วจึงเกิดแนวความคิดที่จะพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำเพื่อลดต้นทุนการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ประหยัดพลังงานและมีประสิทธิภาพกับบริษัทกรณีศึกษามากที่สุด ทางผู้จัดทำได้พิจารณาทางเลือกในกระบวนการผลิต โดยมุ่งเน้นที่ระบบหอหล่อเย็น ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ติดตั้งจำนวนมาก ทั้งนี้ผู้จัดทำต้องคำนึงถึงงบประมาณการลงต้นทุนในการปรุงปรุงอุปกรณ์นั้น โดยให้ก่อประโยชน์สูงสุดและจุดคุมทุนระยะสั้นที่สุด และที่สำคัญจะต้องไม่ส่งผลกระทบกับกระบวนการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำของบริษัทกรณีศึกษา

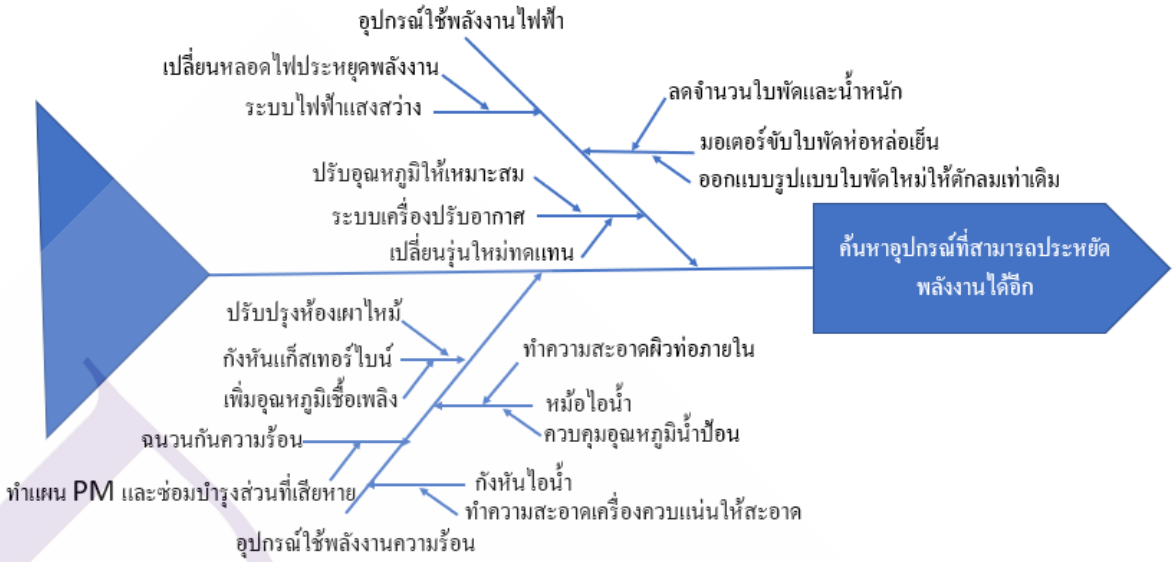
ระบบหอหล่อเย็นนี้มีความสำคัญกับโรงไฟฟ้าเป็นอย่างมาก โดยมีหน้าที่นำน้ำเย็นที่ผลิตได้ ป้อนเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) เพื่อถ่ายเทความร้อนออกจากไอน้ำ และให้ไอน้ำกลั่นตัวกลายเป็นน้ำ น้ำหล่อเย็นที่ป้อนเข้าเครื่องควบแน่นนั้นจะมีอุณหภูมิเย็นลง หลังจากถ่ายเทความร้อนแล้วนั้นน้ำป้อนขาออกจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งวงจรนี้คือการนำกลับมาหล่อเย็นใหม่ จะหมุนวนอยู่เช่นนี้ตลอดเวลา ซึ่งสามารถเรียกระบบนี้อีกอย่างหนึ่งว่า Cooling Circulation water จากการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ย่อมมีผลให้เกิดการสูญเสียน้ำส่วนหนึ่งสู่บรรยากาศ (Evaporative loss) ซึ่งเป็นกระบวนการปกติ แต่ก็มีการควบคุมดูแลโดยการปรับมุมองศาของใบพัดลมให้เหมาะสมกับการใช้งาน ไม่มากจนเกินไปและไม่น้อยจนเกินไป โดยหาจุดที่เหมาะสมโดยจะต้องคำนึงถึงปริมาณการเติมน้ำใหม่ (Make up water) เข้ามาทดแทนส่วนที่น้ำระเหยหายไปสู่อากาศและอุณหภูมิน้ำขาเข้าและขา

ออก และแรงบิดของใบพัดลมไม่ให้สูงจนเกินไปเพื่อลดผลกระทบทางตรงกับเกียร์ทดรอบ (Gearbox) การพิจารณาในระบบหอหล่อเย็นนี้ผู้จัดทำยังมองถึงการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็นนี้อีกด้วย ไม่ว่าจะเป็น มอเตอร์ขับต่างๆที่กำลังไฟฟ้าที่สูง



ภาพที่ 1.1 ภาพวงจรการทำงานของระบบหอหล่อเย็นของบริษัทกรณีศึกษา [จากเครื่องควบคุมการทำงานของบริษัทกรณีศึกษาระบบ DCS]

ผู้จัดทำจึงเริ่มทำการศึกษาและค้นหาแหล่งพลังงานที่สามารถปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนทางพลังงานและจำแนกอุปกรณ์ของการจัดการพลังงานออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้คือ อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานความร้อนและอุปกร์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ค้นหาปัจจัยความเป็นไปได้เพื่อที่จะปรับปรุงและพัฒนาการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำโดยแสดงด้วยแผนผังก้างปลาดังนี้



ภาพที่ 1.2 แสดงแผนผังก้างปลาเพื่อค้นหาอุปกรณ์ที่สามารถประหยัดพลังงานได้

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาการลดต้นทุนการใช้พลังงานของแต่ละอุปกร์ในบริษัทกรณีศึกษา ที่สามารถพัฒนาและปรับปรุงการใช้พลังงานของอุปกรณ์ภายในบริษัทกรณีศึกษา ทางผู้จัดทำได้จำแนกอุปกรณ์ใช้พลังงาน ที่สามารถนำมาศึกษาเพื่อปรับปรุงและพัฒนาเพื่อเกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและเต็มสมรรถนะโดยไม่มีผลกระทบกับระบบการผลิตหลักเพื่อเป็นการลดต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำโดยแบ่งออกได้เป็น 2 แหล่งอุปกรณ์ใช้พลังงานในบริษัทกรณีศึกษาดังนี้

1.1.1 การปรับปรุงและลดต้นทุนอุปกรณ์ใช้พลังงานความร้อน

- หม้อไอน้ำ โดยหม้อไอน้ำของบริษัทกรณีศึกษาได้ทำการตรวจสอบสภาพเป็นประจำทุกปีเพื่อจัดทำรายงานส่งกรมโรงงานอุตสาหกรรม จากกำลังการผลิตไอน้ำที่ได้จากหม้อไอน้ำชุดนี้ผลที่ได้คือหม้อไอน้ำผลิตไอน้ำเต็มกำลังการผลิตแล้วที่ประมาณ 160 ตันต่อชั่วโมงผลที่ได้นั้นคือไอน้ำที่ได้จากผลิตนำเข้าสู่เครื่องกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าได้เต็มจำนวนความสามารถของเครื่องกังหันไอน้ำที่ 31 เมกะวัตต์และอุณหภูมิที่ได้ก็สูงสุดของความสามารถของหม้อไอน้ำแล้วที่ 513 องศาเซลเซียส

- การปรุงปรุงจากการรั่วไหลที่ อุปกรณ์ เช่น วาล์ว ปั๊มน้ำ หน้าแปลนและจุดต่อต่างๆซึ่งทางแผนกบำรุงรักษาเครื่องกลได้ทำการแก้ไขและเฝ้าติดตาม ตรวจสอบอยู่เป็นประจำจึงทำให้ปัญหาการสูญเสียน้ำในส่วนนี้หมดไป

- ฉนวนกันความร้อนของหม้อไอน้ำ ทางแผนกบำรุงรักษาเครื่องกลได้จัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยทำการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เครื่องแสกนภาพความร้อน หรือ Thermoscan Infrared Camera เพื่อตรวจสอบผิวพนังที่ฉนวนกันความร้อนเสียหายเพื่อทำแผนซ่อมบำรุงโดยการเปลี่ยนฉนวนกันความร้อนทุกครั้ง

1.1.2 การปรับปรุงและลดต้นทุนอุปกรณ์ใช้พลังงานไฟฟ้า

- การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากไฟแสงสว่างจาก พื้นที่การทำงานนั้นได้มีการติดตั้งไฟแสงสว่างอย่างเหมาะสมแล้ว และยังมีการใช้หลอดไฟแบบประหยัดพลังงานเป็นที่เรียบร้อย ระบบนี้จึงไม่สามารถพัฒนาต่อได้

- ชุดมอเตอร์ของปั๊มน้ำเติมหอหล่อเย็น (Make up water) เนื่องจากระบบนี้ได้มีการพัฒนาและทดลองไปแล้วและประสบผลสำเร็จจากการหยุดเดินมอเตอร์ที่ใช้ขับปั๊ม มาเป็นการเติมน้ำจากการใช้แรงโน้มถ่วง (gravitational force) แทนพบบว่าสามารถเติมน้ำให้กับหอหล่อเย็นได้ทันเวลาจึงไม่สามารถพัฒนาในการประหยัดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าได้ต่อ

- ชุดมอเตอร์ของปั๊มน้ำหมุนวน(Circulating pump) ซึ่งปั๊มนี้มีหน้าที่นำน้ำจากอ่างน้ำ (Cooling basin) ที่เป็นน้ำเย็น อุณหภูมิเทียบเท่าบรรยากาศ จะถูกปั๊มน้ำพาน้ำนำมาเข้าไปยังเครื่องควบแน่น (Condenser) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนภายในเครื่องควบแน่น เนื่องด้วยระบบปั๊มน้ำหมุนวนนี้ต้องนำพาน้ำทั้งหมดประมาณ 8,584 ลูกบาศเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งถือว่าเป็นระบบปั๊มที่มีภาระสูงอยู่แล้ว จึงไม่สมควรที่จะเข้าไปพัฒนากับระบบปั๊มนี้ เพราะอาจเสี่ยงที่จะกระทบต่อกระบวนการผลิตหลักได้ ซึ่งจะมีผลกระทบโดยตรงกับอุณหภูมิภายในเครื่องควบแน่นจนทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันไอน้ำ ประสิทธิภาพการทำงานต่ำลงได้

- ชุดมอเตอร์ตัวขับใบพัด (Cooling fan blade) ใบพัดหอหล่อเย็นมีหน้าทีสร้างอัตราการไหลของลมเพื่อนำลมเย็นเข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำร้อนที่ออกมาจากเครื่องควบแน่น เพื่อให้อุณหภูมิของน้ำกลับมาเย็นอีกครั้ง จากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีของใบพัดขนาดใหญ่ในรูปแบบที่เรียกว่า Axial fan blade พบว่ามีเทคโนโลยีมากมายเช่น การออกแบบพัฒนารูปแบบของใบพัดให้ตักลมได้มากๆโดยไม่เป็นภาระให้กับมอเตอร์มากนัก ซึ่งจากปัจจุบันที่ติดตั้งอยู่ที่บริษัทกรณีศึกษา มอเตอร์ที่ขับใบพัดลมใช้กำลังไฟฟ้า 140 kWh โดยได้อัตราการไหลของลมอยู่ที่ 542 ลูกบาศเมตรต่อวินาที ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลพบว่ามีเทคโนโลยีที่สามารถทำให้เกิดอัตราการใช้

กำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่าและได้อัตราการกินลมที่เท่าเดิม โดยใช้เทคโนโลยีของการออกแบบใบพัด ทางเลือกนี้จึงเป็นที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้ในการที่จะพัฒนาโครงการต่อไปเพื่อหาวิธีลดต้นทุนการผลิตและช่วยประหยัดการค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของบริษัทกรณีศึกษา

จากประเด็นและความสำคัญดังกล่าว ผู้จัดทำจึงได้ทำการวิเคราะห์หาทางเลือกที่จะพัฒนาและทดลองการลดต้นทุนการผลิตจากการสูญเสียค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยมุ่งเน้นไปทีการปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าขงชุดใบพัดของระบบห่อหล่อเย็นเพื่อหาใบพัดลมที่ประหยัดพลังงานและลดการเป็นภาระของมอเตอร์ และยังส่งผลมีผลทำให้มอเตอร์ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าเดิมแต่ยังสามารถขับใบพัดให้ใบพัดสามารถผลิตลมในอัตราการกินลมเท่าเดิม โดยทั้งหมดที่กล่าวมานี้ต้องไม่เกิดผลกระทบต่อกระบวนการผลิตไฟฟ้าหลักของบริษัทกรณีศึกษา และจะต้องคำนึงถึงความเสี่ยงของระบบและความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็น

1. 3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาการการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดหอหล่อเย็นของช่วงก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง
2. ศึกษาค้นค้าหาเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการปรับปรุงด้านพลังงานของชุดหอหล่อเย็น
3. เปรียบเทียบผลของค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังปรับปรุง
4. วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดในช่วงปรับปรุงชุดใบพัดของหอหล่อเย็นได้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบระบบของโรงไฟฟ้า ค้นหาแหล่งที่สามารถทำการจัดการประหยัดพลังงานได้
2. ทำการคัดเลือกประเภทหรือระบบเพื่อทำการศึกษาการประหยัดพลังงาน

3. ทบทวนด้านเอกสารดำเนินการจัดทำแผนงานการรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้ในจัดตัดสินใจเลือกหาแนวการการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า ทำการประเมินความเสี่ยงต่างๆก่อนและหลังทำการทดสอบ รวบรวมเงื่อนไขต่างๆไม่ว่าจะเป็นค่าพิกัดต่างๆเช่น หน่วยกำลังไฟฟ้า อัตราการไหลของใบพัดลม กระแสกไฟฟ้า อุณหภูมิของน้ำด้านเข้าและด้านของของหอหล่อเย็น กำลังการผลิตของเครื่องกังหันไอน้ำ ความในระบบควบแน่น อุณหภิของระบบความแน่น แบ่งงานออกได้ให้ชัดเจนดังนี้

4. ศึกษาด้านวิศวกรรมการประเมินของระบบเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานติดตั้งใบพัดของชุดหอหล่อเย็นเพื่อให้ได้มาซึ่งอุปกรณ์และหลักการทางวิศกรรมที่เหมาะสมสูงสุดกับการเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าบริษัทกรณีศึกษา และระบบหอหล่อเย็น

5. การทำการทดสอบและเก็บบันทึกข้อมูลที่หน้างานทำการเก็บบันทึกข้อมูลที่จำเป็นเพื่อการประมวลผลหาประสิทธิภาพการทำงานของ Cooling tower และประสิทธิภาพที่จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้

6. กำหนดและวางแผนสำหรับเวลาในการติดตั้งใบพัดเพื่อทดแทนใบพัดเก่า และทำการติดตั้ง

7. การสรุปผลจากการทดสอบและจัดทำรายงานหลังจากที่ได้ทำการรวรวบข้อมูล คัดเลือกเครื่อง วิธีการและเครื่องมือ ทำการวางแผนการ และทำการตรวจสอบและทดสอบหน้างานทำการจดบันทึกผล ติดตั้งใบพัดลม รวบรวมข้อมูลต่างๆทั้งสามระยะที่ดำเนินการไปแล้วนำมาจัดทำรายงานสรุปของโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการศึกษางานวิจัย

กิจกรรม		ระยะเวลา (เดือน)											
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
	การลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็น กรณีศึกษา โรงไฟฟ้าแหลมฉบัง												
1	การวิเคราะห์ผลกระทบและความเสี่ยงในการที่จะทำการศึกษาการประหยัดพลังงาน	●	●										
2	การคัดเลือกระบบเพื่อทำการศึกษาการประหยัดพลังงาน		●										
3	การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์จากเอกสารและการเดินเครื่องของบริษัทกรณีศึกษา			●									
4	ทบทวนด้านเอกสารด้านวิศวกรรม				●								
5	ศึกษาด้านวิศวกรรมการประเมินของระบบหอหล่อเย็น					●							
6	การทำการทดสอบและเก็บบันทึกข้อมูลที่หน้างานก่อนการติดตั้งใบพัด					●	●						
	จัดทำกระบวนการจัดซื้อจัดจ้างใบพัดและรอสิ้นค้าส่งมอบ						●	●	●	●	●		
7	กำหนดและวางแผนสำหรับการติดตั้งใบพัด										●		

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

กิจกรรม		ระยะเวลา (เดือน)											
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
8	ทำการทดสอบและเก็บบันทึกข้อมูลที่หน้างานหลังการติดตั้งใบพัด										●	●	
9	การสรุปผลจากการทดสอบและเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุง											●	
10	วิเคราะห์ระยะคืนทุน											●	●
11	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ												●

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดมอเตอร์ขับใบพัดของระบบหอหล่อเย็นได้ไม่น้อยกว่า 28 %

2. สามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 28% ต่อปี

3. ไม่มีผลกระทบต่อสถานะการเดินเครื่องและประสิทธิภาพของระบบหอหล่อเย็น

4. เป็นการเพิ่มองค์ความรู้ให้กับองค์กรและภาคอุตสาหกรรมได้ในด้านการอนุรักษ์พลังงานและยังสามารถนำไปใช้ประยุกต์และปรับปรุงกับโรงไฟฟ้าหรืออุตสาหกรรมอื่นๆ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรอบแนวคิดทางทฤษฎี

2.1.1 บทนำ

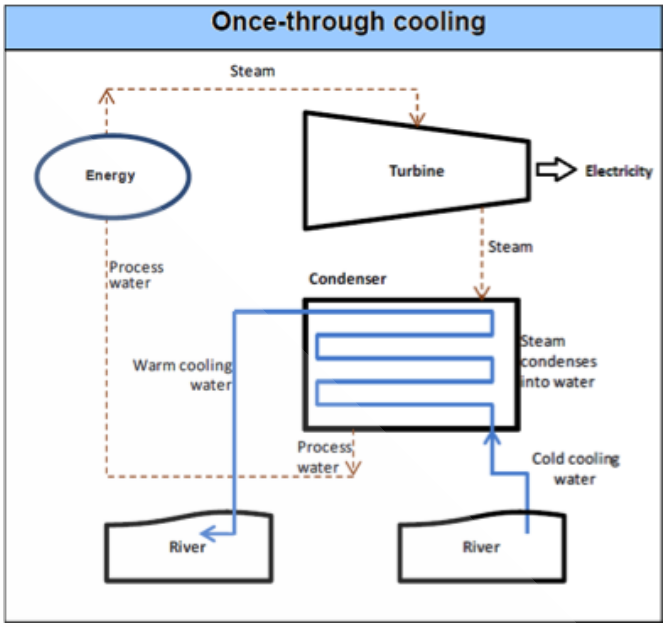
ระบบน้ำหล่อเย็นมีหน้าที่หลักในการหล่อเย็นเครื่องควบแน่น (Condenser) เพื่อเป็นตัวกลางในการนำความร้อนที่ถ่านเทจากวัฏจักรไอน้ำสู่สภาวะแวดล้อม ระบบนี้จะป้อนน้ำเพื่อช่วยหล่อเย็นกังหันและเครื่องกำเนิดไอน้ำเพื่อป้องกันการลุกไหม้ ในการถ่ายเทความร้อนสู่สภาวะแวดล้อมให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องมีการควบคุมการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากสมรรถนะของการถ่ายเทความร้อนมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของบริษัทกรณีศึกษาเครื่องควบแน่นที่ทำงานที่อุณหภูมิที่ต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ จะส่งผลให้งานของกังหันไอน้ำ (Steam turbine) และประสิทธิภาพของวัฏจักรมีค่ามากที่สุดและปล่อยความร้อนทิ้งน้อยที่สุด ดังนั้นระบบถ่ายเทความร้อนออกที่ดีจึงควรปล่อยความร้อนทิ้งน้อย มีขนาดเล็ก และต้องการน้ำหล่อเย็นปริมาณต่ำ

โดยทั่วไปปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยทิ้งไปโดยระบบหล่อเย็น จะมีปริมาณมากกว่าที่ถูกเปลี่ยนเป็นงานโดยวัฏจักรไอน้ำของบริษัทกรณีศึกษาที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน การถ่ายเทความร้อนออกที่เครื่องควบแน่นจะสูงกว่างานสุทธิที่ได้จากโรงไฟฟ้าประมาณ 1.5 – 3.0 เท่า ของค่าประสิทธิภาพของบริษัทกรณีศึกษา

2.1.2 การแบ่งชนิดของระบบน้ำหล่อเย็น

ระบบน้ำหล่อเย็นสามารถแบ่งออกได้ 3 ระบบ ดังนี้

2.1.2.1 ระบบน้ำหล่อเย็นแบบเปิดหรือระบบไหลผ่าน (Once through system) น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติถูกดูดโดยปั๊ม (Circulating pump) เข้าไประบายความร้อนเครื่องควบแน่น จากนั้นน้ำก็ถูกปล่อยกลับสงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติตามเดิม เรียกระบบนี้ว่า ระบบน้ำหล่อเย็นแบบเปิดหรือระบบไหลผ่าน ดังแสดงในภาพที่ 2.1

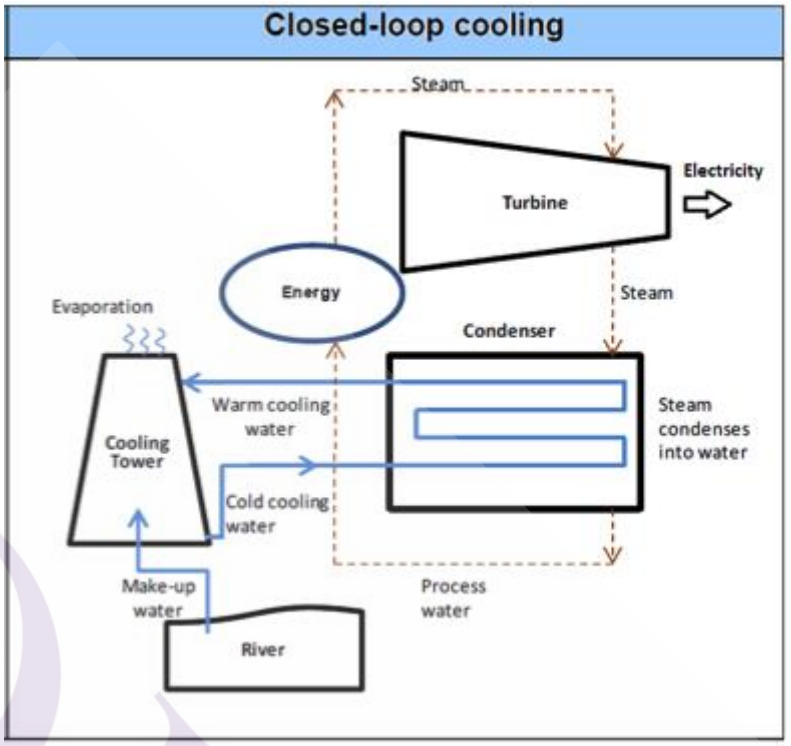


ภาพที่ 2.1 ระบบน้ำหล่อเย็นแบบเปิดหรือระบบไหลผ่าน (Once through system)

ที่มา: [http://www.globalwaterforum.org/2015/06/22/water-for-thermal-power-plants-understanding-a-piece-of-the-water-energy-nexus/]

น้ำที่ปล่อยกลับสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ต้องระมัดระวังในเรื่องของอุณหภูมิน้ำที่ปล่อยกลับสู่ธรรมชาติต้องไม่สูงมาก หากสูงเกินกว่า 37 °C อาจทำให้สิ่งมีชีวิตถูกทำลายได้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ขาออกจากคดครื่องควบแน่นความดันสูงไม่ให้สูงเกินไป จึงต้องใช้น้ำในปริมาณที่มากเพื่อให้สามารถระบายความร้อนให้ได้มากๆ ดังนั้นจึงต้องใช้ปั๊มขนาดใหญ่

2.1.2.2 ระบบน้ำหล่อเย็นแบบปิด (Closed loop systems) น้ำที่เข้าเครื่องควบแน่นเป็นน้ำเย็นเมื่อรับความร้อนจากเครื่องควบแน่นอุณหภูมิน้ำจะสูงขึ้น น้ำอะณหภูมิสูงจะไหลสู่หอหล่อเย็นเพื่อลดอัณหภูมิลงให้กลับมามีอุณหภูมิน้ำเท่าเดิม แล้วนำกลับไปเข้าเครื่องควบแน่นเพื่อระบายความร้อนอีกครั้ง น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็นเครื่องควบแน่นจะไหลเวียนระหว่างเครื่องควบแน่นกับหอหล่อเย็น (Cooling tower) เท่านั้น โดยมีปั๊มเป็นตัวส่งน้ำ จึงเรียกระบบนี้ว่า ระบบน้ำหล่อเย็นแบบปิด ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ระบบน้ำหล่อเย็นแบบปิด (Closed loop systems)

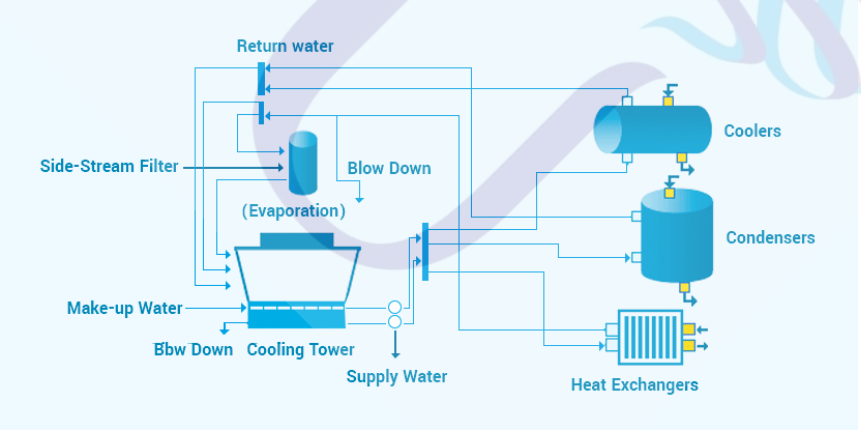
ที่มา: [http://www.globalwaterforum.org/2015/06/22/water-for-thermal-power-plants-understanding-a-piece-of-the-water-energy-nexus/]

การระบายความร้อนออกจากน้ำที่หอหล่อเย็นจะอาศัยอากาศภายนอกเข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อนโดยตรง ดังนั้น น้ำในระบบหล่อเย็นจะมีบางส่วนระเหยไปกับความร้อน (Hot humid air) ทำให้ปริมาณน้ำในระบบลดลง จจึงต้องมีการเติมน้ำใหม่ลงในระบบเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยไปในหอหล่อเย็นซึ่งเรียกน้ำที่เติมใหม่ว่า Make up water โดยมี Make up water pump เป็นตัวจ่ายน้ำในดังภาพที่ 2.3 สามารถที่จะเปลี่ยนถ่ายน้ำหล่อเย็นบางส่วนได้โดยเปิดวาล์วให้น้ำหล่อเย็นออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ที่ท่อระบาย

ภาพที่ 2.3 Make up water pump

ที่มา: [http://etamneho.ae/New/mirdiff.html]

2.1.2.3 ระบบน้ำหล่อเย็นแบบเปิดทำงานร่วมกับกับแบบปิด (Combined system) การทำงานของระบบนี้เป็นแบบร่วมกันของแบบเปิดและแบบปิดดังแสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งระบบสามารถเลือกได้ว่าจะทำงานแบบเปิดหรือแบบปิดที่อาศัยหอหล่อเย็นอย่างใดอย่างหนึ่งโดยใช้วาล์วสามทางเป็นตัวปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำ หรืออาจทำงานร่วมกันทั้งสองแบบคือ แบบที่ใช้หอหล่อเย็นทำงานแบ่งภาะทำงานร่วมกับหอหล่อเย็นแบบเปิด



ภาพที่ 2.4 ระบบน้ำหล่อเย็นแบบเปิดทำงานร่วมกับกับแบบปิด (Combined system)

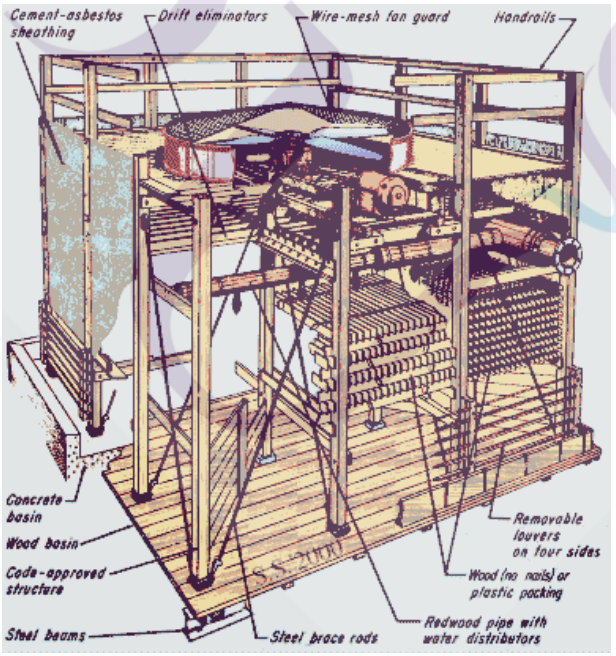
ที่มา: [http://www.vasuchemicals.com/cooling-water-treatment.html]

2.1.3 หอหล่อเย็นแบบเปียก (Wet cooling tower)

การแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหอหล่อเย็นแบบเปียก ทำให้เกิดกลไกลต่างๆขึ้นดังนี้

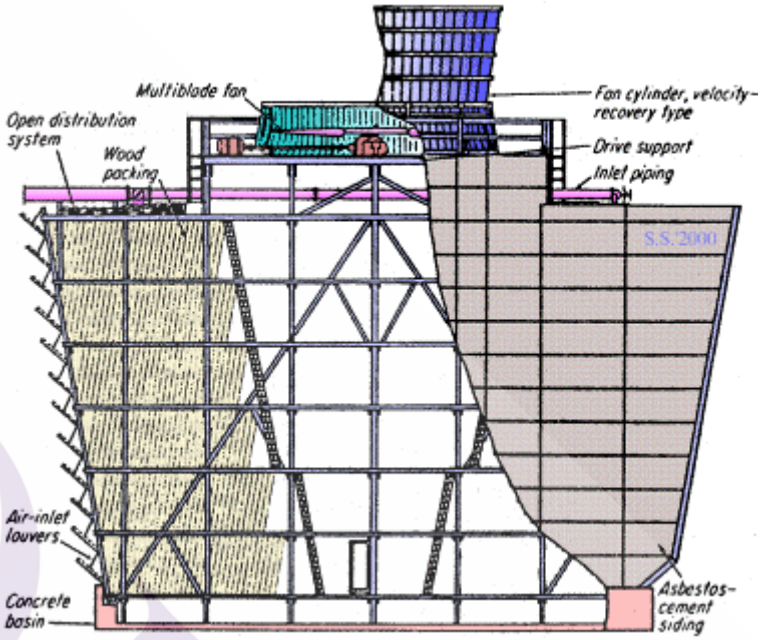
- น้ำร้อนแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศเย็น
- อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น
- น้ำมีอุณหภูมิต่ำลง
- น้ำระเหยเข้าไปในอากาศ
- อากาศมีความชื้นเพิ่มขึ้น
- น้ำในระบบมีปริมาณลดลง

หอหล่อเย็นแบบเปียกจะมีระบบกระจายน้ำดังภาพที่ 2.5 น้ำจะถูกปล่อยจากด้านบนของหอหล่อเย็น และน้ำจะกระจายออกเป็นหยดน้ำเล็กๆ เมื่อกระทบกับไส้หอหล่อเย็น (Fill packing) ซึ่งทำจากไม้ พลาสติก ถูกนำไปวางขวางการไหลของน้ำ น้ำที่กระเซ็นออกเป็นหยดเล็กๆซึ่งมีพื้นผิวมากขึ้นทำให้ความสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศได้ดี อากาศจะถูกดูดเข้าทางด้านล่างของหอหล่อเย็นโดยอาศัยใบพัดลมที่อยู่ด้านบนเป็นตัวดูดดังภาพที่ 2.6 หรืออากาศเข้าหอหล่อเย็นทางด้านล่าง อาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศร้อนภายในปล่องของหอหล่อเย็นซึ่งลอยขึ้นด้านบนทำให้เกิดแรงดูดที่ด้านล่างของหอหล่อเย็นดังภาพที่ 2.7



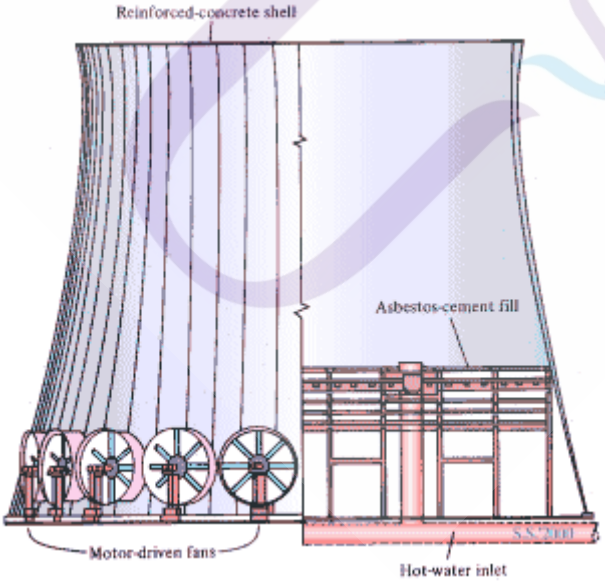
ภาพที่ 2.5 หอหล่อเย็นแบบเปียก

ที่มา: [http://www.me.psu.ac.th/Power_Plant_Engineering/P7d.htm]



ภาพที่ 2.6 หอหล่อเย็นแบบเปียกโดยอาศัยใบพัดลมที่อยู่ด้านบนเป็นตัวดูด

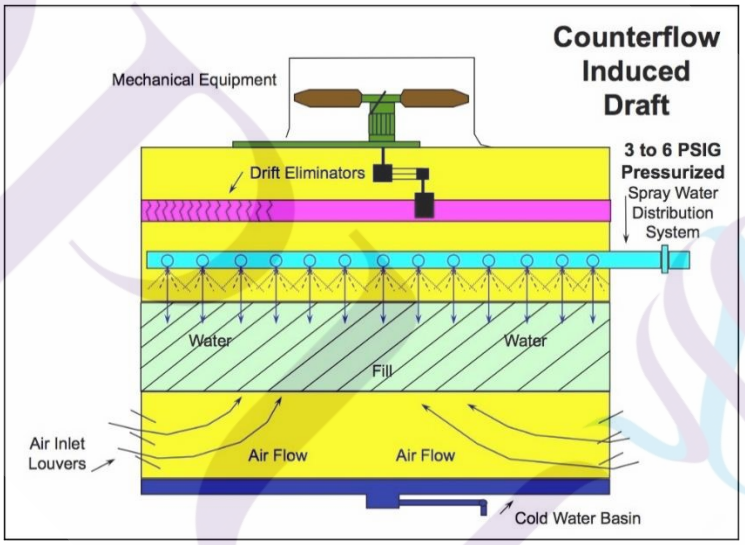
ที่มา: [http://www.me.psu.ac.th/Power_Plant_Engineering/P7d.htm]



ภาพที่ 2.7 หอหล่อเย็นแบบเปียกโดยอาศัยใบพัดลมที่อยู่ด้านล่างเป็นตัวดูด

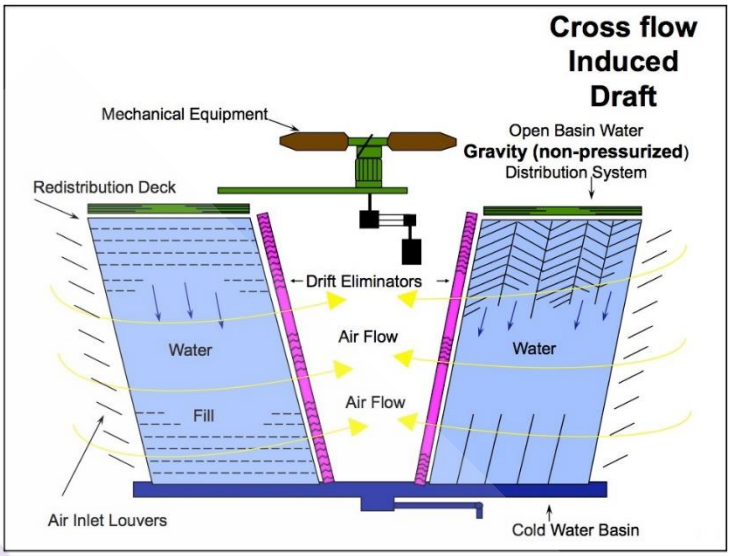
ที่มา: [http://www.me.psu.ac.th/Power_Plant_Engineering/P7d.htm]

ดังนั้น หอหล่อเย็นแบบเปียกจึงสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบคือ หอหล่อเย็นแบบไหลเวียนตามธรรมชาติ (Natural draft cooling tower) และ หอหล่อเย็นแบบไหลเวียนเชิงกล (Mechanical draft cooling tower) หรืออาจแบ่งตามทิศทางการไหลของน้ำและอากาศได้ 2 แบบ คือ หอหล่อเย็นแบบไหลสวนทาง (Counter flow cooling tower) และหอหล่อเย็นแบบไหลขวางทาง (Cross flow cooling tower) โดยหอหล่อเย็นทั้งสองแบบ นอกจากจะจะมีทิศทางการไหลของน้ำและอากาศที่แตกต่างกัน ยังมีทิศทางการจัดวางไส้หอหล่อเย็นที่ต่างกัน ในทางปฏิบัติสามารถสังเกตความแตกต่างดังกล่าวได้ชัดเจนคือ สำหรับหอหล่อเย็นแบบไหลลสวนทาง ไส้ของหอหล่อเย็นจะวางในลักษณะแนวนอนหรือเอียงในแนวนอนภายในหอหล่อเย็น ดังรูปที่ 2.8 แต่สำหรับหอหล่อเย็นแบบไหลตามขวาง ไส้ขอหอหล่อเย็นจะวางในลักษณะแนวตั้ง ดังรูปที่ 2.9



ภาพที่ 2.8 หอหล่อเย็นแบบไหลสวนทาง (Counter flow cooling tower) ไส้ของหอหล่อเย็นจะวางในลักษณะแนวนอน แนวตั้ง

ที่มา: [http://jmpcoblog.com/hvac-blog/cooling-tower-and-condenser-water-design-part-10-how-counterflow-and-crossflow-towers-differ]



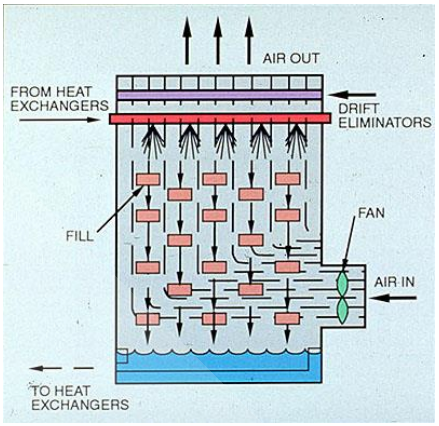
ภาพที่ 2.9 หอหล่อเย็นแบบไหลขวางทาง (Cross flow cooling tower) ไส้ขอหอหล่อเย็นจะวางในลักษณะแนวตั้ง

ที่มา: [http://jmpcoblog.com/hvac-blog/cooling-tower-and-condenser-water-design-part-10-how-counterflow-and-crossflow-towers-differ]

2.1.3.1 หอหล่อเย็นแบบไหลเวียนเชิงกล (Mechanical draft cooling tower)

หอหล่อเย็นชนิดนี้จะอาศัยพัดลมในการไหลเวียนของอากาศซึ่งเกิดจากการขับพัดลมจำนวน 1 เครื่องหรือมากกว่า สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด เช่นเดียวกับในเครื่องกังหันไอน้ำคือแบบดป่าลมและแบบดูดลม ดังนี้

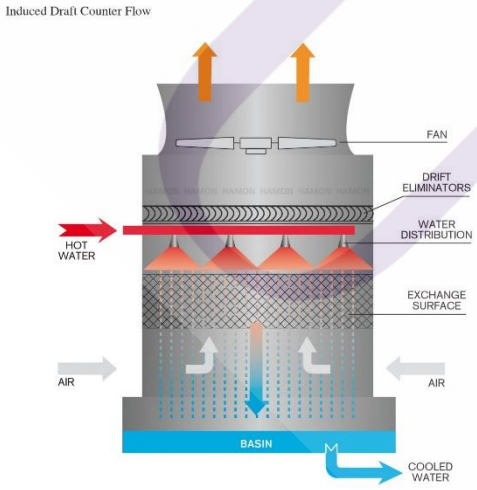
2.1.3.1.1 แบบเป่าลม (Forced draft type, FD) จะติดตั้งพัดลมด้านล่างเพื่อเป่าอากาศเข้าสู่หอหล่อเย็นในการระบายความร้อน ในเชิงทฤษฎีแล้วแบบนี้น่าสนใจสำหรับนำมาใช้เพราะว่าพัดลมจะทำงานด้วยอากาศที่เย็นกว่าทำให้ใช้พลังงานน้อยอย่างไรก็ตาม พบว่า มีข้อเสียเนื่องจากปัญหาการกระจายตัวของอากาศ การรั่วไหล การไหลเวียนซ้ำของอากาศออกที่มีปริมาณความชื้นและอุณหภูมิสูงย้อนกลับสู่หอหล่อเย็น และการสะสมของน้ำที่พัดลมทางเข้า ดังนั้น การประยุกต์จึงใช้แบบดูดลมมากกว่า



ภาพที่ 2.10 แบบเป่าลม (Forced draft type, FD)

ที่มา: [https://www.gewater.com/handbook/cooling_water_systems/fig31-2.jsp]

2.1.3.1.2 แบบดูดลม (Induced draft type, ID) ดังภาพที่ 2.11 การทำงานของแบบนี้อากาศเข้าด้านข้างของหอหล่อเย็นผ่านช่องเปิดขนาดใหญ่ที่ความเร็วต่ำและผ่านไส้ของหอหล่อเย็น โดยพัดลมจะติดตั้งที่ด้านบนของหอผึ้งน้ำ เพื่อดูดอากาศร้อนขึ้นปล่อยสู่บรรยากาศ หอหล่อเย็นแบบ ดูดลมโดยปกติใช้พัดลมจำนวนมากติดตั้งเป็นปล่องพัดลมด้านบนของหอในลักษณะหลายๆหน่วย มีการจัดวางในรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แปดเหลี่ยม วงกลม หรืออื่นๆ ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.11 แบบดูดลม (Induced draft type, ID)

ที่มา: [http://www.hamon.com/en/cooling-systems/wet-cooling-systems/mechanical-draft-cooling-towers/induced-draft-cooling-towers/]

พัดลมที่ใช้ในหอหล่อเย็นโดยปกติเป็นแบบหลายใบมีขนาดใหญ่ ดังภาพที่ 2.13 เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.6-10 เมตร ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดใหญ่อาจถึง 250 hp (184 kW) ด้วยความเร็วรวมต่ำอย่างสัมพันธ์กัน แล้วส่งกำลังโดยผ่านเกียร์ทดรอบ

แบบของใบพัดเป็นแบบใบจักร (Propeller) ซึ่งสามารถเคลื่อนอัตราการไหลเชิงปริมาณได้มากที่ความดันสถิตย์ต่ำอย่างสัมพันธ์กัน สามารถปรับใบให้ใช้พลังงานที่น้อยที่สุดได้ โดยขึ้นอยู่กับภาวะการใช้งานและสภาวะอากาศ เช่น การออกแบบใบพัดและการขับเคลื่อนเพื่อให้ทำงานได้อย่างงเหมาะสมในสภาะอากาศร้อนชื้น ใบพัดโดยปกติจะทำจากอะลูมิเนียมหลล่อ เหล็กกล้าทนสนิม หรือไฟเบอร์กลาส แต่มีบางหอหล่อเย็นทำจากพลาสติกหรือแผ่นไม้

ภาพที่ 2.12 พัดลมที่ใช้ในหอหล่อเย็น

ที่มา: [http://www.gtpl.co.in/manufacturing.php]

การไหลของอากาศที่เข้าหอโดยประมาณถือว่าเข้าโดยแนวนอน ส่วนการไหลผ่านกลุ่มไส้ของหอหล่อเย็นถือว่าเป็นแนวนอนในกรณีที่หอหล่อเย็นเป็นแบบไหลตามขวาง และแบบแนวตั้งในกรณีที่หอหล่อเย็นเป็นการไหลสวนทาง

2.1.3.1.3 หอหล่อเย็นแบบไหลเวียนตามธรรมชาติ (Natural draft cooling tower)

หอหล่อเย็นแบบไหลเวียนตามธรรมชาติ ถูกพัฒนาขึ้นในแถบยุโรป พัฒนาขึ้นครั้งแรกในประเทศฮอลแลนด์ เมื่อศตวรรษที่ 20 ในอดีตหอหล่อเย็นทำจากไม้ การก่อสร้างหอต่อมาเป็นจากไม้มาเป็นด้วยเหล็กและเปลี่ยนเป็นหอคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างเช่นในปัจจุบัน รูปร่างของหอในยุคต้นมีรูปร่างใกล้เคียงกับรูปทรงกระบอก แล้วจึงเปลี่ยนมาเป็นรูปกรวยยอดตัด และในปัจจุบันได้เปลี่ยนเป็นรูปไฮเปอร์โบลิก ดังภาพที่ 2.14

ภาพที่ 2.13 หอหล่อเย็นแบบไหลเวียนตามธรรมชาติ (Natural draft cooling tower)

ที่มา: [http://www.hamon.com/en/cooling-systems/wet-cooling-systems/natural-draft-cooling-towers/natural-draft/]

2.1.3.1.4 หอหล่อเย็นแบบทำงานร่วม (A Hybrid wet tower)

การใช้หอหล่อเย็นแบบไหลเวียนตามธรรมชาติเพียงอย่างเดียว จะทำให้หอหล่อเย็นสูงมาก ซึ่งอาจไม่เหมาะในบางพื้นที่ที่ไม่ต้องการให้บดบังทัศนียภาพ หรือขวางเส้นทางการบิน แต่หากให้หอหล่อเย็นแบบไหลเวียนเชิงกลจะต้องใช้ใบพัดขนาดใหญ่ ทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์และการใช้พลังงานสูง ดังนั้น เพื่อลดความสูงของหอหล่อเย็นแบบไหลเวียนธรรมชาติและลดการใช้พลังงานของแบบไหลเวียนเชิงกล จึงได้ออกแบบหอหล่อเย็นแบบทำงานร่วม (Hybrid wet tower) หรือเรียกอีกอย่างว่าหอแบบไฮเปอร์โบลิคพัดลมช่วย (Fan assisted hyperbolic) โดยการติดตั้งพัดลมเข้ามาช่วยทำงานร่วมกับการไหลเวียนของอากาศตามธรรมชาติ ซึ่งแรงดูดของพัดลมจะสามารถชดเชยแรงดูดที่หายไปเนื่องจากการลดความสูงลงได้ ดังภาพที่ 2.15

ภาพที่ 2.14 หอหล่อเย็นแบบทำงานร่วม (A Hybrid wet tower)

ที่มา: [https://structurae.net/structures/towers-and-masts/cooling-towers]

หอหล่อเย็นแบบนี้จะมีเปลือกนอกเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กรูปไฮเปอร์โบลิคคล้ายกับหอหล่อเย็นตามธรรมชาติแต่มีขนาดเล็กกว่า และมีพัดลมขับด้วยไฟฟ้าขนาดใหญ่จำนวนหนึ่งติดตั้งรอบฐาน หอหล่อเย็นแบบทำงานร่วมนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางฐานโดยประมาณ 2 ส่วน 3 (45% ของพื้นที่) และสูงประมาณครึ่งหนึ่งของหอหล่อเย็นไหลเวียนตามธรรมชาติที่ออกแบบให้มีสมรรถนะเดียวกัน ซึ่งทำให้ส่งผลกระทบด้านทัศนียภาพน้อยลงมาก ตัวพัดลมจะให้ควบคุมการไหลของอากาศที่ดีกว่าแบบธรรมชาติ และจะใช้พลังงานน้องกว่าแบบเชิงกล รวมทั้งความชื้นอากาศออกสูง และความสูงของหอจะช่วยกำจัดปัญหาการหมุนเวียนซ้ำของอากาศร้อนในหอหล่อเย็นเชิงกล

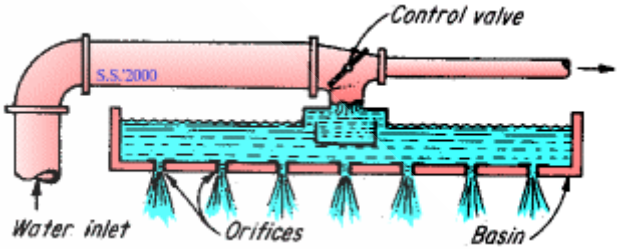
หอหล่อเย็นทำงานร่วมยังสามารถทำงานระหว่างช่วงอุณหภูมิต่ำในฤดูหนาวโดยไม่จำเป็นต้องใช้พัดลมที่ฐานหอ ซึ่งทำงานเป็นหอหล่อเย็นแบบไหลเวียนตามธรรมชาติได้อีกด้วย ส่วนราคาก่อสร้างจะอยู่ระหว่างกลางของแบบธรรมชาติและแบบเชิงกล

2.1.4 ส่วนประกอบของหอหล่อเย็นแบบเปียก (Wet cooling tower components) หอหล่อเย็นแบบเปียกมีส่วนประกอบสำคัญๆดังนี้

2.1.4.1 ระบบการจายน้ำ (The water distribution)

ระบบการะจายน้ำจะช่วยน้ำร้อนที่ออกมาจากเครื่องควบแน่นบริเวณเหนือไส้ของหอหล่อเย็นเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของน้ำกับอากาศออเพื่อลดอุณหภูมิน้ำให้ต่ำลงและนำกลับไปใช้ในเครื่องควบแน่นต่อไป ระบบจ่ายน้ำมีด้วยกันหลายชนิดที่นิยมใช้กันคือ

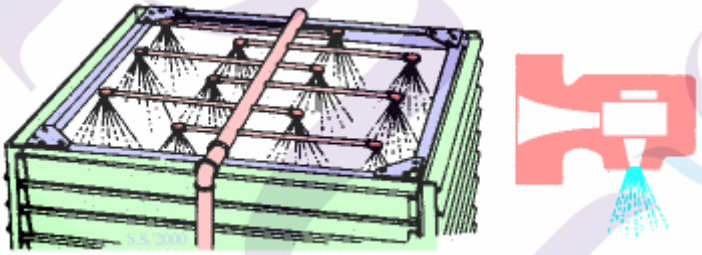
2.1.4.1.1 ระบบกระจายน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity) โดยการปล่อยน้ำลงบนถาดน้ำที่อยู่ด้านบนของหอหล่อเย็น แล้วเจาะรูที่ด้านล่างของถาด ปล่อยให้น้ำไหลตามรูที่เจาะด้วยแรงโน้มถ่างลงมากระทบไส้ของหอหล่อเย็นที่อยู่ด้านล่าง ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.15 ระบบกระจายน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity)

ที่มา: [http://www.me.psu.ac.th/Power_Plant_Engineering/P7d.htm]

2.1.4.1.2 ระบบกระจายน้ำด้วยการสเปรย์น้ำ (Spray) อาศัยปั๊มน้ำฉีดน้ำผ่านหัวฉีดน้ำที่ยึดติดปลายท่อน้ำที่อยู่ด้านบนของหอหล่อเย็น น้ำที่ผ่านหัวฉีดจะออกมาเป็นฝอยละอองน้ำขนาดเล็กแล้วตกลงสู่ไส้ของหอหล่อเย็นที่อยู่ด้านล่าง ดังภาพที่ 2.17

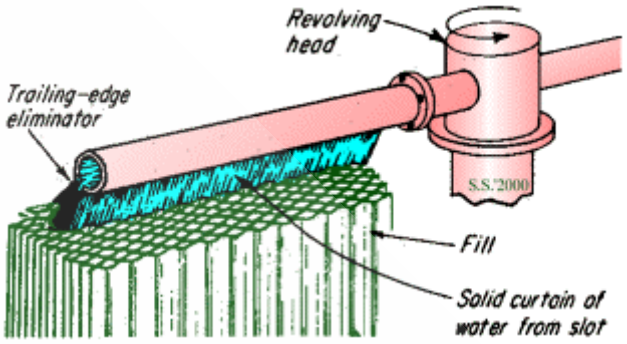


ภาพที่ 2.16 ระบบกระจายน้ำด้วยการสเปรย์น้ำ (Spray)

ที่มา: [http://www.me.psu.ac.th/Power_Plant_Engineering/P7d.htm]

2.1.4.1.3 ระบบกระจายน้ำโดยการหมุน (Rotary) ท่อจ่ายน้ำด้านบนหอหล่อเย็นจะยึดกับแกนกลางเพื่อให้ท่อหมุนได้รอบแกน (Revolving head) ที่ท่อกระจายน้ำจะเจาะรูขนาดเล็กไว้หลายๆรูตลอดความยาวของท่อ ดดยให้รูเอียงทำมุมกับแนวตั้งเล็กน้อย เมื่อน้ำวิ่งผ่านด้วยแรงส่งจากปั๊ม จะทำให้น้ำกระจายออกจากรูเอียงเหล่านั้น ขณะเดียวกันจะกิดแรงปฏิกิริยาจากการ

ที่น้ำพุ่งออกจากรูเอียงเหล่านั้น ดันให้ท่อหมุนรอบแกนกลางที่ยึดท่อไว้ได้ และหมุนรอบแกนตลอดเวลาที่มีการจ่ายน้ำ ดังภาพที่ 2.18



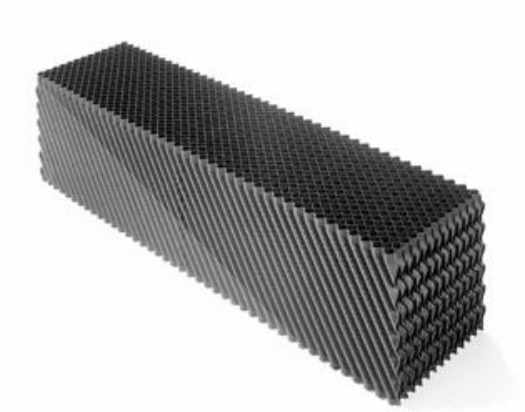
ภาพที่ 2.17 ระบบกระจายน้ำโดยการหมุน (Rotary)

ที่มา: [http://www.me.psu.ac.th/Power_Plant_Engineering/P7d.htm]

2.1.4.2 ไส้ของหอหล่อเย็น (Fill pack)

ไส้ของหอหล่อเย็น เป็นหัวใจสำคัญของหอล่อเย็นเพราะการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นที่นี่ โดยไส้ของหอหล่อเย็น เป็นตัวที่ช่วยทำให้การสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศในการระบายความร้อนเป็นไปด้วยดี มีอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูง พร้อมทั้งมีการต้านการไหลของกระแสอากาศต่ำ ไส้ของหอหล่อเย็นที่ใช้ควรมีความแข็งแรงแต่น้ำหนักเบาและมรการต้านทานกระแสอากาศน้อย โดยทั้วไปแบ่งออกเป็น 2 แบบหลักๆ คือ

2.1.4.2.1 แบบเปียก (Splash type) ทำจากแท่งวัสดุวางเรียงกันเป็นชั้นๆ ดังภาพที่ 2.19 ซึ่งจะกระจายน้ำเป็นหยดน้ำหล่นจากชั้นบนสุดลงชั้นถัดไป โดยการวางแท่งวัสดุสามารถวางในหลายลักษณะเช่น เป็นช่องแคบ (Narrow edge) เป็นช่องสี่เหลี่ยมจัสตุรัส (Square bars) เป็นแท่งสลับ (Rough bars) หรือตะแกรง (Grids) อาจเป็นวัสดุเรียบหรือขรุขระและทำจากวัสดุเช่น ไม้แดง โพลีสไตรีนหรือโพรีเอทิลีนรับแรงกระแทรกสูง แบบเปียกนี้ให้การถ่ายเทความร้อนและมวลน้ำระหว่างน้ำกับอากาศได้เป็นอย่างดี

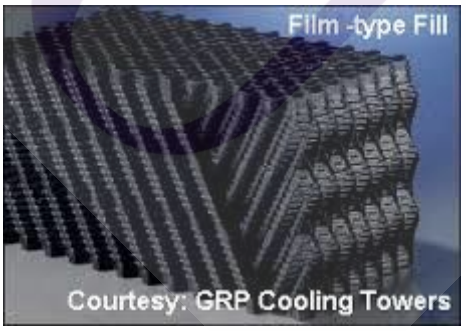


ภาพที่ 2.18 แบบเปียก (Splash type)

ที่มา: [http://www.towercomponentsinc.com/operations-misc.php]

2.1.4.2.2 แบบฟิล์ม (Film type) ปกติทำจากแผ่นตั้งซึ่งมีพื้นที่ผิวดูดซับที่ขรุขระ ซึ่งจะช่วยให้ผนังเปียกได้ทั่วถึงและทำให้น้ำที่ไหลลงมาเป็นฟิล์มเกาะติดกับผิวของผนังตั้งได้ดี ดังภาพที่ 2.20 การทำเช่นนี้ทำให้พื้นผิวน้ำสัมผัสอากาศได้มากโดยไม่ต้องกระจายน้ำเป็นหยกน้ำหรือละอองน้ำ แบบฟิล์มนี้มีด้วยกันหลายลักษณะ และวัสดุที่ใช้ทำหลากหลายเช่นกัน เช่น ปูด้วยไม้แดง (Redwood battens) แผ่นลูกฟูกเซลลูโลส (Cellulose sheet) เป็นต้น

ลักษณะของแบบฟิล์มมีความต้านทานกระแสอากาศต่ำกว่า และต้องการความสูงรวมน้อยกว่าแบบเปียกด้วยปัจจุบันแนวโน้มเกี่ยวกับวัสดุสำหรับหอหล่อเย็นแบบเปียกที่นิยมใช้คือโครงสร้างเป็นคอนกรีตมีฟิล์มเป็นพลาสติกซึ่งช่วยให้อายุการใช้งานยาวนานและบำรุงรักษาต่ำ



ภาพที่ 2.19 แบบฟิล์ม (Film type)

ที่มา: [http://www.cheresources.com/chexpress/chexpress07_25.shtml

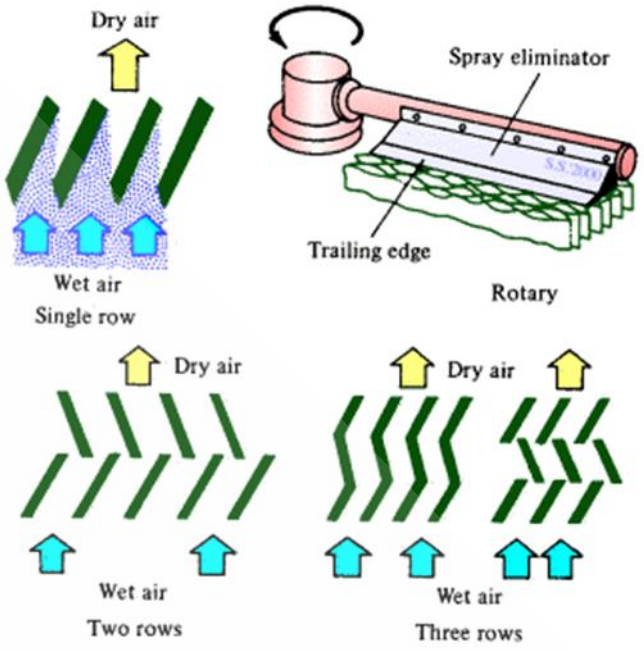
2.1.4.3 ละอองน้ำและชุดดักละอองน้ำ (Drift and Drift eliminators)

ในหอหล่อเย็นแบบเปียกนี้เมื่อหอหล่อเย็นแลกเปลี่ยนระบายความร้อนระหว่างอากาศกับน้ำ จะมีละอองน้ำเกิดขึ้นและลอยออกไปกับอากาศ ซึ่งจำเป็นต้องมีชุดดักละอองน้ำ ดังรูปที่ 2.21 เพื่อไม่ให้สูญเสียละอองน้ำไปกับอากาศ ซึ่งจะทำให้น้ำในระบบลดลง และที่สำคัญละอองน้ำนี้อาจนำเชื้อโรคจากแหล่งน้ำหล่อเย็นเช่น แม่น้ำ แพร่ไปสู่พื้นที่ใกล้เคียงหรือห่างไกลได้ง่าย นอกจากนี้อาจทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่ดีเนื่องจากละอองน้ำที่ปนอยู่ในอากาศมากๆ จะให้มองเห็นเป็นควันขาว ดังภาพที่ 2.22

ภาพที่ 2.20 ละอองน้ำและชุดดักละอองน้ำ (Drift and Drift eliminators)

ที่มา: [http://www.me.psu.ac.th/Power_Plant_Engineering/P7d.htm]

ชุดดักลละอองน้ำมีได้หลายแบบดังแสดงในภาพที่ 2.23 ที่มีทั้งแบบแถวเดียว (Single row) สองแถว (Two row) สามแถว (Three row) โดยแผ่นกั้นจะบังคับให้อากาศเปลี่ยนทิศทางอย่างกะทันหัน ทำให้ละอองน้ำที่หนักกว่าไม่สามารถเปลี่ยนทิศทางการไหลไปพร้อมกับอากาศได้ทัน จึงทำให้น้ำแยกออกจากอากาศและละอองน้ำที่กระทบกะบังลมหรือแผ่นกั้นรวมตัวกันเป็นฟิล์มบางๆ ไหลกลับสู่หอหล่อเย็น แผ่นก้นนี้ อาจทำจากไม้ โลหะหรือพลาสติก การดักละอองน้ำนี้จะไม่สามารถดักน้ำให้ออกจากอากาศได้ 100% แต่การออกแบบระบบที่ดีจะช่วยให้สูญเสียน้ำออกจากระบบน้ำหมุนเวียนน้อยมาก เพียงแค่ 0.2% ดังนั้นจึงต้องมีระบบน้ำเติมเพื่อชดเชยน้ำดังกล่าว สำหรับการติดตั้งเครื่องดักละอองน้ำจะวางงบนตำแหน่งที่อากาศออกจากไล้ของหอหล่อเย็น



ภาพที่ 2.21 ละอองน้ำและชุดดักละอองน้ำ (Drift and Drift eliminators)

ที่มา: [http://www.me.psu.ac.th/Power_Plant_Engineering/P7d.htm]

2.1.4.3 อ่างน้ำเย็น (The cold water basin)

อ่างน้ำเย็นจะวางอยู่ใต้หอหล่อเย็นเพื่อรองรับและกรองน้ำ ดังภาพที่ 2.24 ก่อนที่จะถูกปั๊มกลับสู่เครื่องควบแน่น (ในระบบปิด) รวมทั้งรับน้ำเติมเข้าระบบหมุนเวียนด้วย ในโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่อ่างน้ำเย็นของหอหล่อเย็นโดยมากทำจากคอนกรีต โดยขนาดของอ่างต้องสามารถกักเก็บน้ำเพื่อจ่ายให้เครื่องควบแน่นในการควบแน่นน้ำได้นานหลายชั่วโมงโดยปราศจากการเติมน้ำ และมีระบบระบายเพื่อกำจัดตะกอนและควบคุมระบบน้ำในกรณีภาระเปลี่ยนแปลง โดยน้ำจะออกจากอ่างทางร่องเอียงที่ใต้อ่างผ่านตะแกรงซึ่งช่วยป้องกันเศษอิฐหินต่างๆ จากการปั๊มน้ำเข้า

ภาพที่ 2.22 อ่างน้ำเย็น (The cold water basin)

ที่มา: [https://www.structuraltechnologies.com/article/cooling-tower-concrete-maintenance]

2.1.4.4 น้ำเติมระบบ (Makeup water)

ปริมาณน้ำเติมระบบ (make up water) ที่ต้องการของหอหล่อเย็น ผมรวมของน้ำ ซึ่งต้องนำมาชดเชยการระเหย การพาละอองน้ำไปกับอากาศ และปล่อยน้ำทิ้งเป็นการระบายน้ำทิ้งเพื่อลดสิ่งเจือปนในระบบหรือสารแขวนลอยและทนที่ด้วยน้ำบริสุทธิ์ โดยน้ำเติมระบบ ซึ่งน้ำที่เดิมเข้าสู่ระบบเรียกว่า น้ำเติมระบบ ทั้งหมดจะเป็นน้ำที่ผ่านการปรับสภาพให้มีความเข้มข้นของเกลือและปริมาณความไม่บริสุทธิ์ต่างๆน้อยที่สุด

อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นต่อเนื่องขณะที่น้ำระเหยไปเรื่อยๆ ดังที่ทราบแล้วว่า อัตราการสูญเสียเนื่องจากการระเหยประมาณ 1 – 1.5% ของอัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนทั้งหมด สำหรับการสูญเสียจากการพาละอองน้ำไปกับอากาสถือว่าน้อยมาก บางครั้งแค่ 0.03% เท่านั้น สำหรับการปล่อยน้ำทิ้งจะมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียเนื่องจากการระเหย ตัวถ้าต้องการความเข้มข้นของตะกอนต่ำ แต่อาจจะลดลงถ้าความเข้มข้นสูงขึ้นและสามารถยอมรับได้

2.1.4.5 ใบพัด (Cooling fan blade)

ชุดใบพัด (Cooling fan blade) ดังภาพที่ 2.25 ใบพัดของหอหล่อเย็นมีหน้าที่ดูดอากาศในปริมาณมากเพื่อให้อากาศได้แลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเกิดการสั่นสะเทือนที่น้อยที่สุด วัสดุที่ให้นอกจากจะต้องถูกต้องตามการออกแบบแล้ว ยังต้องสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนจากสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการใช้งาน

ภาพที่ 2.23 ใบพัด (Cooling fan blade)

ที่มา: [http://spxcooling.com/parts/marley-hp7i-fan]

2.1.4.6 เกียร์ทดรอบ (Reducing gear)

เกียร์ทดรอบ (Reducing gear) ดังภาพที่ 2.26 ความเร็วที่เหมาะสมของใบพัดหอหล่อเย็นมักจะไม่เท่ากับกับความเร็วของมอเตอร์ซึ่งเป็นตัวขับใบพัด ดังนั้น เกียร์ทดรอบเป็นอุปกรณ์ในการส่งถ่ายกำลังจากพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ไปขับใบพัด พร้อมทั้งลดความเร็วรอบจากมอเตอร์ไฟฟ้าลง ให้เหมาะกับสมรรถนะของใบพัด

ภาพที่ 2.24 เกียร์ทดรอบ (Reducing gear)

ที่มา: [https://www.indiamart.com/proddetail/cooling-tower-gearbox-12080172391.html]

2.1.4.7 เพลาขับ (Fan shaft coupling)

เพลาขับใบพัดลม ดังภาพที่ 2.25 ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายพลังงานจากเพลาที่ออกจากมอเตอร์ไปสู่เพลาที่ต่อเข้ากับเกียร์ทดรอบ เนื่องจากเพลาจะต้องทำงานอยู่ภายในหอหล่อเย็น ดังนั้นเพลาจะต้องสามารถทนต่อการสึกกร่อนและแรงบิด

ภาพที่ 2.25 เพลาขับ (Fan shaft coupling)

ที่มา: [http://www.coolingtowerdepot.com/content/parts/product-detail/2686]

2.1.4.8 ปลองหอหล่อเย็น (Fan stack)

ปล่องหอหล่อเย็น (Fan stack) ดังภาพที่ 2.28 ทำหน้าที่ของปล่องหอหล่อเย็นนอกจากจะเป็นอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากการหมุนของพัดลมแล้ว ยังมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพทั้งหมดของระบบหอหล่อเย็น โดยที่ปล่องหอหล่อเย็นจะถูกออกแบบและผลิตให้สามารถรับปริมาณอากาศไหลผ่านปริมาณมากที่สุด โดยใช้กำลังม้าน้อยที่สุด

ภาพที่ 2.26 ปล่องหอหล่อเย็น (Fan stack)

ที่มา: http://www.gtpl.co.in/manufacturing.php

2.1.4.9 มอเตอร์ขับใบพัด (Motor driven cooling fan)

มีหน้าที่ในการขับเพื่อหมุนใบพัด ดังภาพที่ 2.29 มอเตอร์จะต้องสามารถทำงานในสภาพสิ่งแวดล้อมที่แย่ได้ อย่างเช่น การทำงานในความชื้นที่ค่อนข้างสูงภายในหอหล่อเย็น หรือในสภาวะฝนตก หมอก ฝุ่นและไอเคมี

ภาพที่ 2.27 มอเตอร์ขับใบพัด (Motor driven cooling fan)

ที่มา: https://www.baltimoreaircoil.eu/parts/gear-boxes

2.1.5 แผนผังก้างปลา(Fishbone Diagram)

หรือเรียกเป็นทางการว่า แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)แผนผังสาเหตุและผลเป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) เราอาจคุ้นเคยกับแผนผังสาเหตุและผล ในชื่อของ "ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram)" เนื่องจากหน้าตาแผนภูมิมีลักษณะคล้ายปลาที่เหลือแต่ก้าง หรือหลายๆ คนอาจรู้ จักในชื่อของแผนผังอิชิกาว่า (Ishikawa Diagram) ซึ่งได้รับการพัฒนาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1943 โดย ศาสตราจารย์คาโอรุ อิชิกาว่า แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว

เมื่อไรจึงจะใช้แผนผังก้างปลา

1. เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหา

2. เมื่อต้องการทำการศึกษา ทำความเข้าใจ หรือทำความรู้จักกับกระบวนการอื่น ๆ เพราะว่าโดยส่วนใหญ่พนักงานจะรู้ปัญหาเฉพาะในพื้นที่ของตนเท่านั้น แต่เมื่อมีการทำผังก้างปลาแล้ว จะทำให้เราสามารถรู้กระบวนการของแผนกอื่นได้ง่ายขึ้น

3. เมื่อต้องการให้เป็นแนวทางใน การระดมสมอง ซึ่งจะช่วยให้ทุกๆ คนให้ความสนใจในปัญหาของกลุ่มซึ่งแสดงไว้ที่หัวปลา

วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผลหรือผังก้างปลา

สิ่งสำคัญในการสร้างแผนผัง คือ ต้องทำเป็นทีม เป็นกลุ่ม โดยใช้ขั้นตอน 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. กำหนดประโยคปัญหาที่หัวปลา
2. กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ
3. ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย
4. หาสาเหตุหลักของปัญหา
5. จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ
6. ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

การกำหนดปัจจัยบนก้างปลา

เราสามารถที่จะกำหนดกลุ่มปัจจัยอะไรก็ได้ แต่ต้องมั่นใจว่ากลุ่มที่เรากำหนดไว้เป็นปัจจัยนั้นสามารถที่จะช่วยให้เราแยกแยะและกำหนดสาเหตุต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบ และเป็นเหตุเป็นผล

โดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) เพื่อจะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ ซึ่ง 4M 1E นี้
มาจาก

M - Man คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร

M - Machine เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก

M - Material วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ

M - Method กระบวนการทำงาน

E - Environment อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการ - ทำงาน

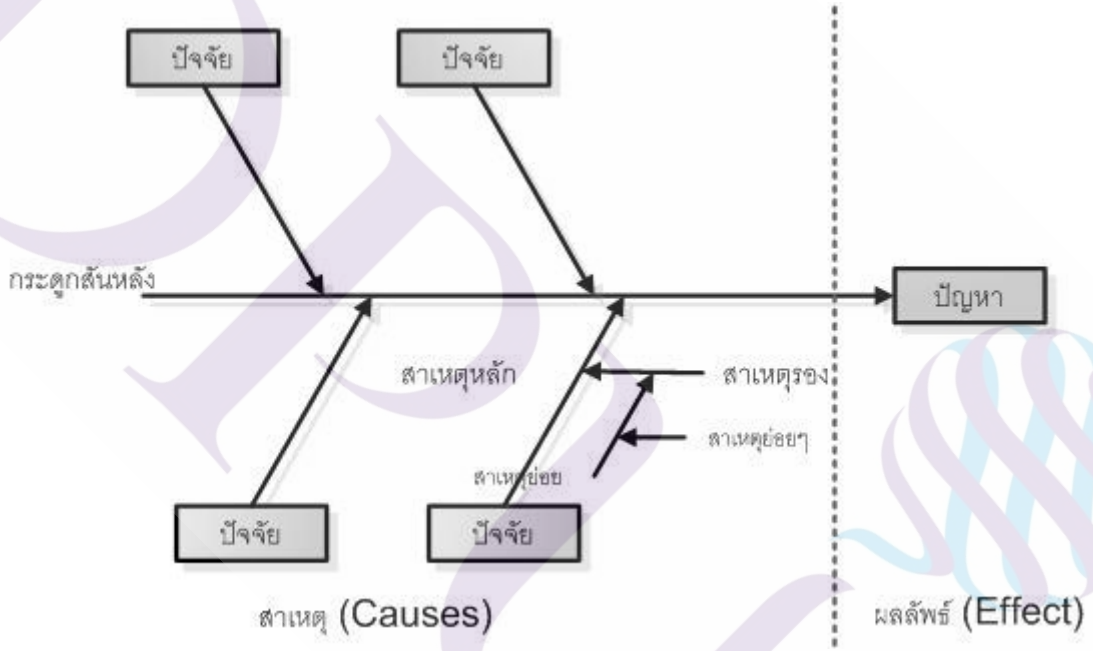
แต่ไม่ได้หมายความว่า การกำหนดก้างปลาจะต้องใช้ 4M 1E เสมอไป เพราะหากเราไม่ได้อยู่ในกระบวนการผลิตแล้วปัจจัยน าเข้า (input) ในกระบวนการก็จะเปลี่ยนไป เช่น ปัจจัยการนำเข้าเป็น 4P ได้แก่ Place , Procedure, People และ Policy หรือเป็น 4S Surrounding, Supplier, System และ Skill ก็ได้ หรืออาจจะเป็น MILK Management, Information, Leadership, Knowledge ก็ได้ นอกจากนั้น หากกลุ่มที่ใช้ก้างปลามีประสบการณ์ในปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่แล้ว ก็สามารถที่จะกำหนดกลุ่ม ปัจจัยใหม่ให้เหมาะสมกับปัญหาตั้งแต่แรกเลยก็ได้ เช่นกัน

การกำหนดหัวข้อปัญหาที่หัวปลา

การกำหนดหัวข้อปัญหาควรกำหนดให้ชัดเจนและมีความเป็นไปได้ ซึ่งหากเรากำหนดประโยคปัญหานี้ไม่ชัดเจนตั้งแต่แรกแล้ว จะทำให้เราใช้เวลามากในการค้นหา สาเหตุ และจะใช้เวลานานในการทำผังก้างปลา

การกำหนดปัญหาที่หัวปลา เช่น อัตราของเสีย อัตราชั่วโมงการทำงานของคนที่ไม่มีประสิทธิภาพ อัตราการเกิดอุบัติเหตุ หรืออัตราต้นทุนต่อสินค้าหนึ่งชิ้น เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ควรกำหนดหัวข้อปัญหาในเชิงลบ

เทคนิคการระดมความคิดเพื่อจะได้ก้างปลาที่ละเอียดสวยงาม คือ การถาม ทำไม ทำไม ทำไม ในการเขียนแต่ละก้างย่อยๆ ดังภาพที่ 2.30



ภาพที่ 2.28 ผังก้างปลา

ที่มา: [http://www.prachasan.com/mindmapknowledge/fishbonemm.htm]

ผังก้างปลาประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

ส่วนปัญหาหรือผลลัพธ์ (Problem or Effect) ซึ่งจะแสดงอยู่ที่หัวปลา

ส่วนสาเหตุ (Causes) จะสามารถแยกย่อยออกได้อีกเป็น

- ปัจจัย (Factors) ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา (หัวปลา)

- สาเหตุหลัก
- สาเหตุย่อย

ซึ่งสาเหตุของปัญหา จะเขียนไว้ในก้างปลาแต่ละก้าง ก้างย่อยเป็นสาเหตุของก้างรอง และก้างรองเป็นสาเหตุของก้างหลักเป็นต้น

หลักการเบื้องต้นของแผนภูมิก้างปลา (fishbone diagram) คือการใส่ชื่อของปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์ ลงทางด้านขวาสุดหรือซ้ายสุดของแผนภูมิ โดยมีเส้นหลักตามแนวยาวของกระดูกสันหลัง จากนั้นใส่ชื่อของปัญหาย่อย ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาหลัก 3 - 6 หัวข้อ โดยลากเป็นเส้นก้างปลา (sub-bone) ทำมุมเฉียงจากเส้นหลัก เส้นก้างปลาแต่ละเส้นให้ใส่ชื่อของสิ่งที่ทำให้เกิดปัญหานั้นขึ้นมา ระดับของปัญหาสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีก ถ้าปัญหานั้นยังมีสาเหตุที่เป็นองค์ประกอบย่อยลงไปอีก โดยทั่วไปมักจะมีการแบ่งระดับของสาเหตุย่อยลงไปมากที่สุด 4 – 5 ระดับ เมื่อมีข้อมูลในแผนภูมิที่สมบูรณ์แล้ว จะทำให้มองเห็นภาพขององค์ประกอบทั้งหมด ที่จะเป็นสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น

2.1.6 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราคิดลด (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิพอดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์ เป็นอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยต่อปีที่ผู้ลงทุนจะได้รับจากการลงทุนตลอดอายุโครงการนั่นเอง ในทางปฏิบัติ IRR นิยมนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินโครงการอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวิธี IRR นี้มีการแสดงค่าผลตอบแทนเป็นร้อยละ ซึ่งทำให้เข้าใจง่ายและมีความสะดวกในการเปรียบเทียบระหว่างโครงการต่างๆที่เป็นทางเลือกของการลงทุนที่มีอยู่ขณะนั้น

สูตรการคำนวณ

จาก IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายในที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์

จาก

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+k)^t} - I$$

เมื่อ NPV = 0

$$I = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+k)^t}$$

ดังนั้น k คือ อัตราผลตอบแทนภายใน หรือ IRR นั่นเอง

I = เงินสดจ่ายลงทุนของโครงการ

NPV = มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิ

CFt = กระแสเงินสดรับสุทธิ ณ ปีที่ t

n = อายุโครงการ

เกณฑ์การตัดสินใจ

สำหรับเกณฑ์ตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่นั้นจะพิจารณา ดังนี้

หาก IRR > r ก็ตัดสินใจลงทุน

หาก IRR < r ก็ตัดสินใจไม่ลงทุน

โดย r คือ ต้นทุนเงินทุน (cost of capital) ของโครงการ

2.1.7 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) หมายถึง ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี หรือกล่าวได้ว่าการลงทุนไม่มีกำไรและไม่ขาดทุนนั่นเอง ระยะเวลาคืนทุนเป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุนอย่างง่ายและไม่ซับซ้อน เป็นการประเมินคร่าวๆและรวดเร็วเหมาะกับเม็ดเงินลงทุนจำนวนไม่มาก อย่างไรก็ตามการคำนวณระยะเวลาคืนทุนมีจุดอ่อนตรงที่ไม่ได้นำเรื่องค่าของเงินตามเวลามาพิจารณาและไม่ให้ความสำคัญกับกระแสเงินสดที่ได้รับภายหลังระยะเวลาคืนทุน ทำให้อาจเกิดการตัดสินใจเลือกโครงการลงทุนที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นในบางกรณีอาจแก้ปัญหาโดยนำกระแสเงินสดมาปรับลดด้วยอัตราคิดลด ซึ่งเป็นการสะท้อนมูลค่าเงินตามเวลาก่อน แล้วค่อยนำมาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน หรือที่เรียกว่า ระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (discount payback period : DPB)

ทำการประเมินระยะเวลาในการคืนทุนเพื่อใช้ในการตัดสินใจวิธีที่สะดวกในเบื้องต้น คือ การประเมินแบบระยะเวลาคืนทุนโดยปกติทั่วไปการคืนทุนควรอยู่ในระยะไม่เกิน 3 ปี โดยอ้างอิงจาก เอกสารการอนุรักษ์พลังงานในระบบน้ำเย็น ของโครงการจัดตั้งศูนย์การเผยแพร่แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในภาคอุตสาหกรรม สนับสนุนโดย สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ดำเนินการโดย สถาบันพลังงานเพื่ออุตสหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ซึ่งได้แนะนำระยะเวลาคืนทุนไว้

หาก ระยะเวลาคืนทุน $\leq$ 3 ปี ก็ตัดสินใจลงทุน

หาก ระยะเวลาคืนทุน > 3 ปี ก็ตัดสินใจไม่ลงทุน

สูตรการคำนวณระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

ระยะเวลาคืนทุน = (เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการ – กระแสเงินสดรับสุทธิ สะสมไปเรื่อยๆจนเงินจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการเท่ากับศูนย์)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชลวิทย์ เผือกผาสุก (2554) ได้ศึกษาการจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารแบบบูรณาการ กรณีศึกษาอาคารกรมการกงสุล โดยมุ่งเน้นที่ระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง โดยการรวบรวมข้อมูลรายละเอียดต่าง เพื่อหาแนวทางการบริหารจัดการด้านพลังงานไฟฟ้า โดยทำการบันทึกผลทั้งก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง และนำมาวิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุน จากผลการศึกษาในปี พ.ศ. 2553 พบว่าอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 3,337,00 kWh/Year คิดเป็นเงินทั้งสิ้น 10,953,858.06 บาทต่อปี โดยได้กำหนดมาตราการการอนุรักษ์พลังงานขึ้นมาเพื่อปรับปรุง รวมผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 659,097.88 kWh/Year คิดเป็นเงินในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า 2,161,841,05 บาทต่อปี

นางสาวอัญชลี อินทจันทร์ (2557) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการประกอบธุรกิจฟาร์มไก่เนื้อ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนของผู้ประกอบการ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของโรงเรือน 2 ระบบ คือระบบเปิด และโรงเรือนระบบปิด โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้ใน 4 ด้านคือด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้านสิ่งแวดล้อมและกฎหมาย และด้านเศรษฐศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่าควรลงทุนในโรงเรือนระบบเปิด ขนาดกลาง ซึ่งมีเงินลงทุนเริ่มกิจการ 4,900,000 บาท โดยมีการกู้ยืมเงินแบ่งเป็น 60 % ของเงินลงทุน ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายก่อนดำเนินงานและค่าใช้จ่ายในสินทรัพย์ถาวร โดยระยะการผ่อนชำระหนี้ 10 ปี ซึ่งจากโครงการพบว่า IRR เท่ากับร้อยละ 27.67 ซึ่งมีค่ามากกว่า MARR (19.50%) และมี NPV เท่ากับ 1,912,792 บาท ที่อัตราคิดลดร้อยละ 19.50 มีงวดระยะการคืนทุนประมาณ 3 ปี 7 เดือน โครงการมีความอ่อนไหวเมื่อยอดขายลดลงร้อยละ 5 และมีความอ่อนไหวเมื่อต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ดังนั้นงานวิจัยจึงมีความเป็นไปได้ทั้งทางด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้านสิ่งแวดล้อมและกฎหมาย และด้านเศรษฐศาสตร์ในการประกอบธุรกิจฟาร์มไก่เนื้อในเขตพื้นที่อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา

นายมงคล แจ่มศิริยานนท์ (2554) การวิเคราะห์ทางการเงินและเศรษฐกิจโครงการลงทุนผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดของการประปานครหลวงเป็นการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการลงทุนโครงการของการประปานครหลวง เพื่อประเมินผลการดำเนินงานปี ที่ 1 – 10 (ปี งบประมาณ 2547 - 2556) โดยทำการศึกษาความเหมาะสมของโครงการใน 3 ด้าน ประกอบด้วย ด้านเทคนิค ด้านการเงินและด้านเศรษฐกิจ มีตัวชี้วัดดัความคุม้ค่าโครงการ ดังนั้นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV), อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR), อัตราส่วนผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืน

ทุน (Payback Period) นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหว(Sensitivity Analysis) ของโครงการ ผลการวิเคราะห์พบว่า โครงการนี้มีความเหมาะสมในการลงทุนทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐกิจแต่ไม่มีความเหมาะสมทางด้านการเงิน ที่อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 3 โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ -2.34 ล้านบาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 0.8905 เท่า อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 0.9808 % และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 9 ปี6 เดือน สามารถคืนทุนได้ภายในอายุโครงการ แต่เนื่องจากการประปานครหลวงเป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ มีการบริหารงานภายใต้การควบคุมดูแลของรัฐบาล ดังนั้น จึงพิจารณาโครงการทางด้านเศรษฐกิจเป็นหลัก พบว่า ที่อัตราคิดลดร้อยละ 11.55 โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV) เท่ากับ 0.27 ล้านบาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 1.0142 เท่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 11.8574 % และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 6 ปี 1 เดือน ส่วนการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจะพิจารณาในทางส่งเสริมโครงการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน

นางสาวดวงฤดี ชูตระกูล (2553) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในหอหล่อเย็นแบบระบบปิด (Closed Wet Cooling Tower) ขนาด 5 ตันความเย็น โดยปรับปรุงรูปแบบการจัดวางแผงกระจายละอองน้ำเปรียบเทียบกับการจัดวางแผงกระจายน้ำรูปแบบเดิม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน โดยทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน และการพัฒนาโปรแกรมการทำนายค่าอุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากหอหล่อเย็น พบว่าโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาสามารถทำนายอุณหภูมิทางออกของน้ำเย็นได้ และสอดคล้องกับผลของการวัดโดยได้คำนวณที่ค่าอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าระหว่าง 38-43 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิทำงานของหอหล่อเย็น

นายเทอดไทย นาครักษ์ (2554)ได้ศึกษาการจัดการการใช้ไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต โดยใช้ดัชนีที่กำหนดโดยรัฐบาล เป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบ หลังจากที่เก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานระหว่างเดือนมีนาคมถึงตุลาคม ปี พ.ศ. 2551 พบว่า มีการจัดการพลังงานเพื่อลดพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้มี 4 วิธี (1) ใช้หลอดฟลออเรสเซนซ์ T5/28 วัตต์ (2) ติดตั้งเครื่องปรับอากาศชนิดประสิทธิภาพสูง (3) ลดการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 1 ชั่วโมงต่อวัน (4) ลดการทำงานของระบบปรับอากาศ 1 ชั่วโมงต่อวัน โดยการใช้วิธีการทั้งหมดเพื่อการจัดการพลังงาน จาก ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่บันทึกก่อนหน้านี้ การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง 31,765,772.91 บาทต่อปีหรือประมาณร้อยละ 15.56

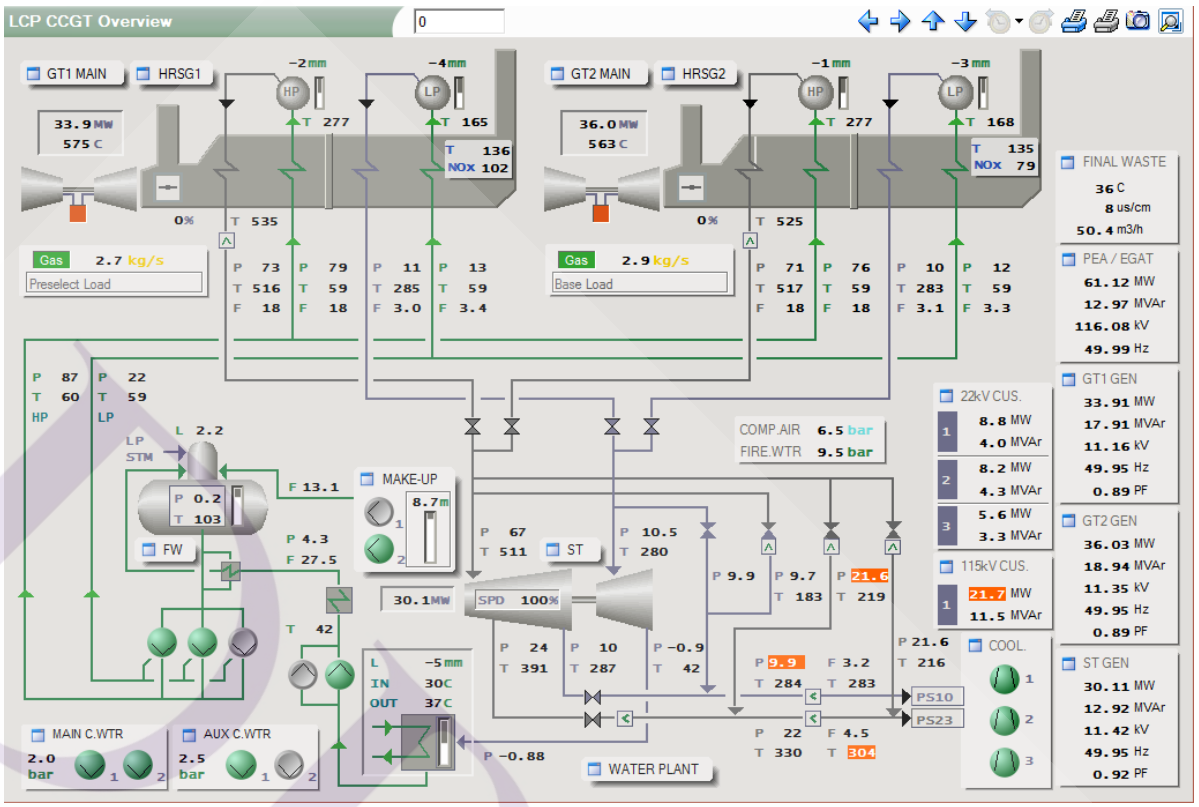
บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาด้านการจัดการพลังงานของระบบหอหล่อเย็น เพื่อลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็น โดยเริ่มจากทำการวิเคราะห์ระบบและค้นหาอุปกรณ์ในระบบ เก็บข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง คัดเลือกเทคโนโลยีในการปรับปรุง ทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดลองสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ เพื่อนำมวิเคราะห์ต้นทุนวงจรอายุและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็น

3.1 ข้อมูลทั่วไป

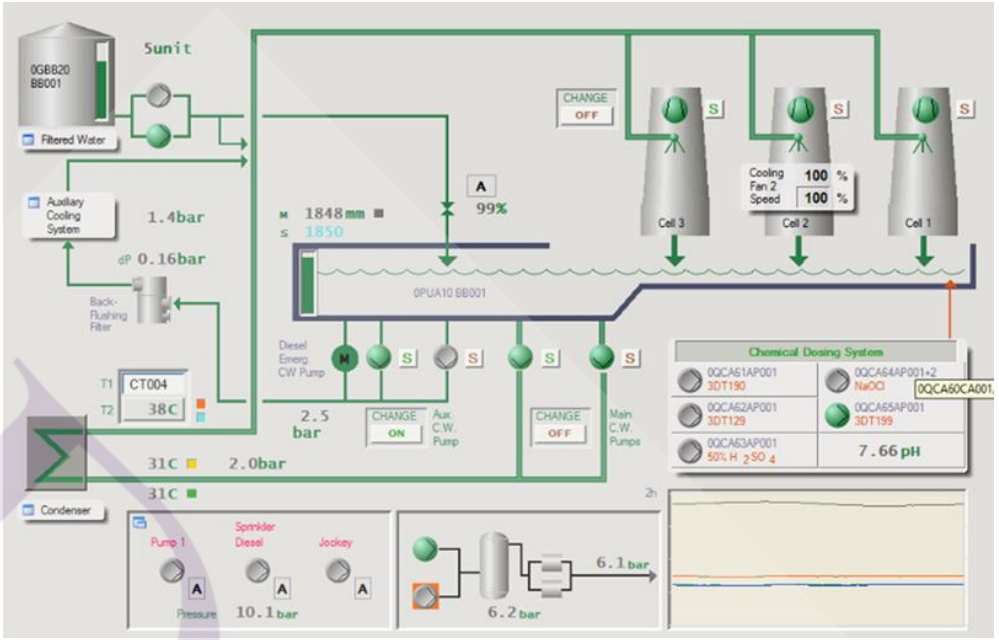
บริษัท บีกริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด หรือ บริษัทกรณีศึกษา ตั้งอยู่ที่ นิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง 205/7 หมู่ 3 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ประกอบธุรกิจผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ กำลังการผลิตทั้งหมด 105 เมกะวัตต์ และ ไอน้ำ 30 ตันต่อชั่วโมง เวลาทำงานของบริษัทกรณีศึกษาแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ เวลาทำงานปกติ ตั้งแต่วันจันทร์ – ศุกร์ เวลา 08:00 – 17:00 น. กับช่วงเวลาผลิตไฟฟ้าทำงานเป็นกะ กะละ 12 ชั่วโมง เริ่มกะที่ 1 ตั้งแต่เวลา 07:00 – 19:00 น. และ กะที่ 2 เข้ามารับช่วงต่อเริ่มตั้งแต่ 19:00 – 07:00 น. ซึ่งพนักงานประจำกะจะปฏิบัติงานแบบนี้ตลอดอายุการซื้อขายไฟฟ้า 24 ชั่วโมงเพื่อผลิตไฟฟ้าและไอน้ำให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและลูกค้าในเขตนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง

ภาพที่ 3.1 บริษัท บีกริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด หรือ บริษัทกรณีศึกษา



ภาพที่ 3.2 วงจรของกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา

ระบบห่อหล่อเย็นเป็นระบบที่สำคัญส่วนหนึ่งของบริษัทกรณีศึกษาซึ่งทำหน้าที่นำน้ำเย็นที่ผลิตได้นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องควบแน่น (Condenser), Lube oil cooler ของ เครื่องกังหันก๊าซ (Gas turbine), เครื่องกังหันไอน้ำ(Steam turbine), เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) และน้ำหล่อเย็นน้ำทิ้งของหม้อไอน้ำ (Cooling boiler blowdown tank) เป็นต้น



ภาพที่ 3.3 วงจรการทำงานของระบบหอหล่อเย็นของบริษัทกรณีศึกษา [จากเครื่องควบคุมการทำงานของบริษัทกรณีศึกษาระบบ DCS]

3.2 ข้อมูลทั่วไปของระบบหอหล่อเย็นของบริษัทกรณีศึกษา

Performance data

Water circulation, (m3/hr.)	8,584
Inlet water circulation temp. (°C)	40.6
Outlet water temp. (°C)	31.6
Design wet bulb temp. (°C)	28.45
Elevation (m)	3

Tower design data

Type	Counter flow
Number of cell	3
Cell size (ftxft)	42x42
Overall length/ Width (ftxft)	126x48
Distribution type	Low pressure down spray
Drift loss (% circulation)	0.001

Drift eliminator type	CDX-80 10/15
Fill type	1900 10mil
Access to top of tower	One concrete and One HDG ladder
Fan deck live load (PSF)	Structure design

Tower material

Structure	Concrete
Bolting hardware	300 series stainless steel
Gear support members	HDG
Fan stack	FRP
Distribution headers/ Lateral lines	SCH. 40 PVC/ SCH.40 PVC
Distribution spray nozzles	Polypropylene
Drift eliminators	PVC
Fill	PVC
Exterior wall	Concrete
Fan deck	Concrete

Fan data

Type Adjustable	pitch
Manufacturer/ Model	HUDSON/ APT-28H-9
Diameter (ft)	28
Blade/ Fan	9
Blade material	FRP
Sizing of hub (Inch)	76
Hub material	HDG
Fan speed (rpm)	141
Tip speed (fpm)	12403
Diameter of Fan stack (mm)	8583
Diameter of fan blade (mm)	8534
Fan at design conditions (cfm)	1147960
Total static pressure drop (in H2O)	0.448

Recommended trial fan pitch (°)	12.6
Existing Fan pitch (°)	10
Required of HP at design (HP)	157.6

Gear/ Drive shaft data

Gear type	Right angle spiral bevel
Gear manufacturer	Sumitomo
Model	8065
Rated capacity (HP)	486
Reduction ratio	10:1
Drive shaft manufacturer	Addax
Shaft material	Composite fiber

Motor data

Type	TEFC
Frame size	IEC-D280M
Manufacturer	Baldor
Rated capacity (kW)	162
Operating rated capacity (kW)	140
Operating speed (rpm)	1500
Volts/ Phase/ Cycle	690/3/50

ภาพที่ 3.4 แสดงใบพัดชุดเก่า

3.3 ข้อมูลการศึกษาและสำรวจสภาพการดำเนินงานด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าชุดมอเตอร์ขับใบพัดลมของหอหล่อเย็นก่อนปรับปรุง

ระบบหอหล่อเย็นของบริษัทกรณีศึกษา ติดตั้งชุดใบพัดทั้งหมด 3 หน่วย เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษาทำการขายไฟฟ้าให้กับ กฟผ. และลูกค้าในเขตนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง 24 ชั่วโมง จึงทำให้กระบวนการผลิตไฟฟ้าทำการผลิตตลอดทั้งปี คิดเป็นจำนวนชั่วโมงการทำงานของชุดมอเตอร์ขับใบพัดเฉลี่ยทั้งปีที่ 8,500 ชั่วโมงต่อปี จากการบันทึกผลค่ากำลังไฟฟ้าของชุดมอเตอร์ขับใบพัดทั้งหมด 3 หน่วย มีค่าใช้พลังงานไฟฟ้าจริงดังนี้

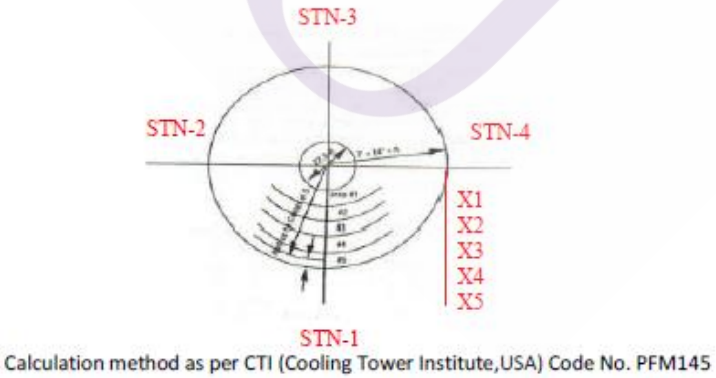
ตารางที่ 3.1 แสดงบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ขับใบพัดทั้ง 3 หน่วย ก่อนเริ่มปรับปรุงใบพัด

เครื่องจักร (Cell)	กำลังไฟฟ้า (kWh)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	เพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF)
Cell No. 1	139.2	683	138.75	0.87
Cell No. 2	147.3	682	150.00	0.88
Cell No. 3	147.3	694	138.30	0.88

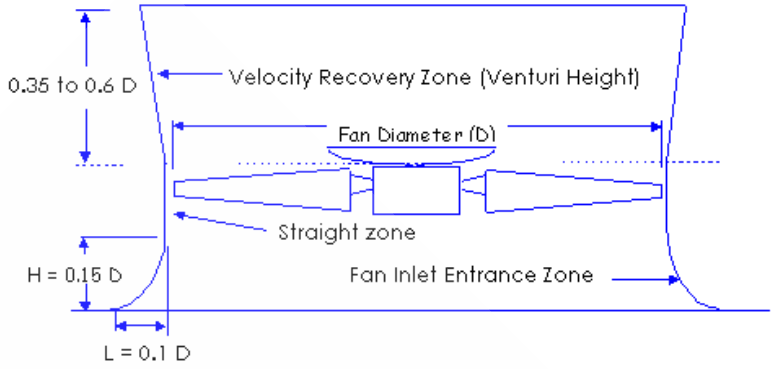
จากการคำนวณผลรวมของชุดมอเตอร์ขับใบพัดลมทั้งหมด 3 หน่วย ใช้กำลังไฟฟ้าในการขับมอเตอร์ทั้งหมดรวม 434.1 kWh โดยคิดค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 2.2 บาท/kWh คิดเป็นค่าไฟฟ้าต่อปีเท่ากับ 8,117,670 บาทต่อปี

3.4 ข้อมูลความเร็วลมและอัตราการไหลของลมของชุดใบพัดของหอหล่อเย็น

ทำการบันทึกค่าความเร็วของลมและอัตราการไหลของลม ก่อนทำการปรับปรุงติดตั้งใบพัดใหม่ และยังเพิ่มความมั่นใจว่าประสิทธิภาพของใบพัดที่ติดตั้งอยู่ในปัจจุบันยังคงมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับค่าการออกแบบตั้งแต่เริ่มต้น ค่าความเร็วลมและอัตราการไหลกับลมมีความสำคัญมากสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ เพื่อผลิตน้ำเย็นในกระบวนการของหอหล่อเย็น ก่อนเริ่มงานติดตั้งใบพัดใหม่ ได้จัดทำการการวัดความเร็วลมและอัตราการไหลของลมตามมาตราฐาน CTI Code No. PFM145 และทำการบันทึกข้อมูลความเร็วของลมและอัตราการไหลของลมไว้ดังนี้



ภาพที่ 3.5 แสดงตำแหน่งของการติดตั้งเครื่องมือวัดความเร็วลมและอัตราการไหลของลม



ภาพที่ 3.6 แสดงมิติของหอหล่อเย็นเพื่อบ่งชี้ตำแหน่งการวัดความเร็วลมและอัตราการไหลของลม

3.4.1 แสดงข้อมูลการวัดความเร็วของลมและอัตราการไหลของใบพัดทั้งหมด Cell No. 1 บันทึกก่อนทำการปรับปรุง

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลความเร็วของลมและอัตราการไหลของใบพัดหน่วยที่ 1 ก่อนเริ่มทำการปรับปรุงใบพัด

Point	From edge of skirt (cm)	STN-1	STN-2	STN-3	STN-4	Unit
X1	265.4	3.7	3.3	5.0	1.8	m/s
X2	180.5	13.1	12.3	11.9	12.6	m/s
X3	118	11.5	12.2	11.1	12.4	m/s
X4	66.1	10.7	12.4	10.7	12.2	m/s
X5	20.7	11.4	13.0	9.0	11.6	m/s
		10.1	10.6	9.5	10.1	
	Wind velocity	1.5	2.0	2.2	1.7	

AVG Velocity 10.1 m/s

Air flow 554.68 m3/s

3.4.2 แสดงข้อมูลการวัดความเร็วของลมและอัตราการไหลของใบพัดลมทั้งหมด Cell No. 2 บันทึกก่อนทำการปรับปรุง

ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลความเร็วของลมและอัตราการไหลของใบพัดหน่วยที่ 2 ก่อนเริ่มทำการปรับปรุงใบพัด

Point	From edge of skirt (cm)	STN-1	STN-2	STN-3	STN-4	Unit
X1	265.4	1.0	3.6	1.3	4.4	m/s
X2	180.5	12.7	11.9	12.7	12.3	m/s
X3	118	11.5	11.7	12.3	11.8	m/s
X4	66.1	11.0	11.3	12.3	11.4	m/s
X5	20.7	10.1	12.6	12.9	11.1	m/s
		9.3	10.2	10.3	10.2	
	Wind velocity	1.5	1.4	6.2	1.5	

AVG Velocity	10.10	m/s
Air flow	549.19	m3/s

3.4.3 แสดงข้อมูลการวัดความเร็วของลมและอัตราการไหลของใบพัดทั้งหมด Cell No. 3 บันทึกก่อนทำการปรับปรุง

ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลความเร็วของลมและอัตราการไหลของใบพัดหน่วยที่ 3 ก่อนเริ่มทำการปรับปรุงใบพัด

Point	From edge of skirt (cm)	STN-1	STN-2	STN-3	STN-4	Unit
X1	265.4	0.4	1.4	3.0	3.9	m/s
X2	180.5	11.5	12.0	11.2	11.5	m/s
X3	118	12.1	12.3	11.8	12.0	m/s
X4	66.1	11.1	11.5	11.2	11.0	m/s
X5	20.7	10.1	12.4	11.6	11.4	m/s
		9.1	9.9	9.8	10.0	
	Wind velocity	2.3	2.0	2.7	2.8	

AVG Velocity	9.7	m/s
Air flow	531.60	m3/s

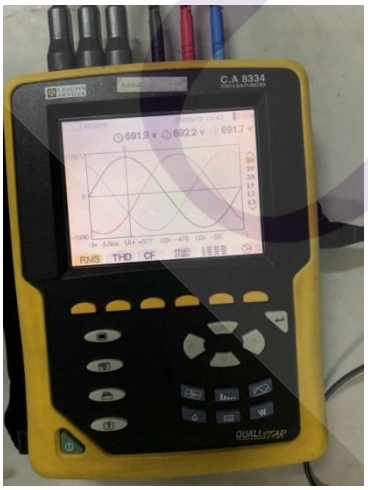
เมื่อทำการวัดค่าความเร็วลมและอัตราการไหลของลมเรียบร้อยแล้ว จึงทำการเปรียบเทียบข้อมูลกับค่าการออกแบบหอหล่อเย็น ผลจากการออกแบบอัตราการไหลของลมอยู่ที่ 542 m^3/s ที่ความเร็วรอบเท่ากับ141 rpm จากการวัดค่าและบันทึกข้อมูลจริง พบว่า หอหล่อเย็น Cell No. 1 และ 2 อยู่ในเกณฑ์ตามค่าออกแบบและยังวัดได้มากกว่าค่าออกแบบ แต่หอหล่อเย็น Cell No. 3 มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่มีการออกแบบไว้ จึงทำการบันทึกข้อมูลเพื่อหาวิธีแก้ไขและปรับปรุง หอหล่อเย็น Cell N0. 3 ต่อไป

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ในการเปรียบเทียบข้อมูลและบันทึกลงเพื่อใช้ในทางสถิตินั้น ต้องมีเครื่องมือที่ทันสมัย เที่ยงตรง มีความแม่นยำสูงในการวัดค่าต่างๆ โดยในการปรับปรุงชุดใบพัดลมของหอหล่อเย็นเพื่อลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็นนั้น ได้นำเครื่องมือที่ใช้วัดภาคสนามทั้งหมด 2 ประเภทคือ Fluke 434, 435 Series II เครื่องวิเคราะห์การใช้พลังงานและแก้ไขคุณภาพไฟฟ้า 3 เฟส กับ Calibrated electronic anemometer (vane type) เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด

3.5.1 เครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

ในการศึกษานี้ได้ใช้เครื่องมือวัด ยี่ห้อ Chauvin Arnoux รุ่น CA8336 Qualistar Plus Power Analyzer เป็นเครื่องวัดและเครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและพลังงาน เพื่อนำข้อมูลมาประกอบรายการการคำนวณและวิเคราะห์หาต้นทุนวงจรอายุของการปรับปรุงชุดใบพัดลมของหอหล่อเย็นเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบติดตั้งใบพัด



ภาพที่ 3.7 แสดงเครื่องวัดและเครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและพลังงาน

3.5.2 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด

ในการศึกษานี้ได้ใช้เครื่องมือวัด ยี่ห้อ Fluke รุ่น 925 เป็นเครื่องวัดในการตรวจวัดความเร็วลม อุณหภูมิของอากาศและการไหลของอากาศ เพื่อนำข้อมูลมาประกอบรายการการคำนวณและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหอหล่อเย็นเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบติดตั้งใบพัด

ภาพที่ 3.8 แสดงเครื่องวัดในการตรวจวัดความเร็วลม อุณหภูมิของอากาศและการไหลของอากาศ

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลและศึกษาแนวทางการแก้ไข

ในการขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจปัญหา ตรวจวัดสถานะอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าการใช้จริง ทำการวัดความเร็วลมและอัตราการไหลของลม รวมถึงบันทึกข้อมูลในขณะโรงไฟฟ้าเดินเครื่องเต็มประสิทธิภาพของกำลังการผลิต (Base load operation) ตามชั่วโมงการทำงานที่ได้วางแผนเดินเครื่องไว้ เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้ นำมาวิเคราะห์เพื่อลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็นและเพื่อให้ทราบถึงประโยชน์ที่จะได้รับสูงสุด โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุงและนำมาวิเคราะห์หาทางเลือกที่คุ้มค่าเกิดประโยชน์และจุดคุ้มทุนที่ดีที่สุด โดยมีการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆดังนี้

3.6.1 วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบต้นทุน เทคโนโลยีและประโยชน์ที่จะได้รับสูงสุดของใบพัดของแต่ละบริษัท

3.6.2 ทำการวิเคราะห์ทางการเงินโดยวิเคราะห์จากอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

3.6.3 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

3.6 การสรุปผล

หลังจากทำการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าความเร็วลม อัตราการไหลของลม และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เสร็จสิ้นแล้วนั้น จากนั้นทำการวิเคราะห์และคัดเลือกอุปกรณ์ชุดใบพัดเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพที่สามารถทำการลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็นให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยไม่มีผลกระทบกับกระบวนการผลิตหลัก เพื่อประกอบการพิจารณาในการลงทุนติดตั้งใบพัดแบบประหยัดพลังงาน โดยคำนึงถึงงบการลงทุน อัตราผลตอบแทนภายในระยะเวลาผลของค่าตอบแทน โดยใช้หลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมนำมาประยุกต์ใช้ประกอบการพิจารณาในการลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหอหล่อเย็นในโรงไฟฟ้าแหลมบัง

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบต้นทุน เทคโนโลยีและประโยชน์ที่จะได้รับสูงสุดของใบพัดของแต่ละบริษัทผู้ผลิตใบพัด

หลังจากได้ที่ได้ทำการเก็บรวรวมข้อมูลของชุดใบพัดชุดปัจจุบันนั้นเสร็จเรียบร้อยเพื่อเป็นข้อมูล Based line แล้วนั้น จึงมาถึงขั้นตอนคัดเลือกอุปกรณ์ บริษัท เทคโนโลยี โดยยึดหลักวิศวกรรมและเทคโนโลยีที่สูงสุดโดยไม่ส่งผลกระทบกับระบบการผลิตไฟฟ้าในบริษัทกรณีศึกษา ทางผู้จัดทำการเชิญบริษัทที่มีความชำนาญการเรื่องใบพัดประหยัดพลังงานซึ่งมีบริษัทที่ให้ความสนใจในโครงการนี้ถึง 3 บริษัทด้วยกัน ซึ่งทั้งสามรายนี้เป็นที่ยอมรับในงานอุตสาหกรรมประเภท Oil & Gas และมีประสบการณ์มากมายหลายโครงการ

จากข้อมูลที่ได้นั้นประกอบไปด้วย ราคาในการติดตั้งพร้อมใบพัดลม การประกันงานที่ติดตั้ง ระยะเวลาการส่งอุปกรณ์ที่นำมาติดตั้ง โดยทางคณะทำงานได้คำนึงถึงเรื่องการประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จริงโดยไม่ส่งผลกระทบกับบริษัทกรณีศึกษา และที่สำคัญในเรื่องของการประกันงานในโครงการทางผู้จัดทำต้องการการประกันคุณภาพในแบบขึ้นสูงสุดเช่น จะต้องประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เป็นไปตามข้อเสนอก่อนเริ่มงาน การรับประกันว่าใบพัดรุ่นที่นำมาติดตั้งจะไม่ส่งผลกระทบกับระบบเกียร์ทดรอบ และประสิทธิภาพอัตราการไหลของลมจะต้องดึงความร้อนได้ปกติโดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของหอหล่อเย็น

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อประกอบการพิจารณาการคัดเลือกใบพัดชุดใหม่

Description	Unit	Designed&Installed	HAMON B.GRIMM	Viptel	Innovek
		B.GRIMM SINCE 1878	A	B	C
Manufacturer		Hudson	Howden	EVAPTECH	COFIMCO
Country		USA	Netherland	brazil	ITALY
Model		APT-28H-9	28DNF5	NCR2806	8534-35F/G2.2T
Number of blade	Q'ty	9	5	6	8
Fan diameter	mm	8534	8534	8534	8534
Air flow	m3/s	542	542	542	495.18
Static pressure	inH2O	0.448	0.448	0.45	0.607
Speed	rpm	140	140	140	140
Air Density	kg/m3		1.099	1.099	1.143
Rate power	kW	157.6/140	103	100.4	119
Static efficiency	%		64	60.3	65.9
Total efficiency	%			84.3	83.8
Blade pitch angle	°	12.6	9.2	17.6	4.7
Material		FRP	FRP	FRP	FRP
Investment cost / cell including hub and install	Baht/Cell			800,300	775,000
Investment cost / 3 cell including hub and install	Baht/unit			2,400,900	2,325,000
Operating per year@ 8500 OH	hrs/year		8500	8500	8500
Unit rate of Electric cost per kWh	Baht/kWh		2.2	2.2	2.2
The old fan power measure	KWh		140	140	141.75
New fan power measure	KWh		103	100.4	119
Electrical energy saving	kWh		37	39.6	22.75
Energy saving	%		26	28	16
The old fan power consumtion/Cell	Baht/cell/year		2,618,000	2,618,000	2,650,725
New fan power consumtion/Cell	Baht/cell/year		1,926,100	1,877,480	2,225,300
Electric costing saving/cell	Baht/cell/year		691,900	740,520	425,425
Electric costing saving/3 cell	Baht/Year		2,075,700	2,221,560	1,276,275
Pay back period	Year		1	1	>1.8
Guarantee energy saving % from existing.	%		>26	>28	>16
Warranty againt manufacturing material defect	Year		1.5	2	1
In case of not pass: Dismantle new blade out				√	
In case of not pass: discount 2% of Guarantee price per 1%					√
The customer can reject order if actual energy saving less than 10%					√
Including mobile crane for remove and install			√	√	
Including scaffolding			√	√	
Payment Term: 70% Material on site			√		√
Payment Term: 30% after work complete (performance test&Guarantee report)			√		√
Payment Term: 30 days credit term			√	√	
Delivery time:			16 weeks	120 days	14-16 Weeks

จากตารางการเปรียบเทียบราคา ข้อมูลด้านเทคนิคและการประกันคุณภาพนั้น จะเห็นได้ว่า บริษัท บริษัท A มีข้อมูลที่น่าสนใจที่สุด แต่หลังจากที่ทำการคัดเลือกเบื้องต้นเสร็จแล้วนั้น ทางบริษัท A ได้มีข้อจำกัดมากมายและมีการขอเพิ่มราคาในโครงการนี้อีก ทางผู้จัดทำจึงทำการคัดเลือกบริษัทลำดับที่ 2 คือ บริษัท B ซึ่งบริษัทนี้พร้อมทำตามเงื่อนไขของทางผู้จัดทำโดยดีไม่มีข้อแม้ใดๆทั้งสิ้น ทางบริษัท B ยังแสดงถึงศักยภาพของอุปกรณ์ว่า ถ้าไม่สามารถทำตามที่บริษัท B เสนอที่การประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ 28 %ได้จะไม่คิดค่าใช้จ่ายใดๆและจะถอดชุดใบพัดใหม่ออกพร้อมติดตั้งใบพัดชุดเก่าคืนสู่สภาพเดิม แล้วยังรับประกันคุณภาพของใบพัดทั้งหมด 5 ปีหลังการติดตั้งซึ่งเป็นข้อเสนอที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก ทางผู้จัดทำจึงเลือก บริษัท B เป็นผู้ชนะการประมูลงานครั้งนี้

ตารางที่ 4.2 แผนการทำงานการเปลี่ยนใบพัดชุดใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

Equipment No.	Activity	Duration time						
		Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6	Week 7
CT Cell No. 3	The owner handover CT gearbox (spare) to contractor.							
	Drain lube oil of Existing CT gearbox							
	Uncoupling of coupling and gearbox							
	Remove existing fan blade, hub and gearbox set							
	Lifting and Install new gearbox on base.							
	Fill up lube oil of CT gearbox provide by owner							
	Lifting and install new fan blade on gearbox set							
	Adjust blade angle measurement and record							
	All toque bolt and mark up							
	Tip blade clearance check and record							
	Check highest blade and lowest blade							
	Final alignment check for Gearbox to motor							
	Vibration check and record							
	Remove scaffolding, cleaning work place							
	Record for fan performance test, Air flow measurement							
	Send draft report to owner							
Gearbox 3	Send gearbox to overhaul							
CT Cell No. 2	The owner handover CT gearbox (3) to contractor.							
	Drain lube oil of Existing CT gearbox							
	Uncoupling of coupling and gearbox							
	Remove existing fan blade, hub and gearbox set							
	Lifting and Install new gearbox on base.							
	Fill up lube oil of CT gearbox provide by owner							
	Lifting and install new fan blade on gearbox set							
	Adjust blade angle measurement and record							
	All toque bolt and mark up							
	Tip blade clearance check and record							
	Check highest blade and lowest blade							
	Final alignment check for Gearbox to motor							
	Vibration check and record							
	Remove scaffolding, cleaning work place							
	Record for fan performance test, Air flow measurement							
	Send draft report to owner							
Gearbox 2	Send gearbox to overhaul							
CT Cell No. 1	The owner handover CT gearbox (2) to contractor.							
	Drain lube oil of Existing CT gearbox							
	Uncoupling of coupling and gearbox							
	Remove existing fan blade, hub and gearbox set							
	Lifting and Install new gearbox on base.							
	Fill up lube oil of CT gearbox provide by owner							
	Lifting and install new fan blade on gearbox set							
	Adjust blade angle measurement and record							
	All toque bolt and mark up							
	Tip blade clearance check and record							
	Check highest blade and lowest blade							
	Final alignment check for Gearbox to motor							
	Vibration check and record							
	Remove scaffolding, cleaning work place							
	Record for fan performance test, Air flow measurement							
	Send draft report to owner							
Gearbox 1	Send gearbox to overhaul, Keep spare on shelf							

4.2 ผลหลังการแก้ไขปรับปรุง

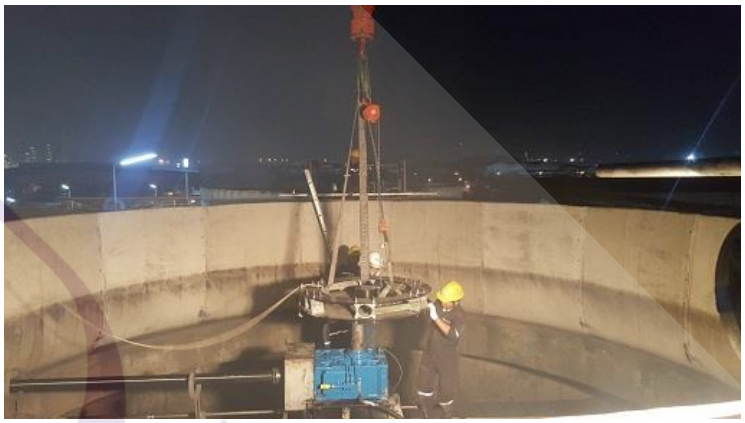
ในส่วนได้เริ่มทำการเปลี่ยนใบพัดประหยัดพลังงานโดยวางแผนที่จะเปลี่ยนที่ละหน่วยการผลิต และทำการวัดอัตราการไหลของลม กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับใบพัดลม วัดค่าความสั่นสะเทือนของเกียร์ทดรอบ และนำข้อมูลนำมาทำการวิเคราะห์ทางการเงินโดยวิเคราะห์จากอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

ในการเปลี่ยนใบพัดประหยัดพลังงานขอแสดงรูปภาพตัวอย่างการทำงานในขั้นตอนต่างๆเพื่อให้เห็นภาพชัดยิ่งขึ้น เช่น การวัดอัตราการไหลของลมก่อนเปลี่ยนครั้งสุดท้าย รื้อถอนใบพัดชุดเดิม การรื้อถอนเกียร์ทดรอบ การประกอบเกียร์ทดรอบใหม่เข้าทดแทน เริ่มประกอบใบพัดชุดใหม่ การตั้งองศาของมุมใบพัดชุดใหม่ตามการออกแบบ การวัดอัตราการไหลของลมของใบพัดชุดใหม่และการวัดค่าความสั่นสะเทือนของชุดเกียร์ทดรอบดังรูปแสดงตัวอย่างต่อไปนี้

ภาพที่ 4.1 แสดงการวัดอัตราการไหลของลมก่อนเปลี่ยนครั้งสุดท้าย

ภาพที่ 4.2 แสดงการถอดใบพัดชุดเดิมเพื่อเตรียมพร้อมจะถอดชุดเกียร์ทดรอบ

การเปลี่ยนใบในครั้งนี้ทางผู้จัดทำได้ทำการ บำรุงรักษาใหญ่เกียร์ทอรอบ (Overhaul Gearbox) ทั้งหมด 3 ตัวเพื่อสร้างความน่าเชื่อถือหรือ Reliability ในระบบหอหล่อเย็นว่า การเปลี่ยนใบพัดครั้งนี้จะไม่มีผลกระทบต่อ Gearbox จากนั้นหลังติดตั้งเสร็จ ทางผู้จัดทำได้ทำการวัดค่าสั่นสะเทือนของ Gearbox และบันทึก



ภาพที่ 4.3 แสดงการถอดและประกอบชุดเกียร์ทดรอบ

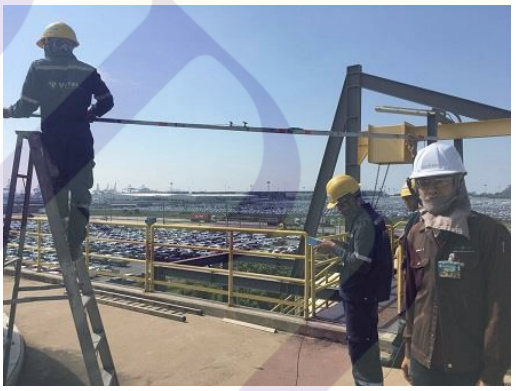
ภาพที่ 4.4 แสดงการประกอบใบพัดชุดใหม่ทั้งหมด 6 ใบเข้ากับดุม

ภาพที่ 4.5 แสดงการประกอบใบพัดชุดใหม่ทั้งหมด 6 ใบพร้อมทดสอบ

ในการเปลี่ยนใบพัดครั้งนี้ ทางผู้จัดทำและแผนกบำรุงรักษาไฟฟ้าของบริษัทกรณีศึกษาไม่ได้ทำการ Overhaul Motor เนื่องจากแผนกบำรุงรักษา Cooling Fan Motor มีการทำ PM และตรวจสอบทางไฟฟ้าเป็นประจำ และสภาวะของมอเตอร์อยู่ในสภาพใช้งานปกติ และเนื่องจากโครงการนี้เป็นโครงการประหยัดพลังงาน ซึ่งภาระของอุปกรณ์ทั้งหลายเช่น น้ำหนักของใบพัดที่ลดลง กระแสไฟฟ้าที่ลดลง จึงทำให้ภาะการทำงานของมอเตอร์ทำงานได้ดีขึ้น

ภาพที่ 4.6 แสดงมอเตอร์ขับใบพัด

ภาพที่ 4.7 แสดงการทดสอบเดินใบพัดจริงและบันทึกพลังงานไฟฟ้าเพื่อทำการวิเคราะห์



ภาพที่ 4.8 แสดงการทดสอบเดินใบพัดจริงและบันทึกอัตราการไหลของลมเพื่อวิเคราะห์

4.2.1 การบันทึกค่า Fan Performance test ของหอหล่อเย็น หลังเปลี่ยนใบพัดใหม่

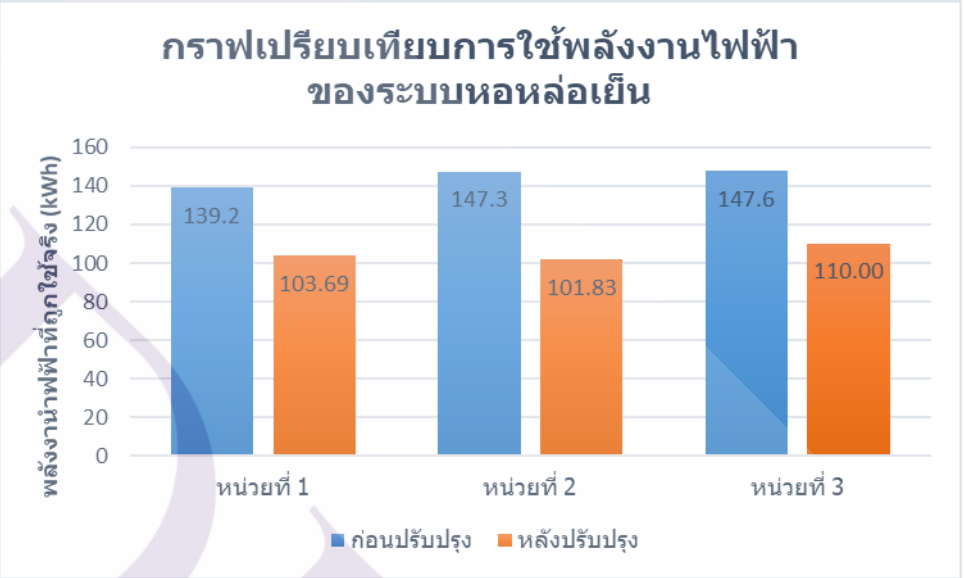
ตารางที่ 4.3 ตารางการบันทึกค่า Fan Performance test ของหอหล่อเย็น หลังเปลี่ยนใบพัดใหม่

รายละเอียด	หน่วย	หน่วยที่ 1		หน่วยที่ 2		หน่วยที่ 3	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
อัตราการไหลของลม	m^2/h	542	542.31	542	545.55	542	542.17
อัตราการไหลของลมเพิ่มขึ้น	%		0.06		0.65		0.03
ค่าเฉลี่ยความเร็วลม	m/s	10.1	9.6	10.1	9.7	9.7	9.6
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	kWh	139.2	103.69	147.3	101.84	147.6	110
กระแสไฟฟ้า	A	138.75	107.94	150	108.71	138.3	111.49
Power Factor	PF	0.87	0.803	0.88	0.785	0.88	0.811
แรงดันไฟฟ้า	V	683	690.29	682	689.33	694	702.74
ประหยัดพลังงานไฟฟ้า	%		25.51		30.86		25.47
รวมประหยัดพลังงานไฟฟ้า	%	27.28					

ก่อนปรับปรุงระบบชุดมอเตอร์ขับใบพัดเดิมทั้งหมด 3 หน่วย ใช้กำลังไฟฟ้ารวมอยู่ที่ประมาณ 434.1 kWh ซึ่งบริษัทกรณีศึกษาได้เดินเครื่องผลิตไฟฟ้าเต็มกำลังโดยประมาณที่ 8,500 ชั่วโมงต่อปี ทางด้านต้นทุนค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าปัจจุบันคิดที่ 2.2 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง จึงทำให้บริษัทกรณีศึกษาเสียค่าใช้จ่ายต้นทุนทางการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบมอเตอร์ชุดขับใบพัดลมของห่อหล่อเย็นโดยประมาณ 8,117,670 บาทต่อปี

ในโครงการปรับปรุงใบพัดเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้านี้เริ่มติดตั้งในเดือน มกราคม พ.ศ. 2561 ซึ่งอายุของบริษัทกรณีศึกษาจะสิ้นสุดลงในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565ใช้งบประมาณในการติดตั้งทั้งหมด 2,268,400 บาท ผลลัพท์ที่ได้จากการติดตั้งใบพัดชุดใหม่โดยไม่พบผลกระทบต่อระบบสนับสนุนอื่นๆ ได้ค่าประหยัดกำลังการใช้ไฟฟ้าประมาณ (Energy saving) 27.28% คิดเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดมอเตอร์ขับใบพัดเดิมทั้งหมด 3 หน่วย ที่ 315.52 kWh โดยคิดเป็นการเสียค่าใช้จ่ายต้นทุนทางการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบมอเตอร์ชุดขับใบพัดลมใหม่ของหอหล่อเย็น

ประมาณ 5,900,224 บาทต่อปี ทำให้เห็นว่าใบพัดลมชุดใหม่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าถึงปีละ 2,217,446 บาทต่อปี



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนเปลี่ยนละหลังเปลี่ยนใบพัด

4.2.2 ทำการวิเคราะห์ทางการเงินโดยวิเคราะห์จากอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

จากการวิเคราะห์การหาค่าที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์จากอัตราผลตอบแทนภายในหรือ IRR โดยคำนวณผ่าน MS Excel ผลที่ได้คือ IRR = 94.21% จึงทำให้มั่นใจเป็นอย่างมากที่จะดำเนินโครงการคุ้มค่าน่าลงทุน

ตารางที่ 4.4 ตารางการวิเคราะห์ทางการเงินโดยวิเคราะห์จากอัตราผลตอบแทนภายใน

การวิเคราะห์ทางการเงินโดยวิเคราะห์จากอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)			
ปีที่	**ค่าใช้จ่ายการติดตั้งใบพัดลมใหม่**	**ประหยัดต้นทุนด้านไฟฟ้าต่อปี**	**รวม**
0	(2,268,400)		(2,268,400)
1		2,217,446	2,217,446
2		2,217,446	2,217,446
3		2,161,346	2,217,446
4		2,217,446	2,217,446
5		2,217,446	2,217,446
		NPV:	$7,310,841.943
		IRR:	94.216165%

4.2.3 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

ในการลงทุนปรับปรุงประสิทธิภาพชุดใบพัดของห่อหล่อเย็นทางบริษัทกรณีศึกษาได้ลงทุนเป็นจำนวนเงินตามใบสั่งซื้อคือ 2,268,400 บาทซึ่งเงินจำนวนนี้ได้ครอบคุมขอบเขตงานทั้งหมดและหลังจากที่ได้ทำการติดตั้งชุดใบพัดประหยัดพลังงานไฟฟ้าเสร็จสิ้น จึงได้ผลจากการคำนวณค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าซึ่งชุดใบพัดชุดใหม่นี้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 27.28% คิดเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดมอเตอร์ขับใบพัดเดิมทั้งหมด 3 หน่วย ที่ 315.52 kWh จากเดิมที่ใบพัดชุดเก่าใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 434.1 kWh จึงนำคิดคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้

สูตรการคำนวณระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุนในโครงการ / ผลตอบแทนจากการลงทุน

เงินลงทุนโครงการนี้ = 2,268,400 บาท

ผลตอบแทนจากการประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อคิดเป็นจำนวนเงิน

= 2,217,446 บาท

ระยะเวลาคืนทุนต่อปี = 2,268,400 / 2,217,446

= 1.02 ปี

เกณฑ์ตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่นั้นจะพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ยอมรับได้ การตัดสินใจจะเป็นดังนี้ โดยทำการประเมินระยะเวลาในการคืนทุนเพื่อใช้ในการตัดสินใจวิธีที่สะดวกในเบื้องต้น คือ การประเมินแบบระยะเวลาคืนทุนโดยปกติทั่วไปการคืนทุนควรอยู่ในระยะไม่เกิน 3 ปี ซึ่งอ้างอิงจาก เอกสารการอนุรักษ์พลังงานในระบบน้ำเย็น ของโครงการจัดตั้งศูนย์การเผยแพร่แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในภาคอุตสาหกรรม สนับสนุนโดย สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ดำเนินการโดย สถาบันพลังงานเพื่ออุตสหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ซึ่งได้แนะนำระยะเวลาคืนทุนไว้

หาก ระยะเวลาคืนทุน $\leq$ 3 ปี ก็ตัดสินใจลงทุน

หาก ระยะเวลาคืนทุน > 3 ปี ก็ตัดสินใจไม่ลงทุน

4.3 ปัญหาและอุปสรรคที่พบในงานวิจัย

จากการดำเนินงานทางผู้วิจัยได้พบว่า ปัจจัยแรกคือการเพิ่มประสิทธิภาพใบพัดลมของหอหล่อเย็นไม่เป็นไปตามที่กำหนดที่ 28% ซึ่งทำได้จริงและบริษัทกรณีศึกษาได้รับงานการเพิ่มประสิทธิภาพใบพัดหอหล่อเย็นที่ 27.28 % ทางผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ปัญหา กำหนดมาตราการและแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อเสนอต่อผู้บริหารบริษัทกรณีศึกษาดังนี้

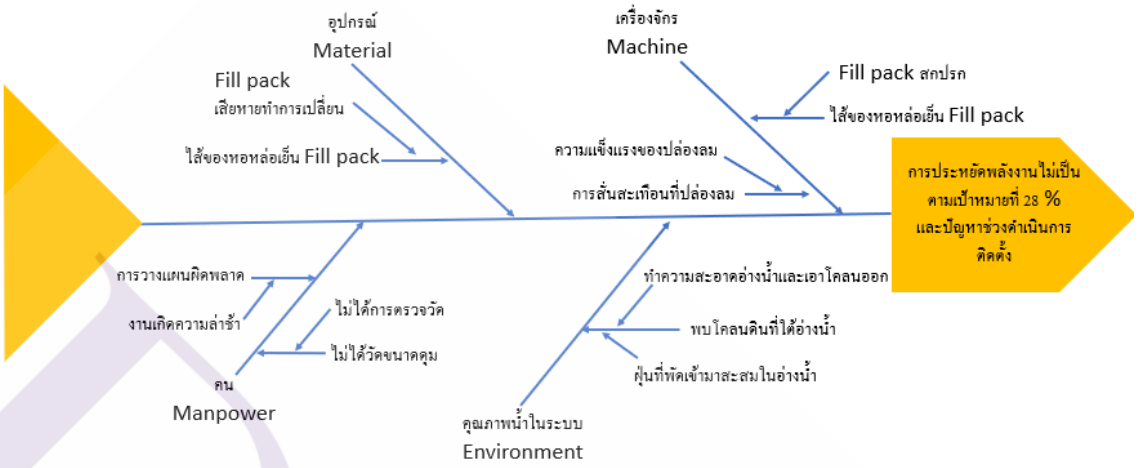
4.3.1 ปัญหาที่ส่งผลต่อแระสิทธิภาพการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและการดำเนินการ

1. ความสกปรกของไส้หอหล่อเย็น
2. ปัญหาการสั่นสะเทือนของปลองลม
3. ความเสียหายของไส้หอหล่อเย็น
4. ปัญหาการวางแผนการทำงาน
5. ชุดดุมกลางกับ ชุด shaft Gearbox พบปัญหาไม่สามารถประกอบได้
6. คุณภาพน้ำในอ่างน้ำหล่อเย็น

4.3.2 มาตราการและแนวทางเสนอต่อผู้บริหาร

1. การล้างไส้หอหล่อเย็นหน่วยที่ 1 และ 2
2. การลงทุนเปลี่ยนไส้หอหล่อเย็น
3. การวางแผนทำความสะอาดน้ำในอ่างน้ำหล่อเย็น
4. การล้างคอนเดนเซอร์ของเครื่องกังหันไอน้ำ

จากปัญหาทั้งหมดนี้จึงนำมาวิเคราะห์โดยให้แผนผังก้างปลา ดังนี้



ภาพที่ 4.10 แผนผังก้างปลาเพื่อวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุหลังจากการติดตั้งชุดใบพัด

4.3.2 การเพิ่มประสิทธิภาพชุดใบพัดประหยัดพลังงานไม่สามารถทำได้ตามที่ตั้งเป้าหมายที่ 28 % ซึ่งวัดค่าประหยัดพลังงานไฟฟ้าตามจริงได้ที่ 27.28 % ซึ่งต่างจากที่ได้ออกแบบไว้ประมาณ 0.8 % ทางผู้จัดทำจึงมีความสนใจและต้องการค้นหาเพื่อทราบสาเหตุหรือปัญหาที่ไม่สามารถทำการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้โดยมีการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุดังนี้

4.3.2.1 ปัญหาปัจจัยด้านเครื่องจักร (Machine) หลังจากเปลี่ยนใบพัดชุดใหม่เสร็จเรียบร้อยแล้วนั้น ปรากฏว่าค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าวัดจริงรวมได้ 315.52 kWh เท่ากับ 27.28 % ทางผู้จัดทำจึงทำการตรวจสอบประวัติการบำรุงรักษาของหอหล่อเย็น ซึ่งเพราะว่า บริษัทกรณีศึกษาได้ทำการทำความสะอาดไส้หอหล่อเย็น ครั้งสุดท้ายเมื่อปี พ.ศ. 2546 ซึ่งเกือบ 15 ปี ที่ไม่มีการล้างหรือบำรุงรักษาใดๆเลย ทางผู้จัดทำจึงตั้งข้อสงสัยไว้คือ ไส้หอหล่อเย็นอุดตันมีดินโคลนติดซึ่งเป็นสาเหตุให้ลมที่ถูกใบพัดดูด สูญเสียพื้นที่เนื่องจากมีดินโคลนไปอุดตันช่องทางผ่านของลมและสาเหตุรองคือ เมื่อดิน โคลนอุดตันไส้หอหล่อเย็นจะทำให้ความเร็วของน้ำไหลตกลงไปที่อ่างน้ำไม่สะดวกทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนถ่ายเทไม่สะดวก จึงวางแผนปรับปรุงโดยวิธีการล้างไส้หอหล่อเย็นที่หน่วยผลิตที่ 3 ซึ่งผู้จัดทำสามารถจัดการตารางเวลาเพื่อล้างไส้หอหล่อเย็นในวันที่ 16 – 24 สิงหาคม 2561 เพราะตรงกับช่วงเวลาการหยุดบำรุงรักษาใหญ่ของเครื่องกังหันก๊าซพอดี เพื่อทำการเก็บข้อมูล ทำการวิเคราะห์และค้นหาสาเหตุเพื่อให้เป็นแนวทางฟื้นฟูค่าประหยัดพลังงานที่หายไป 0.8 % ดังภาพแสดงการล้างไส้หอหล่อเย็นดังนี้

ภาพที่ 4.11 แสดงการตั้งนั่งร้านและการเริ่มรื้อไส้หอหล่อเย็นออกเพื่อทำความสะอาด

ภาพที่ 4.12 แสดงการตั้งนั่งร้านและการเริ่มรื้อไส้หอหล่อเย็นออกเพื่อทำความสะอาด

ได้เริ่มทำการรื้อไส้กรองลงมาทำการสุ่มชั่งน้ำหนักก่อนที่จะทำการล้างด้วยน้ำสะอาด ผู้จัดทำพบว่ามีดินโคลนเกาะติดที่ผิวของไส้หอหล่อเย็นทำให้น้ำหนักของไส้หอหล่อเย็นมีน้ำหนักเฉลี่ย 10-15 กิโลกรัมต่อชิ้น ซึ่งเมื่อเทียบน้ำหนักกับไส้หอหล่อเย็นใหม่จะอยู่ประมาณ 5 กิโลกรัมเท่านั้น ซึ่งหมายความว่า ไส้หอหล่อเย็นของบริษัทกรณีศึกษานั้นอุดตันจริง

ภาพที่ 4.13 แสดงดิน โคลนที่อุดตัน เกาะติดที่ผิวไส้กหอหล่อเย็น

ภาพที่ 4.14 แสดงน้ำหนักของไส้หอหล่อเย็นที่ทำความสะอาดเสร็จแล้ว

หลังจากทำความสะอาดไส้หอหล่อเย็นทั้งหมดเสร็จแล้วนั้นพบว่าประมาณดินโคลนที่หลุดออกมามีมากกว่า 1,000 กิโลกรัม ถือว่าการล้างนี้มีประสิทธิภาพมาที่ได้นำดินโคลนออกได้หอหล่อเย็น 1 หน่วยผลิต จากนั้นผู้จัดทำได้เริ่มทำการประกอบไส้หอหล่อเย็นกลับเข้าที่ตำแหน่งเดิมเพื่อส่งมอบเครื่องให้แก่ ฝ่ายผลิตในบริษัทกรณีศึกษา และได้กำหนดวันทำการวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าและอัตราการไหลของลมในวันที่ 30 สิงหาคม 2560

ภาพที่ 4.15 แสดงเศษดินโคลนที่เก็บได้หลังการล้างไส้หอหล่อเย็น

ภาพที่ 4.16 ภาพแสดงการประกอบไส้หอหล่อเย็นกลับเข้าตำแหน่งเดิม

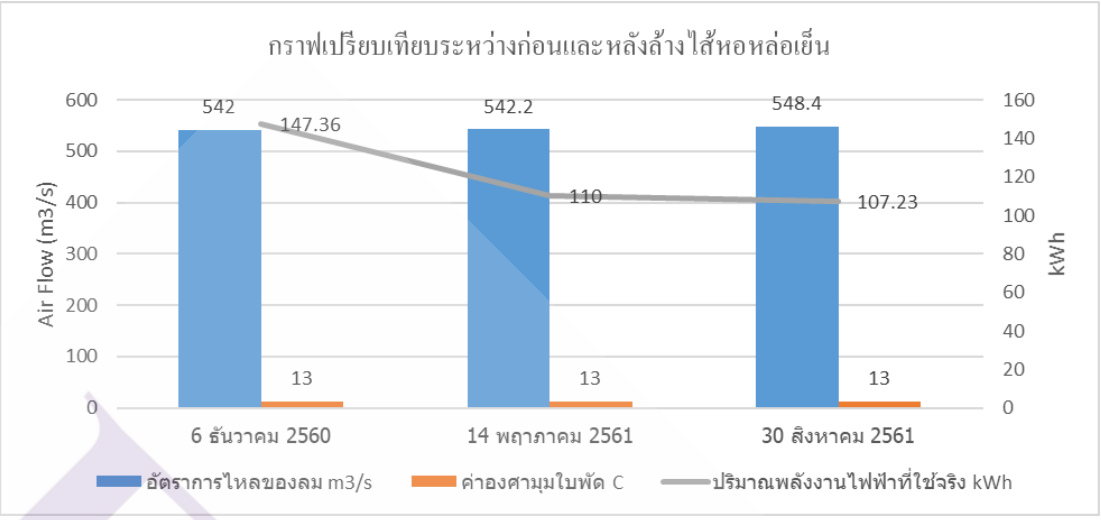
หลังจากประกอบไส้หอหล่อเย็นเสร็จสิ้นไปวันที่ 24 สิงหาคม 2561 และฝ่ายผลิตมีกำหนดแผนเดินเครื่องจักรเพื่อผลิตไฟฟ้าวันที่ 26 สิงหาคม 2561 ซึ่งผู้จัดทำได้วางแผนที่จะทำการวัดค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า อัตราการไหลของลมและประสิทธิภาพของหอหล่อเย็นหลังจากเริ่มการผลิตไฟฟ้าประมาณ 4 วัน ทั้งนี้เพื่อให้ระบบต่างๆได้ทำงานเต็มประสิทธิภาพและเพื่อให้ได้ค่า

หน่วยการวัดที่แม่นยำ จึงเวลาแผนที่จะวัดค่าประสิทธิภาพต่างๆในวันที่ 30 สิงหาคม จะสดงค่าที่ได้ดังตางรางต่อไปนี้

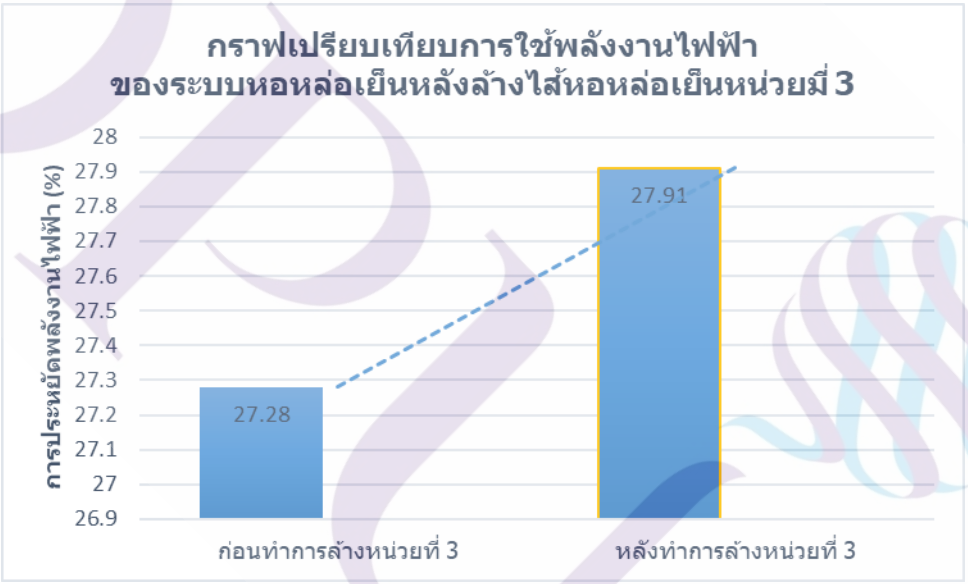
ตารางที่ 4.5 แสดงรายการเปรียบเทียบก่อนและหลังล้างไส้หอหล่อเย็น

รายละเอียด	**หน่วย**	**ใบพัดเก่า**	**ใบพัดใหม่**	**หลังล้างไส้หอหล่อเย็น**
วันที่ทำการบันทึก	วันที่	6 ธันวาคม 2560	14 พฤาภาคม 2561	30 สิงหาคม 2561
อัตราการไหลของลม	m3/s	542	542.2	548.4
ค่าองศามุมใบพัด	องศา	13	13	13
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง	kWh	147.36	110	107.23
การประหยัดพลังงานไฟฟ้า	%	-	25.47	27.35

จากตารางสรุปได้ว่าการพิจารณาล้างไส้หอหล่อเย็นเป็นไปตามที่คาดการณไว้ ซึ่งจากตัวเลขที่ทำการวัดออกมาได้นั้นคือ มีการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของลมและยังส่งผลให้อัตราปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงถึง 2.77 kWh ซึ่งนำมาคำนวณย้อนกลับจะพบว่า ค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้ารวมเพิ่มขึ้นจากของเดิมที่ก่อนล้างไส้หอหล่อเย็นคือ 27.28 % เป็น 27.91 % ซึ่งเป็นแนวโน้มที่ดีขึ้น ซึ่งหากพิจารณาการล้างไส้หอหล่อเย็นที่เหลือน่าจะมาความเป็นไปได้ที่ค่าประหยัดพลังงานไฟฟ้ารวมจะผ่านตามเป้าหมายที่ 28 % ทั้งนี้ทางบริษัทกรณีศึกษามีเวลาไม่พอที่จะอนุมัติการล้างทั้งหมด จึงบันทึกไว้เป็นแนวทางการแก้ไข้ต่อไป โดยมีการแสดงภาพกราฟเพื่อให้เห็นข้อแตกต่างดังนี้



ภาพที่ 4.17 แสดงกราฟการวัดผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังล้างไส้หอหล่อเย็น



ภาพที่ 4.18 แสดงกราฟการวัดผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าหลังล้างไส้หอหล่อเย็นหน่วยที่ 3

หลังทำการล้างไส้หอหล่อเย็นทำการวิเคราะห์ทางการเงินโดยวิเคราะห์จากอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)จากการวิเคราะห์การหาค่าที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์จากอัตราผลตอบแทนภายในหรือ IRR โดยคำนวณผ่าน MS Excel ผลที่ได้คือ IRR = 73.25% จึงทำให้มั่นใจเป็นอย่างมากที่จะดำเนินโครงการคุ้มค่าน่าลงทุน

ตารางที่ 4.6 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายในเมื่อทำการล้างไส้หอหล่อเย็นหน่วยที่ 3

การวิเคราะห์ทางการเงินโดยวิเคราะห์จากอัตราผลตอบแทนภายใน หลังทำการล้างไส้หอหล่อเย็นหน่วยที่ 3 (Internal Rate of Return: IRR)			
ปีที่	**ค่าใช้จ่ายหลังล้างไส้หอหล่อเย็น**	**ประหยัดต้นทุนด้านไฟฟ้าต่อปี**	**รวม**
0	(2,774,376)		(2,774,376)
1		2,183,723	2,183,723
2		2,161,346	2,161,346
3		2,161,346	2,161,346
4		2,161,346	2,161,346
5		2,161,346	2,161,346
		NPV:	$6,604,873.542
		IRR:	73.254461%

ทำการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)ในการลงทุนการเพิ่มประสิทธิภาพชุด ใบพัดของห่อหล่อเย็นทางบริษัทกรณีศึกษาได้ลงทุนเป็นจำนวนเงินตามใบสั่งซื้อ คือ 2,268,400 บาท ค่าจ้างล้างไส้หอหล่อเย็นหน่วยที่ 3 จำนวนเงิน 321,000 บาท และค่าไส้หอหล่อเย็นใหม่ 300 ชิ้น จำนวนเงิน 184,976.25 บาท ซึ่งได้ทำการล้างและเปลี่ยนไส้หอหล่อ เย็นเสร็จสิ้นไปเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2561 จึงคำนวนค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าหลังการล้างตั้งแต่ 1 กันยายน 2561 ถึง 31 ธันวาคม 2561 คิดเป็นชั่วโมงการทำงานเท่ากับ 3,672 ชั่วโมงคิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า 2,526,520 บาทซึ่งต้องนำไปบากครับค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าก่อนทำ การล้างไส้หอหล่อเย็นคิดเป็นชั่วโมงการทำงานรวมประมาณ 4,828 ชั่วโมงคิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า 3,351,327 บาท รวมกันเท่ากับ 5,877,847 บาทซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของปี 2561 เงินจำนวนนี้ได้ครอบคุมขอบเขตงานทั้งหมดและหลังจากที่ได้ทำการติดตั้งชุดใบพัดประหยัดพลังงานไฟฟฟ้าเสร็จสิ้น จึงได้ผลจากการคำนวณค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าซึ่งชุดใบพัดชุดใหม่นี้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 27.91% คิดเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดมอเตอร์ขับใบพัดเดิมทั้งหมด 3 หน่วย ที่ 312.75 kWh จากเดิมที่ใบพัดชุดเก่าใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 431.1 kWh จึงนำคิดคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้

สูตรการคำนวณระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุนในโครงการ / ผลตอบแทนจากการลงทุน

เงินลงทุนโครงการนี้ = 2,774,376 บาท

ผลตอบแทนจากการประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อคิดเป็นจำนวนเงิน

= 2,183,723 บาท

ระยะเวลาคืนทุนต่อปี = 2,774,376/ 2,183,723

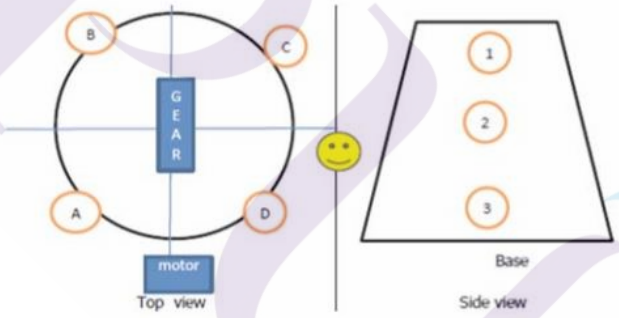
= 1.27 ปี

4.3.2.2 ปัญหาปัจจัยด้านเครื่องจักร (Machine) อีกปัญหาหนึ่งที่ผู้วิจัยคาดไม่ถึงคือ ปัญหาการสั่นสะเทือนของปล่องลม หรือ Fan stack ซึ่งเกิดการสั่นสะเทือนที่จุดนี้หลังทำการติดตั้งใบพัดชุดใหม่เข้าไปและเดินเครื่องตามปกติไปแล้วนั้น ซึ่งไม่ได้คิดมาก่อน ปัญหานี้สืบเนื่องมาจากผู้ผลิตต้องการลดจำนวนใบพัดแต่ประสิทธิการตักลมต้องเท่าเดิม จึงทำการออกแบบรูปแบบของใบให้มีการตักลมที่เท่ากันตั้งแต่ปลายใบจนถึงโคนใบ เพื่อให้ตักลมได้แต่ แต่ต้องพบปัญหากับแรงลมที่แรงขึ้น กระแสการไหลของลมที่เปลี่ยนไป ส่งผลให้ลมที่เป่าออกมามีแรงกระทำกับปล่องลมมากกว่าปกติ และนอกจากนั้น ปล่องลมได้ออกแบบมาเฉพาะกระแสลมแบบเดิม ไม่ได้ทำการออกแบบในรูปแบบเสริมความแข็งแกร่ง หรือ Reinforcement design จึงส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่สูงมาก ดังภาพต่อไปนี้

ภาพที่ 4.19 แสดงการวัดค่าความสั่นสะเทือนหลังเปลี่ยนใบพัดชุดใหม่

ภาพที่ 4.20 ปล่องลมที่ไม่ได้ทำการออกแบบในรูปแบบเสริมความแข็งแกร่ง

Point	Vibration (mm/s)			
	A	B	C	D
1	75.76	57.39	64.86	47.21
2	35.17	48.38	44.37	31.72
3	0.46	2.9	0.27	0.236



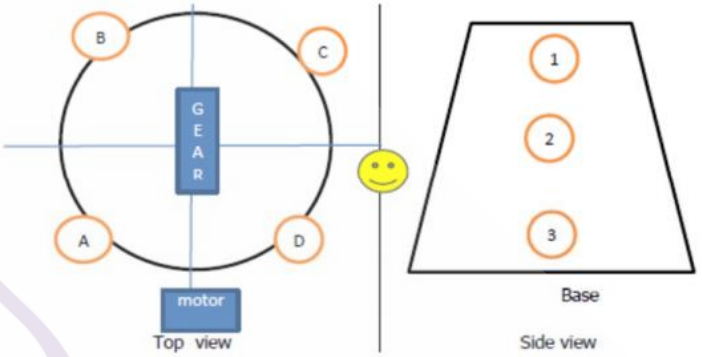
ภาพที่ 4.21 แสดงค่าความสะสะเทือนที่วัดได้จริงหลังเปลี่ยนใบพัดชุดใหม่ที่หน่วยที่ 3

ในการคัดเลือกใบพัดใหม่เข้ามาติดตั้งสิ่งสำคัญที่ไม่ควรพลาด ควรส่งข้อมูลหรือแบบแปลนของปล่องลมให้กับผู้ผลิตใบพัดเพื่อนำไปประกอบรายการการคำนวณแรงกระทำต่อปล่องลม ในงานวิจัยนี้ได้พบปัญหานี้แต่ได้มีการศึกษาร่วมกันระหว่างผู้ผลิตใบพัดกับผู้วิจัย ทำการแก้ไขความสั่นสะเทือนของปล่องลมโดยทำการดามปล่องลมโดยเพื่อโครงสร้างเหล็กรัดกับปล่องลมโดยส่วนที่สัมผัสกับปล่องลม จะต้องเป็นยางหรือวัสดุที่ซับแรงกระแทรกได้ จากนั้นทำการวัดค่าความสั่นสะเทือนของปลอองลมหลังติดตั้งเสร็จและเดินเครื่องปกติเพื่อทดสอบ ดังรูปตัวอย่างดังนี้

ภาพที่ 4.22 แสดงการติดตั้งโครงสร้างเหล็กรัดกับปล่องลมเพื่อลดการสั่นสะเทือน

ภาพที่ 4.23 แสดงการวัดค่าความสั่นสะเทือนหลังติดตั้งโครงสร้างเหล็กรัดกับปล่องลม

Point	Vibration (mm/s)							
	A		B		C		D	
	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
1	75.76	12.42	57.39	26.23	64.86	11.72	47.21	12.5
2	35.17	18.87	48.38	32.31	44.37	16.36	31.72	14.25
3	0.46	0.34	2.9	0.495	0.27	2.19	0.236	0.512



ภาพที่ 4.24 แสดงค่าความสั่นสะเทือนของปล่องลมที่ลดลง

หลังทำการติดตั้งโครงสร้างเหล็กรัดกับปล่องลมเสร็จสิ้นและทำการวัดความสั่นสะเทือนของปล่องลมเสร็จ ปรากฏว่าผลที่ได้คือค่าความสะเทือนลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับยังไม่ได้ใส่โครงสร้างเหล็ก ซึ่งในจุดนี้ผู้วิจัยจึงของเสนอแนะว่าเป็นที่สำคัญที่ไม่ความพลาดในการคำนวณโครงสร้างของปล่องลม

4.3.2.3 ปัญหาปัจจัยด้านอุปกรณ์ (Material) ขณะที่ทำการรื้อถอนและทำกรล้างนั้น ผู้จัดทำพบว่า ไส้หอหล่อเย็นเกิดความเสียหายบางส่วน เหตุผลส่วนใหญ่เกิดจากการเสื่อมสภาพของไส้หอหล่อเย็นที่มีอายุถึง 15 ปี และบางส่วนเกิดความเสียหายจากการรื้อถอน ทำความสะอาด ขนถ่ายและติดตั้ง ทางผู้จัดทำพบความเสียหายของไส้หอหล่อเย็นประมาณ 300 ชิ้นจึงทำการเปลี่ยนโดยนำไส้หอหล่อเย็นใหม่ที่แข็งแรงติดตั้งไว้ที่ชั้นล่างสุดของหอหล่อเย็น

ภาพที่ 4.25 แสดงการเสื่อมสภาพของไส้หอหล่อเย็นที่มีอายุมากกว่า 15 ปี

4.3.2.4 ปัญหาปัจจัยด้านคน (Manpower) จากการทดลองโดยการเปลี่ยนใบพัดชุดใหม่ที่หอหล่อเย็น บริษัทกรณีศึกษาได้พบปัญหาที่เกิดขึ้นจริงจากสถานการณ์ ทั้งเรื่องการวางแผนที่จะหยุดหน่วยหอหล่อเย็นที่ไม่สามารถหยุดตามที่วางแผนซึ่งส่งผลให้เวลาที่วางแผนไว้ยืดออกไปทำงานล่าช้าคืนและต้องเลิกงานดึก จากที่ได้วางแผนไว้ การเปลี่ยนใบพัดทั้งหมดควรใช้เวลาในการทำงานไม่เกิน 12 ชั่วโมงแต่ต้องเลื่อนออกไปเป็น 16 ชั่วโมงซึ่งอาจส่งผลให้กับพลังงานของผู้รับเหมาติดตั้งเหนื่อยเพลียอ่อนล้า แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าของ บริษัทกรณีศึกษา เพราะผู้ควบคุมงานจะเลือกวันอาทิตย์ของสัปดาห์เพื่อหลีกเหลี่ยงปัญหาการผลิตไฟฟ้าไม่กับลูกค้าอุตสาหกรรมในนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง

ภาพที่ 4.26 ปัญหาจากการหยุดหน่วยผลิตล่าช้าส่งผลให้ทำการติดตั้งใบพัดจุดใหม่ล่าช้า

4.3.2.5 ในการติดตั้งใบพัดชุดใหม่ทางผู้ผลิตได้ทำการรื้อใบพัดชุดเก่าออกทั้งหมดและทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ชุดใหม่ลงทั้งหมดซึ่งปรากฏว่า ดุมกลางหรือ Hub ที่จะใส่กับชุด shaft Gearbox มีร่องลิ่มมีขนาดไม่เท่ากับของชุดดุมกลางชุดเก่า โดยชุดดุมกลางใหม่มีขนาดเล็กกว่า จึงทำให้งานล่าช้าเพราะต้องนำดุมกลางชุดใหม่ออกไปโรงกลึงเพื่อกลึงร่องลิ่มให้เท่ากับของชุดเก่า

ภาพที่ 4.27 แสดงการทดสอบประกอบชุดดุมกลางกับ ชุด shaft Gearbox พบปัญหาไม่

สามารถประกอบได้

4.3.2.6 ปัญหาปัจจัยด้านคุณภาพของน้ำ (Environment) ทางผู้จัดทำยังไม่ความกังวลเรื่องคุณภาพของน้ำ ซึ่งจากการดูประวัติการบำรุงรักษาแล้วนั้น ปรากฏว่า 15 ปีที่ผ่านมาไม่เคยมีการล้างอ่างน้ำหอหล่อเย็นเลย ซึ่งเป็นเรื่องที่ไม่ควรทำ แต่เนื่องจากข้อกำหนดของบริษัทกรณีศึกษาต้องทำการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อป้อนให้กับภาคอุตสาหกรรมในเขตนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบังจึงไม่สามารถหยุดระบบหอหล่อเย็นเพื่อทำการล้างอ้างน้ำได้ จึงเป็นผลให้ทั้งฝุ่น ดิน ถูกดูดเข้าไปสะสมจนเพิ่มจำนวนมากผสมกับน้ำไหลเข้าไปในระบบจนทำให้การถ่ายเทความร้อนของน้ำสูญเสียไป และอีกปัจจัยหนึ่งอุณภูมิในปัจจุบันที่สูงขึ้นก็เป็นผลให้ประสิทธิภาพของหอหล่อเย็นลดลงตามไปด้วยเนื่องจากลมที่ใบพัดดูดเข้าไปนั้นมีอุณภูมิสูงขึ้นจึงทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำได้ไม่ดีพอเมื่อเทียบกับค่าการออกแบบ

ภาพที่ 4.28 แสดงดินโคลนที่ถูกล้างซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีดินโคลนปนเปื้อนอยู่ในระบบน้ำหล่อเย็น

4.3.2 มาตราการและแนวทางเสนอต่อผู้บริหาร

4.3.2.1 การล้างไส้หอหล่อเย็นหน่วยที่ 1 และ 2

- ทำการวางแผนล้างหอหล่อเย็นหน่วยที่เหลือคือ หน่วยที่ 1 และ 2
- โดยปกติตามคู่มือการบำรุงรักษาหอหล่อเย็นได้แนะนำให้ทำการล้างหรือการดึงตะกรอนดินออกทุกๆ 1 ปี ซึ่งเป็นไปไม่ได้เลยสำหรับธุรกิจโรงไฟฟ้าเพื่อจำหน่วยไฟฟ้าเพราะโรงไฟฟ้าต้องการใช้น้ำหล่อเย็นคอนเดนเซอร์ตลอดเวลา โดยปกติและเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือช่วงทำการหยุดซ่อมบำรุงรักษาใหญ่หรือทุกๆ6ปี ซึ่งจะมีกำหนดวันหยุดทำการบำรุงรักษาใหญ่มากถึง 15 วัน ซึ่งนั้นเพียงพอต่อการล้างไส้หอหล่อเย็น เพราะการล้างไส้หอหล่อเย็นใช้เวลาการล้างทั้งหมดไม่น้อยกว่า 10 วัน
- ค่าใช้จ่ายในการล้างหอหล่อเย็นต่อหน่วยประมาณ 340,000 บาท

4.3.2.2 การลงทุนเปลี่ยนไส้หอหล่อเย็น

- ทำการเสนอการเปลี่ยนไส้หอหล่อเย็นทั้งหมด ซึ่งราคาการเปลี่ยนประมาณ 1,825,000 บาทต่อหน่วยหรือเท่ากับ 5,475,00 บาท
- จากระยะสัมปทานที่เหลือของโรงไฟฟ้าแหลมฉบัง ไม่คุ้มค่าในการลงทุนเปลี่ยนไส้หอหล่อเย็นทั้งหมด

4.3.2.3 วางแผนทำความสะอาดน้ำในอ่างน้ำหล่อเย็น

- จากประวัติการบำรุงรักษาของอ่างน้ำหล่อเย็น พบว่าผ่านมา 15 ปี โรงไฟฟ้าแหลมฉบังไม่เคยทำการล้างอ่างน้ำหล่อเย็นเลย ซึ่งทางบริษัทกรณีศึกษาให้เหตุผลว่าไม่สามารถหยุดระบบได้เลยเพราะลูกค้าอุตสาหกรรมมีความต้องการไฟฟ้าและไอน้ำในการผลิตตลอดเวลา จึงทำให้ไม่มีตารางเวลาหยุดการผลิตเพื่อล้างระบบ แต่ทางแผนกปฏิบัติการ ได้ใช้วิธีค่อยๆระบายน้ำออกเมื่อเกิดสิ่งปนเปื้อนในน้ำจะส่งผลให้อุณหภูมิน้ำสูงขึ้นไปด้วย
- ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบลดลงเนื่องจาก ตะกรัน การกัดกร่อน ตะไคร่น้ำ เป็นต้น ซึ่งเหตุผลดังกล่าวจึงสมควรทำการล้างอ่างน้ำหล่อเย็นให้บ่อยที่สุด
- ราคาการล้างอ่างน้ำหล่อเย็นประมาณ 150,000 บาทต่อครั้ง

4.3.2.4 การล้างคอนเดนเซอร์ของเครื่องกังหันไอน้ำ

- โดยปกติการล้างคอนเดนเซอร์ของเครื่องกังหันไอน้ำจะทำการล้างทุกๆ 3 ปี ซึ่งในครั้งนี้ ได้ทำการเสนอต่อผู้บริหารขอหยุดเครื่องกังหันไอน้ำเพื่อทำการตรวจสอบผิวท่อ เพื่อทำการประเมินเบื้องต้น
- ทางบริษัทกรณีศึกษาได้วางแผนและกำหนดการล้างคอนเดนเซอร์ของเครื่องกังหันไอน้ำในเดือน สิงหาคม 2563
- ค่าใช้จ่ายในการล้างคอนเดนเซอร์ของเครื่องกังหันไอน้ำประมาณ 300,000 บาทต่อครั้ง

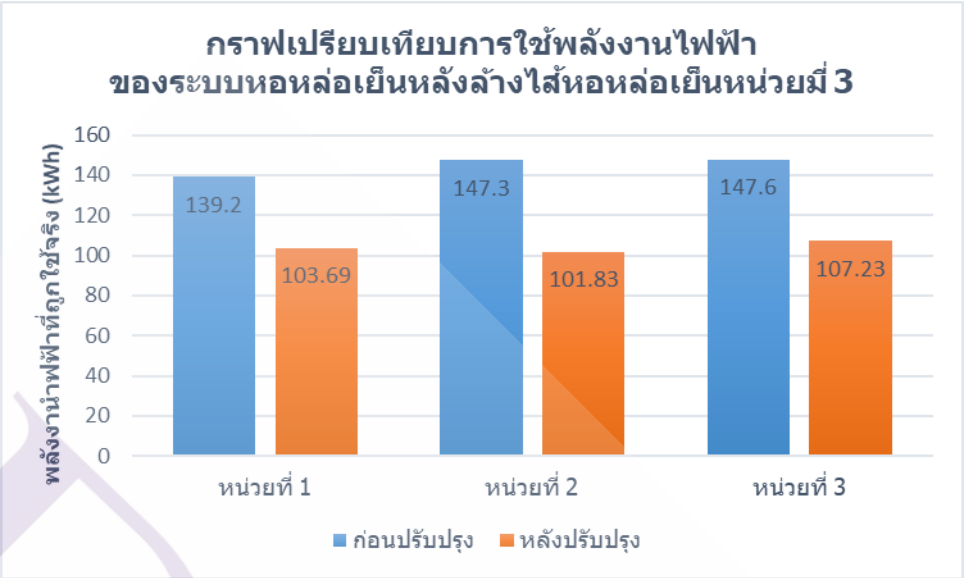
บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาพัฒนาและปรับปรุงด้านต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่หน่วยหอหล่อเย็นของบริษัทกรณีศึกษา ได้ศึกษาวิเคราะห์และคัดเลือกปรับปรุงชุดมอเตอร์ใบพัดหอหล่อเย็นซึ่งจากการศึกษาพบว่ายังสามารถที่จะปรับปรุงใบพัดโดยใช้เทคโนโลยีขั้นสูง การวางแผนที่ดี การเก็บข้อมูลเข้ามาช่วยในการคำนวณออกแบบจำนวณใบพัด รูปแบบของใบพัดการตักลม น้ำหนักของใบพัด เพื่อให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าและนำมาติดตั้ง ทดสอบเก็บข้อมูลซึ่งได้ผลจากการปรับปรุงประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจเป็นอย่างมาก ดังตารางแสดงที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังล้างไส้หอหล่อเย็นหน่วยที่ 3

รายการ	หน่วย	ปีการผลิตไฟฟ้าต่อปี				
		2561	2562	2563	2564	2565
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงก่อนเปลี่ยนใบพัด	kWh	434.1				
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงหลังเปลี่ยนใบพัด	kWh	312.75				
คิดเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้	%	27.91				
ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าของใบพัดลมชุดเดิม	บาท	8,061,570	8,061,570	8,061,570	8,061,570	8,061,570
ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าของใบพัดลมชุดใหม่	บาท	5,877,847	5,848,425	5,848,425	5,848,425	5,848,425
ใบพัดลมชุดใหม่สามารถประหยัดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าหลังจากล้างไส้หอหล่อเย็น	บาท	2,183,723	2,213,145	2,213,145	2,213,145	2,213,145
การลงทุนติดตั้งใบพัดลมชุดใหม่ครั้งเดียว	บาท	2,268,400				
ลงทุนล้างไส้หอหล่อเย็น	บาท	321,000				
ลงทุนเปลี่ยนไส้หอหล่อเย็น	บาท	184,976				
NPV; มูลค่าปัจจุบันสุทธิจาก ม.ค 2561 - ธ.ค. 2565	บาท	6,604,873				
IRR; อัตราผลตอบแทนคิดลด	%	73.25				
PB; ระยะเวลาคืนทุน	ปี	1.27				



ภาพที่ 5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนเปลี่ยนกับหลังเปลี่ยนใบพัด

หลังจากทำการติดตั้งใบพัดเสร็จทางบริษัทกรณีศึกษาก็ได้ทำการเดินเครื่องตามปกติเพื่อเฝ้าดูสภาวะหลังการเพิ่มประสิทธิภาพชุดใบพัดประหยัดพลังงานไฟฟ้าและทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าหรือเรียกว่า Power data logger เป็นว่าอย่างน้อย 7 วันเพื่อนำค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้ามาเปรียบเทียบกับค่าการออกแบบของผู้ผลิตใบพัด ซึ่งค่าที่ได้ออกมาทั้งหมดสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงเหลือ 312.75 kWh จากใบพัดชุดเก่าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 431.1 kWh คิดเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 27.91% จาก การปรับปรุงครั้งนี้บริษัทกรณีศึกษา จ่ายค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าปีละ 5,877,847บาท จากเดิมที่ต้องจ่ายค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ปีละประมาณ 8,061,570บาทสามารถประหยัดต้นทุนไปถึงปีละประมาณ 2,183,723บาท

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ชุดหอหล่อเย็น (Cooling tower)และทราบระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ของโครงการ จากการที่ผู้วิจัยได้ทดลองทำงานจริงจึงทำให้ทราบถึงปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นและทำงานแก้ไข ซึ่งผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

หลังจากการที่ได้ทำการล้างไส้หอหล่อเย็นแล้วพบว่าค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าใช้จริงที่หน่วยที่ 3 ลดลงเหลือ 107.23 kWh หรือ ประหยัดพลังงานไฟฟ้ารวมเท่ากับ 27.91 % ซึ่งทำให้ทราบว่าการล้างไส้หอหล่อเย็นได้ผลเป็นอย่างดี

จากการวางแผนหยุดระบบหอหล่อเย็นซึ่งเกิดการหยุดระบบล่าช้านั้น ผู้จัดทำเสนอแนะว่าควรทราบข้อมูลการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่แน่นอน และการแจ้งแผนการเปลี่ยนใบพัดให้กับลูกค้าไฟฟ้าด้วยซึ่งที่ผ่านมาทางผู้จัดทำได้แจ้งเฉพาะฝ่ายปฏิบัติการเดินเครื่องเพียงแผนกเดียว จึงทำให้การสื่อสารมีอยู่เพียงช่องทางเดียว ไม่ได้มีการแจ้งกลับยื่นยันจากหน่วยงานหรือลูกค้าอื่นๆ

ในส่วนปัญหาของดุมกลางของใบพัดลมชุดใหม่ไม่สามารถใส่เข้ากับชุดเกียร์ทดรอบได้นั้น ทางผู้จัดทำขอเสนอแนะว่า ก่อนทำการติดตั้งจะต้องตรวจสอบมิติของอุปกรณ์ใหม่ทั้งเหมือนเพื่อเป็นการยืนยันขนาด วัสดุ และข้อจำกัดต่างที่จะต้องใส่กับอุปกรณ์เดิม ในช่วงที่จะทำการติดตั้งให้ติดต่อโรงกลึงที่จะสามารถใช้บริการในเวลาฉุกเฉินไว้มากกว่า 2-3 แห่งเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาโรงกลึงปิดทำการในเวลาที่วางแผนเปลี่ยนใบพัดลม

ในการคัดเลือกใบพัดใหม่เข้ามาติดตั้งสิ่งสำคัญที่ไม่ควรพลาด ควรส่งข้อมูลหรือแบบแปลนของปล่องลมให้กับผู้ผลิตใบพัดเพื่อนำไปประกอบรายการการคำนวณแรงกระทำของแรงลมที่มีแต่ปล่องลม ในงานวิจัยนี้ได้พบปัญหานี้แต่ได้มีการศึกษาร่วมกันระหว่างผู้ผลิตใบพัดกับผู้วิจัย

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

หลังจากที่ได้ทำการวิจัยและเสนอแนวทางการลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าให้กับบริษัทกรณีศึกษา และประสบผลสำเร็จ ผลการดำเนินงานเป็นที่น่าพอใจ ที่สามารถลดต้นทุนการประหยัดด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ถึง 27.28% เป็นเงินที่ประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าปีแรกถึง 2,183,723 บาทต่อปีในกรณีก่อนล้างไส้หอหล่อเย็นและหลังจากล้างไส้หอหล่อเย็นของหน่วยผลิตที่ 3 ปรากฏว่า การประหยัดด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ถึง 27.91 % ทำให้กลุ่มบริษัทบริษัทกรณีศึกษาให้ความสนใจที่จะนำไปปรับใช้กับโรงไฟฟ้าอื่นๆเครือบริษัทกรณีศึกษาและผู้สนใจในสายงานปรับปรุงด้านพลังงาน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ไพบูลย์ แย้มเผื่อน (2548*), เศรษฐศาสตร์วิศวกกรม ปทุมธานี*: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สุพร อัศวินนิมิตรและธีรพร พัดภู่ (2550), *วิศวกรรมการบำรุงรักษา กรุงเทพฯ*: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะอนุกรรมการระบบไอน้ำ หม้อน้ำ และภาชนะรับความดัน (2561), *วิธีการและเทคนิคการตรวจสอบหม้อไอน้ำ* กรุงทพฯ: คณะวิศวกรรมสาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม (2560), *การอนุรักษ์พลังงานในระบบน้ำเย็น* กรุงเทพฯ: สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยและสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

รองศาสตราจารย์ ดร. เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย (2562), *ระบบท่อในโรงงานอุตสาหกรรม* กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมสาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

ชลวิทย์ เผือกผาสุก (2554), *การจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารแบบบูรณาการ กรณีศึกษาอาคารกรมการกงสุล* นนทบุรี: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

อัญชลี อินทจันทร์ (2557) *การศึกษาความเป็นไปได้ในการประกอบธุรกิจฟาร์มไก่เนื้อใน เขตพื้นที่อำเภอสิงหนคร* จังหวัดสงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มงคล แจ่มศิริยานนท์ (2558) *การวิเคราะห์ทางการเงินและเศรษฐกิจโครงการลงทุนผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดของการประปานครหลวง* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดวงฤดี ชูตระกูล (2553) *การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหอหล่อเย็นแบบระบบปิดแบบไหลขวาง* กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เทอดไทย นาครักษ์ (2554) การศึกษาการจัดการการใช้ไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ภาคผนวก

ภาคผนวก

COOLING TOWER PERFORMANCE			
Parameter	Unit	23/11/2017 07:00:00 AM	27/01/2018 07:30:00 AM
		23/11/2017 07:10:00 AM	27/01/2018 07:40:00 AM
Q_coolw	MW	69.79	72.06
m_circ	m3/h	9604.80	9604.80
Pcw_pump	barg	1.98	1.97
Pcw_pump	bara	2.99	2.98
T_cw in_BPL1	C	36.23	37.01
T_cw out_BPL1	C	29.97	30.55
hcw in	KJ/Kg	152.04	155.32
hcw out	KJ/Kg	125.88	128.31
Tdp	C	18.46	22.28
T_app	C	11.51	8.27
Δ T1	C	17.77	14.74
Δ T2	C	11.51	8.27
LMTD	C	14.41	11.20
H_v	KJ/Kg	2724.79	2724.61
m_evaporate	m3/h	92.21	95.22
m_drift	m3/h	19.21	19.21
m_drawoff	m3/h	28.81	28.81
m_makeup	m3/h	140.23	143.24
COC	Cycle	10.60	10.91
CT Efficiency	%	35.23	43.86

รายการการคำนวนประสิทธิภาพหอหล่อเย็นโรงไฟฟ้าแหลมฉบัง

ที่มา: แผนกปฏิบัติการและประสิทธิภาพ โรงไฟฟ้าแหลมฉบัง

B.GRIMM
SINCE 1878

Purchase Order Number : 171090317
Rev. : 0
Date : 24/07/2017

Bill To/ Consignee Name & Address
B.GRIMM POWER (LAEM CHABANG) 1 LIMITED
5 Krungthepkreetha Road Huamark Bangkapi Bangkok 10240
Tax ID : 0105540041363 (Head Office)

Deliver To:
B.GRIMM POWER (LAEM CHABANG) 1 LIMITED
205/7 Moo 3 Sukhumvit Road T.Tungsukhla A.Sriracha
Chonburi 20230 Thailand

Tel : +66 (0) 3849 3470-4 Fax : +66 (0) 3849 3475
Contact :

Purchaser: Kamolrat Sutham
Tel : 02-710-3579 **Fax :** 02-379-4245
Email : kamolrat.s@bgrimmpower.com

Vendor:
VIPTEL CO., LTD.
20 Moo1, Sukhumvit Rd.,
T.Bangmuangmai, A.Muang
Samutprakarn
10270

Contact : K.Pawarun

Tel : 061-9629536
Fax :
Email :sales1@viptel.co.th

Vendor Ref.	Payment Terms	Delivery Date	Budget Code	PR Ref.
QVT-RY-17015-REV.3	30 days	01/12/2017	18013400.0000	109MEC-17/03/11

Item	Item Ref. No	Description	Qty	Unit	Unit Price	Amount
1	98.00.00.01.02	Replacement for Cooling town fan blade in project for energy saving. Cooling fan 3 cell	1.00	JOB	2,120,000.00	2,120,000.00

Remark : Reference term and condition as commercial attachment.

Note : 1. A vendor shall return acknowledgement of this PO by Fax or Email within 3 days after receipt of this PO.
2. A purchaser may,without prior notice to a vendor,terminates this PO in case of price and/or condition are changed.
3. A PO number must be shown on every invoice.
4. A vendor must follow all company policies, regulations, standard strictly.

Currency	:	THB
Total Price	:	2,120,000.00
VAT	:	148,400.00
Grand Total	:	2,268,400.00

Grand Total : TWO MILLION TWO HUNDRED SIXTY EIGHT THOUSAND FOUR HUNDRED AND XX /100

*** This is computer generated document and approved online. No signature required . ***

Vendor Sign :

Date :

Page 1 of 1

ใบสั่งซื้อการเปลี่ยนใบพัดเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อลดพลังงานไฟฟ้า

ที่มา: โปรแกรม PR Approve Center ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ จำกัด (มหาชน)

B.GRIMM
SINCE 1878

Purchase Order Number : 181090471
Rev. : 0
Date : 03/08/2018

Bill To/ Consignee Name & Address
B.GRIMM POWER (LAEM CHABANG) 1 LIMITED
5 Krungthepkreetha Road Huamark Bangkapi Bangkok 10240
Tax ID : 0105540041363 (Head Office)

Deliver To:
B.GRIMM POWER (LAEM CHABANG) 1 LIMITED
205/7 Moo 3 Sukhumvit Road T.Tungsukhla A.Sriracha
Chonburi 20230 Thailand

Tel : +66 (0) 3849 3470-4 Fax : +66 (0) 3849 3475
Contact : Natthawut Imthong

Purchaser: Kamolrat Sutham
Tel : 02-710-3579 **Fax :** 02-379-4245
Email : kamolrat.s@bgrimmpower.com

Vendor:
Innovek Asia Co., Ltd.
19/1 Soi Samyakbypass,Sukhumvit Rd.,
T.Thubma, A.Muang Rayong
Rayong
21150

Contact : K.Nopporn

Tel : 084-3623196
Fax :
Email :nopporn@innovek.co.th

Vendor Ref.	Payment Terms	Delivery Date	Budget Code	PR Ref.
QTN-AC-0061-07-18R1	30 days	14/09/2018	50301020.0000	109MEC-18/06/12

Item	Item Ref. No	Description	Qty	Unit	Unit Price	Amount
1	98.00.00.00.00	Clean and inspect fill pack and drift eliminators of CT cell No.3 including transportation clean their workshop, Cooling size 12x14 m, fill pack midia 5 layers, size of fill pack 305x305x1830 mm	1.00	JOB	300,000.00	300,000.00

Remark : 1. Job will start on 12-26 August 2018.

Note : 1. A vendor shall return acknowledgement of this PO by Fax or Email within 3 days after receipt of this PO.
2. A purchaser may,without prior notice to a vendor,terminates this PO in case of price and/or condition are changed.
3. A PO number must be shown on every invoice.
4. A vendor must follow all company policies, regulations, standard strictly.

Currency	:	THB
Total Price	:	300,000.00
VAT	:	21,000.00
Grand Total	:	321,000.00

Grand Total : THREE HUNDRED TWENTY ONE THOUSAND AND XX /100

*** This is computer generated document and approved online. No signature required . ***

Vendor Sign :

Date :

Page 1 of 1

ใบสั่งซื้อบริการการล้างไส้หอหล่อเย็นหน่วยที่ 3

ที่มา: โปรแกรม PR Approve Center ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ จำกัด (มหาชน)

B.GRIMM
SINCE 1878

Purchase Order Number : 181100194
Rev. : 0
Date : 24/08/2018

Bill To/ Consignee Name & Address
B.GRIMM POWER (LAEM CHABANG) 2 LIMITED
5 Krungthepkreetha Road Huamark Bangkapi Bangkok 10240
Tax ID : 0105548162321 (Head Office)

Deliver To:
B.GRIMM POWER (LAEM CHABANG) 2 LIMITED
205/7 Moo 3 Sukhumvit Road T.Tungsukhla A.Sriracha
Chonburi 20230 Thailand

Tel : +66 (0) 3849 3470-4 Fax : +66 (0) 3849 3475
Contact : Thanakrit Seesangngam

Purchaser: Kamolrat Sutham
Tel : 02-710-3579 **Fax :** 02-379-4245
Email : kamolrat.s@bgrimmpower.com

Vendor:
Innovek Asia Co., Ltd.
19/1 Soi Samyakbypass,Sukhumvit Rd.,
T.Thubma, A.Muang,
Rayong
21150

Contact : Sermsak Sermsak

Tel : 086-798-6386
Fax :
Email :sermsak@innovek.co.th

Vendor Ref.	Payment Terms	Delivery Date	Budget Code	PR Ref.
QTN-AC-0049-08-18R0	30 days	05/10/2018	13011098.0000	110SPA-18/07/13

Item	Item Ref. No	Description	Qty	Unit	Unit Price	Amount
1	16.16.01.00.01	Fill Pack Model TCI-C-19CC Size 1830x305x305mm Sheet thickness 10mil after forming	300.00	EA	576.25	172,875.00

Remark
1. Liquidated Damages (LD): Delay in Delivery 0.1% of the total PO Price per day for each day of delay from the guaranteed Delivery Date. LD for delay in delivery will be capped at 10% of the total PO Price.

Note : 1. A vendor shall return acknowledgement of this PO by Fax or Email within 3 days after receipt of this PO.
2. A purchaser may,without prior notice to a vendor,terminates this PO in case of price and/or condition are changed.
3. A PO number must be shown on every invoice.
4. A vendor must follow all company policies, regulations, standard strictly.

Currency	:	**THB**
Total Price	:	**172,875.00**
VAT	:	**12,101.25**
Grand Total	:	**184,976.25**

Grand Total : ONE HUNDRED EIGHTY FOUR THOUSAND NINE HUNDRED SEVENTY SIX AND 25 /100

*** This is computer generated document and approved online. No signature required . ***

Vendor Sign :

Date :

Page 1 of 1

ใบสั่งซื้อไส้หอหล่อเย็นจำนวน 300 ชิ้น

ที่มา: โปรแกรม PR Approve Center ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ จำกัด (มหาชน)

TECHNICAL INFORMATION

evaptech
EvapTech, Inc
A wholly owned subsidiary of Evapco, Inc.

Proposal No.	: AF17-0248
Date	: 6th.Feb 2017
Customer	: Viptel
Query Details	: Grimm Power, Thailand

1	*Manufacturer*	Evaptech Asia Pacific Sdn.Bhd.
2	*Reference*	172220-00
3	*Model*	NCR2806
4	*Fan Diameter / Number of Blades*	28ft / 6 Blades
A	**TECHNICAL**	
1	*Air Flowrate (m3/s)*	542.0 m3/s
2	*Static Pressure (Pa)*	0.45 inWG
3	*Speed (rpm)*	140.0 RPM
4	*Density (kg/m3)*	1.099 kg/m³
5	*BHP (kW) @Design Temperature (Deg C)*	100.4 kW
6	*Fan Moment of Inertia*	1294.3 kg m²
7	*Pitch Angle @ Design Condition (Deg)*	17.6 °
8	*Fan Gap*	0.0065 <2S/D<0.0105
9	*Total Efficiency (%)*	84.30%
10	*Static Efficiency (%)*	60.30%
11	*Fan Thrust @ Design Temperature*	8583.7 N
12	*Weight (Incl Hub & Coupling Flange)*	6051.8 N
13	*Continuous Unbalance Force @ Design Speed*	57.4 N
14	*Radial Rotating Unbalance Force (incase of Damage Blade)*	19673.7 N
15	*Sound Pressure Level @ 1 meter - dB (A) (+/- 2dB(A))*	71.8 dB(A)
16	*Sound Power Level - dB (A) (+/- 2dB(A))*	99.5 dB(A)
17	*Flow Margin (API)*	10.00%
18	*Pressure Margin (API)*	21.00%
19	*Blade Natural Frequency (Hz)*	5.4 Hz
20	*Blade Operating Natural Frequency (Hz)*	5.7 Hz
21	*Frequency Margin (%)*	59.70%
22	*Critical Speed (rpm)*	57,0 rpm
23	*Blade Material*	FRP (Color White RAL9016)
24	*Blade Leading Edge Protection*	SS316
25	*Hub Material*	Cast Iron (ASTM A536GR65 45 12)
26	*Hub Painting*	HDG Epoxy, Color Yellow RAL1018
27	*Hardware / Bolts / Nuts*	A2 CL80 G316
28	*Clamp Material*	Aluminum

for **EVAPTECH ASIA PACIFIC SDN.BHD.**

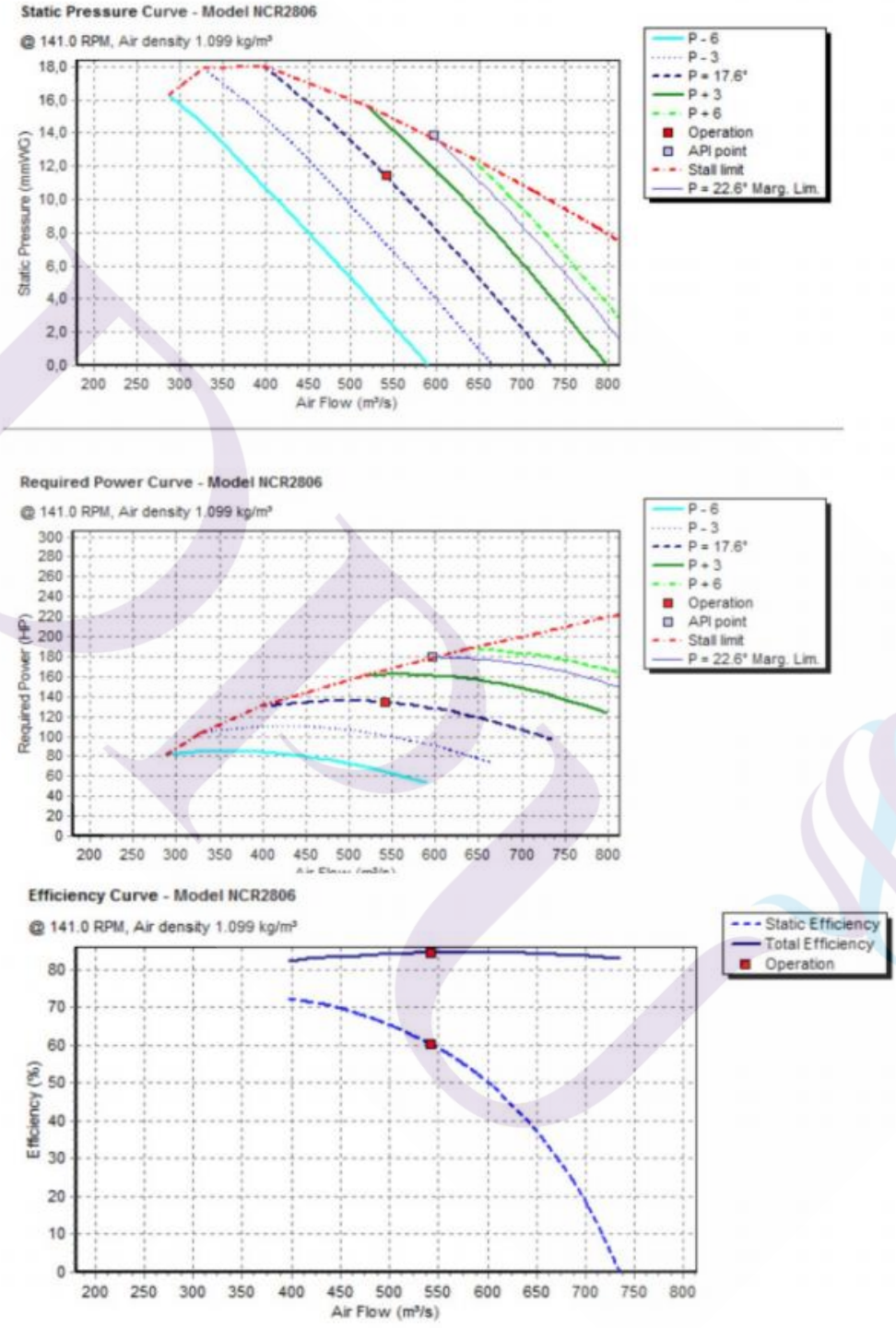
Ron Gomes

.....

ข้อมูลทางเทคนิคของบริษัท B Technical Information

ที่มา: โปรแกรม PR Approve Center ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ จำกัด (มหาชน)

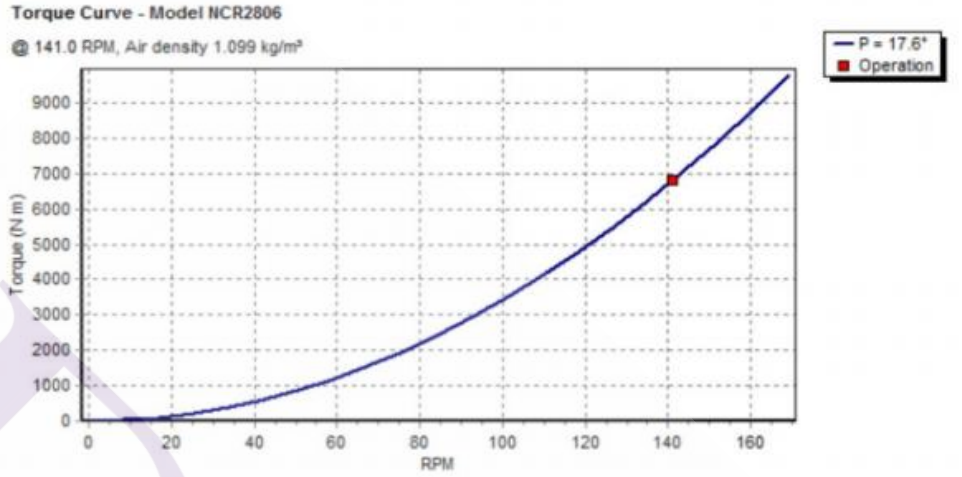
Proposal No.	:	AF17-0248
Date	:	6th.Feb 2017
Customer	:	Viptel
Query Details	:	Grimm Power, Thailand

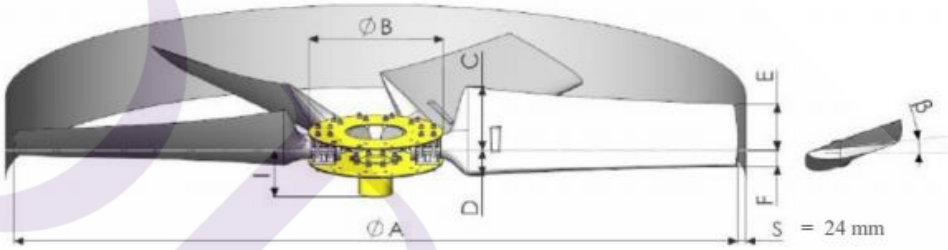


ข้อมูลจากโปรแกรม Simulation แสดงค่าประสิทธิภาพของใบพัดลมชุดใหม่

ที่มา: โปรแกรม PR Approve Center ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ จำกัด (มหาชน)

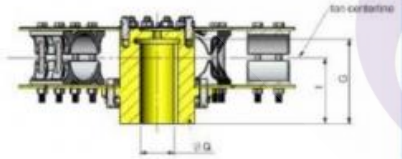
Proposal No.	:	AF17-0248
Date	:	6th.Feb 2017
Customer	:	Viptel
Query Details	:	Grimm Power, Thailand





Pitch Angle	A	B	C	D	E	F	G	H
Oper. Angle	28.00ft	4.50ft	263mm	131mm	104mm	52mm	See table below	See table below
Max. Angle			288mm	144mm	130mm	65mm		
Max. Dimens.			400mm	200mm	322mm	161mm		

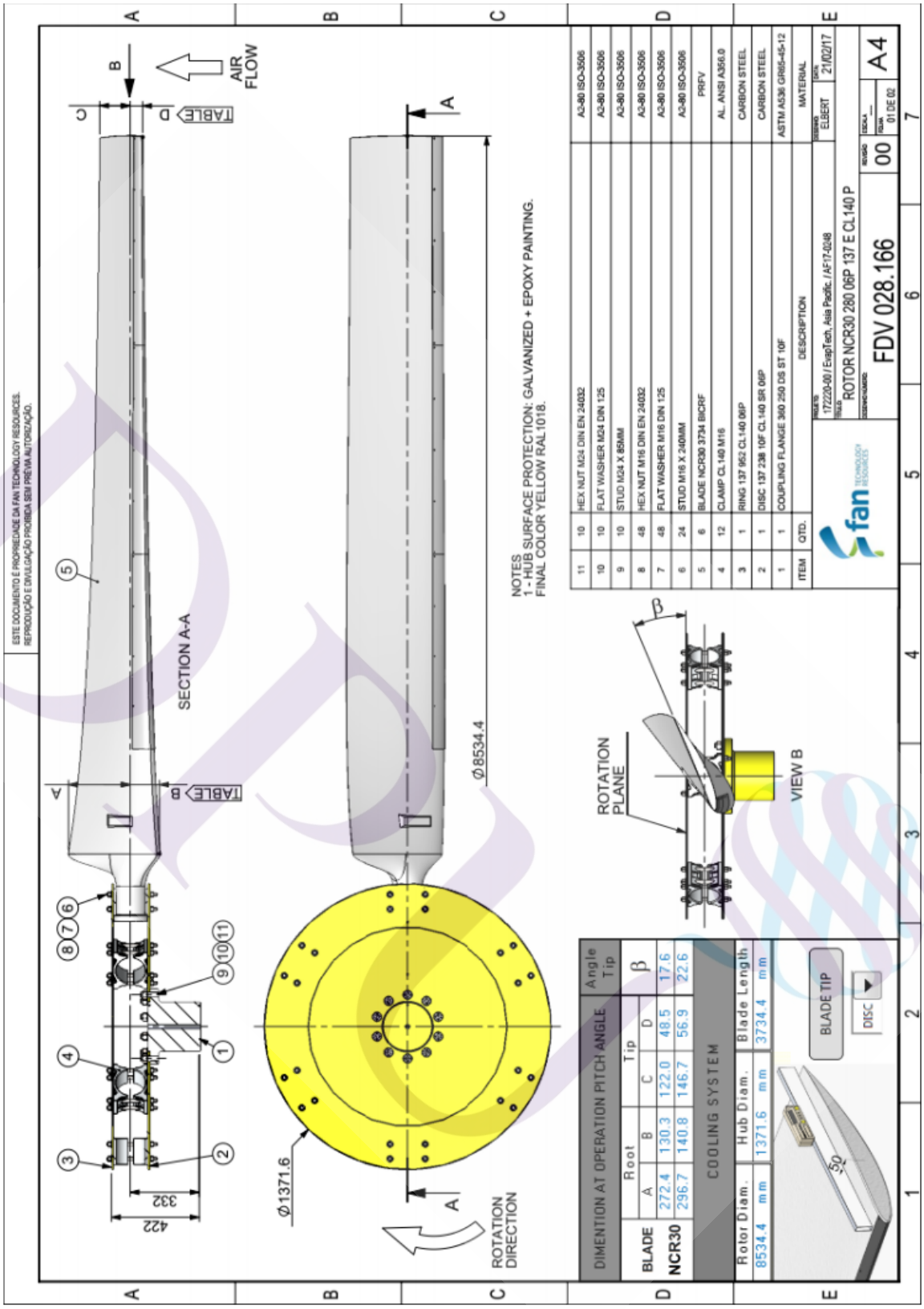
COUPLING FLANGE



FAN MODEL	DIAMETER RANGE (FT)	G Max (mm)	ØF Max (mm)	I Max (mm)
CR	UP TO 18	190	100	260
CR	18.1 TO 36	290	155	250
NCR	UP TO 30	190	100	330
NCR	UP TO 42	290	155	250
TEP	UP TO 36	290	155	250
STEP	UP TO 36	290	155	230

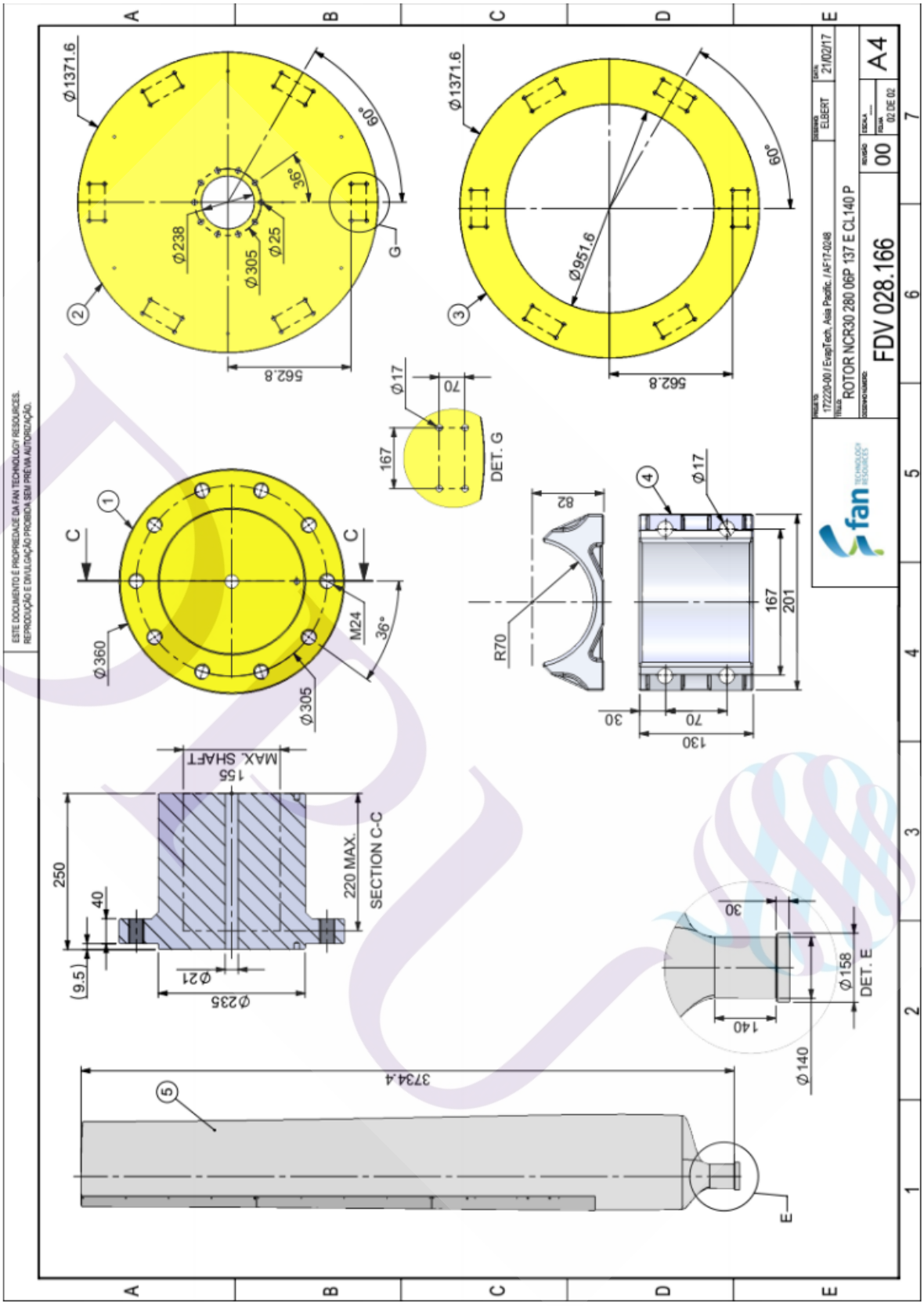
ข้อมูลทางมิติของใบพัดชุดใหม่

ที่มา: โปรแกรม PR Approve Center ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ จำกัด (มหาชน)



ข้อมูลทางมิติของใบพัดชุดใหม่

ที่มา: โปรแกรม PR Approve Center ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ จำกัด (มหาชน)



ข้อมูลทางมิติของดุมกลาง (Hub)

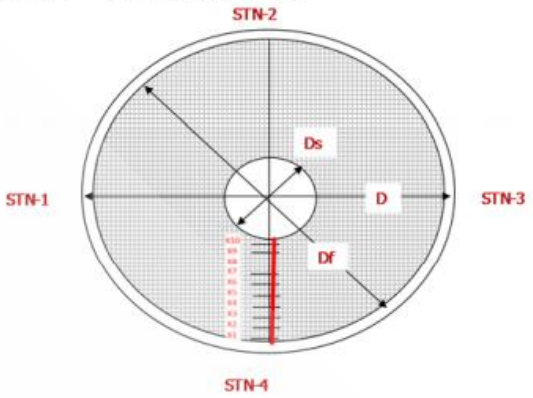
ที่มา: โปรแกรม PR Approve Center ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ จำกัด (มหาชน)

FAN PERFORMANCE TEST SHEET

	Air fan cooler	Pre - test	Pitot Tube
/	Cooling tower	/ Post - test	/ Vane Anamometer
	Evap condenser		

Client :	BGRIMM-Laemchabang	
Test Date :	14-Jan-18	
Time :	11.00	
Location / Plant :	Chonburi	
Cell No. :	1	
Manufac :	EVAPTECH	
Materials / blade	FRP / 6 blades	
Stack diameter (D) :	8.5824	m
Fan diameter (Df):	8.5344	m
Disc diameter (Ds) :	1.3716	m
Tip clearance :	0.024	mm
Pitch :	13	
Design Flow	542	m3/s
Fan speed	140	rpm
Rated power :	162	kW
Instrument Name / Serial No.	ELECTRONIC ANEMOMETER AE-1 :2045:07:05	

Standard Method CTI (Cooling Tower Institute,USA) Code No. PFM143
Total test point 40 : Fan Diameter >20 ft



AIR FLOW TEST

Point	From edge of stack (cm)	STN-1	STN-2	STN-3	STN-4	Unit
X1	10.6	11.3	11.5	11.6	12.1	m/s
X2	32.6	12.3	12.5	12.3	12.4	m/s
X3	55.9	11.7	11.9	11.9	12.0	m/s
X4	80.8	11.2	10.9	11.3	11.6	m/s
X5	107.6	10.9	10.4	10.5	10.8	m/s
X6	136.8	10.5	10.2	10.2	10.3	m/s
X7	169.3	10.5	10.3	10.1	10.5	m/s
X8	206.5	7.9	9.2	9.6	9.4	m/s
X9	251.3	4.5	6.1	7.2	5.5	m/s
X10	312.2	3.2	2.9	2.9	2.7	m/s
		9.400	**9.590**	**9.760**	**9.730**	m/s
Wind Velocity		1.5	1.3	1.1	1.4	m/s

AVG velocity	9.6	m/s
Net Free area :	56.4	m^2
Air volume	542.3	m^3/s
Power Consumption	103.7	kW
CWS/CWR temp	30/37	°C
Standard Deviation of Flow	2.9	
% Flow	100.1%	
Motor load :	64%	

POWER CONSUMPTION MEASUREMENT

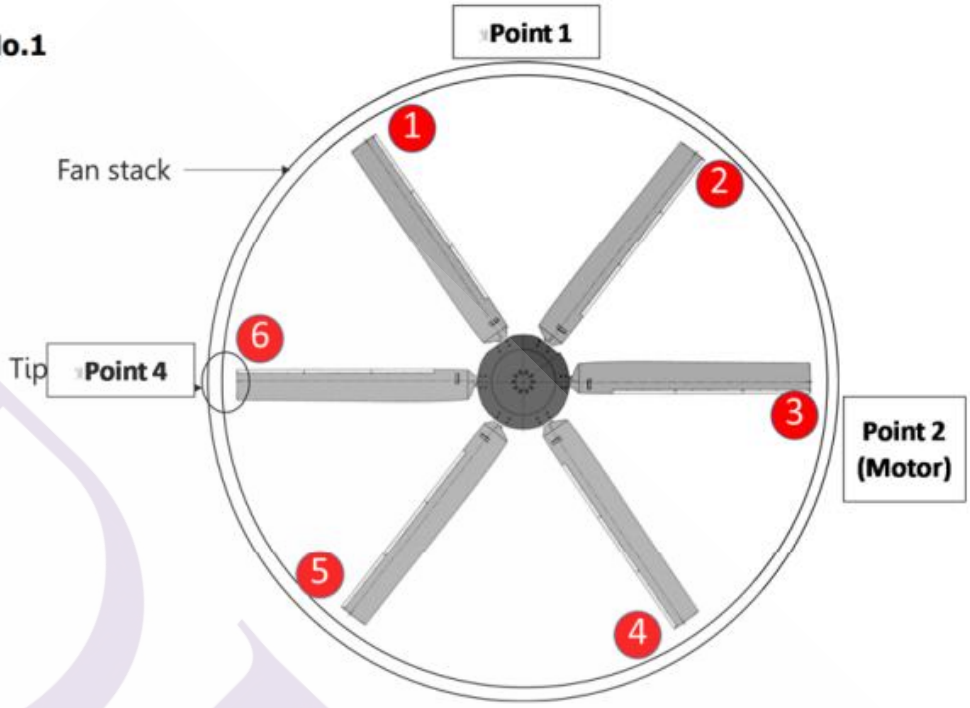
Current (A)	PF	Votage (V)	Power (KW)
107.94	0.803	690.29	103.69

ข้อมูล Fan Performance Test ของหน่วยที่ 1

ที่มา: Fan Performance Test Report ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด

INSTALLATION CHECKING

Cell No.1



1. Rotate the fan manually initially by two or three turn — / OK — No

2. Check blade tracking — / OK — No

3. Check blade pitch (not more than 0.5 degree) and tip clearance for each blade, The gap 'TC' between any blade and fan stack / fan ring at any point should not vary by more than the following

Should not vary more than +-2 1/4"

Point Number	BLADE NO	BLADE PITCH @50 MM FROM BLADE TIP	TIP CLEARANCE (mm)	TIP LEVEL (mm)	Owner Signature
1	1	13	28	0	
	2	13	24	+35	
	3	13	28	+16	
	4	13	27	+5	
	5	13	26	-8	
	6	13	25	+10	

ข้อมูล Fan Performance Test ของหน่วยที่ 1 (ต่อ)

ที่มา: Fan Performance Test Report ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด

PROJECT : FAN BLADE REPLACEMENT FOR ENERYGY SAVING

COMPANY : B-Grimm Power Laem Chabang

CELL NO. : 1

FAN MODEL			Hudson Tuflite II	EVAPTECH
TEST DATE			6-Dec-17	9-Jan-18
OPEARTING FLOW		m^3/s	542.00	542.31
OPEARTING POWER	(P)	kW	139.20	103.69
			OPERATING CONDITION	
ENERGY SAVING		%	25.51%	
AIR FLOW INCREASE		%	0.06%	

ข้อมูล Fan Performance Test ของหน่วยที่ 1 (ต่อ)

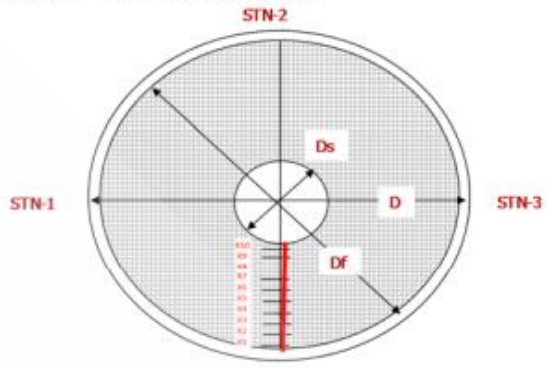
ที่มา: Fan Performance Test Report ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด

FAN PERFORMANCE TEST SHEET

	Air fan cooler		Pre - test		Pitot Tube
/	Cooling tower	/	Post - test	/	Vane Anamometer
	Evap condenser				

Client :	BGRIMM-Laemchabang	
Test Date :	22-Jan-18	
Time :	14.30	
Location / Plant :	Chonburi	
Cell No. :	2	
Manufac :	EVAPTECH	
Materials / blade	FRP / 6 blades	
Stack diameter (D) :	8.5824	m
Fan diameter (Df):	8.5344	m
Disc diameter (Ds) :	1.3716	m
Tip clearance :	0.024	mm
Pitch :	13	
Design Flow	542	m3/s
Fan speed	140	rpm
Rated power :	162	kW
Instrument Name / Serial No.	ELECTRONIC ANEMOMETER AE-1 :2045:07:05	

Standard Method CTI (Cooling Tower Institute,USA) Code No. PFM143
Total test point 40 : Fan Diameter >20 ft



AIR FLOW TEST

Point	From edge of stack (cm)	STN-1	STN-2	STN-3	STN-4	Unit
X1	10.6	10.1	10.2	12.6	11.2	m/s
X2	32.6	11.2	11.3	13.3	12.4	m/s
X3	55.9	12.0	11.2	12.5	11.9	m/s
X4	80.8	11.4	10.3	11.3	11.5	m/s
X5	107.6	10.2	10.5	10.7	10.5	m/s
X6	136.8	10.1	10.4	10.4	10.2	m/s
X7	169.3	10.2	10.1	10.3	10.6	m/s
X8	206.5	10.1	10.2	10.1	10.3	m/s
X9	251.3	5.6	6.1	5.8	5.4	m/s
X10	312.2	3.6	3.5	3.7	4.1	m/s
		9.450	**9.380**	**10.070**	**9.810**	m/s
Wind Velocity		3.4	3.1	2.3	1.4	m/s

AVG velocity	9.7	m/s
Net Free area :	56.4	m^2
Air volume	545.5	m^3/s
Power Consumption	101.8	kW
CWS/CWR temp	30/37	°C
Standard Deviation of Flow	2.7	
% Flow	100.7%	
Motor load :	63%	

POWER CONSUMPTION MEASUREMENT

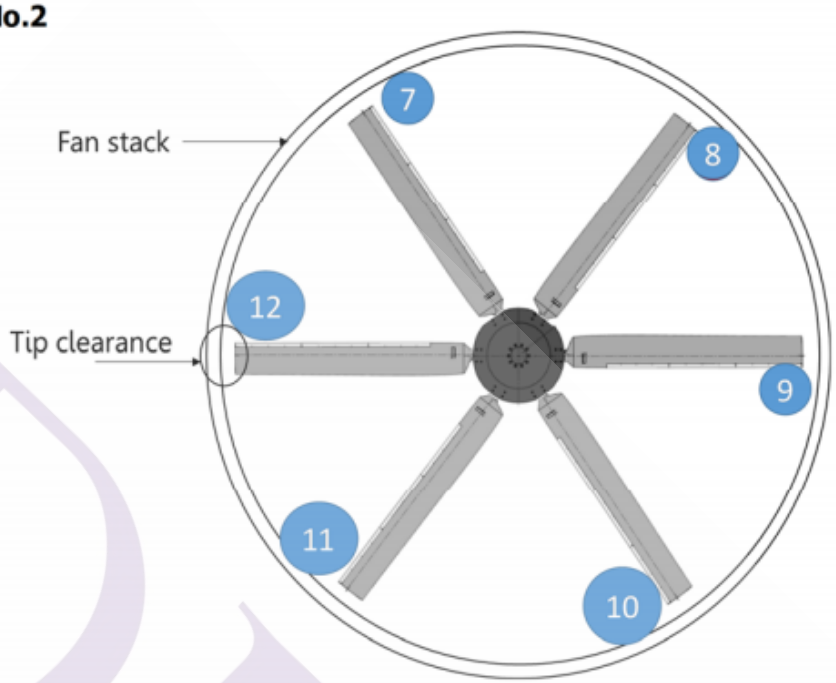
Current (A)	PF	Votage (V)	Power (KW)
108.71	0.785	689.33	101.84

ข้อมูล Fan Performance Test ของหน่วยที่ 2

ที่มา: Fan Performance Test Report ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด

INSTALLATION CHECKING

Cell No.2



1. Rotate the fan manually initially by two or three turn [/] OK [ ] No

2. Check blade tracking [/] OK [ ] No

3. Check blade pitch (not more than 0.5 degree) and tip clearance for each blade, The gap 'TC' between any blade and fan stack / fan ring at any point should not vary by more than the following

Should not vary more than +-2 1/4"

BLADE NO	BLADE PITCH @50 MM FROM BLADE TIP	TIP CLEARANCE (mm)	TIP LEVEL (mm)	Owner Signature
7	13	27	+20	
8	13	27	+9	
9	13	24	-12	
10	13	25	+9	
11	13	23	-5	
12	13	27	0	

ข้อมูล Fan Performance Test ของหน่วยที่ 2 (ต่อ)

ที่มา: Fan Performance Test Report ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด

PROJECT : FAN BLADE REPLACEMENT FOR ENERYGY SAVING

COMPANY : B-Grimm Power Laem Chabang

CELL NO. : 2

FAN MODEL			Hudson Tuflite II	EVAPTECH
TEST DATE			6-Dec-17	22-Jan-18
OPEARTING FLOW		m^3/s	542.00	545.55
OPEARTING POWER	(P)	kW	147.30	101.84
			OPERATING CONDITION	
ENERGY SAVING		%	30.86%	
AIR FLOW INCREASE		%	0.65%	

ข้อมูล Fan Performance Test ของหน่วยที่ 2 (ต่อ)

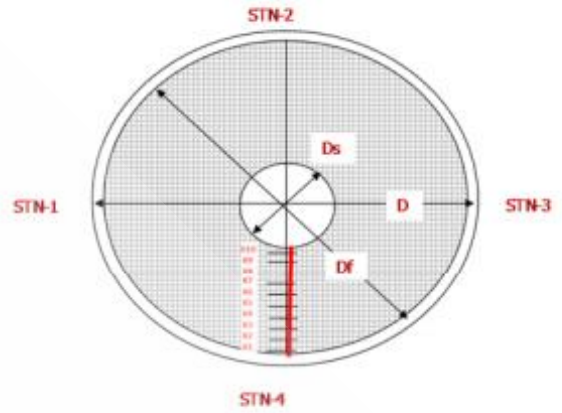
ที่มา: Fan Performance Test Report ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด

FAN PERFORMANCE TEST SHEET

	Air fan cooler		Pre - test		Pitot Tube
/	Cooling tower	/	Post - test	/	Vane Anamometer
	Evap condenser				

Client :	BGRIMM-Laemchabang	
Test Date :	14-May-61	
Time :	11.15	
Location / Plant :	Chonburi	
Cell No. :	3	
Manufac :	EVAPTECH	
Materials / blade	FRP / 6 blades	
Stack diameter (D) :	8.5824	m
Fan diameter (Df):	8.5344	m
Disc diameter (Ds) :	1.3716	m
Tip clearance :	0.024	mm
Pitch :	13	
Design Flow	542	m3/s
Fan speed	140	rpm
Rated power :	162	kW
Instrument Name / Serial No.	ELECTRONIC ANEMOMETER AE-1 :2045:07:05	

Standard Method CTI (Cooling Tower Institute,USA) Code No. PFM143
Total test point 40 : Fan Diameter >20 ft



AIR FLOW TEST

Point	From edge of stack (cm)	STN-1	STN-2	STN-3	STN-4	Unit
X1	10.6	11.5	10.3	13.0	9.9	m/s
X2	32.6	12.8	12.3	12.8	12.6	m/s
X3	55.9	12.9	11.9	12.5	12.2	m/s
X4	80.8	12.1	11.5	12.6	11.8	m/s
X5	107.6	11.4	11.8	11.5	11.3	m/s
X6	136.8	10.6	10.8	10.6	10.5	m/s
X7	169.3	10.1	9.9	10.0	9.5	m/s
X8	206.5	7.3	6.8	9.1	8.5	m/s
X9	251.3	8.3	3.1	5.2	3.9	m/s
X10	312.2	3.3	2.9	2.4	3.2	m/s
		10.030	**9.130**	**9.970**	**9.340**	m/s

AVG velocity	9.6	m/s
Net Free area :	56.4	m^2
Air volume	542.2	m^3/s
Power Consumption	110.0	kW
CWS/CWR temp	30/37	°C
Standard Deviation of Flow	3.3	
% Flow	100.0%	
Motor load :	68%	

Wind Velocity	2.7	3.8	2.2	1.8	m/s

POWER CONSUMPTION MEASUREMENT

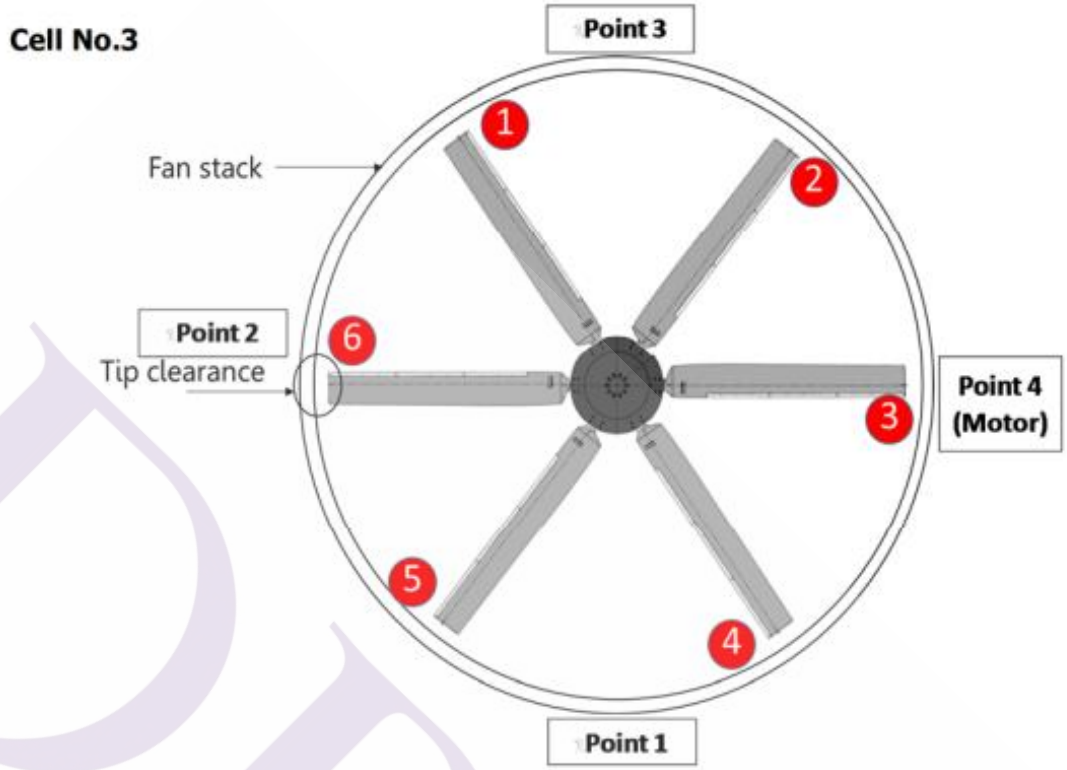
Current (A)	PF	Votage (V)	Power (KW)
111.49	0.811	702.74	110.00

ข้อมูล Fan Performance Test ของหน่วยที่ 3

ที่มา: Fan Performance Test Report ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด

INSTALLATION CHECKING

Cell No.3



1. Rotate the fan manually initially by two or three turn — / OK — No

2. Check blade tracking — / OK — No

3. Check blade pitch (not more than 0.5 degree) and tip clearance for each blade, The gap 'TC' between any blade and fan stack / fan ring at any point should not vary by more than the following

Should not vary more than +-2 1/4"

Point Number	BLADE NO	BLADE PITCH @50 MM FROM BLADE TIP	TIP CLEARANCE (mm)	TIP LEVEL (mm)	Owner Signature
1	1	13	31	0	
	2	13	27	-4	
	3	13	31	0	
	4	13	27	+12	
	5	13	28	+9	
	6	13	31	+9	

ข้อมูล Fan Performance Test ของหน่วยที่ 3 (ต่อ)

ที่มา: Fan Performance Test Report ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด

PROJECT : FAN BLADE REPLACEMENT FOR ENERYGY SAVING

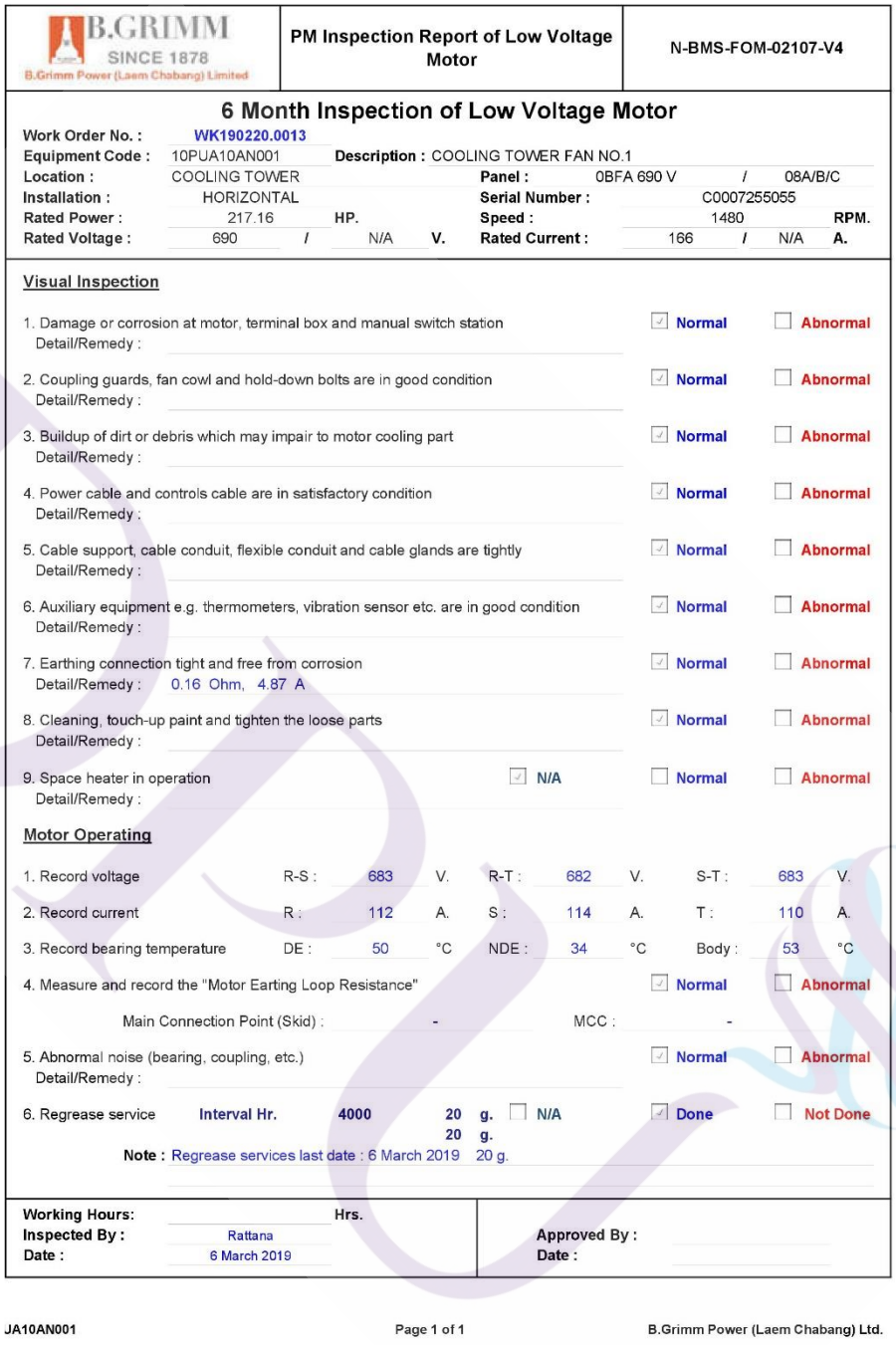
COMPANY : B-Grimm Power Laem Chabang

CELL NO. : 3

FAN MODEL			Hudson Tuflite II	EVAPTECH
TEST DATE			6-Dec-17	14-May-18
OPEARTING FLOW		m^3/s	542.00	542.17
OPEARTING POWER	(P)	kW	147.60	110.00
			OPERATING CONDITION	
ENERGY SAVING		%	25.47%	
AIR FLOW INCREASE		%	0.03%	

ข้อมูล Fan Performance Test ของหน่วยที่ 3 (ต่อ)

ที่มา: Fan Performance Test Report ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด



B.GRIMM SINCE 1878 — B.Grimm Power (Laem Chabang) Limited

PM Inspection Report of Low Voltage Motor | **N-BMS-FOM-02107-V4**

6 Month Inspection of Low Voltage Motor

Work Order No. :	WK190220.0013				
Equipment Code :	10PUA10AN001	**Description :**	COOLING TOWER FAN NO.1		
Location :	COOLING TOWER	**Panel :**	0BFA 690 V / 08A/B/C		
Installation :	HORIZONTAL	**Serial Number :**	C0007255055		
Rated Power :	217.16 **HP.**	**Speed :**	1480 **RPM.**		
Rated Voltage :	690 / N/A **V.**	**Rated Current :**	166 / N/A **A.**		

Visual Inspection

1. Damage or corrosion at motor, terminal box and manual switch station Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
2. Coupling guards, fan cowl and hold-down bolts are in good condition Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
3. Buildup of dirt or debris which may impair to motor cooling part Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
4. Power cable and controls cable are in satisfactory condition Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
5. Cable support, cable conduit, flexible conduit and cable glands are tightly Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
6. Auxiliary equipment e.g. thermometers, vibration sensor etc. are in good condition Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
7. Earthing connection tight and free from corrosion Detail/Remedy : 0.16 Ohm, 4.87 A	☑ Normal	☐ Abnormal
8. Cleaning, touch-up paint and tighten the loose parts Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
9. Space heater in operation Detail/Remedy :	☑ N/A ☐ Normal	☐ Abnormal

Motor Operating

1. Record voltage	R-S :	683	V.	R-T :	682	V.	S-T :	683 V.
2. Record current	R :	112	A.	S :	114	A.	T :	110 A.
3. Record bearing temperature	DE :	50	°C	NDE :	34	°C	Body :	53 °C

4. Measure and record the "Motor Earting Loop Resistance" — ☑ Normal ☐ Abnormal

Main Connection Point (Skid) : - MCC : -

5. Abnormal noise (bearing, coupling, etc.) — ☑ Normal ☐ Abnormal
Detail/Remedy :

6. Regrease service — Interval Hr. 4000 — 20 g. 20 g. — ☐ N/A — ☑ Done ☐ Not Done

Note : Regrease services last date : 6 March 2019 20 g.

Working Hours:	Hrs.		
Inspected By :	Rattana	**Approved By :**	
Date :	6 March 2019	**Date :**	

JA10AN001 — Page 1 of 1 — B.Grimm Power (Laem Chabang) Ltd.

ข้อมูลรายงาน PM for Motor of Cooling Tower Fan No.1 วันที่ 6 มีนาคม 2562

ที่มา: ส่วนบำรุงรักษาไฟฟ้า ฝ่ายบำรุงรักษา ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด

B.GRIMM SINCE 1878 — B.Grimm Power (Laem Chabang) Limited

PM Inspection Report of Low Voltage Motor | N-BMS-FOM-02107-V4

6 Month Inspection of Low Voltage Motor

Work Order No. :	WK190220.0014		
Equipment Code :	10PUA20AN001	**Description :**	COOLING TOWER FAN NO.2
Location :	COOLING TOWER	**Panel :**	0BFA 690 V / 09A/B/C
Installation :	HORIZONTAL	**Serial Number :**	C0007255050
Rated Power :	217.16 HP.	**Speed :**	1480 RPM.
Rated Voltage :	690 / N/A V.	**Rated Current :**	166 / N/A A.

Visual Inspection

1. Damage or corrosion at motor, terminal box and manual switch station Detail/Remedy :		☑ Normal	☐ Abnormal
2. Coupling guards, fan cowl and hold-down bolts are in good condition Detail/Remedy :		☑ Normal	☐ Abnormal
3. Buildup of dirt or debris which may impair to motor cooling part Detail/Remedy :		☑ Normal	☐ Abnormal
4. Power cable and controls cable are in satisfactory condition Detail/Remedy :		☑ Normal	☐ Abnormal
5. Cable support, cable conduit, flexible conduit and cable glands are tightly Detail/Remedy :		☑ Normal	☐ Abnormal
6. Auxiliary equipment e.g. thermometers, vibration sensor etc. are in good condition Detail/Remedy :		☑ Normal	☐ Abnormal
7. Earthing connection tight and free from corrosion Detail/Remedy : 0.1 Ohm, 6.66 A		☑ Normal	☐ Abnormal
8. Cleaning, touch-up paint and tighten the loose parts Detail/Remedy :		☑ Normal	☐ Abnormal
9. Space heater in operation Detail/Remedy :	☑ N/A	☐ Normal	☐ Abnormal

Motor Operating

1. Record voltage	R-S :	685 V.	R-T :	685 V.	S-T :	686 V.		
2. Record current	R :	110 A.	S :	113 A.	T :	113 A.		
3. Record bearing temperature	DE :	59 °C	NDE :	35 °C	Body :	46 °C		
4. Measure and record the "Motor Earting Loop Resistance"							☑ Normal	☐ Abnormal
Main Connection Point (Skid) :	-		MCC :	-				
5. Abnormal noise (bearing, coupling, etc.) Detail/Remedy :							☑ Normal	☐ Abnormal
6. Regrease service	Interval Hr.	4000	20 g. 20 g.	☐ N/A			☑ Done	☐ Not Done

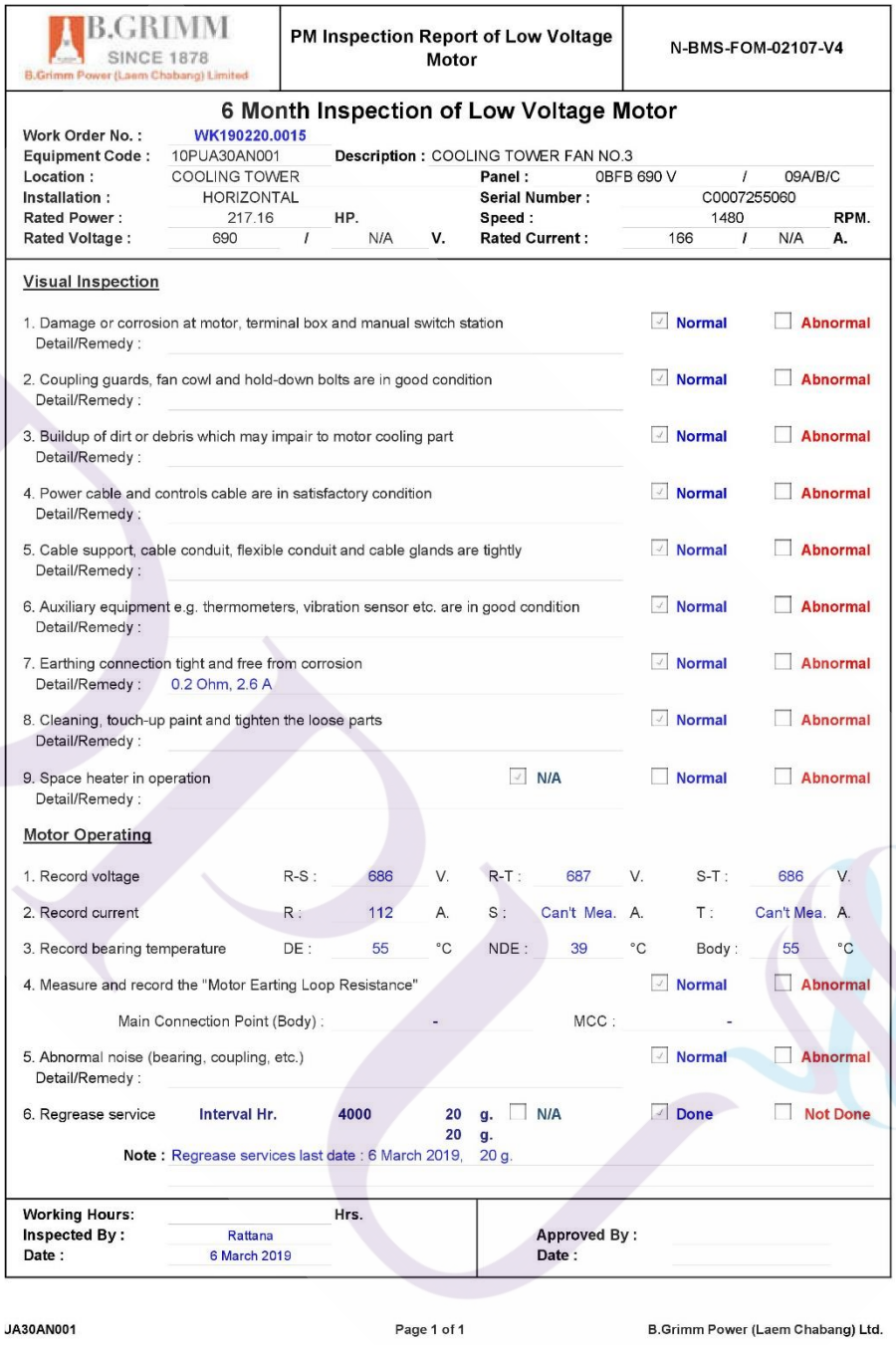
Note : Regrease services last date : 6 March 2019, 20 g.
1480 rpm. Alarm ACS 800 0320_7SR Replace fan (4280)

Working Hours:	Hrs.
Inspected By :	Rattana
Date :	6 March 2019
Approved By :	
Date :	

A20AN001 — Page 1 of 1 — B.Grimm Power (Laem Chabang) Ltd.

ข้อมูลรายงาน PM for Motor of Cooling Tower Fan No.2 วันที่ 6 มีนาคม 2562

ที่มา: ส่วนบำรุงรักษาไฟฟ้า ฝ่ายบำรุงรักษา ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด



B.GRIMM SINCE 1878 — B.Grimm Power (Laem Chabang) Limited

PM Inspection Report of Low Voltage Motor | **N-BMS-FOM-02107-V4**

6 Month Inspection of Low Voltage Motor

Work Order No. :	WK190220.0015		
Equipment Code :	10PUA30AN001	**Description :**	COOLING TOWER FAN NO.3
Location :	COOLING TOWER	**Panel :**	0BFB 690 V / 09A/B/C
Installation :	HORIZONTAL	**Serial Number :**	C0007255060
Rated Power :	217.16 **HP.**	**Speed :**	1480 **RPM.**
Rated Voltage :	690 / N/A **V.**	**Rated Current :**	166 / N/A **A.**

Visual Inspection

1. Damage or corrosion at motor, terminal box and manual switch station Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
2. Coupling guards, fan cowl and hold-down bolts are in good condition Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
3. Buildup of dirt or debris which may impair to motor cooling part Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
4. Power cable and controls cable are in satisfactory condition Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
5. Cable support, cable conduit, flexible conduit and cable glands are tightly Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
6. Auxiliary equipment e.g. thermometers, vibration sensor etc. are in good condition Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
7. Earthing connection tight and free from corrosion Detail/Remedy : 0.2 Ohm, 2.6 A	☑ Normal	☐ Abnormal
8. Cleaning, touch-up paint and tighten the loose parts Detail/Remedy :	☑ Normal	☐ Abnormal
9. Space heater in operation Detail/Remedy :	☑ N/A ☐ Normal	☐ Abnormal

Motor Operating

1. Record voltage	R-S :	686 V.	R-T :	687 V.	S-T :	686 V.		
2. Record current	R :	112 A.	S :	Can't Mea. A.	T :	Can't Mea. A.		
3. Record bearing temperature	DE :	55 °C	NDE :	39 °C	Body :	55 °C		
4. Measure and record the "Motor Earting Loop Resistance"							☑ Normal	☐ Abnormal
Main Connection Point (Body) : -			MCC : -					
5. Abnormal noise (bearing, coupling, etc.) Detail/Remedy :							☑ Normal	☐ Abnormal
6. Regrease service	Interval Hr. 4000		20 g. 20 g.		☐ N/A		☑ Done	☐ Not Done

Note : Regrease services last date : 6 March 2019, 20 g.

Working Hours:	Hrs.		
Inspected By :	Rattana	**Approved By :**	
Date :	6 March 2019	**Date :**	

JA30AN001 — Page 1 of 1 — B.Grimm Power (Laem Chabang) Ltd.

ข้อมูลรายงาน PM for Motor of Cooling Tower Fan No.3 วันที่ 6 มีนาคม 2562

ที่มา: ส่วนบำรุงรักษาไฟฟ้า ฝ่ายบำรุงรักษา ของ บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายณัฐวุฒิ อิ่มทอง
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2547 ปริญญาตรี บริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชา การจัดการอุตสาหกรรม
ตำแหน่งและสถานที่ทางานปัจจุบัน	ผู้จัดการแผนกบำรุงรักษาเครื่องกลโรงไฟฟ้าแหลมฉบัง บริษัท บี.กริม เพาเวอร์ (แหลมฉบัง) 1 จำกัด