

การวิเคราะห์ความประหยัดพลังงานในโรงบำบัดน้ำเสียศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก
โดยการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงร่วมกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

นายธนัช รัชศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ANALYSIS OF ENERGY SAVING IN WASTEWATER TREATMENT PLANT OF THE
GOLDEN JUBILEE MEDICAL CENTER USING HIGH EFFICIENCY MOTORS AND
VARIABLE SPEED DRIVES

Mr. Tansash Raksasri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ความประหยัดพลังงานในโรงบำบัดน้ำเสีย
ศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษกโดยการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพ
สูงร่วมกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

โดย

นายธนัช รัชศรี

สาขาวิชา

เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แนนบุญ หุนเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ขงเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แนนบุญ หุนเจริญ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติพันธ์ เตชะกิตติโรจน์)

ธนัช รัชขศรี : การวิเคราะห์ความประหยัดพลังงานในโรงบำบัดน้ำเสียศูนย์การแพทย์
กาญจนาภิเษก โดยการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงร่วมกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์.
(ANALYSIS OF ENERGY SAVING IN WASTEWATER TREATMENT PLANT OF
THE GOLDEN USING HIGH EFFICIENCY MOTORS AND VARIABLE SPEDD
DRIVES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศศ.ดร.เนนบุญ หุนเจริญ, 91 หน้า.

ปัจจุบันค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียเป็นต้นทุนสำคัญของสถาน
พยาบาล โดยพลังงานที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเกือบทั้งหมดจะถูกใช้ไปสำหรับระบบเติมอากาศ แม้
ในช่วงที่ปริมาณออกซิเจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแล้ว แต่ก็ยังไม่มีกระบวนการปรับลดปริมาณการ
ใช้พลังงานไฟฟ้า จากปัญหาดังกล่าว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเสนอวิธีการจัดทำแบบประเมิน และ
วิเคราะห์ความคุ้มค่า ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและการทำงานร่วมกับ
ระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ เปรียบเทียบผลประหยัดกับระบบบำบัดน้ำเสียชุดเดิม จากนั้นนำ
ส่วนของพลังงานที่ประหยัดได้ มาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อตัดสินใจเลือกลงทุน
ในโครงการที่เหมาะสมที่สุด

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน.....ลายมือชื่อนิติติ.....
ปีการศึกษา 2555.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

5387527520 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORDS : HIGH EFFICIENCY MOTOR / VARIABLE SPEED DRIVE / ENERGY SAVING / WASTE WATER TREATMENT

TANASH RAKSASRI : ANALYSIS OF ENERGY SAVING IN WASTEWATER TREATMENT PLANT OF THE GOLDEN JUBILEE MEDICAL CENTER USING HIGH EFFICIENCY MOTORS AND VARIABLE SPEED DRIVES. ADVISOR : ASSIST. PROF. NAEBBOON HOONCHAREON, Ph.D., 91 pp.

At present, the cost of electrical energy consumption in wastewater treatment is significant for the hospital. The energy used in such case is mostly for an aeration system. Even though oxygen level is kept with in the standard gain, there is no mechanism to reduce the energy demand, for the current practice. Hence, this thesis propose evaluation method to analyze economic worthiness of applying High Efficiency Motor, working together with Variable Speed Drive. Determines an energy saving comparing to the existing waste water treatment system. Then, the obtained energy saving is used for analyzing economic worthiness. In order to select for the most appropriate investment project.

Field of Study : Energy Technology and Management Student's Signature.....

Academic Year : 2012 Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่อย่างยิ่งจาก ผศ.ดร. แนนบุญ หุนเจริญ ที่กรุณาได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านในสถาบันวิจัยพลังงาน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยอันเกี่ยวข้องกับพลังงานและการเงิน รวมทั้งท่านอาจารย์ทั้งหลายที่ได้ให้ความรู้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ขอขอบคุณศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษกที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยลงไปถึงเครื่องมือวัดทางระบบสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ รวมไปถึงข้อมูลทางวิชาการและสถิติการตรวจวัดด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณบิดา และ มารดา รวมไปถึงญาติพี่น้องของข้าพเจ้า ผู้ซึ่งให้โอกาสทางการศึกษาและเป็นกำลังใจให้ด้วยดีเสมอมา

สารบัญ

| | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| สารบัญภาพ | ฉ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย..... | 3 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| 1.6 ประมวลวิทยานิพนธ์..... | 4 |
| บทที่ 2 มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและการปรับความเร็วรอบ..... | 5 |
| 2.1 มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง..... | 5 |
| 2.2 อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์..... | 5 |
| 2.3 การควบคุมแรงดันและความถี่..... | 6 |
| 2.4 ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูง..... | 7 |
| 2.4.1 การเพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ..... | 7 |
| 2.4.2 การหาพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูง..... | 9 |
| 2.5 ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์..... | 9 |
| 2.5.1. อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันแบบพีคบัลลิวเอ็ม..... | 9 |
| 2.5.2. อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันแบบสแควร์เวฟ..... | 11 |
| 2.5.3. อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส..... | 12 |
| 2.6 ประเภทโหลดของมอเตอร์..... | 13 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.6.1 โหลดแบบแรงบิดแปรผัน..... | 13 |
| 2.6.2 โหลดแบบแรงบิดคงที่..... | 14 |
| 2.7 การหาพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้โดยใช้การปรับความเร็วรอบมอเตอร์..... | 15 |
| 2.7.1 พลังงานที่ประหยัดได้จากการใช้งาน VSD..... | 15 |
| 2.7.2 การคำนวณการประหยัดเงินค่าไฟฟ้าต่อปี..... | 16 |
| 2.7.3 ระยะเวลาการคืนทุน..... | 16 |
| 2.8 ทบทวนทฤษฎีระบบควบคุมแบบพีไอดี..... | 17 |
| 2.8.1 ทิศทางการควบคุมของระบบควบคุม..... | 18 |
| 2.8.2 การควบคุมแบบพีไอดี..... | 19 |
| 2.8.3 ระบบหน่วงเวลา..... | 23 |
| 2.8.4 รูปแบบการใช้งานระบบหน่วงเวลา (Delay Time Control) | 25 |
| บทที่ 3 อัตราผลตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์ | 27 |
| 3.1 งบลงทุนเบื้องต้น..... | 27 |
| 3.2 ลักษณะโครงการของงบลงทุน..... | 28 |
| 3.2.1 โครงการซื้อเครื่องจักรใหม่ทดแทนเครื่องจักรเก่าที่หมดอายุ..... | 28 |
| 3.2.2 โครงการซื้อเครื่องจักรใหม่ทดแทนเครื่องจักรเก่าที่ยังใช้งานได้..... | 28 |
| 3.2.3 โครงการขยายผลิตภัณฑ์เดิม..... | 28 |
| 3.2.4 โครงการขยายผลิตภัณฑ์ใหม่..... | 28 |
| 3.2.5 โครงการเพื่อความปลอดภัยและคุ้มครองสิ่งแวดล้อม..... | 29 |
| 3.2.6 โครงการประเภทอื่น ๆ..... | 29 |
| 3.3 วิธีการประเมินโครงการลงทุน..... | 29 |
| 3.3.1 ระยะเวลาคืนทุน..... | 30 |
| 3.3.2 ระยะเวลาคืนทุนที่คำนึงถึงมูลค่าปัจจุบัน..... | 32 |
| 3.3.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ..... | 33 |
| 3.3.4 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ..... | 35 |
| 3.4 เกณฑ์ในการตัดสินใจสำหรับวิธีอัตราผลตอบแทนจากโครงการ..... | 36 |
| 3.4.1 การเปรียบเทียบวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อวิธีอัตราผลตอบแทนจากโครงการ..... | 36 |
| 3.4.2 การจัดอันดับมูลค่าปัจจุบันสุทธิขึ้นอยู่กับต้นทุนของเงินทุน..... | 37 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.3 โครงการที่เป็นอิสระต่อกัน..... | 38 |
| 3.4.4 โครงการที่ทดแทนกันได้..... | 39 |
| 3.4.5 วิธีต่าง ๆ ที่ใช้ในการตัดสินใจเรื่องลงทุน..... | 40 |
| 3.5 การนำ NPV และ IRR มาประยุกต์ใช้กับโครงการพลังงาน..... | 41 |
| บทที่ 4 การบำบัดน้ำเสียของสถานพยาบาล..... | 43 |
| 4.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียในสถานพยาบาล..... | 43 |
| 4.2 ระบบบำบัดน้ำเสียในสถานพยาบาล..... | 44 |
| 4.2.1 น้ำเสียจากส่วนต่าง ๆ ของอาคารศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก..... | 44 |
| 4.2.2 บ่อปรับสมดุล..... | 44 |
| 4.2.3 บ่อเติมอากาศ..... | 45 |
| 4.2.4 บ่อดกตะกอน..... | 46 |
| 4.2.5 บ่อเก็บน้ำใส..... | 46 |
| 4.2.6 บ่อเก็บตะกอน..... | 46 |
| 4.3 การประมาณขนาดระบบบำบัดน้ำเสีย โครงการอาคารศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก..... | 46 |
| 4.3.1 ประเมินปริมาณน้ำเสียรวมของโครงการ..... | 46 |
| 4.3.2 เณฑ์การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย..... | 46 |
| 4.3.3 การเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย..... | 47 |
| 4.3.4 คุณสมบัติของเครื่องเติมอากาศแบบ Bi-Act SCBA รุ่น CBS 3.7 x 2.5..... | 47 |
| 4.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ..... | 48 |
| 4.4.1 บ่อหมักไร้อากาศ..... | 48 |
| 4.4.2 บ่อปรับสมดุล..... | 48 |
| 4.4.3 บ่อเติมอากาศ..... | 49 |
| 4.4.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ได้จากเครื่องเติมอากาศ..... | 49 |
| บทที่ 5 การใช้พลังงานของสถานพยาบาล..... | 50 |
| 5.1 การใช้พลังงานของระบบบำบัดน้ำเสียในสถานพยาบาล..... | 50 |
| 5.1.1 เครื่องสูบน้ำเสีย (Sewage Pump)..... | 50 |
| 5.1.2 เครื่องเติมอากาศ (Biact-Act SCBA)..... | 50 |
| 5.1.3 เครื่องสูบตะกอน (Sludge Return Pump)..... | 50 |
| 5.1.4 เครื่องสูบน้ำใส (Drain Pump) | 51 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2 การสร้างแบบจำลอง อัตราการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียและความสัมพันธ์ ของออกซิเจนละลายน้ำ..... | 52 |
| 5.3 การทำงานของระบบควบคุม PID เพื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ..... | 53 |
| 5.4 แบบจำลองการประหยัดของพลังงานไฟฟ้า..... | 55 |
| 5.4.1 แบบจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้า..... | 56 |
| 5.4.2 วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยแรงบิดคงที่..... | 56 |
| 5.4.3 พลังงานป้อนเข้าสู่มอเตอร์โดยคำนึงถึงผลเชิงประสิทธิภาพ..... | 57 |
| บทที่ 6 การทดสอบระบบและวิเคราะห์ผล..... | 59 |
| 6.1 การดำเนินงานเก็บข้อมูล..... | 59 |
| 6.2 ผลการเก็บข้อมูลปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและอุณหภูมิน้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบบำบัด... | 60 |
| 6.3 การทดสอบแบบจำลองการประหยัดของพลังงานไฟฟ้า..... | 67 |
| 6.4 ผลการทดสอบระบบควบคุมการเติมอากาศ..... | 69 |
| 6.5 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในการเลือกสรร โครงการพลังงาน..... | 77 |
| 6.5.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period PB)..... | 77 |
| 6.5.2 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present value: NPV) | 79 |
| 6.5.3 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return IRR)..... | 80 |
| บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ | 82 |
| 7.1 สรุปผลงานวิจัย..... | 82 |
| 7.2 ข้อเสนอแนะ..... | 83 |
| 7.3 งานวิจัยที่ส่วนต่อไปในอนาคต..... | 83 |
| รายการอ้างอิง | 85 |
| ภาคผนวก | 86 |
| ภาคผนวก ก โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมแบบจำลอง..... | 87 |
| ภาคผนวก ข บทความที่ได้รับการตีพิมพ์..... | 88 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ | 89 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 การปรับความถี่ของระบบไฟฟ้าที่จำนวนขั้วแม่เหล็ก 4 POLE และแสดงผลของความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์..... | 6 |
| 2.2 การปรับความถี่ของระบบไฟฟ้าโดยให้สัดส่วน $\frac{V}{f}$ มีค่าเท่ากับ 8 และแสดงผลของ แรงดันไฟฟ้าจากอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ที่จ่ายให้กับสเตเตอร์ของมอเตอร์..... | 7 |
| 2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (IE2) กับมอเตอร์ประสิทธิภาพต่ำ(IE1)..... | 8 |
| 4.1 เปรียบเทียบลักษณะของน้ำเสียก่อนและหลังเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย..... | 47 |
| 5.1 ค่าพิคัดของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง..... | 53 |
| 5.2 ข้อมูลปัจจัยในการประมวลผล..... | 55 |
| 5.3 ข้อมูลการควบคุมระบบ PID ในการประมวลผลด้วย Matlab Simulink..... | 58 |
| 6.1 ข้อมูลปัจจัยในการประมวลผล..... | 68 |
| 6.2 ข้อมูลการควบคุมระบบ PID ในการประมวลผลด้วย Matlab Simulink..... | 69 |
| 6.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบทั้ง 3 ระบบและผลการประหยัดพลังงาน..... | 69 |
| 6.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำหลังผ่านระบบบำบัดโดยเปรียบเทียบกับแบบจำลอง การใช้พลังงานทั้ง 3 ประเภท..... | 70 |
| 6.5 เปรียบเทียบการประหยัดพลังงานไฟฟ้า..... | 78 |
| 6.6 ค่าใช้จ่ายใน 2 โครงการ..... | 79 |
| 6.7 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อายุโครงการ 10 ปี..... | 80 |
| 7.1 NPV เปรียบเทียบผลตอบแทนโครงการระยะเวลา 10 ปี..... | 84 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 ระบบบำบัดน้ำเสีย..... | 2 |
| 2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำมาตรฐานและมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง..... | 5 |
| 2.2 รูปคลื่นสัญญาณของอินเวอร์เตอร์แบบพีคดับลิฟเอ็ม..... | 10 |
| 2.3 บล็อกไดอะแกรม การควบคุมความเร็วรอบของอินเวอร์เตอร์..... | 10 |
| 2.4 แบบสกีแมติกไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์แบบสแควร์เวฟ..... | 12 |
| 2.5 สกีแมติกไดอะแกรมอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส..... | 12 |
| 2.6 วงจรเรียงกระแสของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส..... | 13 |
| 2.7 การควบคุมแรงบิดแปรผันของระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์..... | 14 |
| 2.8 การควบคุมแรงบิดคงที่ของระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์..... | 14 |
| 2.9 ภาพทิศทางของระบบควบคุมทั้งแบบทางตรงและกลับทาง..... | 18 |
| 2.10 ระบบควบคุม PID (Proportional Integral Derivative) | 19 |
| 2.11 การควบคุมแบบ Proportional..... | 20 |
| 2.12 สัญญาณ Input error ป้อนเข้าสู่การขยายแบบ P Control..... | 21 |
| 2.13 การควบคุมแบบ Integral..... | 21 |
| 2.14 สัญญาณ Input error ป้อนเข้าสู่การขยายแบบ I Control..... | 22 |
| 2.15 การควบคุมแบบ Derivative Control..... | 22 |
| 2.16 สัญญาณ Input error ป้อนเข้าสู่การขยายแบบ D Control..... | 23 |
| 2.17 ผลกระทบของ Deadtime..... | 24 |
| 2.18 Transfer function ของ Deadtime..... | 25 |
| 2.19 ลักษณะการวางตำแหน่งของ Delay Time..... | 25 |
| 2.20 ระบบ Delay Time ด้วยผลของ Moment of Inertia (J)และFriction(B)..... | 26 |
| 3.1 กระแสเงินสดสุทธิของโครงการ S และ L..... | 30 |
| 3.2 มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดของโครงการ S และ L..... | 32 |
| 3.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ S..... | 34 |
| 3.4 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ S..... | 35 |
| 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NPV และ IRR ของโครงการ S และ L..... | 36 |

| รูปที่ | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.1 โครงสร้างของระบบบำบัดน้ำเสีย..... | 48 |
| 5.1 แผนผังแสดงทิศทางการไหลของระบบบำบัดน้ำเสีย..... | 51 |
| 5.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับPID..... | 52 |
| 5.3 แบบจำลองการควบคุมออกซิเจนละลายน้ำด้วยระบบ PID..... | 53 |
| 5.4 กราฟผลการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำหลังผ่านกระบวนการเติมอากาศ โดยมีการปรับเปลี่ยนค่า Setpoint จาก 4.0 mg/L เป็น 5.0 mg/L..... | 54 |
| 5.5 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง(IE2) เทียบกับมอเตอร์มาตรฐาน (IE1) ที่ความเร็วรอบ 1500-300 RPM..... | 57 |
| 5.6 ภาพแบบจำลองระบบการใช้พลังงานด้วย Block Diagram..... | 59 |
| 5.7 ภาพแบบจำลองระบบการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Matlab Simulink..... | 59 |
| 6.1 ระบบการเติมอากาศใต้ผิวน้ำ..... | 60 |
| 6.2 เครื่องมือวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ..... | 60 |
| 6.3 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันจันทร์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 61 |
| 6.4 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันจันทร์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 61 |
| 6.5 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันอังคาร เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 62 |
| 6.6 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันอังคาร เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 62 |
| 6.7 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันพุธ เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 63 |
| 6.8 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันพุธ เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 63 |
| 6.9 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันพฤหัสบดี เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 64 |
| 6.10 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันพฤหัสบดี เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 64 |
| 6.11 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันศุกร์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 65 |
| 6.12 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันศุกร์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 65 |
| 6.13 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันเสาร์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 66 |
| 6.14 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันเสาร์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 66 |
| 6.15 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันอาทิตย์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 67 |
| 6.16 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันอาทิตย์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น. | 67 |
| 6.17 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันจันทร์..... | 71 |

| รูปที่ | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 6.18 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันอังคาร..... | 72 |
| 6.19 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันพุธ..... | 73 |
| 6.20 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันพฤหัสบดี..... | 74 |
| 6.21 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันศุกร์..... | 75 |
| 6.22 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันเสาร์..... | 76 |
| 6.23 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันอาทิตย์..... | 77 |
| 6.24 Net Present Values Profile..... | 81 |
| 7.1 ระบบการเติมอากาศใต้ผิวน้ำ..... | 85 |
| ก.1 แผนภาพการทำงาน โดยรวมของซอฟต์แวร์..... | 89 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานส่วนใหญ่ของกระบวนการบำบัด โดยพลังงานไฟฟ้าถูกใช้ไปในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (Induction Motor) ซึ่งจะถูกใช้เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังในการเติมอากาศให้กับส่วนระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ให้มีสัดส่วนที่ได้มาตรฐานสิ่งแวดล้อม ก่อนปล่อยน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป

ถึงแม้ว่าเป้าหมายสูงสุดของระบบบำบัดน้ำเสียคือ คุณภาพน้ำหลังการบำบัดที่ได้มาตรฐาน แต่จำเป็นต้องคำนึงถึงต้นทุนที่ใช้ในการบำบัด ซึ่งต้นทุนสำคัญในระบบนี้คือพลังงานไฟฟ้า เพราะค่าไฟฟ้านั้นมีแนวโน้มที่จะปรับตัวสูงขึ้นทุกปี โดยหากสามารถปรับลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง จะทำให้สามารถลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียได้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะเสนอวิธีการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ในระบบบำบัดน้ำเสียให้เกิดความคุ้มค่าเชิงประสิทธิภาพสูงสุด โดยอาศัยทฤษฎีระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ในจัดทำแบบจำลอง (Simulation) การควบคุมระดับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) ให้สัมพันธ์กับความต้องการปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) โดยระบบควบคุมจะเลือกปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) เป็น ค่าตั้งของจุดควบคุม (Set Point) และ ค่าการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการ (Process Variable) ส่วนค่าสัญญาณควบคุมขาออก (Control Variable) หลังผ่านการคำนวณ จะถูกส่งออกไปเพื่อปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) ผ่านระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive) จากกระบวนการดังกล่าวจะทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งเป็นอุปกรณ์ต้นกำลังของระบบบำบัดน้ำเสีย จะถูกปรับความเร็วรอบให้เหมาะสมกับตามความต้องการปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ได้อย่างคุ้มค่าอย่างยิ่ง

จากนั้นนำผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการจัดทำแบบจำลอง (Simulation) มาประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป โดยใช้ปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) กราฟแสดงความสัมพันธ์ NPV เพื่อเปรียบเทียบโครงการ (NPV Profile) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period :

PB) ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และการลงทุนได้อย่างถูกต้อง และเหมาะสมมากที่สุด



รูปที่ 1.1 ระบบบำบัดน้ำเสีย

1.2 วัตถุประสงค์

1. ประเมินศักยภาพการประหยัดพลังงานไฟฟ้าด้วยมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงผสมอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ในสถานพยาบาล
2. ประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ของ จุดคุ้มทุน อัตราผลตอบแทนจากโครงการ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ในสถานพยาบาล

1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

1. พื้นที่ทำการศึกษาคือเป็นพื้นที่โรงบำบัดน้ำเสียในสถานพยาบาล
2. การวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในมอเตอร์
3. การวัดปริมาณออกซิเจนในพื้นที่โรงบำบัดน้ำเสียในสถานพยาบาล

4. การวิเคราะห์ต้นทุนและความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการนำมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงร่วมกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์มาใช้ในโรงบำบัดน้ำเสียของสถานพยาบาล

1.4 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

1. ศึกษาการใช้พลังงานในโรงบำบัดน้ำเสีย : จัดเตรียมเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า และการประกอบวงจรไฟฟ้าของเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า โดยทำการตรวจสอบระดับแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับขนาดของมอเตอร์

2. การทดลองเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า

3. การทดลองเก็บค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำเสีย : จัดเตรียมเครื่องมือวัดปริมาณออกซิเจน และทำการติดตั้งเครื่องมือวัดในสถานที่ทดลองวิจัย และทำการเก็บข้อมูลแบบ Data Logger

4. จัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานด้วย Software SIMULINK

5. การศึกษาถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์เดิมที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียและวิเคราะห์ต้นทุน และเปรียบเทียบความประหยัดอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

6. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน ด้วยเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์

7. ประเมินผลและสรุปผลการทดลอง

8. เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ประเมินการประหยัดพลังงานไฟฟ้า จากการเปลี่ยนเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูงร่วมกับระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์

2. ทราบระยะเวลาการคืนทุนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของการใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูงร่วมกับระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์

3. เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกสรร โครงการประหยัดพลังงาน โดยใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NPV ของโครงการ (NPV Profile)

1.6 ประมวลวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอได้ถูกจัดเรียง ลำดับตามความเหมาะสมในแต่ละบท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ: กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต รวมทั้ง ขั้นตอนดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน: กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐาน และการงานวิจัยในอดีต ซึ่งประกอบไปด้วย การปรับความเร็วรอบมอเตอร์ คุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์แบบต่างๆ การจำแนกโหลด มอเตอร์ ระบบควบคุมแบบพีไอดี มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและวิเคราะห์การประหยัดพลังงาน

บทที่ 3 อัตราผลตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์: งบลงทุนเบื้องต้น จะกล่าวถึงลักษณะโครงการของงบลงทุน การประเมินโครงการลงทุน ด้วยขั้นตอนทางเศรษฐศาสตร์การเงิน การตัดสินใจด้วยวิธีอัตราผลตอบแทนจากโครงการและการเปรียบเทียบวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ รวมไปถึงการนำ NPV และ IRR มาประยุกต์ใช้กับ โครงการพลังงาน

บทที่ 4 การบำบัดน้ำเสียของสถานพยาบาล: กระบวนการบำบัดน้ำเสียในสถานพยาบาล การประมาณขนาดระบบบำบัดน้ำเสีย โครงการอาคารศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก. กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ได้จากเครื่องเติมอากาศหนือผิวน้ำ

บทที่ 5 การใช้พลังงานของสถานพยาบาล: การใช้พลังงานของระบบบำบัดน้ำเสียในสถานพยาบาล แบบจำลองอัตราการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียและความสัมพันธ์ของออกซิเจนละลายน้ำ วิธีการจัดทำระบบควบคุม PID เพื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ การจัดทำการใช้และประหยัดพลังงานไฟฟ้าแบบ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานในแบบต่างๆ

บทที่ 6 การทดสอบระบบและวิเคราะห์ผล: โดยนำเสนอข้อมูลที่จัดเก็บได้ และนำมาประมวลผลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนโปรแกรม MatLab Simulink และวิเคราะห์ความคุ้มค่าและเหมาะสมในการลงทุนในโครงการพลังงานด้วยเศรษฐศาสตร์การเงิน และกราฟแสดงผล NPV (NPV Profile)

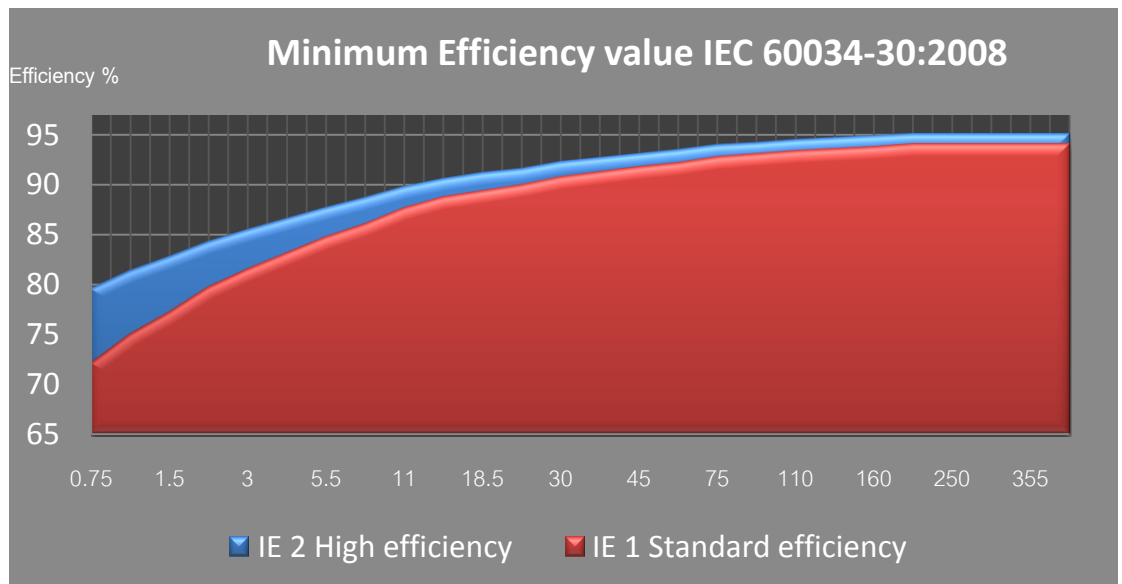
บทที่ 7 นำเสนอบทสรุปและข้อเสนอแนะของงานวิจัยในฉบับนี้

บทที่ 2

มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและการปรับความเร็วรอบ

2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูง (High efficiency motor HEM) [1]

คือมอเตอร์ที่มีการสูญเสียในส่วนต่างๆ น้อยกว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำมาตรฐาน (Standard efficiency motor) มีส่วนประกอบและลักษณะการทำงานเหมือนมอเตอร์มาตรฐาน แต่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า เนื่องจากมีการออกแบบวัสดุในการผลิตที่ดีขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงขึ้นร้อยละ 5-8



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำมาตรฐานและมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง[]

2.2 อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive) [2]

การปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$N_s = \frac{120f}{p} \quad (2.1)$$

เมื่อ N_s : ความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์

f : ความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์

P : จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

โดยหากมีการปรับความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปในมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะทำให้ความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำลดลงจึงนำระบบปรับความเร็วรอบของมอเตอร์มาใช้ อีกทั้งขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ นอกจากพันมอเตอร์ใหม่ซึ่งไม่เหมาะสมกับการปรับความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำในอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงเลือกวิธีการปรับความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์เป็นระบบที่ถูกเลือกใช้ อีกทั้งยังสามารถปรับความเร็วมอเตอร์ได้ทุกช่วงย่านที่ตั้งแต่ 0-50 Hz

ตารางที่ 2.1 การปรับความถี่ของระบบไฟฟ้าที่จำนวนขั้วแม่เหล็ก 4 POLE และแสดงผลของความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์

| ความถี่ของระบบไฟฟ้า (f) Hz | ความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์ (N_s) rpm |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 10 | 300 |
| 20 | 600 |
| 30 | 900 |
| 40 | 1200 |
| 50 | 1500 |

2.3 การควบคุมแรงดันและความถี่ (Voltage and Frequency Control) [3]

ถ้าสัดส่วนของแรงดันและความถี่เป็นค่าคงที่ซึ่งจะสามารถให้แรงบิดสูงสุด โดยต้องรักษาสัดส่วนที่คงที่เอาไว้ ตามสมการ

$$d = \frac{V_a}{f} \quad (2.2)$$

เมื่อ V_a : แรงดันไฟฟ้าจากอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ที่จ่ายให้กับสเตเตอร์ของมอเตอร์

d : สัดส่วนของ V/f คงที่

f : ความถี่ของระบบไฟฟ้า (Supply Frequency) ในหน่วย Hz

ตัวอย่างที่ 1 แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับสเตเตอร์ของมอเตอร์ 400 volt และความถี่ของระบบไฟฟ้า 50 Hz ดังนั้นสัดส่วนของ V/f คงที่หาได้จากสมการที่ (2.2)

$$d = \frac{V_a}{f}$$

$$d = \frac{400 \text{ v}}{50 \text{ Hz}} = 8$$

ตารางที่ 2.2 การปรับความถี่ของระบบไฟฟ้าโดยให้สัดส่วน $\frac{V}{f}$ มีค่าเท่ากับ 8 และแสดงผลของแรงดันไฟฟ้าจากอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ที่จ่ายให้กับสเตเตอร์ของมอเตอร์

| ความถี่ของระบบไฟฟ้า (f) Hz | แรงดันไฟฟ้าจากอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ มอเตอร์ที่จ่ายให้กับสเตเตอร์ของมอเตอร์ Volt | ความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์ (N_s) rpm |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 10 | 80 | 300 |
| 20 | 160 | 600 |
| 30 | 240 | 900 |
| 40 | 320 | 1200 |
| 50 | 400 | 1500 |

2.4 ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูง [1],[4]

2.4.1 การเพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Standard efficiency motor) [1]

การเพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถทำได้โดยการปรับปรุงรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ปรับปรุงคุณภาพของแกนเหล็ก มอเตอร์แบบมาตรฐานทั่วไปใช้เหล็กแผ่นที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนต่ำ (low carbon laminated steel) สำหรับตัวแกนเหล็กที่สเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งแกนเหล็กดังกล่าวมีค่าความสูญเสียสูง แต่ในมอเตอร์เหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูง จะใช้แผ่นเหล็กซิลิคอนคุณภาพสูง (high grade silicon steel) ซึ่งมีค่าความสูญเสียลดลงครึ่งหนึ่ง
- 2) ใช้แผ่นเหล็กที่บางกว่า การลดความหนาของแผ่นเหล็ก ที่ใช้ทำแกนเหล็ก ทั้งในสเตเตอร์และโรเตอร์และช่วยลดการสูญเสียจากกระแสไหลวน (eddy current losses)

- 3) ลดช่องอากาศระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ การลดช่องอากาศที่เป็นทางเดินของสนามแม่เหล็กจากสเตเตอร์ไปโรเตอร์ จะทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านช่องอากาศ มาถึงโรเตอร์ มีความเข้มข้นสูงขึ้น ลดปริมาณสนามแม่เหล็กรั่ว ทำให้มอเตอร์กินพลังงานไฟฟ้าลดลงและให้แรงบิดเท่าเดิมกับลดความสูญเสียจากการใช้งานได้มากขึ้น
- 4) เพิ่มปริมาณของตัวนำ ในมอเตอร์รุ่นธรรมดาจะใช้ลวดทองแดงพอดีกับกระแสสูงสุดที่เกิดจากโหลดของมอเตอร์ แต่ในมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะใช้ลวดทองแดงที่มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น เพื่อลดความต้านทานในขดลวด โดยขนาดของตัวนำจะใหญ่ขึ้นร้อยละ -35-40 ส่วนในโรเตอร์จะมีการออกแบบให้ตัวนำในโรเตอร์ และวงแหวนปิดหัวท้ายมีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อลดความต้านทานเช่นกัน
- 5) ออกแบบร่องสลีตใหม่และสร้างแกนเหล็กที่สเตเตอร์ให้ยาวขึ้น เพื่อที่จะรองรับลวดทองแดงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ต้องออกแบบร่องสลีตใหม่ และขยายความยาวของแกนเหล็กออกไปเพื่อรองรับและลดความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก ซึ่งแกนเหล็กที่ยาวขึ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ส่งผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และยังเป็นผลต่อตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ให้ดีขึ้นด้วย
- 6) ออกแบบรูปร่างและพัฒนาระบายความร้อนใหม่ การออกแบบพัดลมใหม่จะช่วยลดแรงเสียดทานและช่วยเพิ่มอัตราการไหลของลม ให้ระบายความร้อนได้ดีขึ้น
- 7) ใช้ตั้ลบลูกปืนที่ดีขึ้น เพื่อให้แรงเสียดทานน้อยลง ลดการสูญเสียทางกลเนื่องจากแรงเสียดทาน

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (IE2) กับมอเตอร์ประสิทธิภาพต่ำ (IE1) [1]

| Output kW | IE1 | | | IE2 | | |
|--------------|---------------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
| | Standard efficiency | | | High efficiency | | |
| | 2 Pole | 4 Pole | 6 Pole | 2 Pole | 4 Pole | 6 Pole |
| 0.75 | 72.1 | 72.1 | 70.0 | 77.4 | 79.6 | 75.9 |
| 1.1 | 75.0 | 75.0 | 72.9 | 79.6 | 81.4 | 78.1 |
| 1.5 | 77.2 | 77.2 | 75.2 | 81.3 | 82.8 | 79.8 |
| 2.2 | 79.7 | 79.7 | 77.7 | 83.2 | 84.3 | 81.8 |
| 3 | 81.5 | 81.5 | 79.7 | 84.6 | 85.5 | 83.3 |
| 4 | 83.1 | 83.1 | 81.4 | 85.8 | 86.6 | 84.6 |
| 5.5 | 84.7 | 84.7 | 83.1 | 87.0 | 87.7 | 86.0 |
| 7.5 | 86.0 | 86.0 | 84.7 | 88.1 | 88.7 | 87.2 |
| 11 | 87.6 | 87.6 | 86.4 | 89.4 | 89.8 | 88.7 |
| 15 | 88.7 | 88.7 | 87.7 | 90.3 | 90.6 | 89.7 |
| 18.5 | 89.3 | 89.3 | 88.6 | 90.9 | 91.2 | 90.4 |
| 22 | 89.9 | 89.9 | 89.2 | 91.3 | 91.6 | 90.9 |
| 30 | 90.7 | 90.7 | 90.2 | 92.0 | 92.3 | 91.7 |
| 37 | 91.2 | 91.2 | 90.8 | 92.5 | 92.7 | 92.2 |
| 45 | 91.7 | 91.7 | 91.4 | 92.9 | 93.1 | 92.7 |
| 55 | 92.1 | 92.1 | 91.9 | 93.2 | 93.5 | 93.1 |
| 75 | 92.7 | 92.7 | 92.6 | 93.8 | 94.0 | 93.7 |

| | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 93.0 | 93.0 | 92.9 | 94.1 | 94.2 | 94.0 |
| 110 | 93.3 | 93.3 | 93.3 | 94.3 | 94.5 | 94.3 |
| 132 | 93.5 | 93.5 | 93.5 | 94.6 | 94.7 | 94.6 |
| 160 | 93.7 | 93.8 | 93.8 | 94.8 | 94.9 | 94.8 |
| 200 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 95.0 | 95.1 | 95.0 |
| 250 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 95.0 | 95.1 | 95.0 |
| 315 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 95.0 | 95.1 | 95.0 |
| 355 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 95.0 | 95.1 | 95.0 |
| 375 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 95.0 | 95.1 | 95.0 |

2.4.2 การหาพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้โดย มอเตอร์เหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูง [4]

$$AES = L \times P \times hr \times \left[\frac{1}{E_{std}} - \frac{1}{E_{hem}} \right] \times 100 \quad (\text{kWh/years}) \quad (2.23)$$

เมื่อ AES : ค่าพลังงานที่สามารถประหยัดได้ต่อปี หน่วยเป็น (kWh/years)

P : กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ (kW)

L : สภาวะการทำงานของมอเตอร์ที่พิกัดเปรียบเทียบ 0-100 % (Percent of full Load)

hr : ชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ใน 1 ปี (hours)

E_{std} : ประสิทธิภาพของ Standard Motor (%)

E_{hem} : ประสิทธิภาพของ High efficiency Motor (%)

ตัวอย่างที่ 2 การประหยัดพลังงานโดยหากให้ทำงานที่สภาวะโหลดเท่ากับ 100 % Full Load มอเตอร์เหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูง (High efficiency motor HEM) ขนาด 5.5 kW จำนวน ขั้วแม่เหล็ก 4 pole มีประสิทธิภาพ 87.7 % ขณะที่ มอเตอร์เหนี่ยวนำมาตรฐาน (standard efficiency motor) มีประสิทธิภาพ 84.7 % เดินเครื่องวันละ 20 ชั่วโมงภายใน 1 ปีจะสามารถประหยัดพลังงาน ได้ดังนี้

$$AES = 100\% \times 5.5 \times (365 \times 20) \times \left[\frac{1}{84.7} - \frac{1}{87.7} \right] \times 100$$

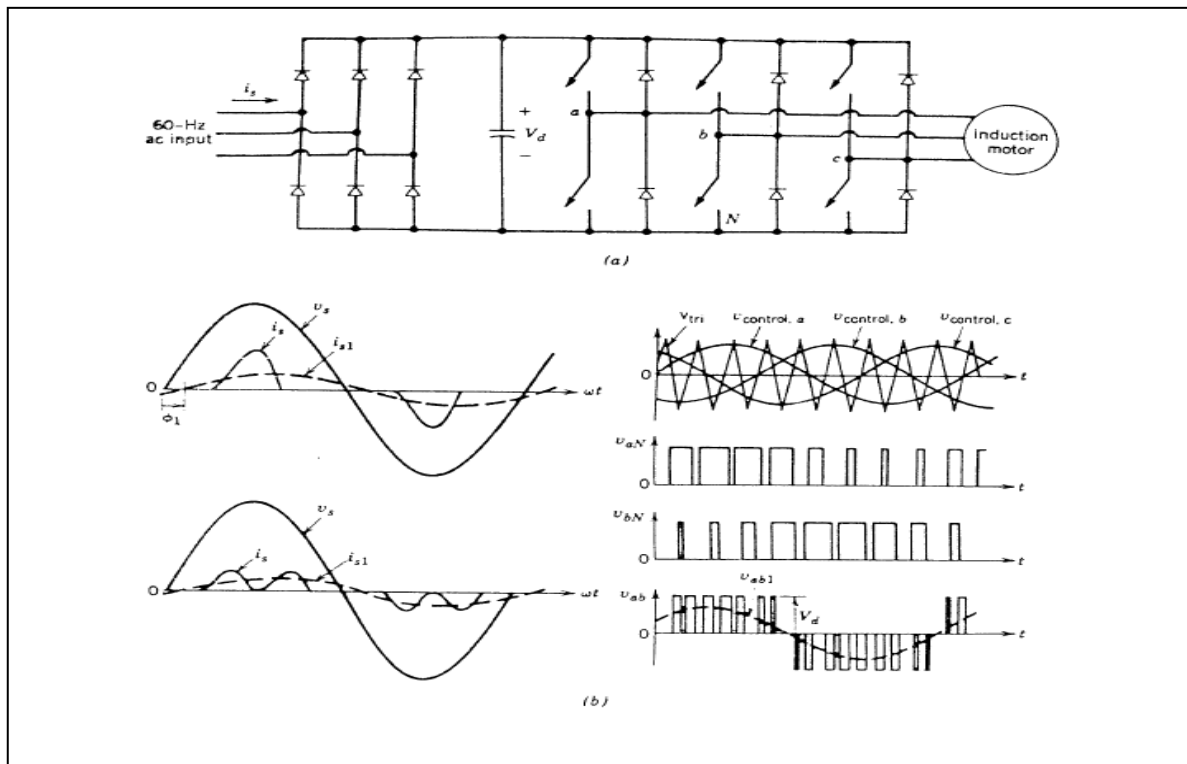
$$AES = 1621.52 \text{ kWh/years}$$

2.5 ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์ [3]

2.5.1. อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันแบบพีดับบลิวเอ็ม (Pulse-width-modulated voltage source inverter : PWM-VSI) [3]

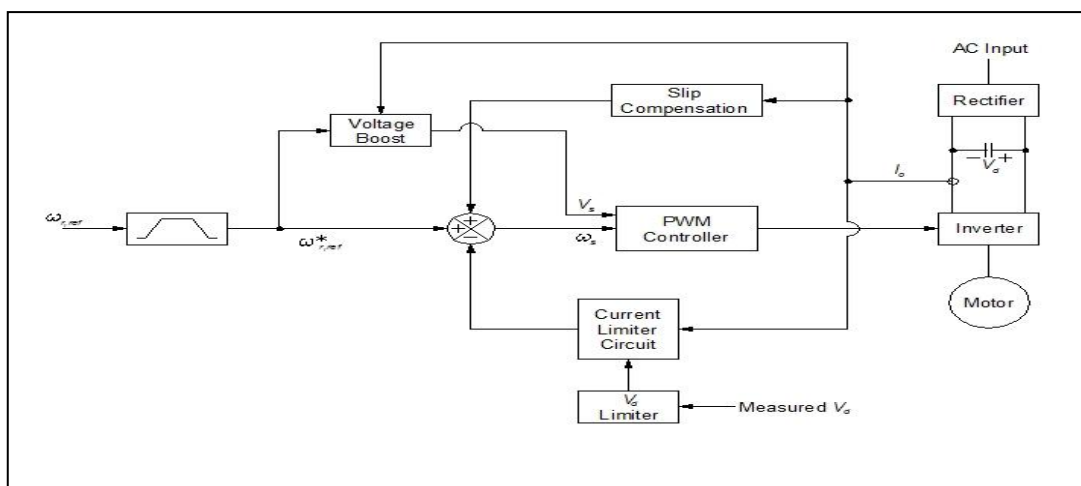
อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันแบบพีดับบลิวเอ็มเป็นอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมทั้งความถี่ (frequency) และขนาด (magnitude) ของแรงดันด้านเอาต์พุต (output voltage) โดยอินเวอร์เตอร์

ประเภทนี้จะใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์โดยใช้อุปกรณ์ไดโอด ซึ่งเป็นอุปกรณ์เรียงกระแสแบบควบคุมไม่ได้ (uncontrolled diode bridge rectifier) สำหรับวิธีการสวิตช์ซึ่งภายในอินเวอร์เตอร์ จะใช้การเปรียบเทียบคลื่นสัญญาณรูปไซน์ของแรงดันควบคุมจำนวน 3 คลื่นสัญญาณ (ที่ความถี่ด้านเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับขนาดของแรงดันด้านเอาต์พุต) กับคลื่นสัญญาณรูปสามเหลี่ยม (triangular waveform) สำหรับกำหนดความถี่ของการสวิตช์ซึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นสัญญาณของอินเวอร์เตอร์แบบพีดับบลิวเอ็ม [3]

การควบคุมความเร็วรอบของอินเวอร์เตอร์แบบพีดับบลิวเอ็ม สามารถควบคุมได้โดยไม่ต้องมีการป้อนกลับของสัญญาณที่วัดค่าความเร็วรอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรม การควบคุมความเร็วรอบของอินเวอร์เตอร์ [3]

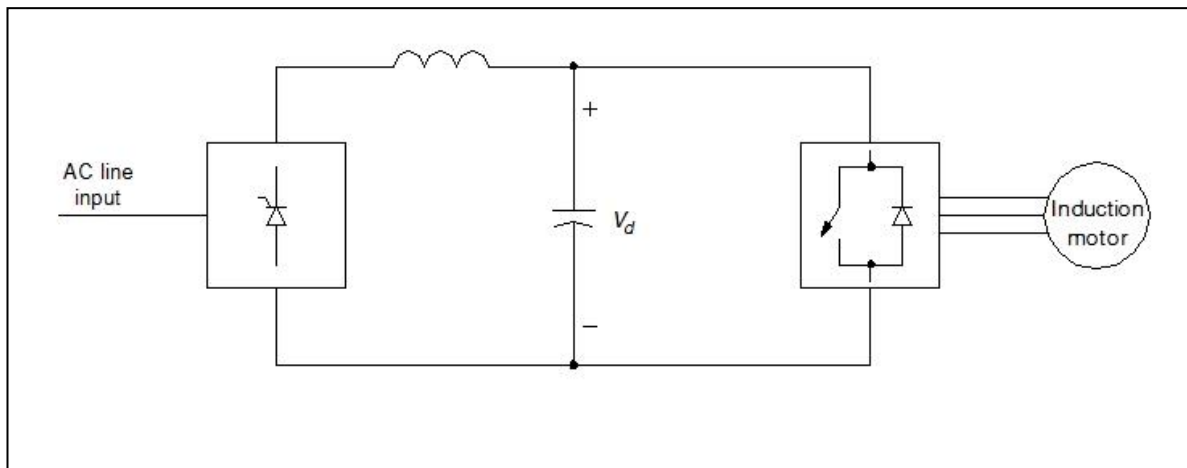
จากรูปบล็อกไดอะแกรม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 การทำงานของวงจรแต่ละส่วน มีดังนี้ วงจรควบคุมความเร็วรอบ (Speed Control Circuit) ในวงจรนี้ ความถี่ (Frequency ; f) ของแรงดันด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ ถูกควบคุมโดยสัญญาณของความเร็วรอบอ้างอิงด้านอินพุต (Input Speed Reference Signal ; w_{ref}) โดยในส่วนของตัวควบคุมพีดับบลิวเอ็ม (PWM controller) จะนำสัญญาณด้านอินพุต ได้แก่ w_s และ V_s เข้าไปประมวลผลในตัวควบคุมพีดับบลิวเอ็มร่วมกับ w_{ref} ด้วย โดยวงจรควบคุมความเร็วรอบจะรับสัญญาณความเร็วอ้างอิง w_{ref} เป็นสัญญาณอินพุตเพื่อใช้สำหรับควบคุมความถี่ของแรงดันด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ โดยผู้ใช้งานสามารถปรับอัตราเร่ง (Acceleration) หรืออัตราหน่วง (Deceleration) ของความเร็วรอบได้โดยการปรับค่าของโพเทนชิโอมิเตอร์ โดยในระหว่างการปรับอัตราเร่งหรืออัตราหน่วง เป็นเรื่องจำเป็นที่วงจรภายในอินเวอร์เตอร์ จะทำการควบคุมค่าของกระแสของมอเตอร์ (Motor Current ; i_o) และบัสของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltage ; V_d) ให้มีค่าตามที่จำกัดไว้ ดังจะเห็นได้จากมีการรับค่าสัญญาณอินพุตจาก วงจรจำกัดกระแส (Current Limiter Circuit) และตัวจำกัดแรงดันด้านบัสไฟฟ้ากระแสตรง (V_d Limiter) ถ้าการควบคุมความเร็วรอบเป็นอิสระจากแรงบิดโหลด (Load Torque) ตัวควบคุมพีดับบลิวเอ็มจะรับสัญญาณอินพุตจากตัวชดเชยสลลิป (Slip Compensation)

ในส่วนของวงจรจำกัดกระแส (Current Limiter Circuit) เป็นสิ่งจำเป็นถ้าตัวจำกัดความเร็วรอบ (Speed Ramp Limiter) ไม่ได้ถูกใช้ เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) ทำงานในโหมดของมอเตอร์ (Motor Mode) ถ้าความเร็วรอบซิงโครนัส (Synchronous Speed ; w_s) เพิ่มขึ้นมากกว่าความเร็วรอบของมอเตอร์ (Motor Speed) ดังนั้น ความเร็วสลลิป (Slip Speed ; w_{sl}) และกระแส i_o จะมามีค่าเพิ่มขึ้น จึงมีการนำกระแสของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นจริงมาเปรียบเทียบกับค่าในตัวจำกัดกระแส และผลต่างของการเปรียบเทียบที่ได้ จะถูกนำไปคำนวณในวงจรควบคุมความเร็วรอบ (Speed Control Circuit) เพื่อเป็นการจำกัดอัตราเร่ง เพื่อให้กระแสของมอเตอร์มีค่าไม่เกินค่ากระแสที่จำกัดไว้

2.5.2. อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันแบบสแควร์เวฟ (Square-wave voltage source inverter : square-wave VSI) [3]

อินเวอร์เตอร์แบบสแควร์เวฟ แสดงได้ในรูปที่ 2.3 โดยตัวอินเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดของ สแควร์เวฟ (Square-wave) ซึ่งให้ผลในแรงดันเฟส (Phase-to-Motor-Neutral Voltage)

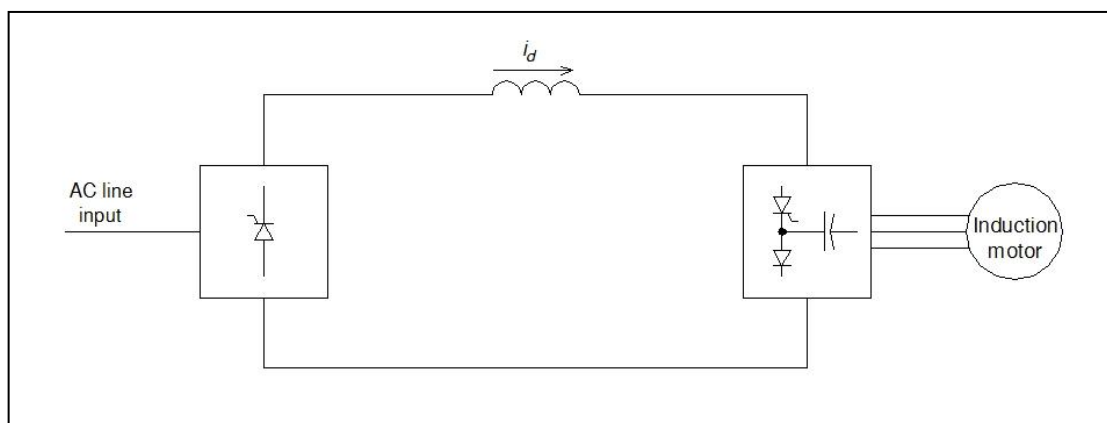
เพราะว่าอินเวอร์เตอร์ประเภทนี้ทำงานในโหมดของสแควร์เวฟ ดังนั้นขนาดของแรงดันด้านเอาต์พุตจึงถูกควบคุมโดย V_d



รูปที่ 2.4 แบบสก็เมติกไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์แบบสแควร์เวฟ

2.5.3. อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (current source inverter : CSI) [3]

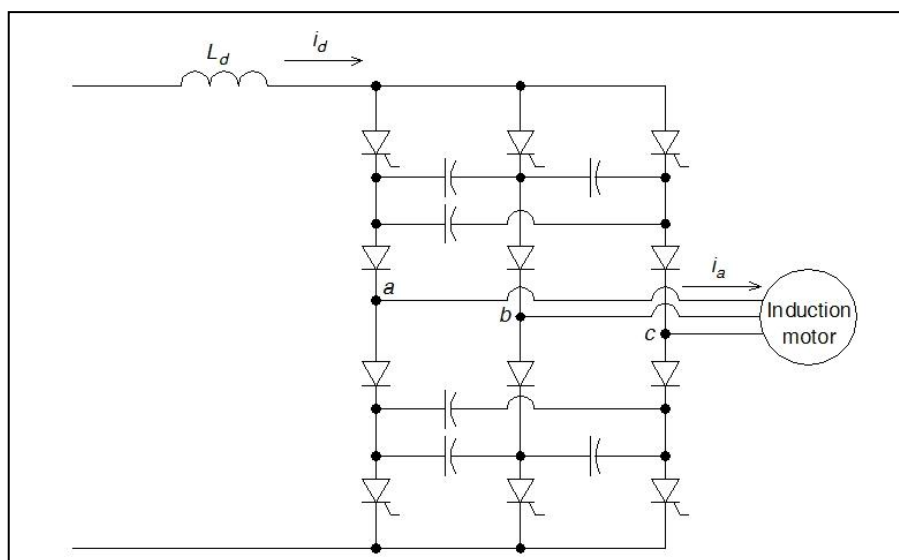
สำหรับ โครงสร้างการทำงานของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (Current Source Inverter ; CSI) แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.5 สก็เมติกไดอะแกรมอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส [3]

จากรูปสก็เมติกไดอะแกรมในรูปที่ 2.4 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแสประกอบด้วย ส่วนของวงจรเรียงกระแสแบบควบคุมเฟส (Phase-Controlled Rectifier) ตัวหนึ่งขนาดใหญ่ และ อินเวอร์เตอร์แบบ DC to AC ซึ่งตัวหนึ่งขนาดใหญ่นี้ถูกใช้สำหรับเป็นตัวเชื่อมแบบดีซี (DC-Link) และถูกกำหนดให้เป็นแหล่งจ่ายกระแสสำหรับอินเวอร์เตอร์ การทำงานของ

อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส จะมีวงจรเรียงกระแสโดยใช้ทริสเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่ง
วงจรเรียงกระแสโดยใช้ทริสเตอร์นี้ประกอบไปด้วย ไดโอด ตัวเก็บประจุ และ ตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.6 วงจรเรียงกระแสของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส [2]

2.6 ประเภทโหลดของมอเตอร์ [2]

2.6.1 โหลดแบบแรงบิดแปรผัน (Variable torque load) [2]

โหลดประเภทนี้ กำลังไฟฟ้า และ แรงบิด จะแปรผันตามความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าแบบแรงบิดคงที่ เช่น พัดลม และ ปั้มน้ำ และ ปั้มน้ำเติมอากาศ โดยเมื่อทำการปรับลดความเร็วรอบลงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ตามสมการที่ 2.3

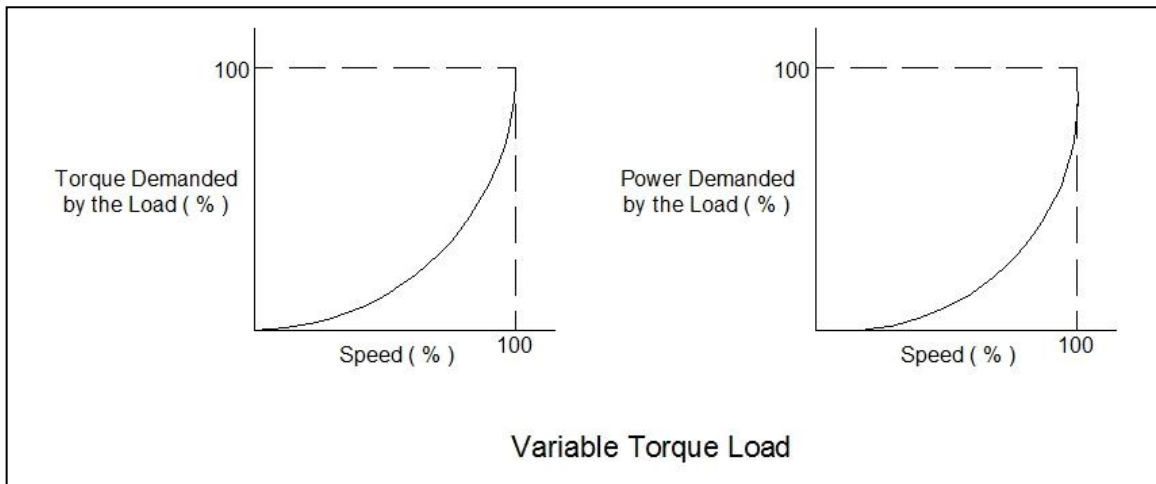
$$P_e = \left(\frac{f_r}{f_s}\right)^2 P_r \quad (2.3)$$

เมื่อ P_r : กำลังไฟฟ้าที่พิกัดระบบไฟฟ้า (kW)

P_e : กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในมอเตอร์พิกัดความถี่ของการปรับลดความเร็วรอบ (kW)

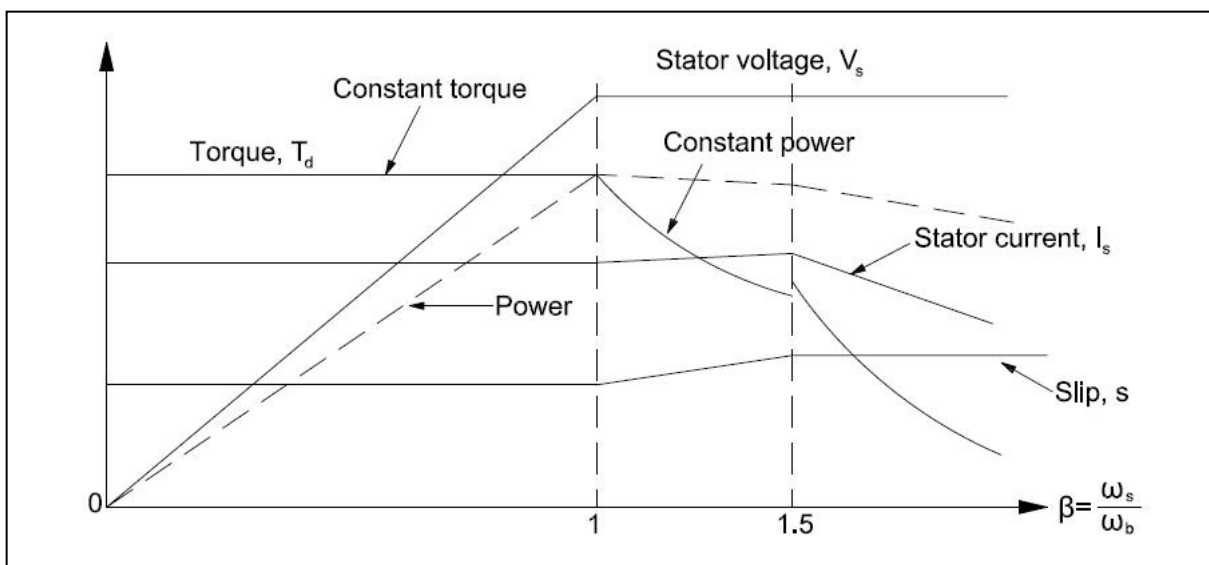
f_r : ความถี่ที่ปรับลดของมอเตอร์ (Hz)

f_s : ความถี่ที่พิกัดระบบไฟฟ้า (Hz)



รูปที่ 2.7 การควบคุมแรงบิดแปรผันของระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ [2]

2.4.2 โหลดแบบแรงบิดคงที่ (Constant torque load) [2]



รูปที่ 2.8 การควบคุมแรงบิดคงที่ของระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ [3]

ในลักษณะของกราฟการควบคุมมอเตอร์ด้วยระบบปรับความเร็วรอบแบบแรงบิดคงที่ จะให้ความสัมพันธ์ของแรงบิดมีค่าคงที่แต่แรงดันจะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในขณะที่ปรับความเร็วที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะแปรตามสัดส่วนของความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนกับความเร็วที่ปลายเพลามอเตอร์ซึ่งจะรักษาสัดส่วนของความเร็วสลลิปมอเตอร์ให้คงที่ (Slip Control) การประหยัดพลังงานในความสัมพันธ์ของกราฟการปรับความเร็วรอบ (Variable Speed Drive) มอเตอร์จะเกิดขึ้นเมื่อ มีการลดลงของความเร็วรอบ ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าปรับลดลงไปด้วย จึงทำ

ให้พลังงานที่ใช้ในย่านความเร็วต่ำถูกปรับลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น ในกรณีที่โหลดมีลักษณะต้องการแรงบิดคงที่ทุกย่านความเร็ว แต่หากใช้ระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์กับโหลดชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะต้องใช้ความสัมพันธ์ของกราฟของอุปกรณ์โหลดเข้ามาประกอบวางค่าการประหยัดพลังงาน ซึ่งให้ผลการประหยัดที่สูงกว่าระบบควบคุมความเร็วแบบแรงบิดคงที่

$$P_e = \left(\frac{f_r}{f_s}\right)P_r \quad (2.4)$$

ตัวอย่างที่ 3 มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า 400 V ความถี่พิกัด 50 Hz ใช้เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังของ Centrifugal load และ Constant Torque load โดยมีความเร็วพิกัดทดสอบอยู่ที่ 1,440 rpm คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อปรับลดแรงดันอยู่ที่ 200 V 25 Hz

จากสมการที่ (2.3) ที่โหลดแรงบิดผกผัน

$$P_e = \left(\frac{f_r}{f_s}\right)^2 P_r$$

$$P_e = \left(\frac{25}{50}\right)^2 (10 \times 746)$$

$$P_e = 1.865 \text{ kW}$$

จากสมการที่ (2.4) ที่โหลดแรงบิดคงที่

$$P_e = \left(\frac{f_r}{f_s}\right)P_r$$

$$P_e = \left(\frac{25}{50}\right)(10 \times 746)$$

$$P_e = 3.73 \text{ kW}$$

ดังนั้นการใช้งานมอเตอร์เมื่อลดความเร็วรอบลง 50 % ที่โหลดแรงบิดผกผัน สามารถประหยัดพลังงานได้ 75 % ส่วนการใช้งานมอเตอร์ที่แรงบิดคงที่ที่สามารถประหยัดพลังงานได้ 50%

2.7 การหาพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้โดยใช้การปรับความเร็วรอบมอเตอร์ [4]

2.7.1 พลังงานที่ประหยัดได้จากการใช้งาน VSD [4]

$$ES_{VSD} = n \times P \times H_{avg_usage} \times S_{SR} \quad (2.5)$$

เมื่อ ES_{VSD} : พลังงานที่ประหยัดได้จากการใช้งาน VSD (kWh/years)

n : จำนวนของมอเตอร์

P : กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์

H_{avg_usage} : ค่าเฉลี่ยการใช้งานมอเตอร์ใน 1 ปี

S_{SR} : เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ประหยัดได้ ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

2.7.2 การคำนวณการประหยัดเงินค่าไฟฟ้าต่อปี [4]

$$Saving = AES \times c \quad (2.6)$$

เมื่อ $Saving$: การประหยัดเงินในค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า (bahts/years)

AES : ค่าพลังงานที่สามารถประหยัดได้ต่อปี หน่วยเป็น (kWh/years)

c : ต้นทุนค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (bahts/kWh)

ตัวอย่างที่ 4 มอเตอร์มีจำนวน 2 ชุด กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์คือ 2.2 kW โดยมีการใช้งานวันละ 20 ชั่วโมงตลอด 1 ปี และเป็นการทำงานแบบโหลดคงที่ สามารถปรับลดความเร็วได้ 20 % ของพิกัด โดยคำนวณพลังงานและค่าใช้จ่ายพลังงานที่ประหยัดได้จากการใช้งาน VSD (kWh/years) และมีอัตราการจัดเก็บค่าไฟฟ้าแบบปกติที่อยู่นิตละ 2.40 บาท

$$\text{จากสมการที่ (2.5)} \quad ES_{VSD} = 2 \times 2.2 \times 20 \times 365 \times 20\%$$

$$\text{พลังงานที่ประหยัดได้จากการใช้งาน VSD} = 6,424 \left(\frac{kwh}{years} \right)$$

$$\text{จากสมการที่ (2.6)} \quad Saving = 6,424 \times 2.40$$

$$\text{ประหยัดเงินในค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าใน 1 ปี} = 15,417 \text{ บาท}$$

2.7.3 การคำนวณระยะเวลากลับทุน [4]

$$\text{Increment cost} = \text{Price of High efficiency motor} + \text{Price of Variable Speed Drive} \quad (2.7)$$

$$\text{Simple payback period} = \frac{\text{Increment cost}}{\text{Annual Baht saving}} \quad (2.8)$$

เมื่อ Price of Variable Speed Drive : ราคาอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

Price of High efficiency motor : ราคามอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (baht)

Price of Standard motor : ราคามอเตอร์ประสิทธิภาพมาตรฐาน (baht)

Simple payback period : ระยะเวลากลับทุนจากการเปลี่ยนมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (Years)

Increment cost : ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (baths)

Annual Baht Saving : เงินที่ประหยัดได้ต่อปี (baht)

ตัวอย่างที่ 4 มอเตอร์มีจำนวน 2 ชุด กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์คือ 2.2 kW โดยมีการใช้งานวันละ 20 ชั่วโมงตลอด 1 ปี และเป็นการทำงานแบบโหลดคงที่ สามารถปรับลดความเร็วได้ 20 % ของพิกัด และมีอัตราการจ่ายค่าไฟฟ้าแบบปกติที่ ยูนิคละ 2.40 บาท ราคาอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์แบบแรงบิดคงที่ขนาด 2.2 kW มีราคาเท่ากับ 21,000 บาท และ ราคามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงขนาด 2.2 kW มีราคาเท่ากับ 12,500 บาท หากภายในระยะเวลา 1 ปี สามารถประหยัดเงินได้ 15,000 บาทต่อปี จะใช้ระยะเวลาคืนทุนทั้งสิ้นเท่าไร

จากสมการ (2.7)

Increment cost = Price of High efficiency motor + Price of Variable Speed Drive

$$\text{Increment cost} = 2 \times (21,000 + 12,500) = 67,000 \text{ บาท}$$

จากสมการ (2.8) $\text{Simple payback period} = \frac{\text{Increment cost}}{\text{Annual Baht saving}}$

$$\text{Simple payback period} = \frac{67,000}{15,000} = 4.46 \text{ ปี}$$

ดังนั้นจะใช้เวลาคืนทุนทั้งสิ้น 4.46 ปี หรือประมาณ 4 ปี 5 เดือน

2.8 ทบทวนทฤษฎีระบบควบคุมแบบพีไอดี (PID Control system) [5]

ทำศึกษาสัญญาณระบบควบคุม ซึ่งการปรับตัวของสัญญาณปลายทาง (Output signal) โดยแทนด้วยสัญญาณ (u) มีลักษณะเช่นไร ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการควบคุมอุปกรณ์ปลายทาง (Final Control element) อาทิเช่น Control Valve , Variable Speed Drive etc. โดยในที่นี้จะทำการแทนให้ (r) คือ ค่าตั้งของระบบควบคุม (Set Point of Control System) เช่น จุดควบคุมของอุณหภูมิ (Temperature Control), ความเร็วรอบมอเตอร์ (Speed Motor), ระดับของเหลวในถังควบคุม (Liquid Level Tank), ปริมาณของออกซิเจนในน้ำเสีย (Dissolved Oxygen) และกำหนดให้ (y) คือ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการที่ได้จากเครื่องมือวัด (Process Variable of Control System) อาทิ เช่น อุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิล , อัตราการไหลของน้ำในระบบท่อ, ความเร็วรอบมอเตอร์, ปริมาณออกซิเจนในน้ำเสีย ล้วนต้องอาศัยการวัดจากเครื่องมือวัดทางกายภาพ และเปลี่ยนให้ระดับสัญญาณมาตรฐานทางการวัดคุมเพื่อ นำค่าจากเครื่องมือวัดดังกล่าวมาสู่กระบวนการควบคุม

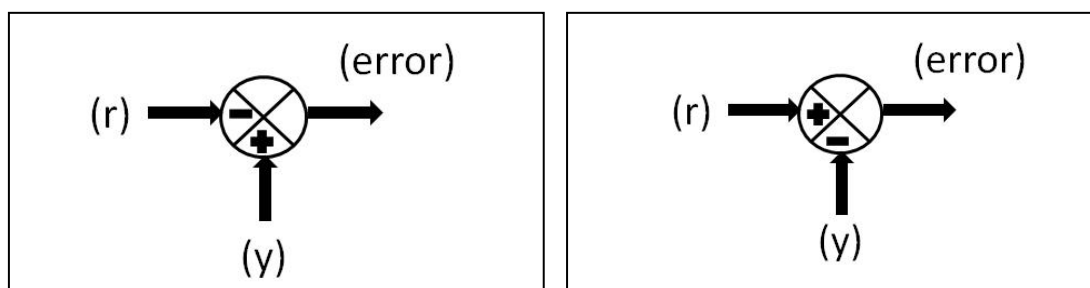
2.8.1 ทิศทางการควบคุมของระบบควบคุม [5]

การเลือกทิศทางของระบบควบคุม (Direction of Control System) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ทิศทาง คือแบบ การควบคุมแบบทางตรง (Direct Control) และการควบคุมแบบกลับทาง (Reverse Control) ซึ่งในทั้ง 2 ทิศทางมาจากการนำผลของค่าผิดพลาด (Error) มาเป็นตัวป้อนให้กับ การคำนวณแบบ PID ซึ่งหากการเลือกทิศทางของระบบควบคุมไม่ถูกต้องจะทำให้ผลการคำนวณแบบ PID ไม่สามารถเข้าสู่เสถียรภาพ (Unstable) ได้สำเร็จ

1) การควบคุมแบบทางตรง (Direct Control) โดยจะมีลักษณะของการปรับเพิ่มลดของ (u) สัญญาณปลายทาง (Output signal) จะมีทิศทางแบบแปรผันตรงกับ (y) ค่าเปลี่ยนแปลงของ กระบวนการที่ได้จากเครื่องมือวัด (Process Variable of Control System) โดยตัวอย่าง (y) กระบวนการวัดระดับน้ำในถังมีอัตราความสูงเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้ (u) สัญญาณปลายทางมีการปรับตัวเพื่อเปิดวาล์วควบคุมให้มีอัตราการไหลเข้าของน้ำให้เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\text{Process Variable of Control System} - \text{Set Point of Control System} = \pm \text{Error} \quad (2.9)$$

$$(y) - (r) = \pm \text{Error} \quad (2.10)$$



ก) การควบคุมแบบทางตรง (Direct Control)

ข) การควบคุมแบบกลับทาง (Reverse Control)

รูปที่ 2.9 ภาพทิศทางของระบบควบคุมทั้งแบบทางตรงและกลับทาง

2) การควบคุมแบบกลับทาง (Reverse Control) โดยจะมีลักษณะของการปรับเพิ่มลดของ (u) สัญญาณปลายทาง (Output signal) จะมีทิศทางแบบแปรผกผันตรงกับ (y) ค่าเปลี่ยนแปลงของ กระบวนการที่ได้จากเครื่องมือวัด (Process Variable of Control System) โดยตัวอย่าง (y) กระบวนการวัดระดับน้ำในถังมีอัตราความสูงเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้ (u) สัญญาณปลายทางมีการปรับตัวเพื่อเปิดวาล์วควบคุมให้มีอัตราการไหลเข้าของน้ำให้ลดลงด้วย ซึ่งในที่นี้ผลของการควบคุมจะให้ผลที่

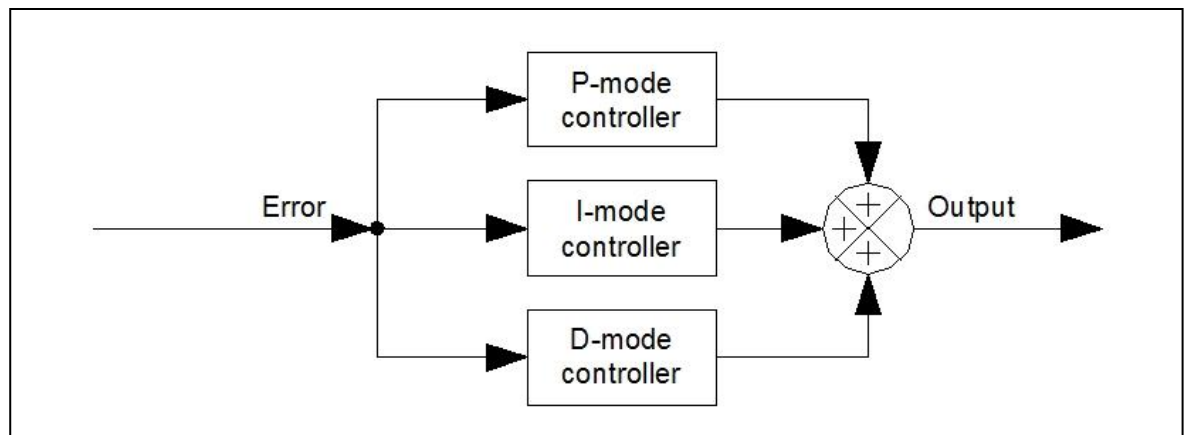
ตรงกันข้ามกับการควบคุมแบบทางตรง (Direct Control) อีกด้วย โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Set Point of Control System} - \text{Process Variable of Control System} = \pm \text{Error} \quad (2.11)$$

$$(r) - (y) = \pm \text{Error} \quad (2.12)$$

2.8.2 การควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral Derivative : PID) [5]

ระบบควบคุมแบบ PID มาจากการรวมกันของการควบคุม 3 เทอม ด้วยกันได้แก่ Proportional Integral และ Derivative โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.10 ระบบควบคุม PID (Proportional Integral Derivative) [5]

Time Equation

Controller output = proportional controller output + integral controller output
+ derivative controller output

$$V_o = k_p e + k_i \int e dt + k_d \frac{de}{dt} \quad (2.13)$$

Transfer Function

ใช้ Laplace Transformation ทั้งสองข้างของสมการที่ (2.13)

$$V(s) = K_p E(s) + \frac{K_i E(s)}{s} + s K_D E(s)$$

$$V(s) = [K_p + \frac{K_i}{s} + s K_D] E(s)$$

ทำการจัดเทอมของ Transfer Function ใหม่ จะได้เป็น

$$\frac{V(s)}{E(s)} = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_i}{s}$$

$$\text{TF} = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (2.14)$$

ทำ Transfer Function ในสมการที่ (2.14) ทำการจัดรูปฟอร์มใหม่จะได้เป็น

$$\frac{V(s)}{E(s)} = \frac{K_I(\frac{K_D}{K_I}s^2 + \frac{K_P}{K_I}s + 1)}{s}$$

$$TF = \frac{K_I(\frac{K_D}{K_I}s^2 + \frac{K_P}{K_I}s + 1)}{\frac{1}{K_I}s}$$

$$TF = \frac{A_2s^2 + A_1s + 1}{\tau s}$$

เมื่อ

$$A_2 = \frac{K_D}{K_P}$$

$$= \frac{1}{\omega_n^2}$$

$$A_1 = \frac{K_P}{K_I}$$

$$= \frac{2\zeta}{\omega_n}$$

ω_n : natural frequency of oscillation

ζ : damping ratio

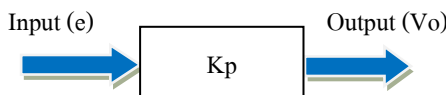
τ : integral time constant

$$= \frac{1}{(\text{integral})\text{break frequency}}$$

$$= \frac{1}{K_I}$$

1) การควบคุมแบบ Proportional [5]

ในส่วนการควบคุมแบบ Proportional หรือ P Control เป็นการนำสัญญาณ error ที่ได้จากระบบการข้างต้นนำมาขยายโดยทำการคูณเข้ากับ อัตราการขยายที่ได้จัดเตรียมเพื่อทำการทดสอบ โดยมี



รูปที่ 2.11 การควบคุมแบบ Proportional

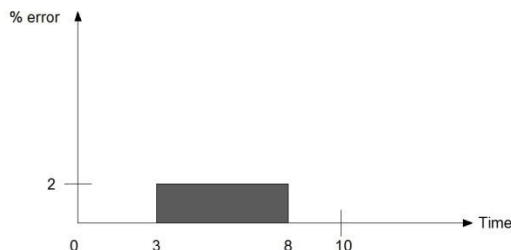
สมการระบบควบคุม P Control

$$V_o = K_p \times e \tag{2.15}$$

เมื่อ

- e : error input
- V_o : controller Output
- K_p : controller gain

ตัวอย่างที่ 5 ระบบควบคุมแบบ Proportional มีอัตราขยาย 10 จงคำนวณหาสัญญาณที่ส่งออกมาว่ามีขนาดเท่าใด และ สัญญาณ error ป้อนเข้ามีขนาด 2 หน่วย โดยมีช่วงเวลาการควบคุม T = 0-10 sec.

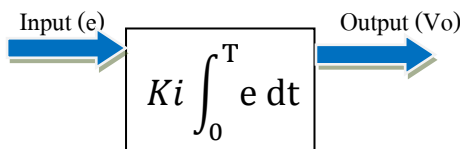


รูปที่ 2.12 สัญญาณ Input error ป้อนเข้าสู่การขยายแบบ P Control

$$\begin{aligned}
 V_o &= K_p \times e \\
 &= 10 \times 2 \\
 P \text{ control} &= V_o = 20 \text{ unit}
 \end{aligned}$$

2) การควบคุมแบบ Integral [5]

การควบคุมแบบ Integral Control หรือ I Control เป็นการนำสัญญาณ error ที่ได้จากกระบวนการข้างต้นนำมาคำนวณด้วย วิธีการอินทิเกรตจำกัดเขต โดยนำผลของ Error เทียบต่อแกนเวลาในระบบควบคุม



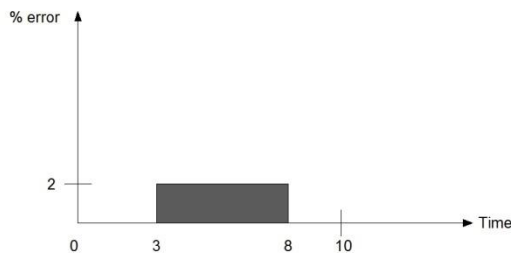
รูปที่ 2.13 การควบคุมแบบ Integral

สมการระบบควบคุม I Control

$$V_o = k_i \int_0^T e dt \tag{2.16}$$

- เมื่อ e : error input to controller (from $t = 0$ to time $t = T$)
- V_o : controller Output
- K_i : Integral Constant (gain or coefficient)

ตัวอย่างที่ 6 จงหาผลของ สัญญาณควบคุมจากช่วงเวลา 0-10 sec โดยใช้ผลสัญญาณ error เป็นสัญญาณป้อนเข้า โดยมีค่าอัตราการขยายตัวของ K_i (Integral Constant) เท่ากับ 1.5%/s



รูปที่ 2.14 สัญญาณ Input error ป้อนเข้าสู่การขยายแบบ I Control

Error จาก 0 to 3 s: $e(t) = 0$

Error จาก 3 to 8 s: $e(t) = 2\%$

Error จาก 8 to 10 s: $e(t) = 0$

ผลตอบสนองของสัญญาณปลายทางระบบควบคุมแบบ I Control สามารถหาได้ดังนี้ตามสมการที่ (2.16)

$$Vo = ki \left[\int_0^3 e dt + \int_3^8 e dt + \int_8^{10} e dt \right]$$

แทนค่าลงในสมการ

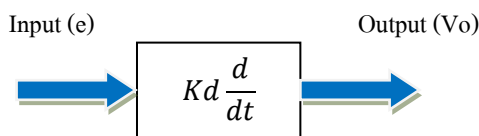
$$Vo = 1.5\%/s/\% \left[\int_0^3 0 dt + \int_3^8 2\% dt + \int_8^{10} 0 dt \right]$$

$$Vo = 1.5\%/s/\% \left[\int_3^8 2\% dt \right]$$

$$I Control = Vo = 15 \%$$

3) การควบคุมแบบ Derivative [5]

การควบคุมแบบ Derivative Control หรือ D Control เป็นการนำสัญญาณ error ที่ได้จากกระบวนการข้างต้นนำมาคำนวณด้วยวิธีการทำอนุพันธ์อันดับที่ 1 ที่ช่วงเวลาหนึ่ง โดยนำผลของ Error เทียบต่อแกนเวลาในระบบควบคุม และหาผลของอนุพันธ์จากค่าของ error ที่ป้อนเข้า $\left(\frac{de}{dt}\right)$



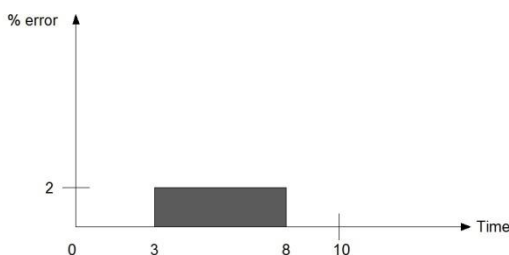
รูปที่ 2.15 การควบคุมแบบ Derivative Control

สมการระบบควบคุม D Control

$$Vo = kd \frac{de}{dt} \tag{2.17}$$

เมื่อ $\frac{de}{dt}$: rate of change of error (at time t)
 V_o : controller Output
 K_d : Derivative Constant(gain or coefficient)

ตัวอย่างที่ 7 จงหาผลของ สัญญาณควบคุมจากช่วงเวลา 0-10 sec โดยใช้ผลสัญญาณ error เป็น สัญญาณป้อนเข้า โดยมีค่าอัตราการขยายตัวของ K_d (Derivative Constant) เท่ากับ 2 %/s โดยใช้ ภาพสัญญาณป้อนเข้าตามรูป



รูปที่ 2.16 สัญญาณ Input error ป้อนเข้าสู่การขยายแบบ D Control

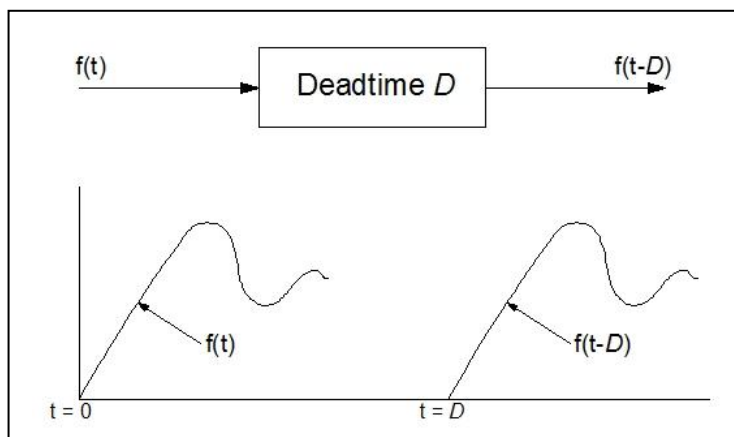
โดย $V_o = kd \frac{de}{dt}$
 ที่ T= 0 -10 sec $V_o = Kd \left(\frac{de1}{dt} + \frac{de2}{dt} + \frac{de3}{dt} \right)$
 $V_o = 2\%/s \left(\frac{d(0)}{dt} + \frac{d(2)}{dt} + \frac{d(0)}{dt} \right)$
 $D \text{ control} = V_o = 0\%$

โดยเมื่อนำผลของสัญญาณ output ที่คำนวณได้ของทั้ง 3 ส่วนมารวมกัน เป็นคำตอบสุดท้ายของ PID จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Output PID} &= P + I + D & (2.18) \\ &= 20\% + 15\% + 0\% \\ \text{Output PID} &= 35\% \end{aligned}$$

2.8.3 ระบบหน่วงเวลา (Delay Time) [5]

ระบบหน่วงเวลา (Delay Time) หรือ Deadtime) จะถูกใช้เข้ามาร่วมกันในการคำนวณของ กระบวนการ ระบบควบคุมที่มีการส่งผ่านในระยะไกล เช่นการควบคุมอัตราการไหลในท่อ จาก ของไหลต้นทางสู่ปลายทาง โดยตัวท่อนี้คือส่วนอุปกรณ์ที่เป็น Deadtime ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของ ค่าการคำนวณ PID แล้ว สัญญาณสุดท้ายที่ถูกส่งออกไป จะเกิดการเลื่อนของเวลาในกระบวนการ ไป ดังเช่นระบบท่อควบคุมเมื่อมีการปรับอัตราการไหลต้นทางแล้ว จำเป็นต้องใช้เวลาอีกช่วงเวลา หนึ่ง จึงจะสามารถได้การเปลี่ยนแปลงเชิงกระบวนการของปลายทางการควบคุมนั้น



รูปที่ 2.17 ผลกระทบของ Deadtime

เมื่อเราทำ Laplace-transform กับฟังก์ชัน $f(t-D)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ถูกหน่วงเวลาด้วย Deadtime โดยการ Laplace transform ถูกกำหนดดังสมการ (2.19)

$$L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt = F(s) \quad (2.19)$$

ตัวแปร t ในสมการ (2.19) เรียกว่า “dummy variable” ของการอินทิเกรต ทำการลดรูปฟังก์ชันด้วยตัวแปร s เราทำการเขียนสมการที่ (2.19) ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้เป็น

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(y)e^{-sy} dy \quad (2.20)$$

เมื่อ y เป็น dummy variable ของการอินทิเกรต และกำหนดให้ $y = t - D$ ทำการแทนค่า $y = t - D$ นี้ลงในสมการที่ (2.20) จะได้เป็น

$$\begin{aligned} F(s) &= \int_0^{\infty} f(t - D)e^{-s(t-D)} d(t - D) \\ &= e^{Ds} \int_0^{\infty} f(t - D)e^{-st} dt \\ F(s) &= e^{Ds} L[f(t - D)] \end{aligned} \quad (2.21)$$

ดังนั้น

$$L[f(t - D)] = e^{-Ds} F(s) \quad (2.22)$$

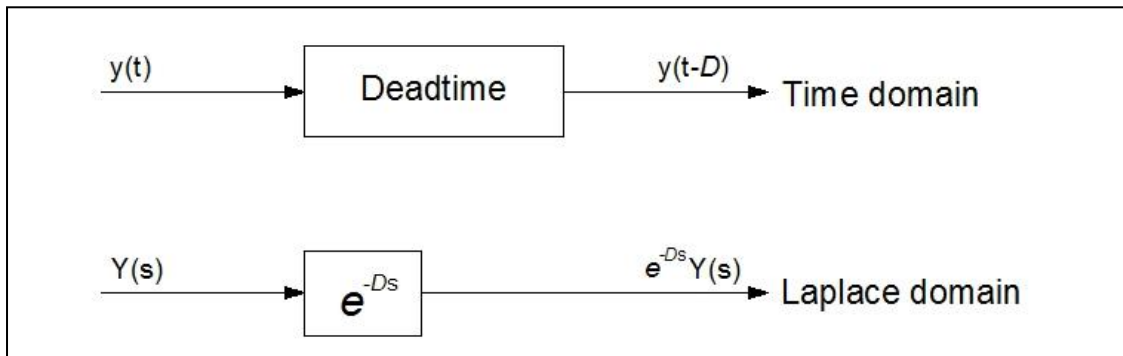
ดังนั้น Time delay หรือ Deadtime ใน Time domain จึงเทียบเคียงได้กับการคูณกันระหว่าง e^{-Ds} กับ Laplace domain ถ้า input ที่เข้าสู่ deadtime element คือ $u(t)$ และ output ของ deadtime คือ $y(t)$ ดังนั้น u และ y จะสัมพันธ์กันดังสมการ

$$y(t) = u(t - D)$$

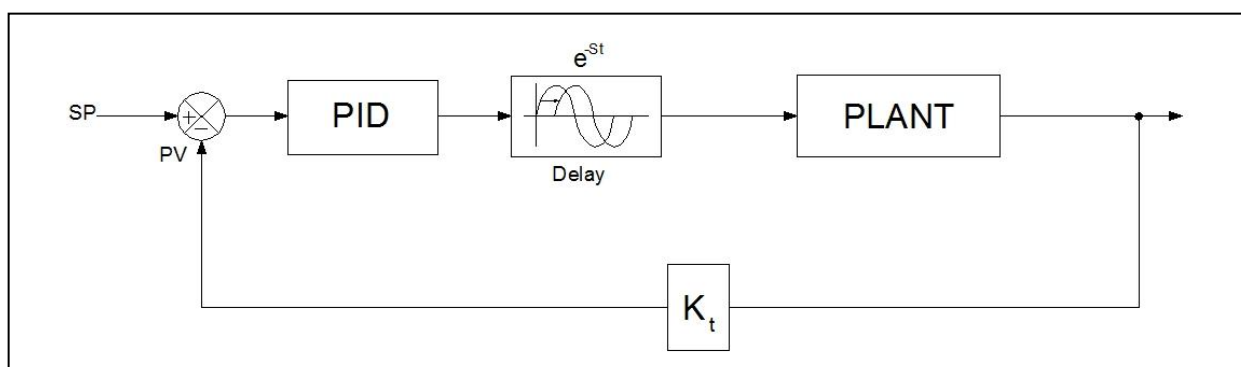
และในรูปแบบของ Laplace domain

$$Y(S) = e^{-Ds} U(S)$$

ดังนั้น Transfer function ระหว่าง ตัวแปร Output และตัวแปร Input ของ pure deadtime คือ e^{-Ds}
 ดังรูปที่ 2.17



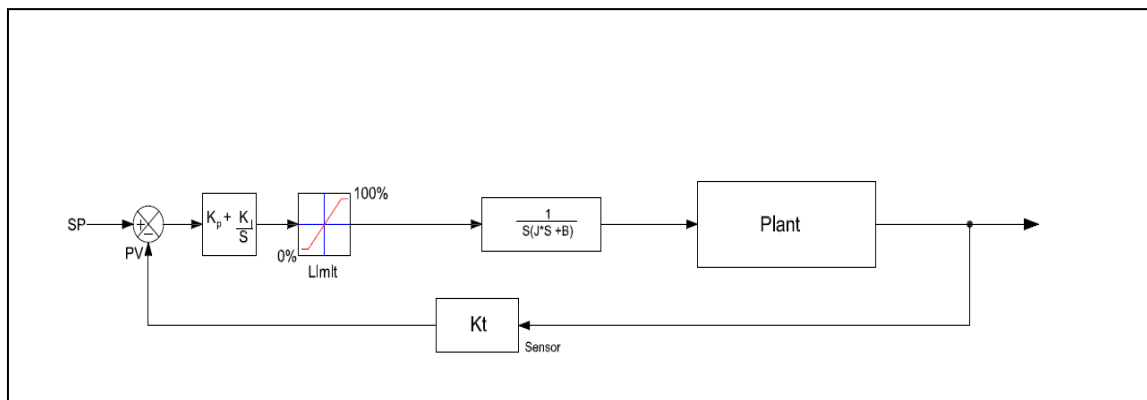
รูปที่ 2.18 Transfer function ของ Deadtime [4]



รูปที่ 2.19 ลักษณะการวางตำแหน่งของ Delay Time [4]

2.8.4 การใช้งานระบบหน่วงเวลา (Delay Time Control) [5]

โดยลักษณะของการควบคุม ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมในกระบวนการต่าง ๆ อาทิเช่น ระบบควบคุมระดับน้ำ (Level Control), ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Motor & Drive Speed Control), ระบบควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control) ซึ่งเป็นระบบที่จะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ PID (Proportional Integral Derivative) ซึ่งหลังจากสัญญาณ Error ผ่านเข้าสู่เกณฑ์ขยายของชุดควบคุมแบบ PID แล้ว จะส่งสัญญาณไปหาอุปกรณ์ควบคุมปลายทาง (Final Control Element) ซึ่งจะมีเวลาที่ถูกลื่อนออกไป (Time Shifting) อันเนื่องมาจากการตอบสนองของอุปกรณ์ควบคุมที่มีความรวดเร็วแม่นยำที่แตกต่างกัน จึงทำให้ต้องนำผลของ Time Shifting ในรูปแบบของ Delay Time นำเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลอง



รูปที่ 2.20 ระบบ Delay Time ด้วยผลของ Moment of Inertia (J) และ Friction (B)

โดยสามารถยกตัวอย่างให้เห็นได้ ในงานวิจัยชิ้นนี้คือ อุปกรณ์ประเภทปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive) จะสามารถตั้งการตอบสนองของเวลาหลังจากเอาท์พุทของ PID ได้ ตั้งแต่ 0.1 – 300 วินาที (second) เพราะเนื่องจากในแต่ละกระบวนการควบคุมมีการตอบสนองเชิงเอาท์พุทของ PID ได้รวดเร็วไม่เท่ากัน ซึ่งหากในงานประเภท Motor & Drive นี้ นำไปควบคุมอุปกรณ์ประเภทชุดมอเตอร์เกียร์หรืออุปกรณ์ที่มีแรงบิดสูง นั้นจำเป็นต้องนำส่วนที่เป็น แรงเฉื่อยและความฝืดของโหลดมอเตอร์ เข้ามาเป็นส่วนในการสร้าง Delay Time ของระบบควบคุม จึงทำให้การประมวลผลแบบจำลองถูกต้อง โดยค่าของ Moment of Inertia (J) และ Friction (B) สามารถหาข้อมูลได้จากผู้จำหน่ายมอเตอร์ หรือข้อมูลของเครื่องจักรที่ใช้มอเตอร์นั้นเป็นส่วนประกอบ

หากการตั้งระบบ Delay Time ไม่เหมาะสม จะส่งผลให้กระบวนการการผลิตในส่วนนั้นเสียหายได้ อาทิเช่น ในงานประเภทอุตสาหกรรมกระดาษ หากมีการปรับตัวของความเร็วรอบที่รวดเร็วเกินไปโดยที่ไม่ได้มีส่วนของการตอบสนองของ Delay Time Control กระดาษที่ผลิตออกมาได้ อาจจะขาดหรือเสียหาย จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญส่วนหนึ่งในงานวิจัยการจดทำแบบจำลองด้วย MATLAB Simulink ชิ้นนี้ เนื่องจากงานชิ้นนี้เป็นงานที่ใช้แบบจำลองของมอเตอร์ที่ส่งผ่านเกียร์เพื่อสร้างแรงบิดสูง โดยจะส่งกำลังออกไปขับเคลื่อนระบบเดิมอากาศที่ผิวน้ำ โดยหาก Delay Time Control มากเกินไป ก็จะทำให้การปรับความเร็วรอบไม่ตอบสนองต่อปริมาณของน้ำเสียที่เข้ามาได้ทันทั่วทั้งที่

บทที่ 3

อัตราตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์

3.1 งบลงทุนเบื้องต้น [6]

มีปัจจัยหลายประการ ที่ทำให้งบลงทุน (Capital Budgeting) สำหรับผู้บริหารการเงิน และ ทีมงานทางการเงิน ประการแรก ผลของการตัดสินใจในเรื่องของงบลงทุนนั้น จะส่งผลต่อเนื่อง ผูกพันเป็นระยะเวลาหลายปี ซึ่งอาจจะทำให้บริษัทขาดความยืดหยุ่นได้ ตัวอย่างเช่น การซื้อ สิทธิบัตรซึ่งมีอายุ 10 ปี จะทำให้บริษัทต้องใช้สิทธิบัตรนั้น (Lock-in) เป็นเวลา 10 ปี นอกจากนี้ เนื่องจากการเพิ่มสิทธิบัตรนั้น จะขึ้นอยู่กับผลการคาดการณ์ยอดขายในอนาคต การตัดสินใจซื้อ สิทธิบัตรซึ่งคาดว่าจะมีอายุ 10 ปีนั้น ก็ต้องคาดการณ์ยอดขายถึง 10 ปี ประการสุดท้ายการตัดสินใจ ในเรื่องของงบลงทุนของบริษัท จะเป็นตัวกำหนดทิศทางในเชิงกลยุทธ์ของบริษัท เนื่องจากการที่ บริษัทจะออกผลิตภัณฑ์หรือบริการเข้าสู่ตลาดใหม่นั้น ต้องใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูง

ความผิดพลาดในการพยากรณ์ความต้องการสิทธิบัตร อาจจะทำให้เกิดปัญหาตามมาเป็น อย่างมาก ถ้าบริษัทลงทุนมากเกินไป จะทำให้เกิดค่าเสื่อมราคาและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ สูงเกินความ จำเป็น ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีการลงทุนไม่เพียงพอ อาจจะทำให้ปัญหาขึ้นสองประการ คือ ประการ แรก เครื่องจักรและอุปกรณ์รวมทั้ง Software ของคอมพิวเตอร์อาจจะไม่ทันสมัยพอ ที่จะผลิตสินค้า ที่ทำให้สามารถแข่งขันได้ ประการที่สอง ถ้ากำลังการผลิตไม่เพียงพอ อาจจะทำให้เสียส่วนแบ่ง การตลาดให้คู่แข่งได้ และการที่จะได้ลูกค้าที่สูญเสียไปกลับมา อาจจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขาย เป็นอย่างมาก เช่น ต้องมีการลดราคา หรือต้องมีการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น ซึ่งก็จะมีต้นทุน เพิ่มขึ้นทั้งนั้น

งบลงทุนที่มีประสิทธิภาพนั้น จะสามารถช่วยปรับปรุงได้ทั้งเวลาและคุณภาพของ สิทธิบัตร ถ้าบริษัทมีการพยากรณ์ความต้องการสิทธิบัตรที่ใช้ในการผลิตล่วงหน้า ก็จะสามารถซื้อ และติดตั้งสิทธิบัตรก่อนความต้องการใช้ได้ แต่บริษัทโดยส่วนมาก จะไม่สั่งซื้อสิทธิบัตร จนกว่า กำลังการผลิตนั้น ๆ จะใกล้เต็ม ถ้ายอดขายเพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้องการ โดยทั่วไปในท้องตลาด บริษัททุกบริษัทในอุตสาหกรรมนั้น ๆ ก็มีแนวโน้มที่จะสั่งซื้อสิทธิบัตรในเวลาเดียวกัน ซึ่งก็จะทำ ให้เกิดปัญหาว่าต้องเสียเวลารอเครื่องจักรนาน และอาจได้เครื่องจักรที่มีคุณภาพไม่ดี ก็เท่ากับว่าทำ ให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น บริษัทที่มีการพยากรณ์ความต้องการของสิทธิบัตรที่ต้องใช้ในการ ลงทุนไว้ก่อน จะสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้ ถ้าบริษัทมีการพยากรณ์ว่าความ

ต้องการสินค้าจะเพิ่มขึ้นจึงทำการขยายกำลังการผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการสินค้านั้น แต่ถ้ายอดขายไม่เพิ่มขึ้นตามที่คาด บริษัทก็ต้องแบกภาระต้นทุนที่สูงไว้ ซึ่งอาจจะทำให้บริษัทขาดทุน หรือแม้กระทั่งล้มละลายได้ ความถูกต้องของการพยากรณ์ยอดขายจึงเป็นเรื่องสำคัญมาก

ในเรื่องของงบลงทุน (Capital Budgeting) นั้น จะต้องใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูง และก่อนที่บริษัทจะมีการใช้เงินในการลงทุนนั้น บริษัทต้องมีแผนการจัดหาเงินทุนไว้ล่วงหน้านานพอที่จะมั่นใจได้ว่า จะสามารถหาเงินทุนได้เพียงพอเมื่อมีความต้องการใช้

3.2 ลักษณะโครงการของงบลงทุน [6]

ในการวิเคราะห์โครงการต่าง ๆ นั้น จะมีต้นทุนเกิดขึ้นทั้งสิ้น โครงการบางประเภท อาจจะต้องวิเคราะห์โดยละเอียดกว่าโครงการอีกประเภทหนึ่ง หรือในบางครั้ง วิธีการวิเคราะห์ของโครงการแต่ละประเภท อาจจะแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตาม ลักษณะของโครงการต่าง ๆ โดยทั่วไปในเรื่องของงบลงทุน สามารถแบ่งได้ดังนี้

3.2.1 โครงการซื้อเครื่องจักรใหม่ทดแทนเครื่องจักรเก่าที่หมดอายุ (Replacement : maintenance of business) โครงการประเภทนี้อาจจะไม่ต้องวิเคราะห์ละเอียดมาก เนื่องจากถ้าธุรกิจดำเนินมาด้วยดี ก็คงจะต้องดำเนินต่อไปในอนาคต (Going concern)

3.2.2 โครงการซื้อเครื่องจักรใหม่ทดแทนเครื่องจักรเก่าที่ยังใช้งานได้ (Replacement : cost reduction) โครงการประเภทนี้ บริษัทอาจจะยอมลงทุนซื้อเครื่องจักรใหม่ มาแทนเครื่องจักรเก่าที่ยังใช้งานได้ เนื่องจากบริษัทพิจารณาแล้วว่า เครื่องจักรใหม่สามารถให้ประโยชน์กับบริษัทได้มากกว่า เช่น ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ช่วยลดค่าซ่อมแซมเครื่องจักรเก่า ลดค่าแรงงาน และมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่า ทำให้ได้ผลผลิตมากกว่าเดิม เป็นต้น

3.2.3 โครงการขยายผลิตภัณฑ์เดิม (Expansion of existing products or markets) เป็นการเพิ่มผลผลิตของผลิตภัณฑ์เดิม พร้อม ๆ กับการสร้างตลาดใหม่ให้แก่ผลิตภัณฑ์เดิมอีกด้วย ซึ่งในการวิเคราะห์โครงการประเภทนี้ จะมีความยุ่งยากมาก เนื่องจากต้องมีการพยากรณ์ความต้องการของสินค้าในตลาดใหม่ ๆ ซึ่งอาจจะผิดพลาดได้ง่าย

3.2.4 โครงการขยายผลิตภัณฑ์ใหม่ (Expansion into new products or markets) เป็นการคิดค้นพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ พร้อมทั้งการขยายตลาด ซึ่งอาจจะเปลี่ยนลักษณะการดำเนินงานของธุรกิจไปจากเดิม การวิเคราะห์อาจจะต้องลงในรายละเอียดมากขึ้น และอาจจะต้องให้ผู้บริหารหลาย ๆ ฝ่ายมาร่วมในการตัดสินใจด้วย

3.2.5 โครงการเพื่อความปลอดภัยและคุ้มครองสิ่งแวดล้อม (Safety and/or environmental projects) โครงการประเภทนี้อาจจะถูกกำหนดโดยกฎหมาย (mandatory investments) และมักจะเป็นโครงการที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (nonrevenue-producing projects) แต่บริษัทจำเป็นต้องทำ เช่น โครงการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

3.2.6 โครงการประเภทอื่น ๆ (Other) เช่น การสร้างสำนักงานใหม่ หรือ การสร้างที่จอดรถใหม่ เป็นต้น

โดยปกติแล้วในเรื่องของการตัดสินใจซื้อเครื่องจักรใหม่เพื่อทดแทนของเก่า (replacement decisions) ที่หมดอายุแล้วนั้น การคำนวณจะค่อนข้างไม่ยุ่งยากแต่อาจจะต้องมีการวิเคราะห์ละเอียดลงไปอีก ในกรณีของการซื้อเครื่องจักรใหม่ เพื่อทดแทนเครื่องจักรเก่าที่ยังใช้งานได้อยู่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนต่าง ๆ ลง หรือ โครงการขยายผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่เดิม โดยเฉพาะการลงทุนในผลิตภัณฑ์ใหม่หรือการเข้าสู่ตลาดใหม่ ๆ จะยังมีความยุ่งยากมากขึ้น และในแต่ละรายการของโครงการแต่ละโครงการนั้น จะต้องแสดงในรูปของตัวเงิน ถ้าโครงการลงทุนมีขนาดใหญ่ รายละเอียดจะยิ่งมากขึ้น และจะต้องได้รับการอนุมัติจากผู้บริหารระดับสูง เช่น ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเครื่องจักรเพียง 10,000 บาท อาจอยู่ในอำนาจของผู้จัดการโรงงาน และไม่ต้องใช้การวิเคราะห์ที่ยุ่งยากมาก แต่โครงการลงทุนที่ใช้เงินลงทุนตั้งแต่ 1 ล้านบาทขึ้นไป อาจจะต้องได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการบริษัท ส่วนคำว่า “สินทรัพย์” (assets) นั้น มีความหมายมากกว่าอาคารหรือเครื่องจักร เช่น computer software ที่บริษัทพัฒนาขึ้น เพื่อช่วยให้การสั่งซื้อวัตถุดิบมีประสิทธิภาพดีขึ้น หรือใช้ในการติดต่อกับลูกค้านั้นก็ถือเป็นสินทรัพย์ด้วย ตัวอย่างเช่น บริษัท AOL ได้ส่ง CD ให้แก่ผู้ที่มีแนวโน้มจะเป็นลูกค้าในอนาคตฟรี เป็นต้น ซึ่งสินทรัพย์ที่ไม่มีตัวตน (intangible assets) เหล่านี้ จะไม่เหมือนกับสินทรัพย์ที่มีตัวตน (tangible assets) แต่ในการตัดสินใจลงทุนนั้นจะต้องวิเคราะห์เช่นเดียวกับสินทรัพย์ที่มีตัวตน

3.3 วิธีการประเมินโครงการลงทุน [6]

ในการที่จะตัดสินใจลงทุนในโครงการลงทุนต่าง ๆ นั้น จะมีวิธีที่ใช้ในการประเมิน ดังนี้

3.3.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB)

3.3.2 ระยะเวลาคืนทุนที่คำนึงถึงมูลค่าปัจจุบัน (Discounted Payback Period : DPB)

3.3.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)

3.3.4 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)

3.3.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) [6]

โครงการลงทุนสองโครงการ คือ โครงการ S และ L ซึ่งใช้เงินลงทุนเท่ากัน และทั้งสองโครงการมีอายุ 4 ปี โดยมีกระแสเงินสดสุทธิ (หลังหักภาษี) เป็นดังนี้

| ปี | โครงการ S | โครงการ L |
|----|-----------|-----------|
| 0 | (฿1,000) | (฿1,000) |
| 1 | 500 | 100 |
| 2 | 400 | 300 |
| 3 | 300 | 400 |
| 4 | 100 | 600 |

รูปที่ 3.1 กระแสเงินสดสุทธิของโครงการ S และ L [6]

ระยะเวลาคืนทุน (Payback period) จะดูว่าเมื่อลงทุนไปแล้ว ใช้เวลาเท่าใด (เช่นกี่ปี) จึงจะคืนทุนโครงการ S ใช้เงินลงทุน ณ ปีปัจจุบัน (ปีที่ 0) เท่ากับ 1,000 บาท และโครงการนี้จะก่อให้เกิดกระแสเงินสดสุทธิ (หลังหักภาษี) ในปีแรกเท่ากับ 500 บาท ซึ่งจะเห็นว่ายังไม่คืนทุนที่ลงไป 1,000 บาท ในปีที่ 2 ได้รับเงินสดสุทธิอีก 400 บาท รวมเป็น 900 บาท ก็ยังไม่คืนทุนโดยยังขาดอีก 100 บาท สำหรับในปีที่ 3 ทั้งปี จะได้รับกระแสเงินสดสุทธิทั้งหมด 300 บาท แต่เราก็ตึงขาดอีก 100 บาทจึงจะครบ 1,000 บาท เท่ากับที่ได้ลงทุนไป ดังนั้น เงินสดสุทธิ 100 บาท ในส่วนของปีที่ 3 จะใช้เวลาเพียง 1/3 ปี เท่านั้น สรุปก็คือ สำหรับโครงการ S ต้องใช้ระยะเวลาทั้งหมด 2.3 ปี หรือ 2 ปี 4 เดือน จึงจะคืนทุน หรือถ้าจะใช้สูตรในการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน จะเป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{จำนวนปีก่อนคืนทุน} + \frac{\text{กระแสเงินสดส่วนที่เหลือ}}{\text{กระแสเงินสดทั้งปี}} & (4.1) \\
 &= 2 + (\text{฿}100/\text{฿}300) \\
 &= 2.33 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$

ในทำนองเดียวกันสำหรับโครงการ L จะพบว่าระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3.33 ปี หรือ 3 ปี 4 เดือน

เกณฑ์ในการตัดสินใจคือ ถ้าต้องเลือกโครงการใดโครงการหนึ่ง เพียงโครงการเดียว จะเลือกโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นกว่า แต่ถ้าสามารถเลือกได้ทุกโครงการ (กรณีมีเงินทุนไม่จำกัด) จะเลือกทุกโครงการที่ระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

ข้อเสียของวิธีระยะเวลาคืนทุน [6]

1) ไม่คำนึงถึงมูลค่าของเงินตามเวลา (time value of money) โดยปกติแล้ว ในการลงทุน มักจะต้องจ่ายเงินลงทุนทันที แต่ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ จะค่อย ๆ ทอยเข้ามาในอนาคต ซึ่งมูลค่าของเงินในอนาคต จะต้องมากกว่ามูลค่าของเงินปัจจุบัน (เช่น 100 บาทปัจจุบัน มีค่ามากกว่าเงิน 100 บาท อีก 1 ปีข้างหน้า)

2) ไม่คำนึงถึงประโยชน์หลังจากคืนทุนแล้ว เช่น กรณีที่เราเลือกโครงการ S เพราะคืนทุนเร็วกว่าโครงการ L ในบางครั้ง เมื่อโครงการ S คืนทุนแล้ว อาจจะไม่มีการเสียดเงินสดเข้ามาอีก ในขณะที่โครงการ L แม้ระยะเวลาคืนทุนจะนานกว่า แต่หลังจากนั้น อาจจะมีการเสียดเงินสดเข้ามาอีกเป็นระยะเวลาหลายปีก็เป็นได้

ข้อดีของวิธีระยะเวลาคืนทุน[6]

1) เป็นวิธีการที่สามารถคำนวณได้ง่าย และทำให้เราทราบว่าเมื่อลงทุนไปแล้ว จะคืนทุนเมื่อใด นอกจากนี้ ยังแสดงให้เห็นว่า โครงการที่คืนทุนเร็วจะมีสภาพคล่อง (liquidity) สูงกว่าโครงการที่คืนทุนช้า

2) สามารถบอกถึงความเสี่ยง (riskiness) ของโครงการได้ในเบื้องต้น โดยโครงการที่คืนทุนได้เร็วกว่า จะมีความเสี่ยงน้อยกว่า นั่นเอง

ประเภทของโครงการ

เราสามารถแบ่งโครงการลงทุนออกได้เป็นสามประเภทด้วยกัน คือ

1) โครงการที่ทดแทนกันได้ (mutually exclusive projects) โครงการประเภทนี้จะมีข้อแม้ว่า ถ้าเลือกโครงการใดโครงการหนึ่งแล้ว จะปฏิเสธโครงการอื่นที่เหลือ เนื่องจากเป็นโครงการที่สามารถทดแทนกันได้ เช่น บริษัทกำลังพิจารณาว่า จะติดตั้งระบบสายพานลำเลียงผลิตภัณฑ์ภายในโรงงาน หรือว่าจะใช้รถยกเพื่อใช้ลำเลียงผลิตภัณฑ์ ถ้าบริษัทตัดสินใจใช้ระบบสายพานแล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้รถยกอีก เป็นต้น

2) โครงการที่เป็นอิสระต่อกัน (independent projects) เป็นโครงการที่ทุกโครงการเป็นอิสระต่อกัน สามารถรับโครงการได้ทุกโครงการ ถ้าเป็นไปได้ตามเกณฑ์ในการตัดสินใจ

3) โครงการที่พึ่งพาอาศัยกัน (dependent projects) โครงการประเภทนี้จะขึ้นต่อกัน คือ ถ้ารับโครงการหนึ่งแล้ว ก็จะต้องรับอีกโครงการหนึ่งด้วย และถ้าไม่รับโครงการหนึ่ง ก็จะไม่รับอีก

โครงการเช่นเดียวกัน เช่น ถ้ารับโครงการขยายผลิตภัณฑ์ใหม่ ก็จำเป็นต้องรับโครงการบำบัดน้ำเสียด้วย (โครงการบำบัดน้ำเสีย อาจจะเป็นข้อกำหนดของรัฐบาล) เป็นต้น

3.3.2 ระยะเวลาคืนทุนที่คำนึงถึงมูลค่าปัจจุบัน (Discounted Payback Period : DPB) [6]

วิธีนี้เหมือนกับวิธีระยะเวลาคืนทุน เพียงแต่ทำกระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับในอนาคตให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยใช้ต้นทุนของเงินทุน (cost of capital) เป็นอัตราส่วนลด ทั้งสองโครงการจะคิดมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดในอนาคต โดยใช้อัตราส่วนลด 10 เปอร์เซ็นต์ (cost of capital) จะได้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับในแต่ละปีในอนาคต แล้วจึงใช้วิธีการหาระยะเวลาคืนทุน

$$\text{โครงการ S} = 2 + \text{฿}214/\text{฿}225 = 2.95 \text{ ปี}$$

$$\text{โครงการ L} = 3 + \text{฿}360/\text{฿}410 = 3.88 \text{ ปี}$$

ในรูปที่ 4.2 โครงการ S นั้น ใช้เงินลงทุน 1,000 บาท (มูลค่าปัจจุบันก็เท่ากับ 1,000 บาท) โดยจะได้รับกระแสเงินสดสุทธิก่อนคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันเท่ากับ 500 บาท และเมื่อทำให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน จะลดลงเหลือ 455 บาท (แทนที่จะเป็น 500 บาท เหมือนเดิม) และในปีที่ 2 กระแสเงินสดโดยคิดมูลค่าปัจจุบันจะเท่ากับ 331 บาท จนถึงปีสุดท้ายตามในรูป 4.2

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|
| โครงการ S : กระแสเงินสดสุทธิ | -1,000 | 500 | 400 | 300 | 100 |
| มูลค่าปัจจุบันของ กระแสเงินสด | -1,000 | 455 | 331 | 225 | 68 |
| โครงการ L : กระแสเงินสดสุทธิ | -1,000 | 100 | 300 | 400 | 600 |
| มูลค่าปัจจุบันของ กระแสเงินสด | -1,000 | 91 | 248 | 301 | 410 |

รูปที่ 3.2 มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดของโครงการ S และ L [6]

สำหรับระยะเวลาคืนทุนของโครงการ S ในปีแรกนั้นได้รับเงินคืนมา 455 บาท ในปีที่ 2 ได้รับอีก 331 บาท รวมเป็น 786 บาท ยังขาดอีก 214 บาท จึงจะครบ 1,000 บาท เท่าที่ลงทุนไป แต่ในปีที่ 3 ทั้งปี โครงการ S จะมีกระแสเงินสดสุทธิเข้ามา 225 บาท ดังนั้น เงินที่ยังขาดอยู่ 214 บาท จะใช้เวลาทั้งหมดเท่ากับ $\text{฿}214/\text{฿}225$ หรือ 0.95 ปีนั่นเอง ระยะเวลาคืนทุนโดยคำนึงมูลค่าปัจจุบัน

(DPB) จะเท่ากับ 2.95 ปี และโดยวิธีการเดียวกันจะพบว่าระยะเวลาคืนทุนของโครงการ L เท่ากับ 3.88 ปี โดยวิธีนี้ ระยะเวลาคืนทุนจะมีระยะเวลานานกว่าวิธีแรก

วิธีระยะเวลาคืนทุนที่คำนึงถึงมูลค่าปัจจุบันนี้ จะแก้ไขข้อเสียในเรื่องของมูลค่าของเงินตามเวลาได้ แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีจุดอ่อนในเรื่องของกระแสเงินสดหลังจากที่ครบระยะเวลาคืนทุนแล้ว

3.3.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) [6]

เนื่องจากข้อเสียของวิธีระยะเวลาคืนทุน จึงได้มีการค้นหาวิธีการอื่น ๆ เพื่อที่จะใช้ในการประเมินโครงการให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น วิธีการหนึ่งก็คือ วิธีการมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) ซึ่งวิธีการนี้ จะคำนึงถึงมูลค่าปัจจุบันของเงินด้วย โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) หามูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดในแต่ละปี ทั้งกระแสเงินสดรับ (inflows) และกระแสเงินสดจ่าย (outflows) โดยใช้ต้นทุนของเงินทุนของโครงการ (project's cost of capital) เป็นอัตราส่วนลด

2) รวมกระแสเงินสด (ที่คิดมูลค่าปัจจุบันแล้ว) ซึ่งก็เป็นกระแสเงินสดสุทธิของโครงการ (project's NPV)

3) ถ้า NPV เป็นบวก ก็จะรับโครงการนั้น แต่ถ้า NPV เป็นลบ ก็จะปฏิเสธโครงการ ถ้าสองโครงการต่างมี NPV เป็นบวกทั้งคู่ และเป็นโครงการที่ทดแทนกันได้ (mutually exclusive) เราจะเลือกโครงการที่ NPV เป็นบวกมากกว่า

สมการของวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$NPV = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+k)^1} + \frac{CF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+k)^n}$$

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} \dots\dots\dots(4.2)$$

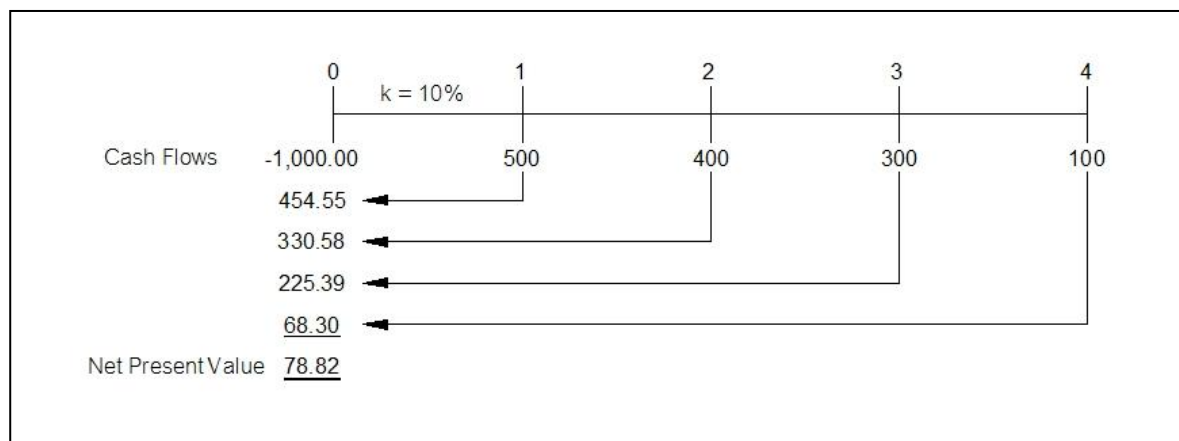
เมื่อ CF_0 : เงินลงทุนครั้งแรก (initial outlay)

CF_1 : กระแสเงินสดสุทธิในปีที่ t

k : ต้นทุนของเงินทุนในโครงการ (project's cost of capital) ซึ่งจะใช้เป็นอัตราส่วนลด (discount rate)

ในการประเมินโครงการ S และ L นั้น จะเห็นว่ากระแสเงินสดที่เป็นลบมีเพียงปีปัจจุบัน (CF_0) เพียงปีเดียวเท่านั้นในทางปฏิบัติ โดยเฉพาะโครงการขนาดใหญ่ กระแสเงินสดสุทธิอาจจะเป็นลบได้หลาย ๆ ปี ก่อนที่กระแสเงินสดสุทธิจะเป็นบวก

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เป็นวิธีการที่จะต้องคิดมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิทั้งหมด (ทั้งกระแสเงินสดออกและเข้า) และดูว่ากระแสเงินสดสุทธิเป็นจำนวนเท่าใด ถ้ากระแสเงินสดเข้าสุทธิสูงกว่ากระแสเงินสดออกจะพบว่า NPV เป็นบวก หมายถึง ผลประโยชน์ในอนาคตคิดมูลค่าปัจจุบัน มีค่ามากกว่าเงินลงทุน นั่นคือการลงทุนในโครงการนั้น ได้รับผลตอบแทนคุ้มกับการลงทุน



รูปที่ 3.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ S [6]

การคำนวณหา NPV ของโครงการ S

$$NPV = -1,000 + \frac{500}{(1 + 0.1)^1} + \frac{400}{(1 + 0.1)^2} + \frac{300}{(1 + 0.1)^3} + \frac{100}{(1 + 0.1)^4}$$

$$NPV = -1,000 + 500(0.91) + 400(0.83) + 300(0.75) + 100(0.68)$$

$$= 78.82 \text{ บาท}$$

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ S (NPV_S) = +78.82 บาท

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ L (NPV_L) = +49.18 บาท

เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Rationale for the NPV Method)

วิธีคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธินั้น ถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ ($NPV=0$) หมายถึง กระแสเงินสดสุทธิ (คิดมูลค่าปัจจุบันแล้ว) ที่ได้รับจากโครงการ เพียงพอที่จะจ่ายคืนเงินที่ลงทุนไปพอดี หรือมองอีกด้านหนึ่งก็คือ โครงการนั้นให้ผลตอบแทน 10 เปอร์เซ็นต์พอดี ถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก ($NPV>0$) หมายถึงโครงการนั้นสามารถก่อให้เกิดกระแสเงินสดสุทธิ (คิดมูลค่าปัจจุบันแล้ว) มากกว่าเงินลงทุน และมูลค่าที่มากกว่าเงินลงทุนนั้นจะมีผลทำให้มูลค่าของกิจการ (value of

firm) สูงขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น โครงการ S จะมีผลทำให้มูลค่าของกิจการเพิ่มขึ้นอีก 78.82 บาท ในขณะที่โครงการ L ทำให้มูลค่ากิจการเพิ่มขึ้น 49.18 บาท และเกณฑ์ในการตัดสินใจจะเป็นดังนี้

- 1) ถ้าเป็นโครงการแบบ mutually exclusive จะเลือกโครงการที่ให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) สูงกว่าซึ่งในกรณีนี้ คือ โครงการ S
- 2) ถ้าเป็นโครงการแบบ independent จะรับทุกโครงการที่มูลค่าปัจจุบัน (NPV) เป็นบวก (สมมติว่ามีเงินลงทุนไม่จำกัด)

3.3.4 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return IRR) [6]

อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (IRR) เราจะหาอัตราส่วนลด (discount rate) ที่ทำให้กระแสเงินสดสุทธิ หรือผลประโยชน์ทั้งหมดในอนาคต คิดมูลค่าปัจจุบันแล้ว มีค่าเท่ากับเงินลงทุนในครั้งแรกพอดี (คืออัตราส่วนลดที่ทำให้ NPV = 0)

$$CF_0 = \frac{CF_1}{(1+IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+IRR)^n} \dots \dots \dots (4.3)$$

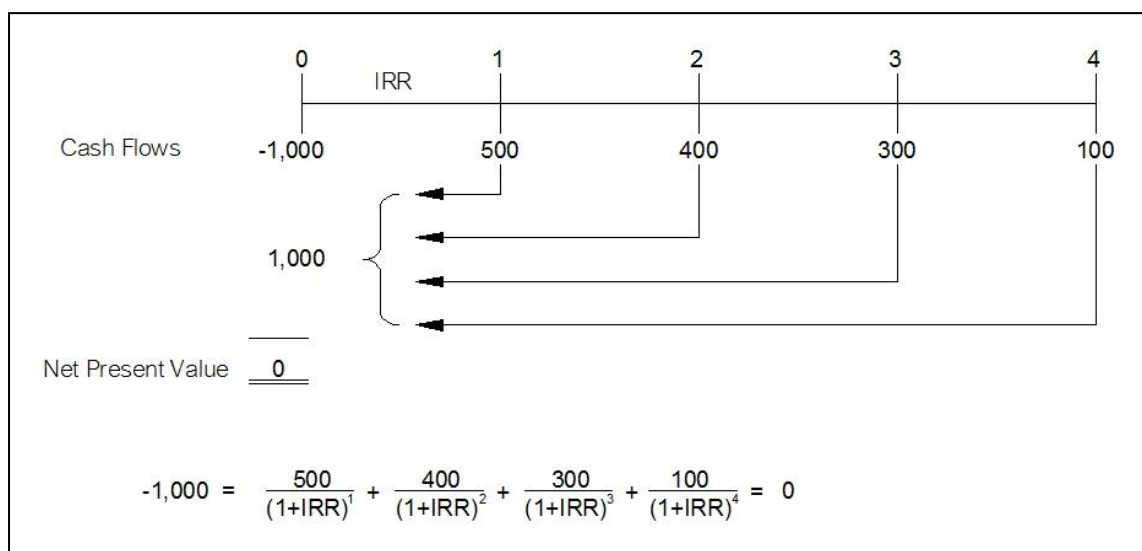
สำหรับโครงการ S จะแทนค่าตัวเลขในสมการ 4.3 ได้ดังนี้

$$1,000 = \frac{500}{(1 + IRR)^1} + \frac{400}{(1 + IRR)^2} + \frac{300}{(1 + IRR)^3} + \frac{100}{(1 + IRR)^4}$$

จากสมการด้านบน เราจะพยายามหา IRR (หรืออัตราส่วนลด) ที่ทำให้ผลรวมของด้านขวามือของสมการ เท่ากับ 1,000 พอดี

ผลตอบแทนจากโครงการ S (IRR_S) เท่ากับ 14.5%

ผลตอบแทนจากโครงการ L (IRR_L) เท่ากับ 11.8%



รูปที่ 3.4 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ S [6]

3.4 เกณฑ์ในการตัดสินใจสำหรับวิธีอัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Rationale for the IRR Method) [6]

อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (IRR) หมายถึง อัตราผลตอบแทนที่จะได้รับจากโครงการหนึ่ง ๆ ตัวอย่างเช่น IRR ของโครงการ S เท่ากับ 14.5 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่า ลงทุน 1,000 บาท แล้วจะได้รับกระแสเงินสดสุทธิปีที่ 1 เป็นเงิน 500 บาท ปีที่ 2 เป็นเงิน 400 บาท ปีที่ 3 เป็นเงิน 300 บาท ปีที่ 4 เป็นเงิน 100 บาท เมื่อคิดเป็นอัตราผลตอบแทนแล้วเท่ากับว่า โครงการนี้ให้ผลตอบแทน 14.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี จากการที่ต้นทุนของเงินลงทุน (cost of capital) เท่ากับ 1,000 บาท นั้น เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปลงทุนแล้วได้ผลตอบแทน 14.5 เปอร์เซ็นต์ จึงควรรับโครงการนี้ สรุปก็คือ สำหรับวิธี IRR จะพิจารณาเลือกโครงการทุกโครงการที่อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (IRR) มากกว่าต้นทุนของเงินลงทุน (cost of capital) ถ้าเป็นโครงการแบบ mutually exclusive จะรับโครงการที่ให้ IRR สูงกว่า (เช่น กรณีโครงการ S กับ L เราจะรับโครงการ S)

3.4.1 การเปรียบเทียบวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิกับวิธีอัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Comparison of the NPV and IRR Method) [6]

ในหลายโอกาสวิธี NPV จะดีกว่า IRR ดังนั้น โดยส่วนมากจึงนิยมวิธี NPV เท่านั้น อย่างไรก็ตาม วิธี IRR ก็นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในทางปฏิบัติ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจวิธีนี้ และต้องสามารถอธิบายให้ได้ว่าทำไมในบางครั้งโครงการที่มี IRR ต่ำกว่า จึงเหมาะสมกว่าโครงการที่มี IRR สูงกว่า

กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NPV ของโครงการกับอัตราส่วนลดเรียกว่า net present value profiles สำหรับของโครงการ S และ L นั้น แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 ในการสร้าง NPV profiles นั้น ประการแรกให้สังเกตว่าที่ต้นทุนของเงินลงทุนเท่ากับศูนย์ NPV ของโครงการก็เท่ากับผลรวมทั้งหมดของกระแสเงินสดที่ไม่ได้มีการลดค่าเท่านั้น ดังนั้นที่ต้นทุนของเงินลงทุนเท่ากับศูนย์ $NPV_S = \text{฿}300$ และ $NPV_L = \text{฿}400$ ซึ่งมูลค่านี้ plot อยู่บนแกนตั้งในรูปที่ 4.5 หลังจากนั้น จะคำนวณหา NPV ของสองโครงการดังกล่าวที่มีต้นทุนเงินลงทุน 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อได้มูลค่าของ NPV แล้วตามที่แสดงไว้ด้านใต้รูปที่ 4.5 นั้น จะนำไปพล็อตกราฟ

IRR นั้นก็คืออัตราส่วนลดที่ทำให้ NPV ของโครงการเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจุดที่ NPV profiles ตัดแกนอนนั้นก็คือ อัตราผลตอบแทนของโครงการ (project's internal rate of return) นั่นเอง ซึ่งก็เท่ากับที่เราคำนวณได้ในตอนแรก

3.4.2 การจัดอันดับมูลค่าปัจจุบันสุทธิขึ้นอยู่กับต้นทุนของเงินทุน (NPV Ranking Depend on the Cost of Capital)

ในรูปที่ 4.5 แกนตั้งจะแสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และแกนนอนแสดงอัตราส่วนลด ซึ่งแทนด้วยต้นทุนของเงินทุน (cost of capital) จะเห็นว่าที่อัตราส่วนลดเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ NPV ของโครงการ L จะมากกว่า NPV ของโครงการ S แต่ถ้าอัตราส่วนลดเพิ่มเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ NPV ของโครงการ S กลับสูงกว่า NPV ของโครงการ L ตรงจุดที่อัตราส่วนลดเท่ากับ 7.2 เปอร์เซ็นต์ NPV ของทั้ง 2 โครงการจะเท่ากัน จุดที่อัตราส่วนลดเท่ากับ 7.2 เปอร์เซ็นต์ อันมีผลทำให้ NPV ของโครงการทั้งสองเท่ากันนั้น เรียกอัตราส่วนลดนี้ว่า cross over rate เมื่อใดก็ตามที่อัตราส่วนลดสูงกว่า cross over rate เช่นที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่ว่าจะใช้วิธี NPV หรือ IRR ก็จะต้องเลือกโครงการ S ทั้งคู่ แต่ถ้าอัตราส่วนลดต่ำกว่า cross over rate ถ้าใช้วิธี NPV จะเลือกโครงการ L (เพราะ $NPV_L > NPV_S$) แต่ถ้าใช้วิธี IRR ก็จะต้องเลือกโครงการ S เหมือนเดิม ($IRR_S > IRR_L$ เสมอไม่ว่าอัตราส่วนลดจะเปลี่ยนไปอย่างไร) การตัดสินใจจะเกิดความขัดแย้ง (conflict) กัน ระหว่างวิธี NPV กับ IRR

สำหรับสาเหตุของความขัดแย้ง ให้ย้อนกลับไปดูลักษณะของกระแสเงินสดสุทธิของสองโครงการ จะเห็นว่าโครงการ L นั้น กระแสเงินสดที่เข้ามาในปีแรก ๆ จะน้อย และจะค่อย ๆ มากขึ้น ในปีหลัง ๆ ที่อัตราส่วนลดสูง ๆ จะทำให้มูลค่าปัจจุบันในปีท้าย ๆ เหลือน้อยลง จึงมีผลทำให้ NPV ของโครงการ L น้อยตามไปด้วย ในทางตรงกันข้าม ถ้าอัตราส่วนลดน้อย ๆ (เช่น 5 เปอร์เซ็นต์) มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดของโครงการ L (โดยเฉพาะในปีท้าย ๆ) จะไม่ถูกระทบมากนัก ทำให้ NPV ของโครงการ L สูง เพื่อความชัดเจนขอยกตัวอย่างดังนี้

$$\begin{aligned} \text{มูลค่าปัจจุบันของเงิน 100 บาท เวลา 1 ปี อัตราส่วนลด 5\%} &= 100/(1.05)^1 \\ &= 95.24 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มูลค่าปัจจุบันของเงิน 100 บาท เวลา 1 ปี อัตราส่วนลด 10\%} &= 100/(1.10)^1 \\ &= 90.91 \text{ บาท} \end{aligned}$$

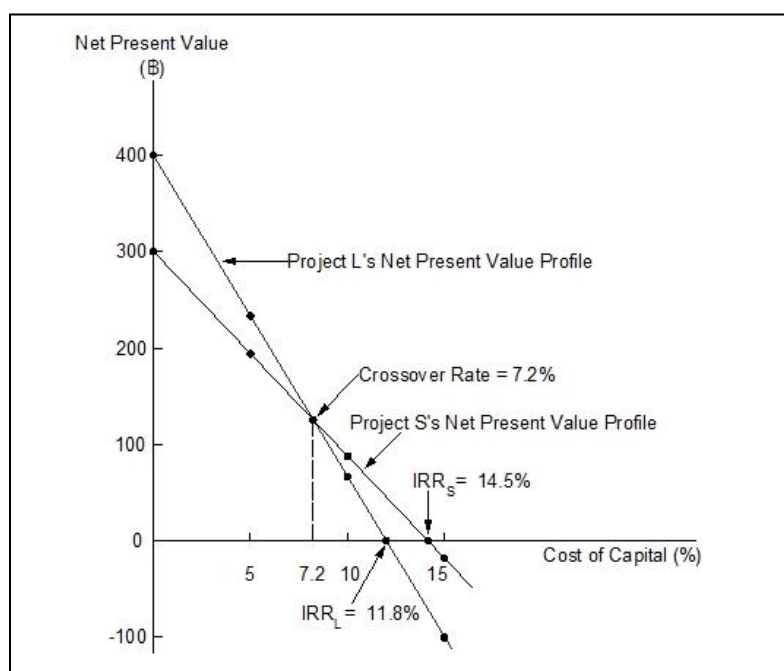
$$\begin{aligned} \text{มูลค่าปัจจุบันของเงิน 100 บาท เวลา 20 ปี อัตราส่วนลด 5\%} &= 100/(1.05)^{20} \\ &= 37.69 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มูลค่าปัจจุบันของเงิน 100 บาท เวลา 20 ปี อัตราส่วนลด 10\%} &= 100/(1.10)^{20} \\ &= 14.86 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ดังนั้นเงิน 100 บาท อีก 1 ปีข้างหน้า ถ้าอัตราส่วนลดเพิ่มขึ้นจาก 5 เปอร์เซ็นต์เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ มูลค่าปัจจุบันจะลดลงเท่ากับ $\text{฿}95.24 - \text{฿}90.91 = 4.33$ บาท หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ มูลค่าปัจจุบันจะลดลงประมาณ 4.5 เปอร์เซ็นต์ และด้วยจำนวนเงิน 100 บาทเท่ากัน ในอีก 20 ปี

ข้างหน้า ถ้าส่วนลดเพิ่มขึ้นจาก 5 เปอร์เซ็นต์เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกัน มูลค่าปัจจุบันจะลดลง เท่ากับ $\text{฿}37.69 - \text{฿}14.86 = 22.83$ บาท หรือประมาณ 60.6 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น ถ้าระยะเวลาที่ยาวนานออกไป แม้อัตราส่วนลดจะเพิ่มขึ้นเท่ากัน (เช่นจาก 5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 10 เปอร์เซ็นต์) มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดในปีหลัง ๆ จะถูกระทบมากกว่า จึงเป็น เหตุผลว่า ทำไม NPV ของโครงการ L (ซึ่งมีกระแสเงินสดเข้ามามากในช่วงปีหลัง ๆ) จึงเหลือน้อย เมื่ออัตราส่วนลดสูงขึ้น และความชันของเส้น NPV Profile ของโครงการ L จะชันกว่าของโครงการ S แสดงว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด NPV ของโครงการ L จะถูกระทบมากกว่าของ โครงการ S



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NPV และ IRR ของโครงการ S และ L [6]

3.4.3 โครงการที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Projects) [6]

ในการประเมินโครงการที่เป็นอิสระต่อกันนั้น ทั้งวิธี NPV และ IRR จะทำให้การตัดสินใจว่าจะรับหรือปฏิเสธโครงการเหมือนกันเสมอ (ไม่มีข้อขัดแย้ง) เช่นถ้าวิธี NPV ขอมรับโครงการ วิธี IRR ก็จะขอมรับโครงการนั้นด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น โครงการ S และ L เป็นอิสระต่อกัน เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.5 จะสังเกตได้ว่า ถ้าใช้วิธี IRR เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ จะพบว่าไม่ว่าโครงการ S หรือ L จะสามารถรับโครงการทั้งคู่ ถ้าต้นทุนของเงินทุนของโครงการ (project's cost of capital) น้อยกว่า IRR และเมื่อใดที่ต้นทุนของเงินทุนของโครงการน้อยกว่า IRR จะพบว่า NPV เป็นบวกทั้งสองโครงการ ดังนั้น ที่ต้นทุนของเงินทุนน้อยกว่า 11.8 เปอร์เซ็นต์ จะขอมรับโครงการ L ไม่ว่า

ใช้วิธี NPV หรือ IRR และจะปฏิเสธโครงการทั้งสองวิธี (ทั้ง NPV และ IRR) ถ้าต้นทุนของเงินทุนสูงกว่า 11.8 เปอร์เซ็นต์ ทำนองเดียวกัน โครงการ S หรือโครงการใด ๆ ก็แล้วแต่ที่เป็นอิสระต่อกัน จะสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีการเดียวกัน และจะพบว่าถ้าวิธี IRR ยอมรับโครงการ วิธี NPV ก็จะยอมรับด้วยเสมอ

3.4.4 โครงการที่ทดแทนกันได้ (Mutually Exclusive Projects) [6]

ถ้าสมมติว่าโครงการทั้งสองเป็นโครงการที่ทดแทนกันได้ แทนที่จะเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น จะรับโครงการใดโครงการหนึ่งเพียงโครงการเดียว หรือปฏิเสธทั้งสองโครงการ จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าที่ cost of capital สูงกว่า cross over rate ที่ 7.2 เปอร์เซ็นต์ จะพบว่า NPV_S จะมากกว่า NPV_L และ IRR_S สูงกว่า IRR_L ดังนั้น ในกรณีที่ cost of capital (k) สูงกว่า 7.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาทั้งวิธี NPV และ IRR จะเลือกโครงการ S อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ cost of capital น้อยกว่า cross over rate NPV_L จะมากกว่า NPV_S แต่ IRR_S ก็ยังคงสูงกว่า IRR_L (เนื่องจาก IRR จะไม่เปลี่ยนแปลง) ดังนั้นจึงเกิดความขัดแย้ง (conflict) ขึ้น ถ้า cost of capital น้อยกว่า cross over rate ดังนั้นแล้วจึงมีปัญหาว่า ควรจะเลือกโครงการใด มีคำแนะนำว่าควรพิจารณาจากวิธี NPV ดีกว่า เพราะวิธี NPV นี้จะให้ผลตอบแทนคุ้มกับการลงทุน

มีเงื่อนไขสองข้อที่ทำให้ NPV Profiles ตัดกัน และทำให้เกิดความขัดแย้งระหว่างวิธี NPV และ IRR คือ

1. เมื่อขนาดของโครงการต่างกัน (project size or scale differences) คือเงินลงทุนในโครงการหนึ่งสูงกว่าอีกโครงการหนึ่ง
2. เมื่อกระแสเงินสดเข้ามาในเวลาที่แตกต่างกัน (timing differences) เช่น กระแสเงินสดสุทธิจำนวนสูง ๆ ของโครงการ S จะได้รับในปีแรก ๆ ในขณะที่โครงการ L กระแสเงินสดสุทธิจำนวนสูง ๆ จะได้รับในปีท้าย ๆ

เมื่อมีความแตกต่างกันทั้งขนาดของโครงการ และระยะเวลาของกระแสเงินสดรับ บริษัทจึงมีความแตกต่างกัน

ในจำนวนเงินที่จะนำไปลงทุนต่อ (reinvest) ในแต่ละปี แล้วแต่ว่าจะเลือกโครงการใด ตัวอย่างเช่น ถ้าโครงการแรกต้องใช้เงินลงทุนมากกว่าอีกโครงการหนึ่ง กรณีที่บริษัทเลือกโครงการที่ลงทุนน้อยกว่า ก็จะมีเงินเหลือเพื่อไปลงทุนต่อที่อื่น ทำนองเดียวกัน ถ้าโครงการทั้งสองใช้เงินลงทุนเท่ากัน แต่โครงการที่ได้รับกระแสเงินสดเข้ามามากในปีแรก ๆ (เช่น โครงการ S) ก็จะทำให้มีเงินเพื่อลงทุนต่อได้มากกว่า ดังนั้น อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากการที่นำกระแสเงินสดที่ได้รับในปีแรก ๆ ไปลงทุนต่อ (reinvestment rate) จึงเป็นเรื่องที่สำคัญที่สุด

โดยแท้จริงแล้ว การที่เกิดความขัดแย้งระหว่างวิธี NPV และ IRR นั้น เนื่องมาจากข้อสมมติ (assumptions) ของทั้งสองวิธีนั้นต่างกันคือวิธี NPV นั้นสมมติว่า เงินสดที่โครงการได้รับมาในปีแรก ๆ จะนำไปลงทุนต่อ (reinvest)จนกว่าจะสิ้นสุดโครงการ โดยได้รับผลตอบแทนเท่ากับต้นทุนของเงินทุน (cost of capital) ในขณะที่วิธี IRR มีข้อสมมติว่าเงินสดที่ได้รับมาในปีแรก ๆ นั้น จะนำไปลงทุนต่อเช่นเดียวกัน แต่จะได้รับอัตราผลตอบแทนเท่ากับ IRR ข้อสมมติของการที่นำเงินไปลงทุนต่อ นั้น เป็นเรื่องของแนวคิดในทางทฤษฎี ในทางปฏิบัติเงินสดที่ได้รับมาในแต่ละปีนั้น อาจจะไปจ่ายปันผลให้แก่ผู้ถือหุ้น หรือนำไปเป็นค่าใช้จ่ายอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม วิธี NPV ก็ยังคงสมมติว่ากระแสเงินสดที่ได้รับมานั้น นำไปลงทุนต่อโดยได้รับอัตราผลตอบแทนเท่ากับต้นทุนของเงินทุน (cost of capital) และวิธี IRR จะนำไปลงทุนต่อเช่นเดียวกัน แต่ได้รับอัตราผลตอบแทนเท่ากับ IRR ดังนั้น เมื่อพิจารณาว่าข้อสมมติ วิธีใดเหมาะสมกว่ากัน เมื่อพิจารณาแล้ว จะเห็นได้ว่า กระแสเงินสดของโครงการที่นำไปลงทุนต่อ และได้รับผลตอบแทนเท่ากับต้นทุนของเงินทุน (cost of capital) นั้น มีความสมเหตุสมผลมากกว่า จึงสามารถสรุปได้ว่า ข้อสมมติที่ดีที่สุดของอัตราผลตอบแทนเมื่อนำกระแสเงินสดไปลงทุนต่อ (the best reinvestment rate assumption) จะเท่ากับต้นทุนของเงินทุน (cost of capital) ซึ่งเป็นข้อสมมติของวิธี NPV

กล่าวโดยสรุปคือ เมื่อโครงการเป็นอิสระต่อกันทั้งวิธี NPV และ IRR จะให้ผลเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามเมื่อมีการประเมินโครงการที่ทดแทนกันได้ โดยเฉพาะโครงการที่มีความแตกต่างกันในเรื่องขนาดของโครงการและระยะเวลาของกระแสเงินสดรับที่ต่างกัน ควรจะใช้วิธี NPV ในการประเมินโครงการ

3.4.5 สรุปวิธีต่าง ๆ ที่ใช้ในการตัดสินใจเรื่องงบลงทุน (Conclusions on capital budgeting methods) [6]

จากวิธีการทั้งหมดข้างต้น ที่ใช้ในการตัดสินใจในเรื่องของงบลงทุน แต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ดังนั้น จึงไม่ควรจะใช้วิธีใดวิธีหนึ่งเพียงวิธีเดียวในการตัดสินใจ และควรจะใช้หลาย ๆ วิธีประกอบกัน จึงควร ทำการคำนวณและพิจารณาทุกวิธีการที่ใช้ในเรื่องของงบลงทุนทุกวิธี ทั้งนี้เพราะแต่ละวิธีจะให้ข้อมูลที่แตกต่างกัน สำหรับผู้ที่ต้องการตัดสินใจ

Payback และ Discounted payback จะบอกถึงข้อมูลของความเสี่ยง (risk) และสภาพคล่อง (liquidity) ของโครงการ โดยโครงการที่ระยะคืนทุนนาน หมายถึง การมีโอกาสที่จะขาดสภาพคล่อง และมีความเสี่ยงเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น พันธบัตรที่มีอายุกว่า จะมีความเสี่ยงมากกว่า

NPV จะเป็นวิธีที่บอกได้ชัดเจนว่า โครงการนั้นจะเพิ่มมูลค่า (value) ให้แก่บริษัทเท่าใด ซึ่งจะเหมือนกับการวัดว่าโครงการนั้น จะทำกำไร (profit) ให้แก่บริษัท มากน้อยเพียงใดนั่นเอง

IRR ก็เช่นเดียวกัน จะบอกถึงความสามารถในการทำกำไรของโครงการ แต่บอกเป็นอัตราเปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ IRR ยังบอกถึงว่าบริษัทมีความปลอดภัย (safety margin) มากน้อยเพียงใด ในขณะที่ NPV ไม่ได้รวมถึงเรื่องนี้ไว้ ตัวอย่างเช่น โครงการ S และ L โครงการ S ลงทุน 10,000 บาท ได้รับเงินสดตอนปลายปีที่ 1 เป็นเงิน 16,500 บาท โครงการ L ลงทุน 100,000 บาท ได้รับเงินสด 115,000 บาท ในปลายปีที่ 1 เช่นเดียวกัน ถ้าต้นทุนของเงินทุน (cost of capital) เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งสองโครงการจะพบว่า $NPV_S = 5,000$ บาท และ $NPV_L = 5,000$ บาท เช่นเดียวกัน ดังนั้นถ้าใช้วิธี NPV ในการตัดสินใจ จะเลือกโครงการใดก็เหมือนกัน สำหรับ $IRR_S = 65.50$ เปอร์เซ็นต์ และ $IRR_L = 15.50$ เปอร์เซ็นต์ โครงการ S นั้น ถ้าคาดการณ์กระแสเงินสดรับผิดไป 39 เปอร์เซ็นต์ (จากที่คาดว่าจะได้รับ 16,500 บาท) โครงการนี้ยังไม่ขาดทุน แต่กรณีของโครงการ L ถ้าคาดการณ์กระแสเงินสด ผิดไปเพียง 13 เปอร์เซ็นต์ (จากคาดว่าจะได้รับ 115,000 บาท) โครงการ L จะขาดทุนทันที

3.5 การนำ NPV และ IRR มาประยุกต์ใช้กับโครงการพลังงาน [7]

ตัวอย่างการนำวิธี NPV และ IRR มาประยุกต์ใช้กับโครงการพลังงานนี้เป็นตัวอย่างกรณีศึกษาของ โครงการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ ของโรงพยาบาลแกหลง จังหวัด ระยอง โดยลักษณะโครงการเป็นการนำพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งจากเครื่องปรับอากาศมาใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของโรงพยาบาล ซึ่งจะเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนเหลือทิ้ง รวมถึงมีผลดีต่อสิ่งแวดล้อมในการลดปริมาณมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า โดยกรณีศึกษาของโครงการนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนโครงการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดการทำงานจริงของระบบในช่วงระยะเวลา 6 เดือน นับตั้งแต่ติดตั้งระบบ โดยกำหนดอายุโครงการเท่ากับ 16 ปี ตามอายุการใช้งานของระบบ และใช้อัตราคิดลดร้อยละ 8 จะพบว่า โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 1,071,359.57 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 2.34 และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับร้อยละ 31.15 และผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการ เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ พบว่า โครงการยังคงมีทั้งความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน และ

การทดสอบค่าความแปรเปลี่ยนของต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการ พบว่าต้นทุนของโครงการสามารถเพิ่มขึ้นได้ถึง 134.33% และผลประโยชน์ของโครงการสามารถลดได้ถึงร้อยละ 57.33 จึงจะทำให้โครงการไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน จึงสรุปได้ว่า โครงการนี้มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

กล่าวโดยสรุป วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการตัดสินใจในเรื่องของงบลงทุน จะให้ข้อมูลที่แตกต่างกันไป แต่เนื่องจากวิธีการต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว สามารถคำนวณได้ง่าย ในการตัดสินใจจึงควรจะใช้ทุกวิธีประกอบกันสำหรับการตัดสินใจในเรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยเฉพาะนั้น วิธีการบางวิธีอาจจะเหมาะสมกว่า

บทที่ 4

การบำบัดน้ำเสียในสถานพยาบาล

4.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียในสถานพยาบาล [8]

กระบวนการบำบัดน้ำเสียในสถานพยาบาลในส่วนของศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก ใช้ระบบเติมอากาศเหนือผิวน้ำแบบ Bi – Act SCBA รุ่นที่ขับเคลื่อนด้วยโซ่ ซึ่งทำหน้าที่เติมอากาศให้จุลินทรีย์ในน้ำเสียโดยลูกกลิ้งเติมอากาศ (Biological Rotator) ซึ่งประกอบด้วย วงล้อหมุนรอบตัวเองด้วยแกนกลาง (Shaft) โดยมีเหล็กฉากทำหน้าที่เป็นซี่ล้อยึดขอบวงล้อ (Wheel Ring) เป็นระยะ ๆ วงล้ออากาศนี้จะหมุนได้ด้วยแรงจูดจากเฟืองเกียร์ (Crown Gear) และมีพินเนียน (Pinion) เป็นเฟืองขับซึ่งติดอยู่กับมอเตอร์ขับเคลื่อน (Drive Motor) ที่ขอบของลูกกลิ้งเติมอากาศนี้จะมีแผ่นชีวภาพ (Bio-Disc) รูปวงรียึดติดอยู่โดยรอบตามแนวขนานกับแกนเพลลาของวงล้อบรรจุเรียงซ้อนกันเป็นแถวยาวจำนวน 18 แถว (36 เซล) เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกลาง (Media) ให้จุลินทรีย์เกาะเป็นคราบเมือก (Fixed Film) ที่แถวของแผ่นชีวภาพมีร่องเปิด ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Bi – Act SCBA รุ่นที่ขับเคลื่อนด้วยโซ่ซึ่งทำหน้าที่เติมอากาศให้จุลินทรีย์ในน้ำเสียโดยลูกกลิ้งเติมอากาศ (Submersible Aerator Rotor) ซึ่งประกอบชีวภาพที่ติดตั้งอยู่โดยรอบบนผิวขอบวงล้อขึ้นมาเหนือผิวน้ำ น้ำเสียที่บรรจุอยู่ภายในแผ่นชีวภาพก็จะถูกเทออกมารทางร่องเปิดที่ผิวทำให้เกิดการเติมอากาศที่ผิวน้ำ และอากาศจะเข้าไปแทนที่น้ำเสียที่เทออก เมื่อแถวของแผ่นชีวภาพหมุนลงไปในน้ำในมุมที่เหมาะสม อากาศที่ถูกกักอยู่ภายในจะหลุดลอยออกมาได้เป็นฟองอากาศ (Air Bubble) จึงเกิดการเติมอากาศใต้ผิวน้ำ และน้ำเสียจะไหลเข้าไปแทนที่อากาศ (Slot Opening) ตามแนวยาวต่อ ร่องเปิดนี้มีความกว้างเพียงพอที่จะทำให้การถ่ายระหว่างน้ำเสียที่ถูกหมุนตักขึ้นมาจากบ่อเติมอากาศและอากาศที่ถูกอัดกักในแถวของแผ่นชีวภาพเพื่อเอาลง ไปคายออกที่ได้น้ำซึ่งเป็นไปโดยเหมาะสม

ตัววงล้ออากาศจะแช่อยู่ภายในบ่อเติมอากาศ (Aeration Tank) ของระบบบำบัดน้ำเสียประมาณ 4/5 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งเติมอากาศ เมื่อลูกกลิ้งเติมอากาศนี้หมุนเอาแถวของแผ่นภายในแถวของแผ่นชีวภาพเพื่อที่จะหมุนขึ้นไปเทออกที่เหนือผิวน้ำอีก หมุนเวียนเช่นนี้เรื่อยไป ฟองอากาศซึ่งระบายออกจากแผ่นชีวภาพที่ได้ผิวน้ำนี้จะทำหน้าที่ถ่ายเทออกซิเจนให้แก่จุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียซึ่งก็เป็นการเติมอากาศโดยวิธีการอัดอากาศ เช่นเดียวกับการบำบัดน้ำเสียในแบบของระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge System) นั่นเอง

สำหรับแผ่นตัวกลาง (Media) ที่เรียงบรรจุเป็นแถวของแผ่นชีวภาพแต่ละแถวทำจาก โพลีโพรไพรีน (PP) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความทนทานต่อการผุกร่อนเมื่อแช่อยู่ในน้ำเสีย แผ่นตัวกลางนี้ จะมีลักษณะผิวเป็นลอนคลื่นซึ่งเหมาะสมที่จะให้จุลินทรีย์เกาะเป็นคราบเมือก (Fixed Film) จุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ที่ผิวของตัวกลางนี้จะทำหน้าที่ในการบำบัดน้ำเสียแบบระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Biological Disc System) โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะได้รับเอาออกซิเจนโดยตรงที่ผิวของคราบเมือก (Surface Contact Aeration) ในขณะที่ท่ออากาศถูกหมุนขึ้นมาเหนือผิวน้ำ และกลับลงไปรับอาหารซึ่งได้แก่ สิ่งสกปรกโสโครกในน้ำเสีย

เมื่อแถวของแผ่นชีวภาพหมุนลงไปอยู่ในน้ำ การไหลเข้าออกของน้ำสู่แถวของแผ่นชีวภาพ (Media) จะเกิดการกระแทก (Flushing) อย่างรุนแรง ทำให้คราบเมือกที่เกิดจากการจับตัวกันของจุลินทรีย์หลุดออกจากแผ่นชีวภาพ โอกาสที่จะมีการอุดตันระหว่างตัวกลางจึงเกิดขึ้นได้ยาก

นอกจากนี้การหมุนตัวของลูกกลิ้งเติมอากาศ ยังทำให้เกิดความเคลื่อนไหวยกตัวขึ้น – ลง (Pulsating Movement) ของน้ำเสียภายในบ่อเติมอากาศก่อให้เกิดการกวนผสมผสานกันระหว่าง น้ำเสีย จุลินทรีย์ และ อากาศ ให้เข้ากันได้ดี การยกตัวเคลื่อนไหวขึ้นลงทำให้เกิดมีการเติมอากาศที่บรรยากาศผิวน้ำ (Atmospheric Surfaced Aeration) เกิดขึ้นอีกด้วย ทำให้มีการย่อยสลายของของเสียปะปนอยู่ในน้ำเสีย โดยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูง เป็นการลดระยะเวลาในขบวนการบำบัดน้ำเสียให้สั้นลงมากกว่าปกติ อีกทั้งยังทำให้ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายมีการแตกและแยกตัวออกจากน้ำเสียได้เร็วกว่าปกติอีกด้วย

4.2 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย [8]

ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถอธิบายขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียได้ดังนี้

4.2.1 น้ำเสียจากส่วนต่าง ๆ ของอาคารศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษกและโรงพยาบาลทันตกรรมมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา จะถูกรวบรวมและสูบส่งโดยเครื่องสูบน้ำจากบ่อสูบส่งน้ำเสียจากจุดต่าง ๆ ไปยังบ่อหมักไร้อากาศ (Septic or Anaerobic Tank) เพื่อช่วยในการทำลายสาร Antiseptic, Antibiotic, สารพิษและสารเคมีต่าง ๆ จากห้องปฏิบัติการทางการแพทย์, ห้องพักรักษาผู้ป่วย โดยใช้แบคทีเรียแบบไร้อากาศ (Anaerobic Bacteria) ซึ่งอาศัยขบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) ก่อนที่น้ำเสียจะไหลไปยังบ่อปรับสมดุล (Equalization Tank)

4.2.2 บ่อปรับสมดุล (Equalization Tank) มีหน้าที่กักเก็บน้ำเสียก่อนที่จะไหลเข้าสู่บ่อเติมอากาศ (Aeration Tank) และจะมีการปรับอัตราการไหล และปริมาณความสกปรกในรูปของบีโอดีให้เท่ากันและคงที่โดยปรับที่เครื่องสูบน้ำเสียแบบจุ่มชนิดไม่อุดตัน (Sewage Pump, Non Clog

Submersible Type, SWP₁₋₂) และวาล์ว นอกจากนี้บ่อปรับสมดุลยังมีหน้าที่เป็นบ่อกักเก็บน้ำเสียเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเสียป้อนเข้าสู่บ่อเติมอากาศเร็วเกินไป (Shock Load) จนแบคทีเรียซึ่งอาศัยอยู่ในบ่อเติมอากาศย่อยสลายสิ่งสกปรกที่อยู่ในน้ำเสียไม่ทัน ซึ่งจะมีผลทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียมีคุณภาพไม่ได้ตามมาตรฐานของทางราชการ บ่อปรับสมดุลจะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวเกี่ยวกับการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียไม่แน่นอน เช่น น้ำเสียไหลเข้าระบบมากเข้าระบบน้อย หรือไม่ไหลเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย

4.2.3 บ่อเติมอากาศ (Aeration Tank) จะมีการเลี้ยงแบคทีเรียเพื่อย่อยสลายสิ่งสกปรกที่อยู่ในรูปของ บีโอดี โดยวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ (Biological Treatment System) และใช้แบคทีเรียชนิดใช้ออกาศย่อยสลายสิ่งสกปรก (Aerobic Bacteria) ภายในบ่อเติมอากาศจะติดตั้งเครื่องเติมอากาศ (Aerator) แบบพิเศษที่มีชื่อว่า “เครื่องเติมอากาศแบบลูกกลิ้งอากาศ” (Bi-Act SCBA) รุ่น CBS 3.7 x 2.5 จำนวน 2 ชุด บ่อเติมอากาศที่ใช้ในโครงการนี้จะใช้หลักการผสมกันระหว่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process or Suspended Growth Process) และระบบบำบัดน้ำเสียแบบจานหมุนชีวภาพ (Biodisc / Fixed Film Process or Attached Growth Process) เครื่องเติมอากาศแบบลูกกลิ้งเติมอากาศจะขับเคลื่อนด้วยการรูดจากโซ่เหล็กไร้สนิม (Stainless Steel Chain) โดยใช้แรงขับเคลื่อนจากเกียร์มอเตอร์ (Gear Motor) และเฟือง (Pinion Gear และ Crown Gear) ซึ่งจะช่วยให้โครงการนี้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าเครื่องเติมอากาศในระบบอื่น ๆ ได้เป็นจำนวนมาก เมื่อเดินเครื่องเติมอากาศแบบลูกกลิ้งเติมอากาศจะทำให้เกิดสภาพการผสมผสานกัน ระหว่างน้ำเสียและอากาศอย่างทั่วทั้งบ่อเติมอากาศ (Completed Mix) เกิดการออกซิไดซ์สารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียไม่มีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้น อันเป็นลักษณะเด่นของระบบบำบัดน้ำเสียชนิดนี้ เครื่องเติมอากาศแบบลูกกลิ้งเติมอากาศจะมีการเติมอากาศ 3 วิธี ดังนี้

- 1) การเติมอากาศใต้น้ำ โดยแผ่นชีวภาพอัดอากาศลงในบ่อและปล่อยอากาศใต้น้ำ
- 2) การเติมอากาศที่ผิวน้ำ โดยการนำน้ำเสียซึ่งเข้าแทนที่อากาศในแผ่นชีวภาพอากาศ เมื่อแผ่นหมุนขึ้นมาพ่นน้ำ ช่องอัดอากาศจะเทน้ำเสียออกมา ทำให้น้ำเสียสัมผัสกับอากาศที่ผิวน้ำ
- 3) จุลินทรีย์จะดูดซับอากาศโดยตรงทั้งในช่องอัดอากาศ และอากาศเหนือผิวน้ำ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบจานหมุนชีวภาพจะช่วยให้เกิดการบำบัดน้ำเสียได้ดีในช่วงที่น้ำเสียมีค่าความสกปรกน้อย ส่วนช่วงที่น้ำเสียมีค่าความสกปรกมาก เครื่องเติมอากาศแบบลูกกลิ้งเติมอากาศจะช่วยกันบำบัดน้ำเสียทั้งทั้งแบบตะกอนเร่งและแบบจานหมุนชีวภาพ หลักการนี้จะช่วยให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพได้ตามมาตรฐานของทางราชการ ได้ตลอดเวลา

4.2.4 บ่อตกตะกอน (Clarifier) น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อเติมอากาศแล้วจะไหลไปยัง บ่อตกตะกอน ซึ่งภายในบ่อนี้ น้ำใสจะแยกออกจากตะกอนซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรีย โดย ตะกอนซึ่งมีน้ำหนักมากจะนอนก้นอยู่ที่ด้านล่างของบ่อตกตะกอน ส่วนน้ำใสซึ่งมีน้ำหนักน้อยกว่า ตะกอนจะไหลผ่านเวียร์ (Weir) ออกจากบ่อตกตะกอน ไปเข้าเครื่องฆ่าเชื้อโรคแบบยูวี (Ultra Violet, UV Disinfection Unit) เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่จะปะปนอยู่ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว จากนั้น น้ำเสียที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคแล้วจะไหลไปรวมอยู่ในบ่อเก็บน้ำใส (Clear Well)

4.2.5 บ่อเก็บน้ำใส (Clear Well) จะทำหน้าที่เก็บกักน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วก่อนปล่อย ทิ้งลงระบายน้ำสาธารณะหรือนำกลับมาใช้ใหม่ในโครงการต่อไป

4.2.6 บ่อเก็บตะกอน (Sludge Storage Tank) จะเก็บตะกอนส่วนที่เหลือไว้ในบ่อ ตะกอน จะนอนทับถมที่ก้นบ่อ และจะเกิดการย่อยสลายตะกอนส่วนเกินแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion) ส่วนน้ำตะกอนและตะกอนลอยบางส่วนจะไหลสลับเข้าสู่บ่อปรับสมดุล เพื่อนำไปบำบัด ในขั้นตอนหมุนเวียนในระบบต่อไป โดยตะกอนส่วนเกินนี้จะถูกใช้เป็นอาหารของแบคทีเรียที่อยู่ใน บ่อเติมอากาศ สำหรับช่วงที่ไม่มีน้ำเสียหรืออาหารของแบคทีเรียดังกล่าว ซึ่งอาจทำให้แบคทีเรีย ตายเพราะขาดสารอาหาร นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นให้ต่ำลงได้อีกด้วย

4.3 การประมาณขนาดระบบบำบัดน้ำเสีย โครงการอาคารศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก [8]

4.3.1 ประเมินปริมาณน้ำเสียรวมของโครงการ จากลักษณะของโครงการซึ่งเป็นศูนย์ การแพทย์หรือโรงพยาบาล น้ำเสียของโครงการจะมาจากการปฏิบัติงานต่าง ๆ ของแพทย์และ พยาบาล, การขับถ่ายของผู้ป่วย การทำความสะอาดเครื่องมือแพทย์, สารเคมีที่ทิ้งออกจาก ห้องปฏิบัติการทางการแพทย์, ห้องอาหาร, ห้องน้ำ เป็นต้น

ประเมินปริมาณน้ำเสียรวมที่ต้องบำบัดทั้งสิ้น = 600.0 ม³/วัน

4.3.2 เกณฑ์การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย

ลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียและหลังจากผ่านการบำบัดแล้ว จะเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบลักษณะของน้ำเสียก่อนและหลังเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย [8]

| | หน่วย | น้ำเสียเข้าระบบ | น้ำเสียออกจากระบบ |
|----------------------------------|-----------|-----------------|-------------------|
| ปริมาณน้ำเสียไหลเข้า (Flow Rate) | ลบ.ม./วัน | 600 | 600 |
| ความเป็นกรดและด่าง (pH) | | 5-9 | 5-9 |
| บี.โอ.ดี. (BOD ₅) | มก/ล. | 150 | <20 |
| सानแขวนลอย (SS) | มก/ล. | 200 | <30 |
| ซัลไฟด์ (Sulfide) | มก/ล. | - | <1.0 |
| สารที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) | มก/ล. | - | <500* |
| ตะกอนหนัก (Settleble Solids) | มก/ล. | - | <0.5 |
| น้ำมันและไขมัน (FOG) | มก/ล. | 100 | <20 |
| ทีเคเอ็น (TKN) | มก/ล. | - | <35 |

หมายเหตุ : *ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) ต้องมีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำใช้ตามปกติไม่เกิน 500 มก/ล.

$$\begin{aligned} \text{ภาระบีโอดี (BOD5 Load)} &= (\text{ปริมาณน้ำเสียไหลเข้า} \times \text{บี.โอ.ดี. (BOD}_5\text{)}) / 1000 \\ &= 600 \times 150 / 1,000 \\ &= 90 \text{ กก.บีโอดี/วัน} \end{aligned}$$

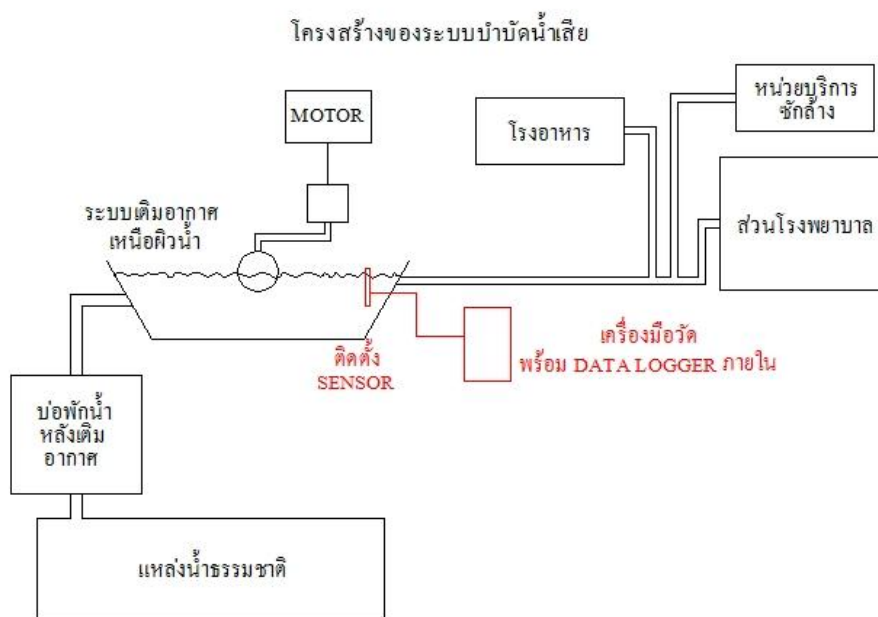
4.3.3 การเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย โครงการนี้เลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพชนิดพิเศษที่มีชื่อว่า “Bi-Act SCBA” ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่ผสมกันระหว่าง “ระบบชีวภาพ” (Fixed Film or Biodisc System or Attached Growth System) และ “ระบบตะกอนเร่ง” (Activated Sludge or Suspended Growth System) ทำงานร่วมกันในบ่อเดียวกัน โดยการใช้อุปกรณ์เติมอากาศแบบลูกกลิ้งเติมอากาศที่มีชื่อว่า “Bi-Act SCBA” รุ่น CBS 3.7 x 2.5 ซึ่งขับเคลื่อนด้วยโซ่โดยใช้แรงจลน์จากเกียร์มอเตอร์และเฟืองจำนวน 2 ชุด

4.3.4 คุณสมบัติของเครื่องเติมอากาศแบบ Bi-Act SCBA รุ่น CBS 3.7 x 2.5

| | | |
|-------------------------------------|-------|----------------------|
| - เส้นผ่าศูนย์กลางของเครื่อง | 3,780 | มม. |
| - ความกว้างของเครื่อง | 2,700 | มม. |
| - ความยาวของเพลลา | 3,100 | มม. |
| - จำนวนรวมของเซลล์ชีวภาพ | 18 | เซลล์. |
| - จำนวนรวมของแผ่นชีวภาพ | 1,818 | แผ่น. |
| - พื้นที่ผิวของแผ่นชีวภาพรวม | 1,034 | ม ² . |
| - ปริมาณอากาศที่ได้ต่อการหมุน 1 รอบ | 5,432 | ม ³ /รอบ. |

| | | |
|---------------------------------|-----|--------------------------|
| - จำนวนรอบที่หมุนต่อชั่วโมง | 75 | รอบ/ชั่วโมง. |
| - ปริมาณอากาศที่ไ้รวมต่อชั่วโมง | 407 | ม ³ /ชั่วโมง. |
| - ภาระไฟฟ้าของเครื่อง | 2.2 | กิโลวัตต์. |

4.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ [8]



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.4.1 บ่อหมักไร้อากาศ (Septic or Anaerobic Tank) ทำหน้าที่ทำลายสาร Antiseptic, Antibiotic สารพิษ และสารเคมีต่าง ๆ จากห้องปฏิบัติการทางการแพทย์, ห้องพักรักษาผู้ป่วย, โดยใช้แบคทีเรียแบบไร้อากาศ (Anaerobic Bacteria) ซึ่งอาศัยขบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ (Aerobic Process) ต่อไป

4.4.2 บ่อปรับสมดุล (Equalization Tank) ทำหน้าที่พักน้ำเสียชั่วคราว (Buffer Flow) ก่อนที่จะป้อนเข้าสู่บ่อเติมอากาศเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเสียเข้าสู่บ่อเติมอากาศมากเกินไป (Overload or Shock Load) จนแบคทีเรียแบบใช้อากาศ (Aerobic Bacteria) ย่อยสลายสิ่งสกปรกไม่ทัน นอกจากนี้บ่อปรับสมดุลยังทำหน้าที่เก็บน้ำเสียไว้สำหรับช่วงที่ไม่มีน้ำเสียเข้าระบบหรือมีน้ำเสียเข้าระบบน้อย โดยใช้ถังคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดถึง 6.1 x 8.6 x 4.75 ม³

4.4.3 ป่อเติมอากาศ (Aeration Tank) ทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียโดยใช้วิธีการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Digestion) โดยใช้เครื่องเติมอากาศแบบลูกกลิ้งเติมอากาศที่เรียกว่า “Bi-Act SCBA” รุ่น CBS 3.7 x 2.5 ซึ่งขับเคลื่อนด้วยโซ่ โดยใช้แรงจลน์จากเกียร์มอเตอร์และเฟือง จำนวน 2 ชุด โดยการบำบัดจะใช้หลักการผสมกันระหว่าง “ระบบแผ่นชีวภาพ” (Fixed Film หรือ Biodisc System) และ “ระบบตะกอนเร่ง” (Activated Sludge System) ทำงานร่วมกันในบ่อเดียวกัน

4.4.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ได้จากเครื่องเติมอากาศ (Dissolved Oxygen หรือ D.O.) D.O. จากลูกกลิ้งเติมอากาศรุ่น CBS 3.7 x 2.5 ซึ่งเป็นระบบเติมอากาศเหนือผิวน้ำ โดยสามารถให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำได้วันละ 146.52 กก. ออกซิเจน/วัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการออกซิเจนละลายน้ำเพื่อกระบวนการบำบัดน้ำเสีย คือวันละ 90 กก. ออกซิเจน/วัน

ดังนั้นสามารถประมาณการได้ว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ที่เครื่องเติมอากาศเหนือผิวน้ำสามารถผลิตได้นั้น มีปริมาณการผลิตที่ล้นกว่าความต้องการอยู่ถึง 56.52 กก. ออกซิเจน/วัน

บทที่ 5

การใช้พลังงานของสถานพยาบาล

5.1 การใช้พลังงานของระบบบำบัดน้ำเสียในสถานพยาบาล [8]

5.1.1 เครื่องสูบน้ำเสีย (Sewage Pump) ใช้มอเตอร์ขนาด 2 HP ปริมาณสูบส่ง 30 ม³/ชม, 8 เมตร, 2 ชุด ซึ่งจะทำงานภายใต้ชุดควบคุมระดับน้ำเสียในบ่อปรับสมดุล ซึ่งควบคุมเวลาด้วยการสลับกันทำงานด้วย 20 Hour โดยการใช้ Timer Switch

ขั้นตอนการเดินเครื่องสูบน้ำเสียแบบอัตโนมัติ โดยใช้ลูกลอยควบคุม 4 ระดับ คือ

ระดับ 1 เครื่องสูบน้ำเสียจะหยุดการทำงานทั้ง 2 เครื่อง

ระดับ 2 เครื่องสูบน้ำเสียจะทำงาน 1 เครื่อง

ระดับ 3 เครื่องสูบน้ำเสียจะทำงานพร้อมกันทั้ง 2 เครื่อง

ระดับ 4 เครื่องสูบน้ำเสียจะหยุดการทำงานทั้ง 2 เครื่อง ให้น้ำเสียออกนอกระบบ เพื่อป้องกันเครื่องสูบน้ำเสียทำงานเวลาน้ำแห้ง

โดยจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้า จากการเดินเครื่องสูบน้ำเสีย (Sewage Pump) จะขึ้นกับชุดควบคุมระดับน้ำเป็นสำคัญ

5.1.2 เครื่องเติมอากาศ (Biact-Act SCBA) ใช้มอเตอร์ขนาด 3 HP โดยทำการส่งกำลังผ่านเกียร์มอเตอร์ไปยังเครื่องจักรเติมอากาศเหนือผิวน้ำ ซึ่งมีอัตราทด 1:10 ลักษณะการทำงานต้องการแรงบิดสูงคงที่ โดยตั้งเวลา 20 Hours Timer Switch ให้เดินเครื่องทำงานตั้งแต่เวลา 4:00-24:00 นาฬิกา และหยุดพักในช่วงเวลา 00:00-4:00 นาฬิกา

โดยจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้า จากการเดินเครื่องเติมอากาศ (Biact-Act SCBA) ขึ้นอยู่กับชุดตั้งเวลาของ Timer Switch

5.1.3 เครื่องสูบตะกอน (Sludge Return Pump) ใช้มอเตอร์ขนาด 2 HP ตั้งเวลาให้ทำงาน 24 Hours Timer Switch Sludge Return Pump ทำงานตามเพื่อควบคุมปริมาณแบคทีเรียที่อยู่ในบ่อเติมอากาศ ให้มีสัดส่วนที่เหมาะสมแก่การบำบัดน้ำเสีย

ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้า จากการเดินเครื่องสูบตะกอนจะขึ้นกับปริมาณแบคทีเรีย โดยในปัจจุบันมีการนำเครื่องตั้งเวลาการเดินเครื่องสูบให้ทำงาน 3 ชั่วโมงหยุด 1 ชั่วโมง โดยได้นำมาชุดตั้งเวลาของ Timer Switch เข้ามาควบคุมการเดินของมอเตอร์ในส่วนนี้

5.1.4 เครื่องสูบน้ำใส (Drain Pump) ใช้มอเตอร์ขนาด 2 HP ทำหน้าที่สูบน้ำเสียจากระบบที่ได้ผ่านเครื่องฆ่าเชื้อโรคแบบยูวี ซึ่งเป็นน้ำใสหลังจากผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นมา จะทำการสูบน้ำด้วยอัตราปริมาณ 30 ม³/ชม , 10 เมตร , 2 ชุด และตั้งให้เครื่องสูบน้ำใสทำงานแบบอัตโนมัติ ดังนั้นการเปิดปิดของชุดเครื่องสูบน้ำใสจะขึ้นอยู่กับระดับของน้ำภายในบ่อเก็บน้ำใส และถูกควบคุมการสลับกันทำงานด้วย 20 Hour Timer Switch และชุดควบคุมระดับน้ำ 4 ระดับ

ขั้นตอนการเดินเครื่องสูบน้ำเสียแบบอัตโนมัติ โดยใช้ลูกลอยควบคุม 4 ระดับ คือ

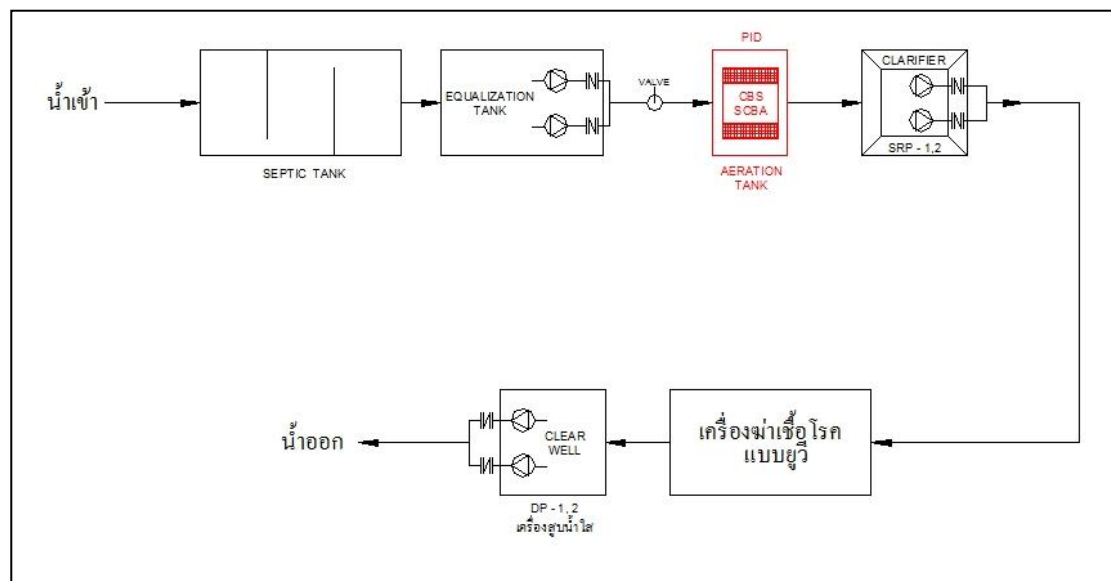
ระดับ 1 เครื่องสูบน้ำใสจะหยุดการทำงานทั้ง 2 เครื่อง

ระดับ 2 เครื่องสูบน้ำใสจะทำงาน 1 เครื่อง

ระดับ 3 เครื่องสูบน้ำใสจะทำงานพร้อมกันทั้ง 2 เครื่อง

ระดับ 4 เครื่องสูบน้ำใสจะหยุดการทำงานทั้ง 2 เครื่อง ให้น้ำไหลออกจากระบบ

โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องสูบน้ำใส นั้นขึ้นอยู่กับการทำงานของชุดควบคุมระดับน้ำ และระบบการตั้งเวลาของ Timer Switch ให้เดินเครื่องทำงานตั้งแต่เวลา 4:00-24:00 นาฬิกา และหยุดพักในช่วงเวลา 00:00-4:00 นาฬิกา จึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ทั้งสิ้น 20 ชั่วโมง



รูปที่ 5.1 แผนผังแสดงทิศทางการไหลของระบบบำบัดน้ำเสีย [8]

5.2 การสร้างแบบจำลอง อัตราการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียและความสัมพันธ์ของออกซิเจนละลายน้ำ [9]

สมการการคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องเติมในน้ำที่ระบบบำบัดน้ำเสีย

$$Qa = 0.0039 \times \frac{Q}{E} \times \frac{(C_S)_{20}}{(1.024)^{T-20}} \times \ln \left(\frac{(C_S)_{30} - D_i}{(C_S)_{30} - D_o} \right) \quad (5.1)$$

เมื่อ Qa : ปริมาณอากาศที่ต้องเติมในน้ำที่ระบบบำบัดน้ำเสีย (m^3/min)

Q : อัตราการไหลของน้ำเสียไหลเข้าระบบบำบัด (m^3/min)

E : ประสิทธิภาพการเติมอากาศในน้ำที่ (%)

$(C_S)_{(20)}$: ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ $20^\circ C$ (mg/L)

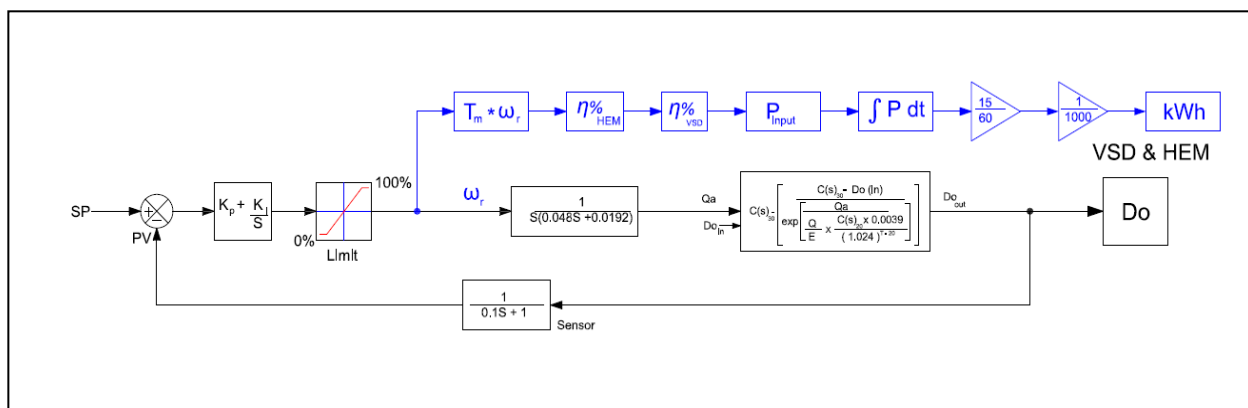
$(C_S)_{(30)}$: ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ $30^\circ C$ (mg/L)

D_i : ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเสียไหลเข้าระบบ (mg/L)

D_o : ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเสียไหลเข้าระบบ (mg/L)

การหาสัดส่วนปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไหลออก สามารถปรับ สมการ (5.1) ได้ดังนี้

$$D_o = (C_S)_{30} - \left(\frac{(C_S)_{30} - D_i}{\exp \left(\frac{Qa}{\frac{0.0039 \times (C_S)_{20} \times Q}{E \times 1.024^{(T-20)}}}} \right)} \right) \quad (5.2)$$



รูปที่ 5.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ PID [10]

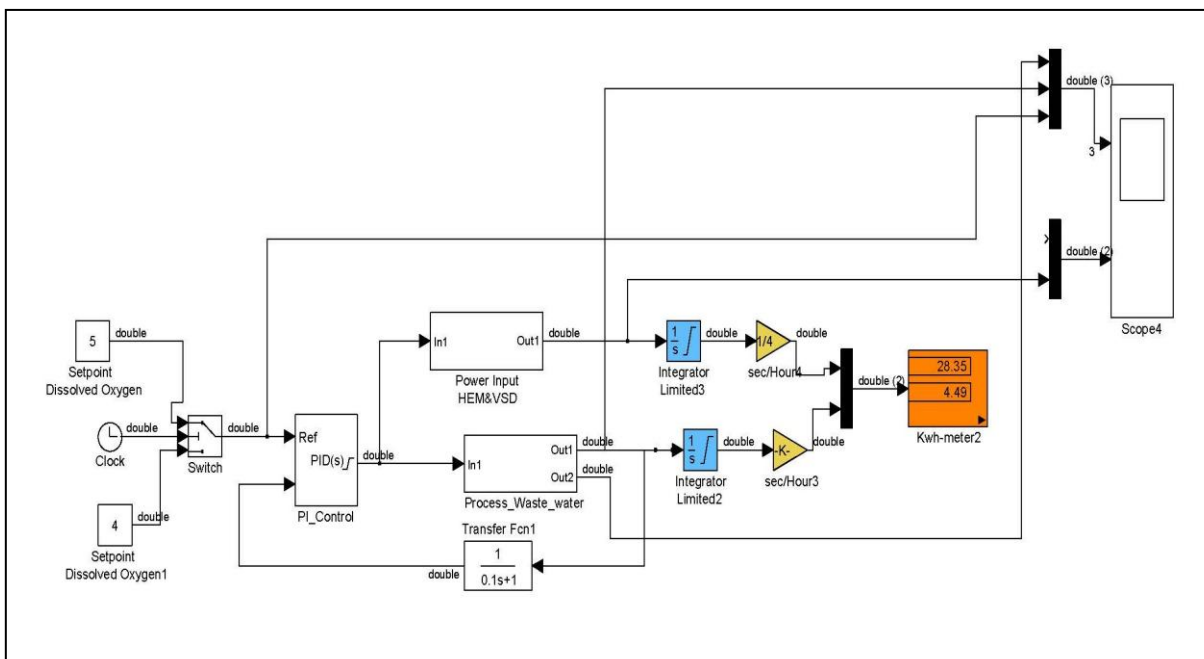
5.3 การทำงานของระบบควบคุม PID เพื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

โดยกำหนดให้ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ไหลเข้าระบบมีค่าเท่ากับ 1 mg/L และอุณหภูมิน้ำเสียไหลเข้า 30 °C ปริมาณมวลน้ำไหลเข้า 15 m³/min ใช้ค่า Setpoint เริ่มต้นกระบวนการที่ 4.0 mg/L และเมื่อเวลาในกระบวนการบำบัดน้ำเสียผ่านไป 40 cycle time ให้ทำการปรับ Setpoint ของการควบคุมขึ้นเป็น 5 mg/L และใช้เวลาประวิง (Dead Time) ที่ 0.2 Cycle

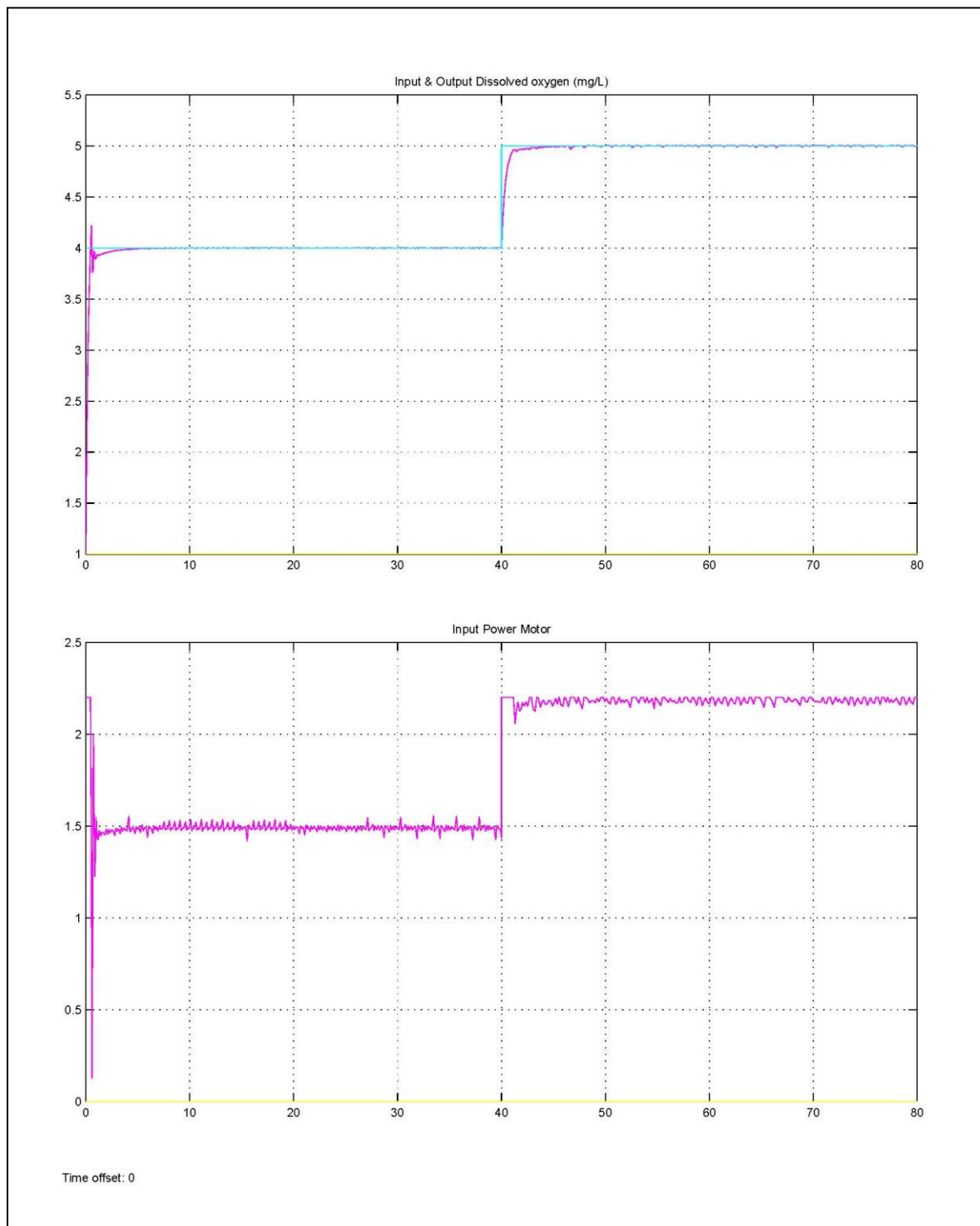
จากผลการทดสอบระบบควบคุม PID สามารถปรับเปลี่ยนปริมาณการเติมออกซิเจนได้โดยไม่เกิดการกวัดแกว่งของระบบเติมอากาศแต่อย่างใด ซึ่งเมื่อมีการปรับค่า Setpoint จาก 4.0 mg/L ขึ้นเป็น 5 mg/L ระบบก็ยังสามารถปรับเพิ่มการเติมอากาศโดยใช้เวลาไม่เกิน 2 cycle time และเมื่อวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำโดยทำการเฉลี่ยข้อมูลจากการวัดทุก cycle จะได้ 4.49 mg/L และพลังงานที่ใช้ไปคือ 28.35 KWh. โดยเวลาในระบบแบบจำลองคือ 80 cycle เท่ากับ 20 ชั่วโมง ซึ่งระบบควบคุม PID ตามแบบจำลองดังกล่าวนี้ทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

ตารางที่ 5.1 ค่าพิกัดของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง [8]

| กำลังพิกัด (kW) | แรงดันพิกัด (V) | กระแสพิกัด (A) | แรงบิดพิกัด (Nm) | ความเร็วพิกัด (RPM) | ความถี่พิกัด (Hz) | จำนวนขั้วของมอเตอร์ |
|-----------------|-----------------|----------------|------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| 2.2 | 400 | 5.5 | 14.5 | 1400 | 50 | 4 |



รูปที่ 5.3 แบบจำลองการควบคุมออกซิเจนละลายน้ำด้วยระบบ PID



รูปที่ 5.4 กราฟผลการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำหลังผ่านกระบวนการเติมอากาศโดยมีการ
ปรับเปลี่ยนค่า Setpoint จาก 4.0 mg/L เป็น 5.0 mg/L

5.4 แบบจำลองการประหยัดของพลังงานไฟฟ้า

โดยในแบบจำลองส่วนนี้ จะทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive) ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor) และเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive) ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพต่ำ (Low Efficiency Motor) โดยจะทำการประมวลผลแบบจำลองพร้อมกันทั้ง 2 ส่วน เพื่อความแม่นยำในการคำนวณ โดยทำการนำข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) น้ำเสียไหลเข้า C_i มาเป็นตัวแปรแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Model) เข้ามาในระบบเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า และความประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อไป

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลปัจจัยในการประมวลผล

| | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------|
| Q คืออัตราการไหลของน้ำเสียไหลเข้าระบบบำบัด ($\frac{m^3}{min}$) | 15 | Qa คือปริมาณอากาศที่ต้องเติมในน้ำที่ระบบบำบัดน้ำเสีย ($\frac{m^3}{min}$) | 0 - 6.78 |
| E คือประสิทธิภาพการเติมอากาศในน้ำทิ้ง(%) | 3% | T อุณหภูมิน้ำเสียไหลเข้าระบบบำบัด (C) | 30 c |
| C_i = ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเสียไหลออกจากระบบ ($\frac{mg}{Lite}$) | จากกราฟการจับเก็บ | ประสิทธิภาพของ High Efficiency Motor (%) | 85% |
| $C_s(20)$ คือปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัวในน้ำที่ 20 องศาเซลเซียส ($\frac{mg}{Lite}$) | 6.5 mg/Litre | ประสิทธิภาพของ Low Efficiency Motor (%) | 79% |
| $C_s(30)$ คือปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัวในน้ำที่ 30 องศา ($\frac{mg}{Lite}$) | 9.15 mg/Litre | ประสิทธิภาพของ Variable Speed Drive(%) | 97% |

5.4.1 แบบจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากการทำแบบจำลองได้ทำการแยกประเภทการใช้พลังงานออกเป็น 3 ระบบหลัก คือ

- 1) ระบบสตาร์ทมอเตอร์ Direct Online Start หรือการจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยตรงผ่านอุปกรณ์สตาร์ทคือ Magnetic Contactor และไม่มีการปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของมอเตอร์แต่อย่างใด ซึ่งเป็นระบบที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานอย่างคงที่ที่ 45.38 kWh / Day
- 2) ระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับมอเตอร์เดิม โดยจะนำอุปกรณ์ที่เรียกว่า Variable Speed Drive เข้ามาใช้ร่วมกับมอเตอร์เดิมเพื่อทำการบริหารการใช้พลังงานโดยให้ขึ้นกับ Setpoint ของการควบคุมคุณภาพออกซิเจนละลายน้ำที่ผ่านออกจากระบบ ซึ่งจะต้องนำอุปกรณ์ควบคุมประเภท PID Control เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยจะต้องมีการปรับตั้งอุปกรณ์ควบคุม PID ให้เหมาะสมกับการใช้งานแบบจำลอง
- 3) ระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง โดยจะนำอุปกรณ์ที่เรียกว่า Variable Speed Drive มาใช้ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและจะทำงานตาม Setpoint เหมือนในข้อ 2 ซึ่งจะอ้างอิงผลของการจัดตั้งปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ซึ่งในส่วนนี้จะให้คุณภาพการประหยัดพลังงานที่สูงสุด เนื่องจากมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมีค่าความสูญเสียเดิมของมอเตอร์เดิมของระบบบำบัด ซึ่งจะมีผลในการจัดทำแบบจำลองต่อไป

5.4.2 วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยแรงบิดคงที่

โดยจากข้อมูลในระบบบำบัดน้ำเสีย มีแรงบิดที่เพลามอเตอร์ใช้งานคือ 14.5 Nm. หากต้องการหาพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ เมื่อมีการปรับความเร็วรอบลดลง 50% จากความเร็วรอบปกติ 1,400 rpm สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P_o = T_m \times \omega_r \quad (5.3)$$

เมื่อ P_o : Power Output Motor (kW)

T_m : Torque Load Motor (N m)

ω_r : Radian Speed of Motor (Rad/sec)

$$\omega_r = \frac{2\pi}{60} \times N_r \quad (5.4)$$

$$P_o = 14.5 \times \frac{2\pi}{60} \times 1400$$

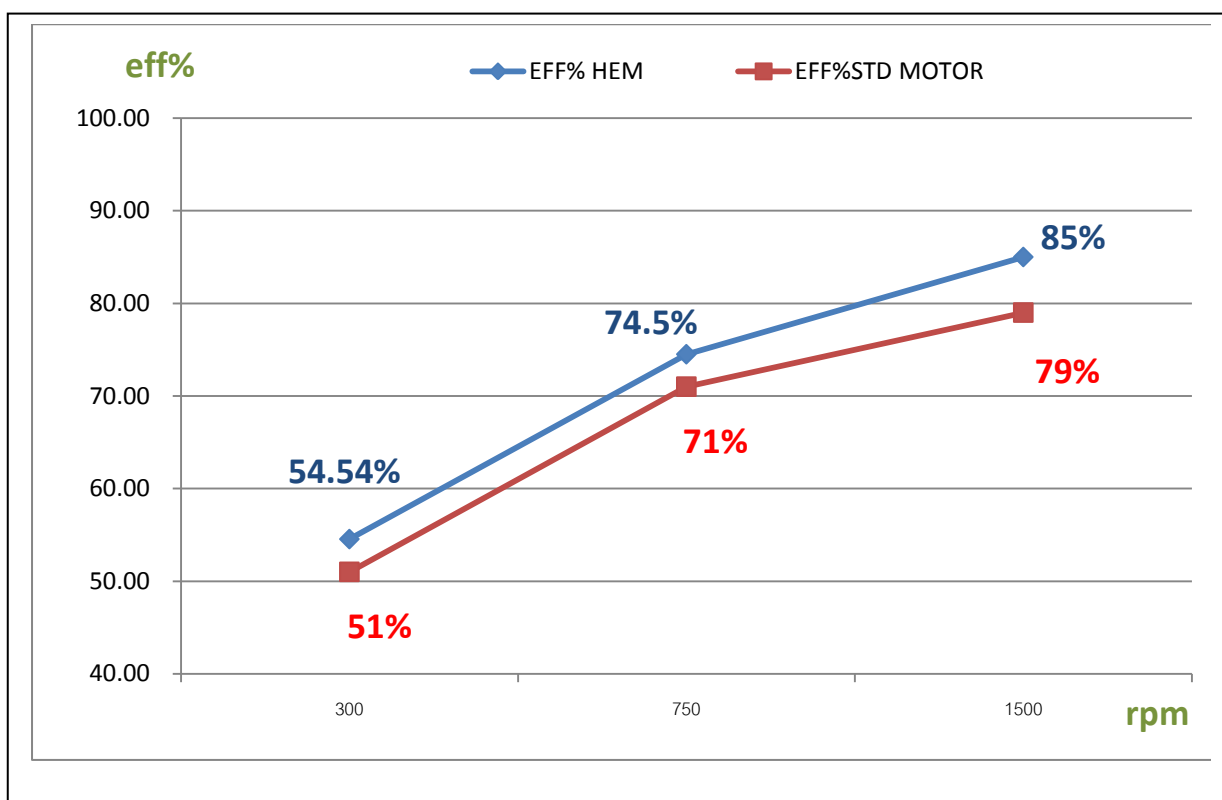
ดังนั้นที่ 100 % ความเร็วพิกัดใช้พลังงาน

$$P_o = 2.125 \text{ kW}$$

ดังนั้นที่ 50 % ความเร็วพิกัดใช้พลังงาน

$$P_o = 1.06 \text{ kW}$$

5.4.3 พลังงานป้อนเข้าสู่มอเตอร์โดยคำนึงถึงผลเชิงประสิทธิภาพ



รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง(IE2)

กับมอเตอร์มาตรฐาน (IE1) ที่ความเร็วรอบ 1500-300 RPM [12]

ซึ่งจากการข้อมูลเชิงประสิทธิภาพของมอเตอร์และอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์คือ

79% และ 97 % ตามลำดับ

$$P_{in} = \frac{P_o}{\eta_{motor}\% * \eta_{VSD}\%} \text{ kW} \quad (5.5)$$

เมื่อ P_{in} : Power Input Motor (kW)

P_o : Power Output Motor (kW)

η_{motor} : Efficiency of Motor (%)

η_{VSD} : Efficiency of Variable Speed Drive (%)

$$P_{in} = \frac{2.125}{79\% * 97\%} \text{ kW}$$

ดังนั้นที่ 100 % ความเร็วพิกัดใช้พลังงานป้อน $P_{in} = 2.77 \text{ kW}$

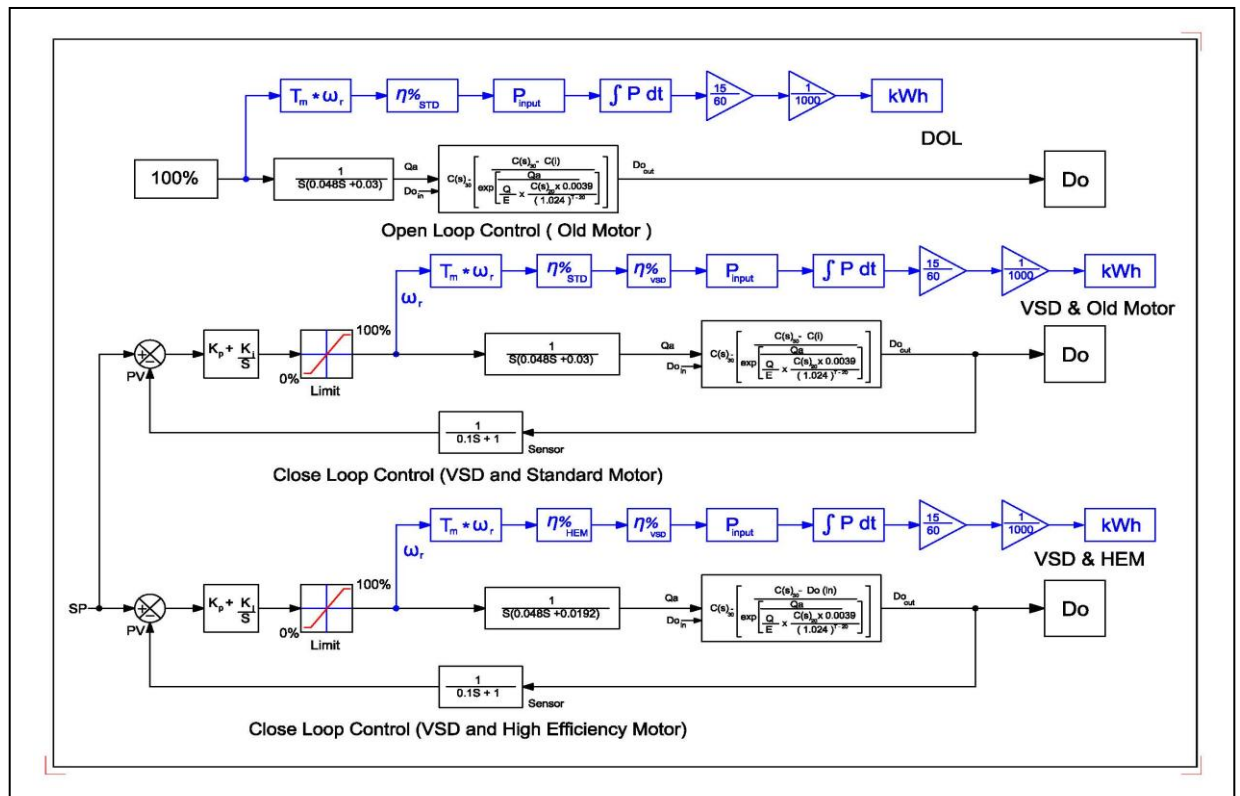
และเมื่อทดลองปรับความเร็วลง 50 % จะทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์มาตรฐาน (IE1) มีประสิทธิภาพลดลงเท่ากับ 71 % และการใช้งานแบบโหลดคงที่

$$P_{in} = \frac{2.125 * 50\%}{71\% * 97\%} \text{ kW}$$

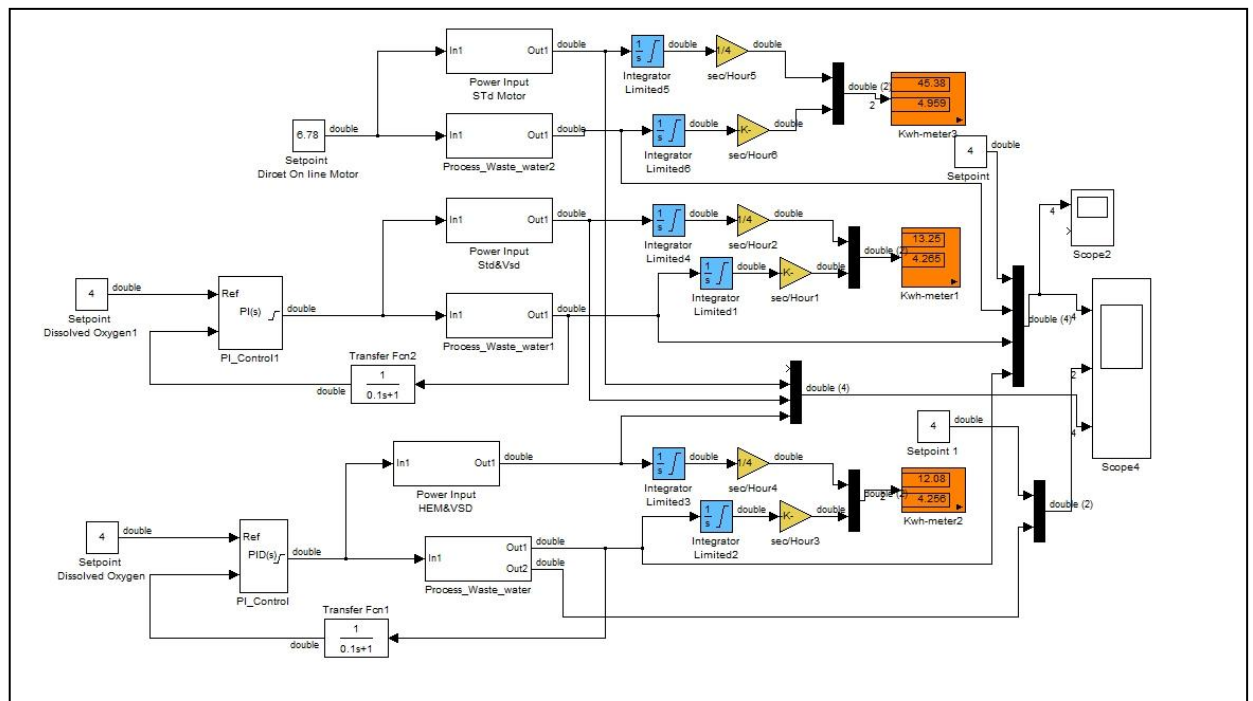
ดังนั้นที่ 50 % ความเร็วพิกัดใช้พลังงานป้อน $P_{in} = 1.54 \text{ kW}$

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลการควบคุมระบบ PID ในการประมวลผลด้วย Simulink [11],[12]

| | | | |
|--------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------|----------|
| Proportional Gain | 2 | Upper Saturation Limit | 6.78 |
| Integral Gain | 1.5 | Lower Saturation Limit | 0 |
| Derivative Gain | 0 | Direction Control | SP-PV |
| Moment of initial HEM J(Kg-m ²) | 0.048 | Friction of HEM F(Nm/rad/sec) | 0.0192 |
| Moment of initial Standard motot J(Kg-m ²) | 0.048 | Friction of Standard Motor F(Nm/rad/sec) | 0.03 |
| Time Domain | Continuous-time | Time Simulation | 80 Cycle |



รูปที่ 5.6 ภาพแบบจำลองระบบการใช้พลังงานด้วย Block Diagram



รูปที่ 5.7 ภาพแบบจำลองระบบการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Simulink Matlab

บทที่ 6

การทดสอบระบบและวิเคราะห์ผล

6.1 การดำเนินงานเก็บข้อมูล

ทำการจัดเก็บปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) และอุณหภูมิด้วยเครื่องมือวัดแบบบันทึกผลได้ (Data Logger) โดยตั้งค่าสุ่มตรวจวัดทุก 15 นาทีและทำการเก็บข้อมูลเข้าเป็นฐานข้อมูล เพื่อใช้เป็นปัจจัยฐานในการประมวลผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB SIMULINK

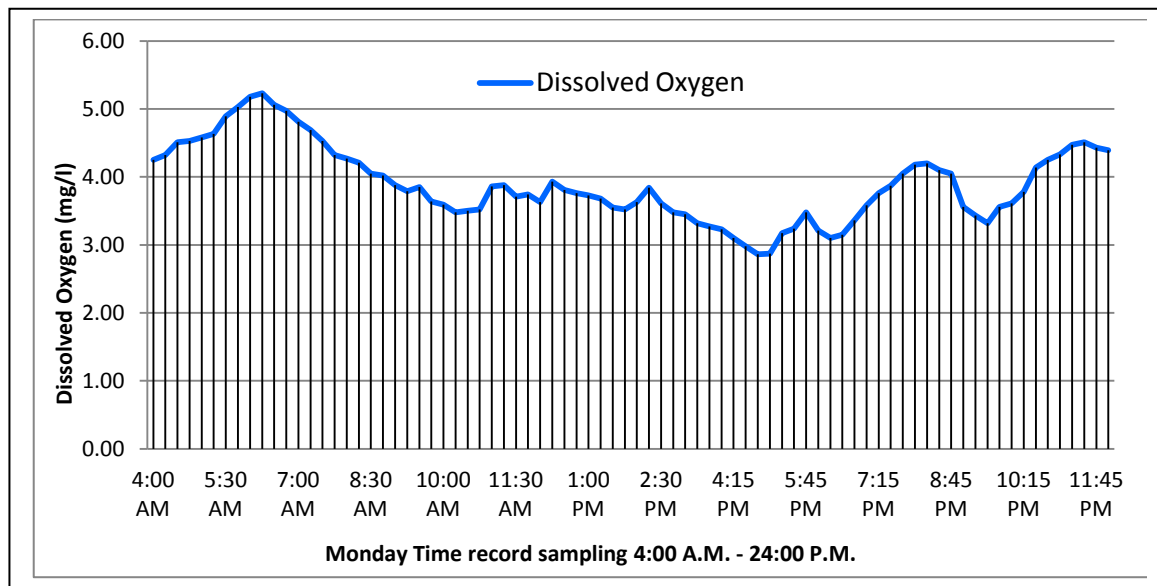


รูปที่ 6.1 ระบบเติมอากาศเหนือผิวน้ำ

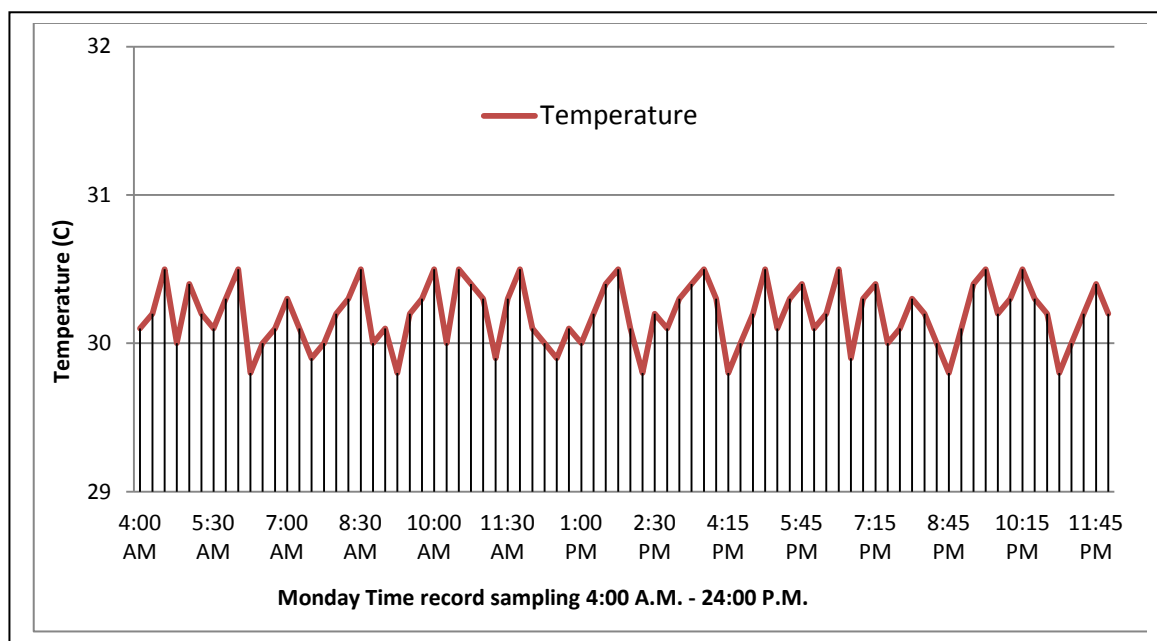


รูปที่ 6.2 เครื่องมือวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

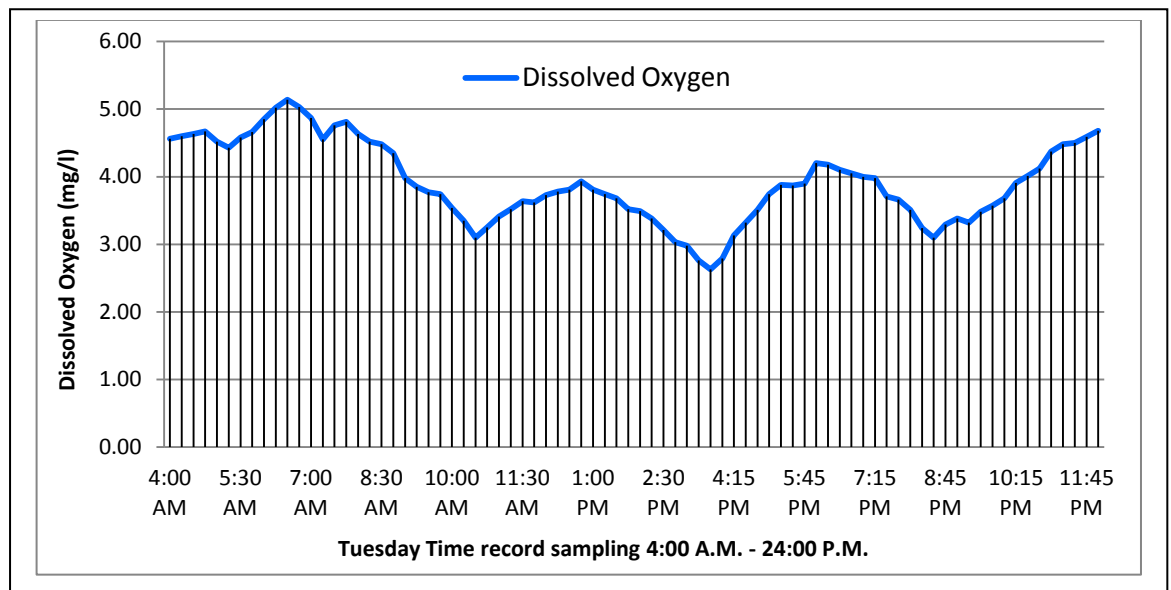
6.2 ผลการเก็บข้อมูลปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและอุณหภูมิน้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบบำบัด



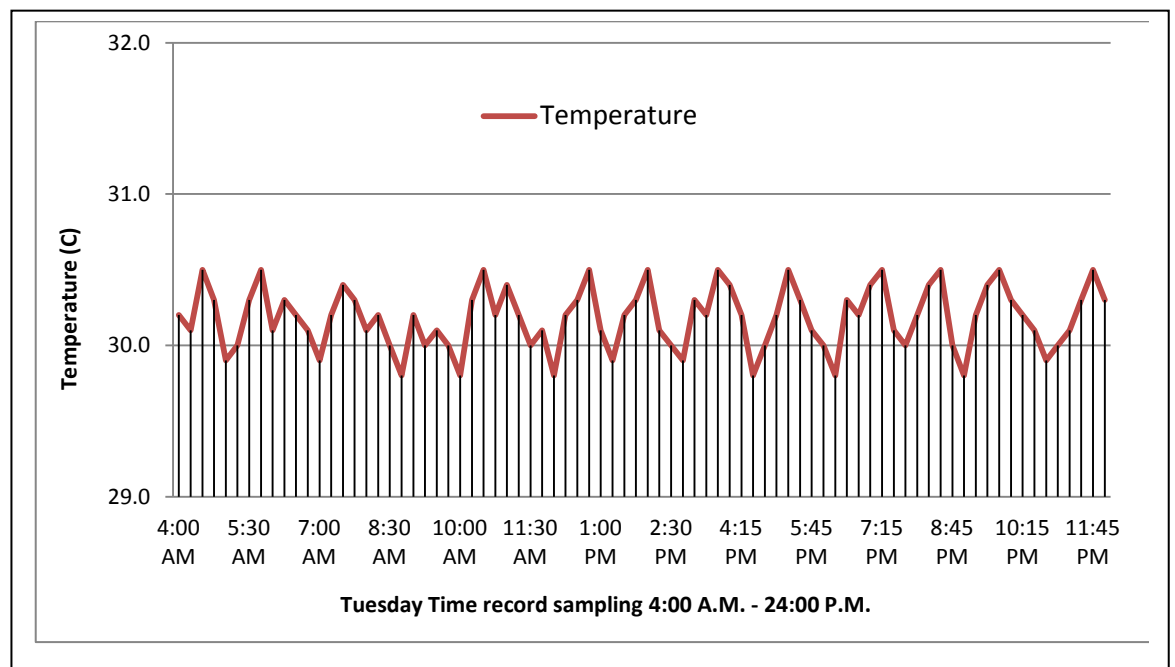
รูปที่ 6.3 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันจันทร์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น.



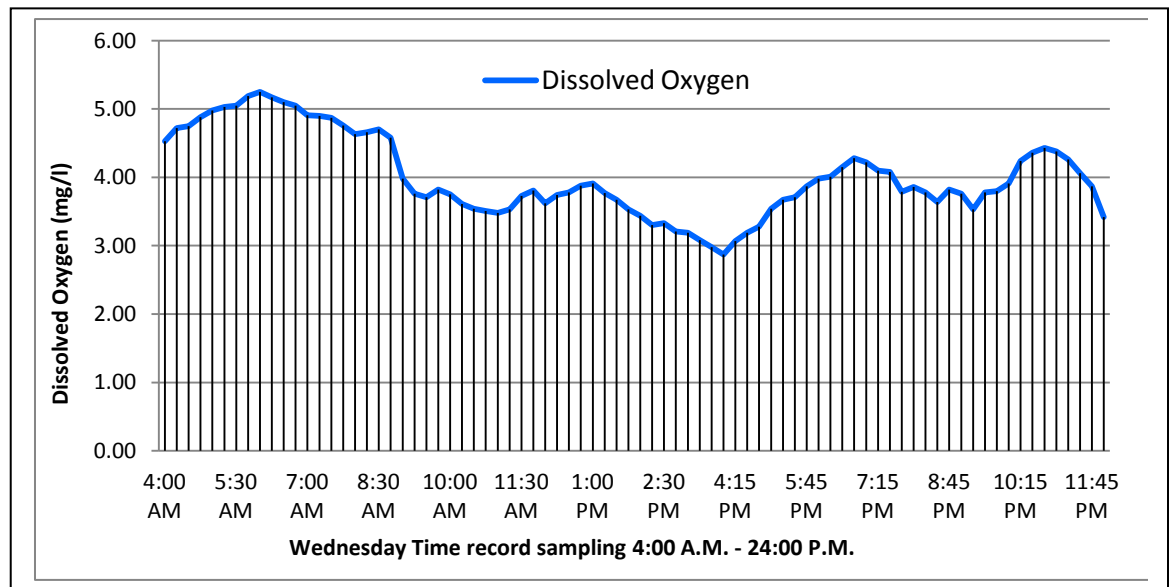
รูปที่ 6.4 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันจันทร์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น.



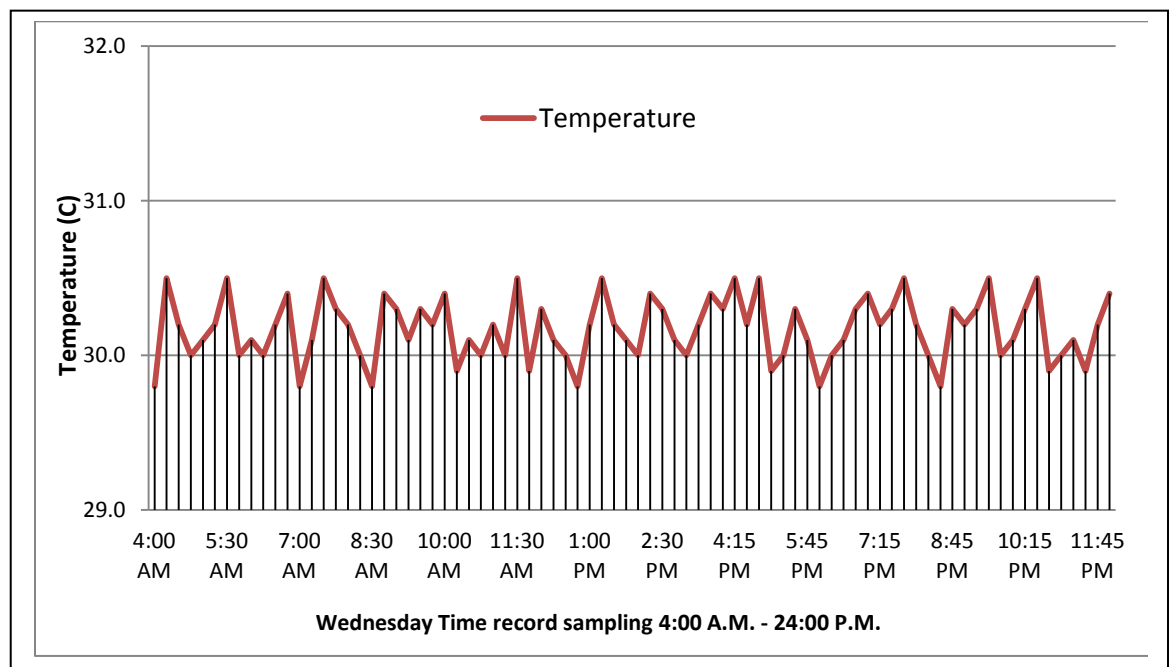
รูปที่ 6.5 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันอังคาร เวลา 4.00 น. - 24.00 น.



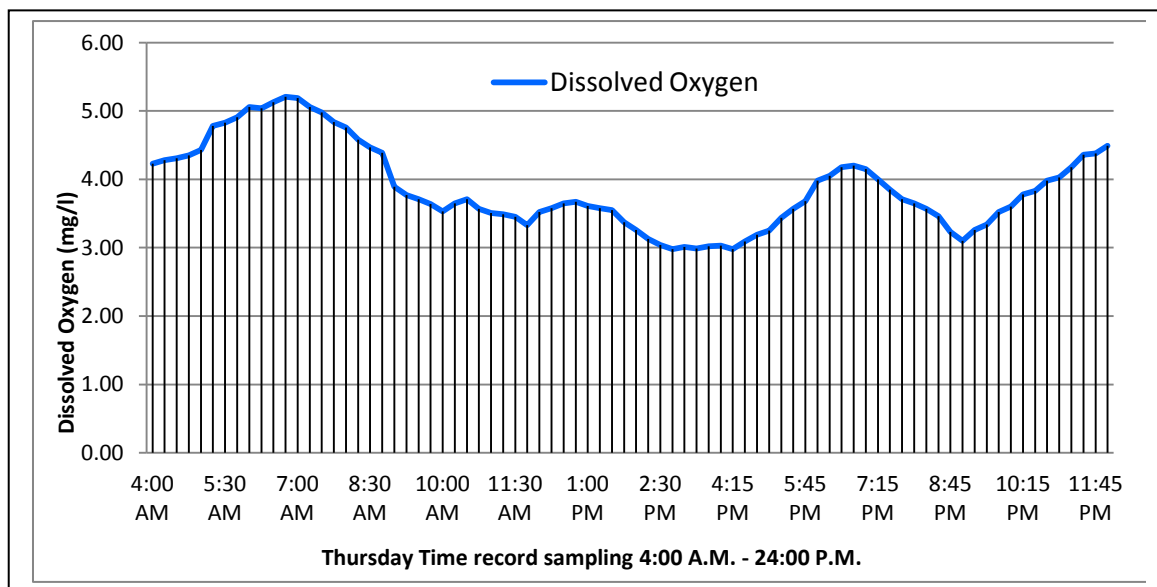
รูปที่ 6.6 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันอังคาร เวลา 4.00 น. - 24.00 น.



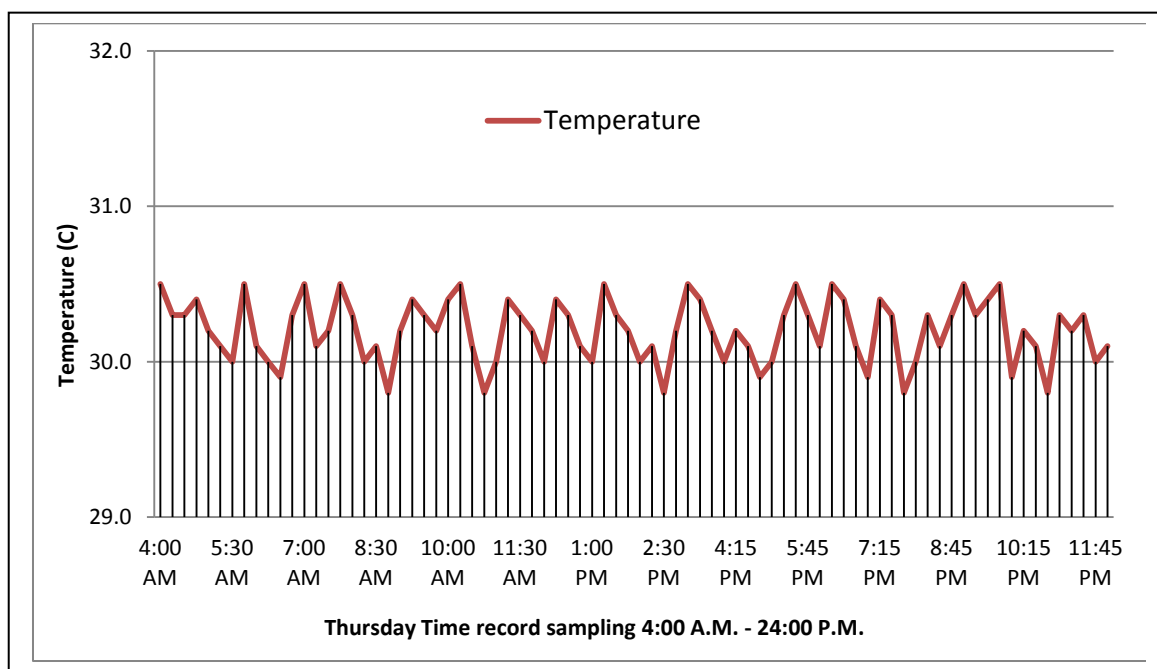
รูปที่ 6.7 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันพุธ เวลา 4.00 น. - 24.00 น.



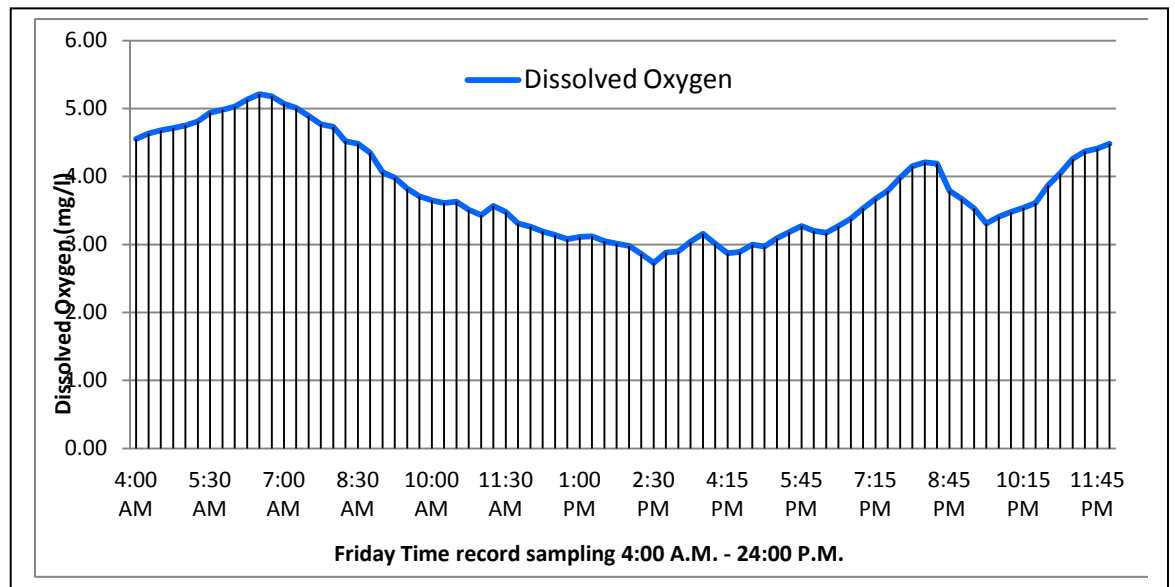
รูปที่ 6.8 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันพุธ เวลา 4.00 น. - 24.00 น.



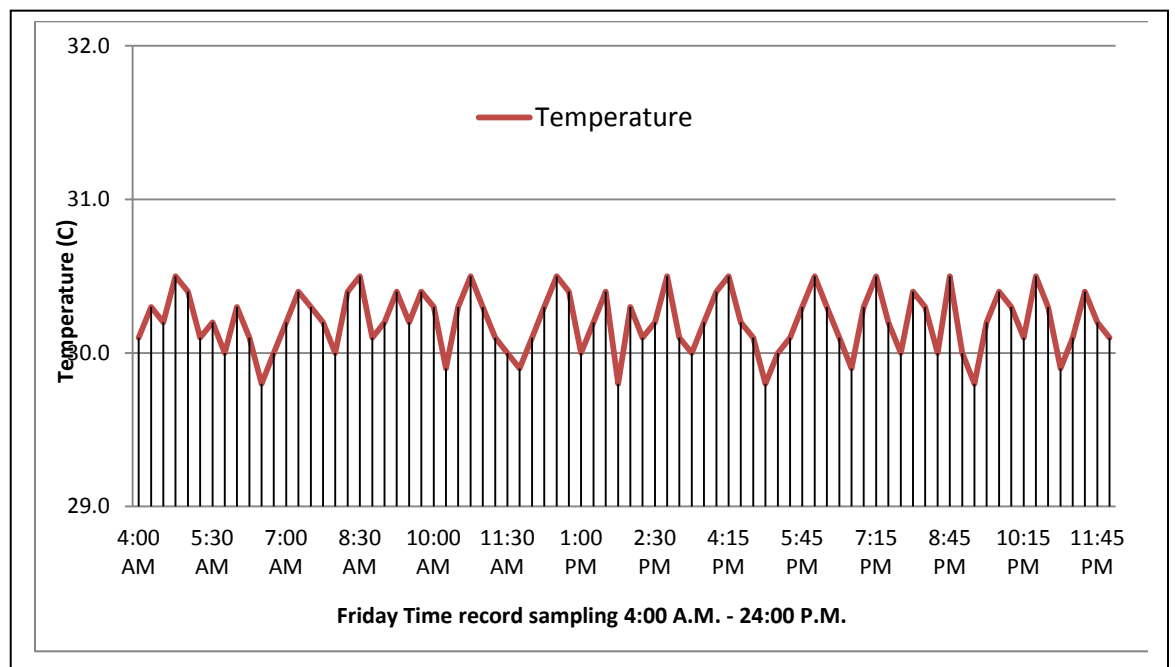
รูปที่ 6.9 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันพฤหัสบดี เวลา 4.00 น. - 24.00 น.



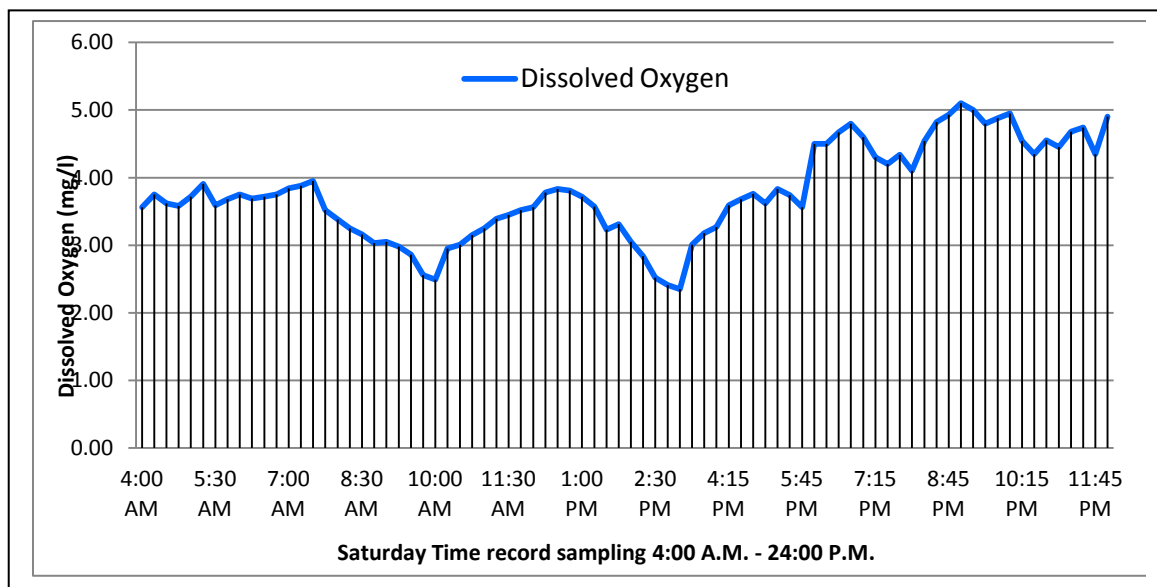
รูปที่ 6.10 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันพฤหัสบดี เวลา 4.00 น. - 24.00 น.



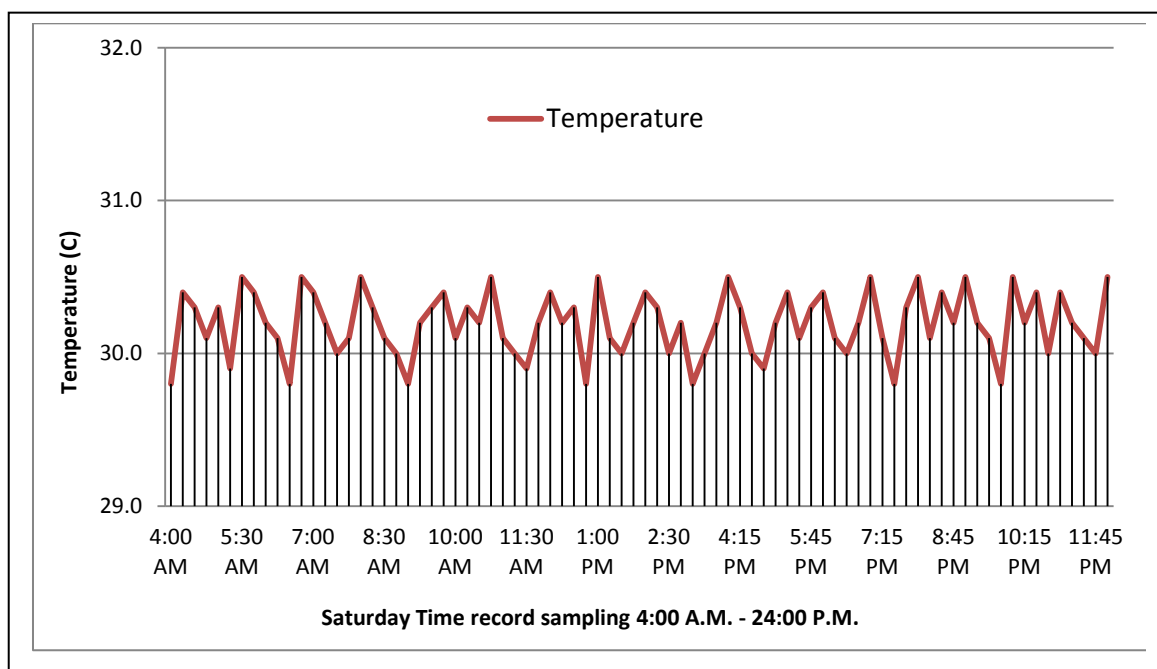
รูปที่ 6.11 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันศุกร์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น.



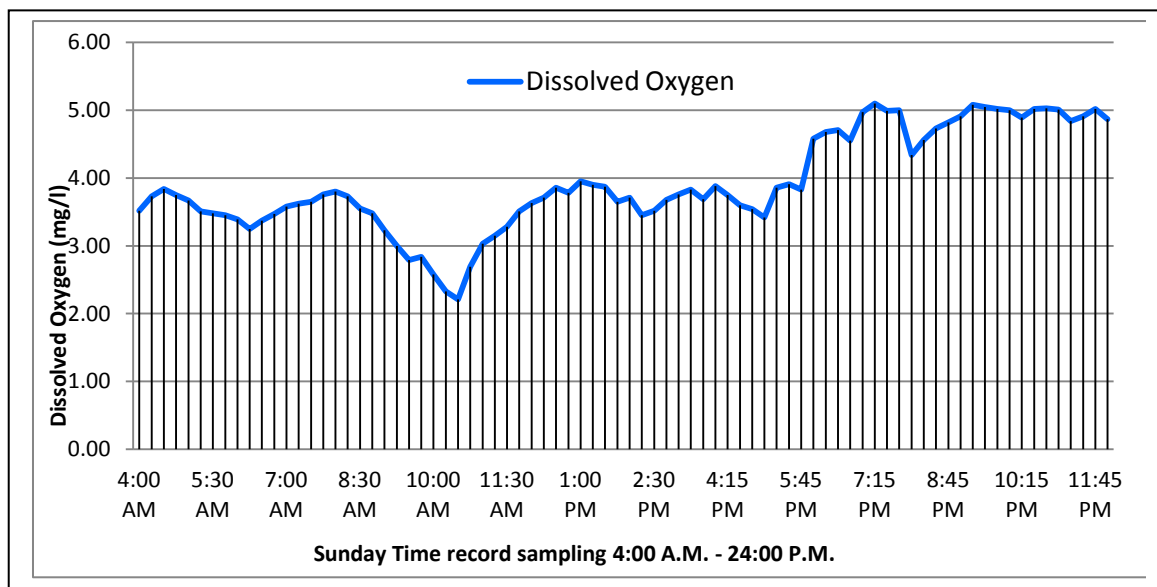
รูปที่ 6.12 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันศุกร์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น.



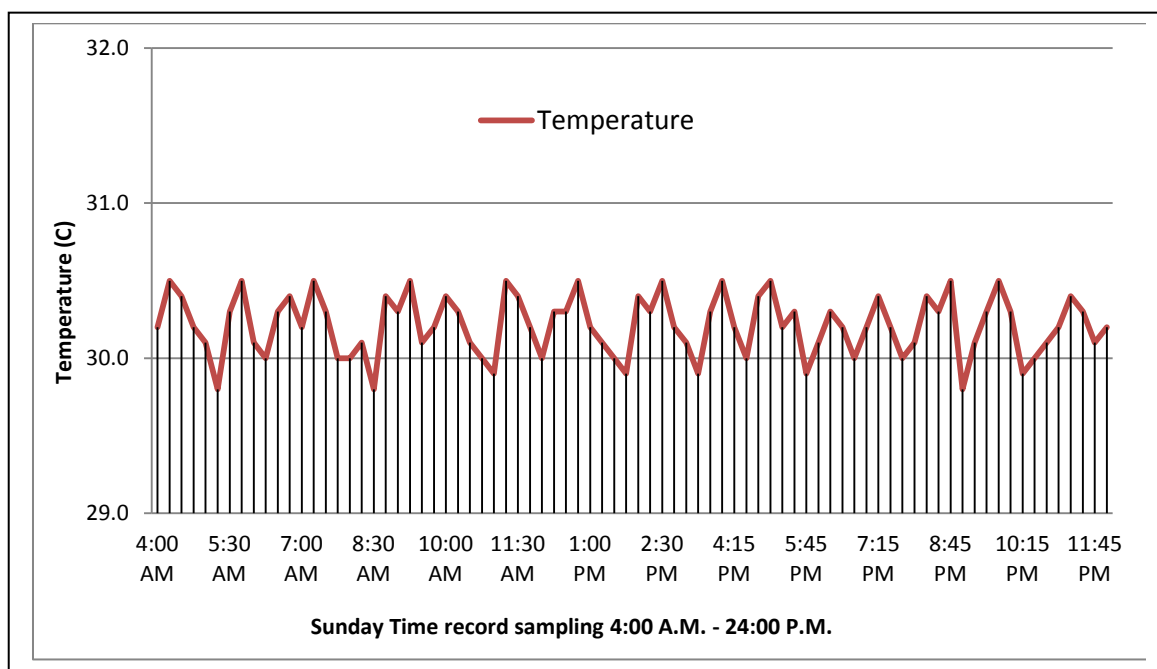
รูปที่ 6.13 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันเสาร์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น.



รูปที่ 6.14 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันเสาร์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น.



รูปที่ 6.15 กราฟข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำวันอาทิตย์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น.



รูปที่ 6.16 กราฟข้อมูลอุณหภูมิวันอาทิตย์ เวลา 4.00 น. - 24.00 น.

6.3 การทดสอบแบบจำลองการประหยัคของพลังงานไฟฟ้า

โดยในแบบจำลองส่วนนี้ จะทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive) ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor) และเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive) ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพต่ำ (Low Efficiency Motor) โดยจะทำการประมวลผลแบบจำลองพร้อมกันทั้ง 2 ส่วน เพื่อความแม่นยำในการคำนวณ โดยทำการนำข้อมูลออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) น้ำเสียไหลเข้า C_i มาเป็นตัวแปรแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Model) เข้ามาในระบบเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า และความประหยัคพลังงานไฟฟ้าต่อไป

ตารางที่ 6.1 ข้อมูลปัจจัยในการประมวลผล

| | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------|
| Q คืออัตราการไหลของน้ำเสียไหลเข้าระบบบำบัด ($\frac{m^3}{min}$) | 15 | Qa คือปริมาณอากาศที่ต้องเติมในน้ำที่ระบบบำบัดน้ำเสีย ($\frac{m^3}{min}$) | 0 - 6.78 |
| E คือประสิทธิภาพการเติมอากาศในน้ำทิ้ง(%) | 3% | T อุณหภูมิน้ำเสียไหลเข้าระบบบำบัด (C) | 30 c |
| C_i = ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเสียไหลออกจากระบบ ($\frac{mg}{Lite}$) | จากกราฟการจับเก็บ | ประสิทธิภาพของ High Efficiency Motor (%) | 85% |
| $C_s(20)$ คือปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัวในน้ำที่ 20 องศาเซลเซียส ($\frac{mg}{Lite}$) | 6.5 mg/Litre | ประสิทธิภาพของ Low Efficiency Motor (%) | 79% |
| $C_s(30)$ คือปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัวในน้ำที่ 30 องศา ($\frac{mg}{Lite}$) | 9.15 mg/Litre | ประสิทธิภาพของ Variable Speed Drive(%) | 97% |

ตารางที่ 6.2 ข้อมูลการควบคุมระบบ PID ในการประมวลผลด้วย Simulink

| | | | |
|-------------------|-----------------|------------------------|----------|
| Proportional Gain | 2.0 | Upper Saturation Limit | 6.78 |
| Integral Gain | 1.5 | Lower Saturation Limit | 0 |
| Derivative Gain | 0 | Direction Control | SP-PV |
| Time Domain | Continuous-time | Time Simulation | 80 Cycle |

ตารางที่ 6.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบทั้ง 3 ระบบและผลการประหยัดพลังงาน

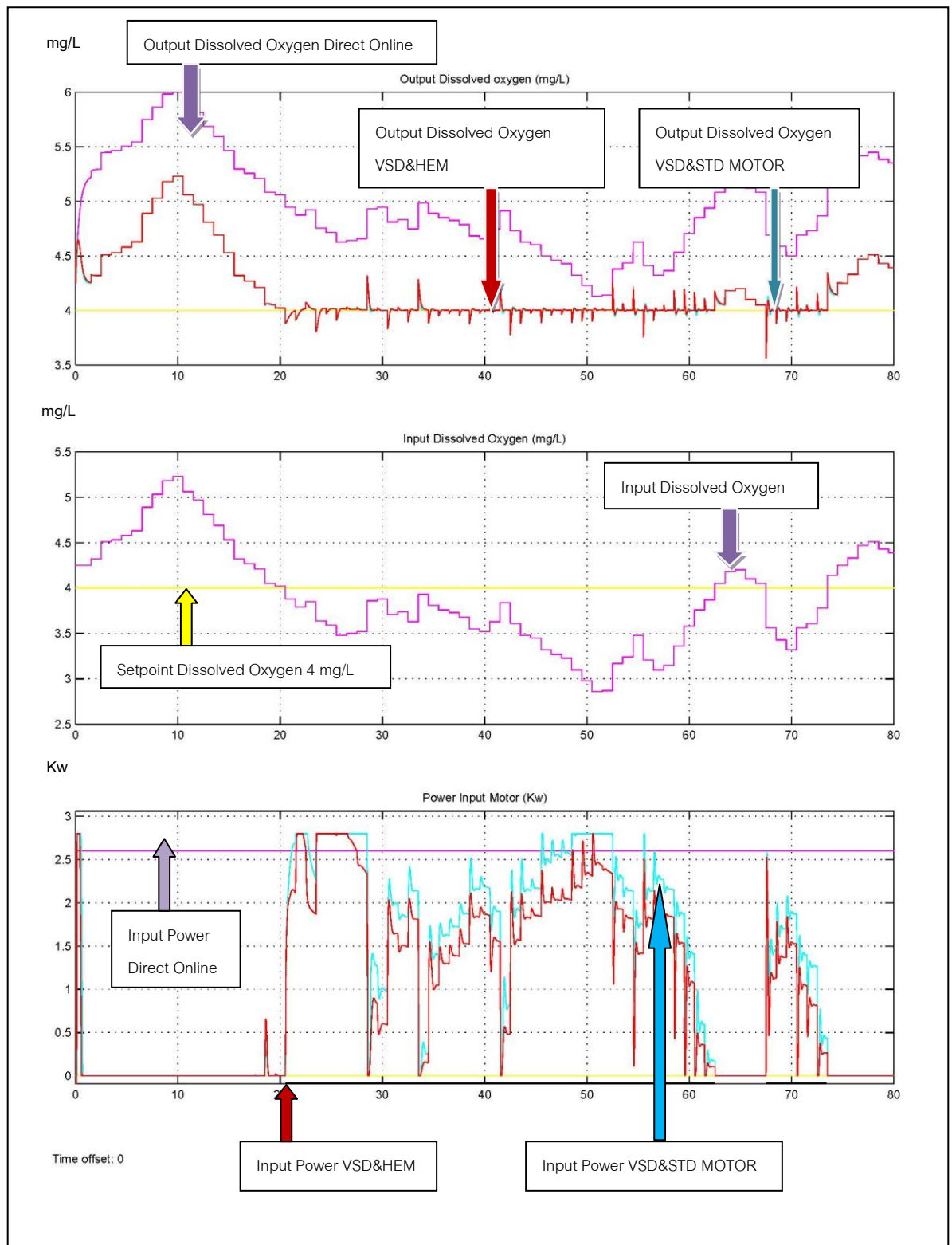
| วันที่ทดลอง | การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบ Direct Start Motor | การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบ VSD ร่วมกับ Standard Motor | ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของระบบ VSD ร่วมกับ Standard Motor | การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบ VSD ร่วมกับ High Efficiency Motor | ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของระบบ VSD ร่วมกับ High Efficiency Motor |
|-------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| จันทร์ | 45.38 | 12 | 33.38 | 10.8 | 34.5 |
| อังคาร | 45.38 | 11.25 | 34.13 | 10.5 | 34.4 |
| พุธ | 45.38 | 9.2 | 36.18 | 8.73 | 36.65 |
| พฤหัสบดี | 45.38 | 12.79 | 32.59 | 11.8 | 33.5 |
| ศุกร์ | 45.38 | 16.1 | 29.28 | 14.77 | 30.61 |
| เสาร์ | 45.38 | 15.5 | 29.88 | 14.32 | 31.06 |
| อาทิตย์ | 45.38 | 12.6 | 32.78 | 11.9 | 33.48 |

6.4 ผลการทดสอบระบบควบคุมการเติมอากาศ

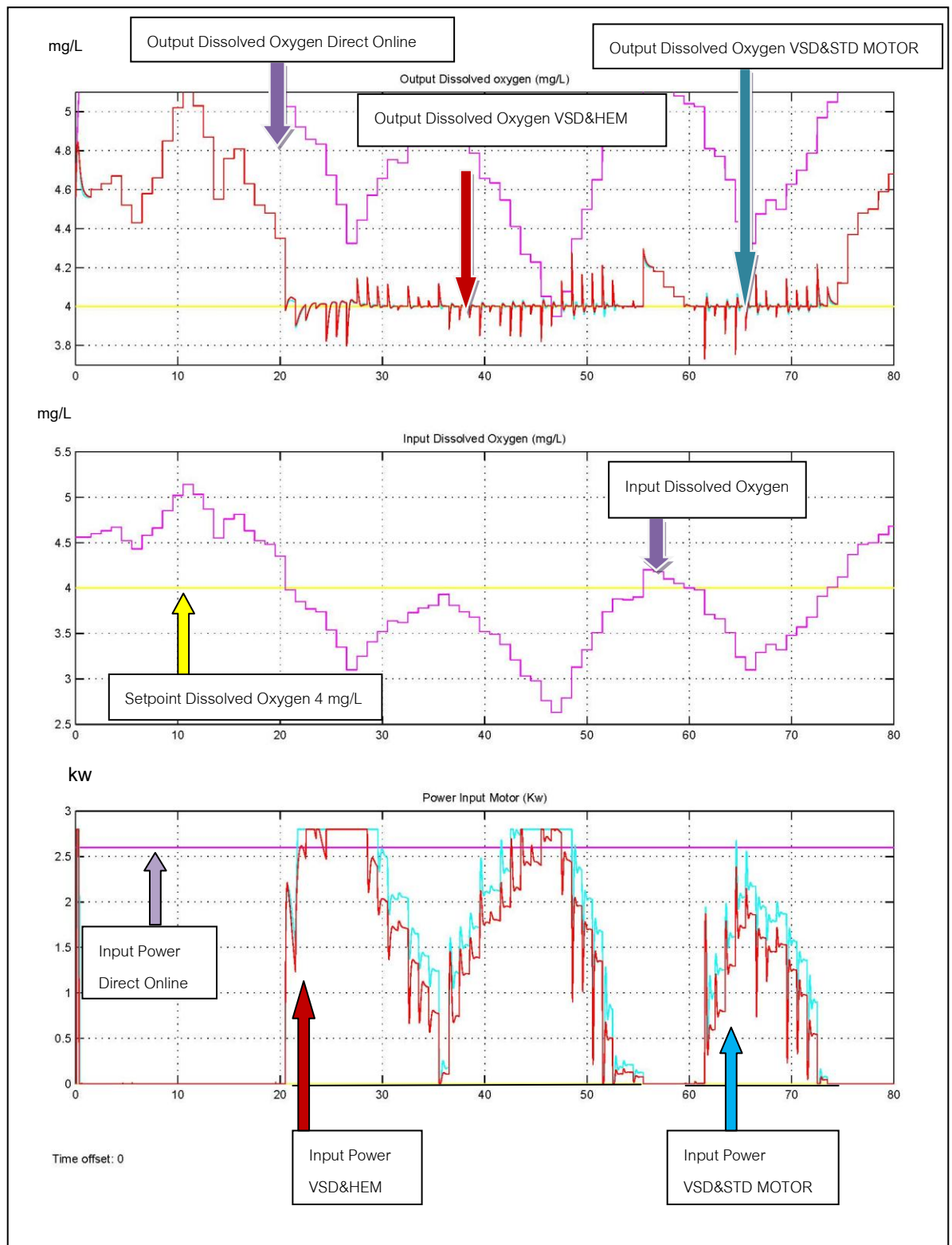
โดยใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive) ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor) และเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive) ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพต่ำ (Low Efficiency Motor) ซึ่งเป็นมอเตอร์ตัวเดิมของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในกระบวนการเติมอากาศมีการทำงานอยู่ที่ 20 ชั่วโมงต่อวัน โดยจะทำการวัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำหลังระบบบำบัดโดยนำค่าที่ได้มารวมกันและหารเฉลี่ยด้วยจำนวนครั้งที่สุ่มวัดข้อมูล โดยค่าการวัดมาตรฐานตามรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) จะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำหลังจาบบำบัดไม่น้อยกว่า 4.0 mg/L

ตารางที่ 6.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำหลังผ่านระบบบำบัดโดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองการใช้พลังงานทั้ง 3 ประเภท

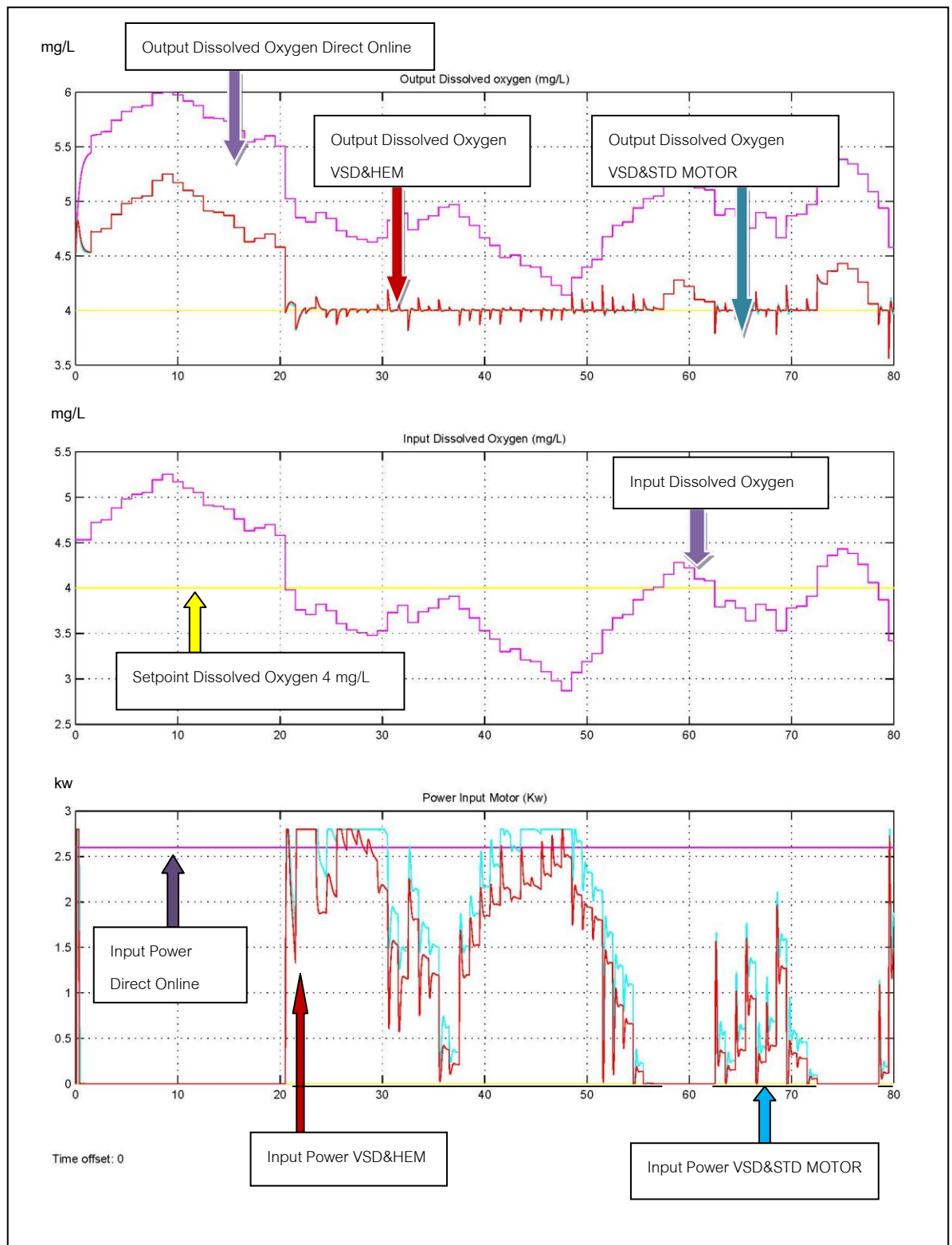
| วันที่ทดลอง | ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำหลังผ่านระบบบำบัด (mg/L) / Day โดยใช้ระบบ Direct Start Motor | ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำหลังผ่านระบบบำบัด (mg/L) / Day โดยใช้ระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับมอเตอร์เดิม | ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำหลังผ่านระบบบำบัด (mg/L) / Day โดยใช้ระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| จันทร์ | 4.95 | 4.20 | 4.19 |
| อังคาร | 4.96 | 4.21 | 4.21 |
| พุธ | 5.04 | 4.26 | 4.25 |
| พฤหัสบดี | 4.93 | 4.21 | 4.21 |
| ศุกร์ | 4.87 | 4.24 | 4.23 |
| เสาร์ | 4.84 | 4.19 | 4.18 |
| อาทิตย์ | 4.95 | 4.26 | 4.25 |



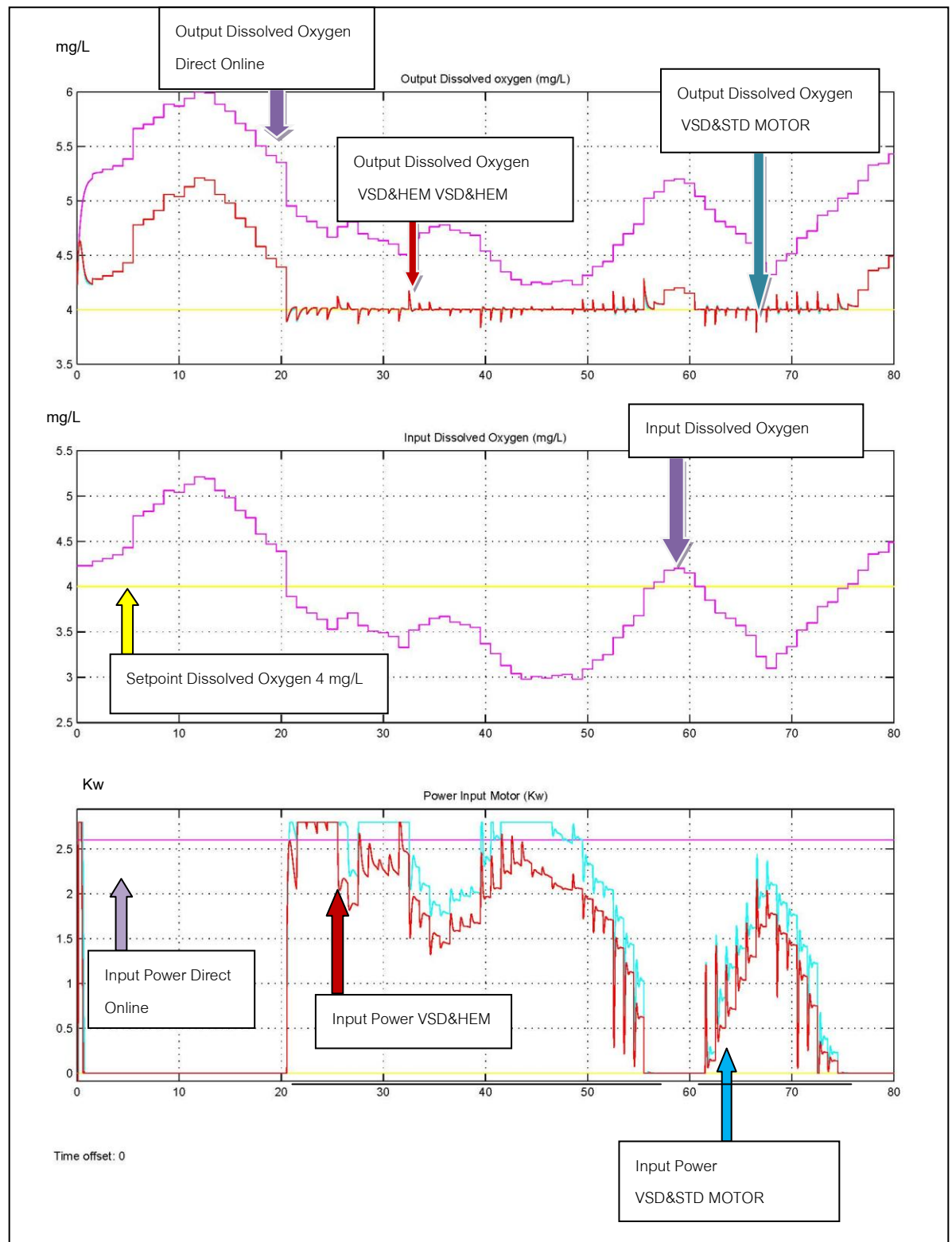
รูปที่ 6.17 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันจันทร์



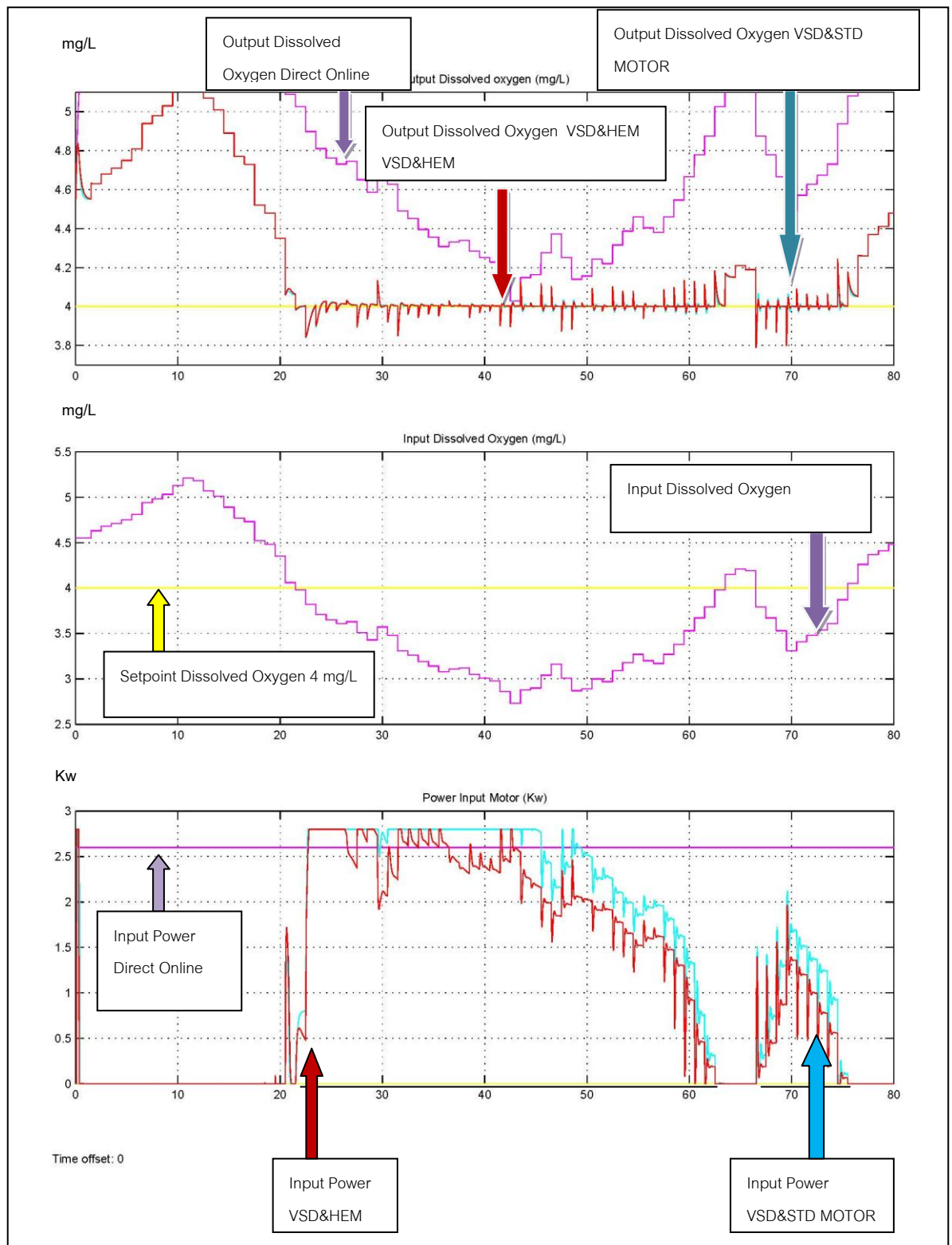
รูปที่ 6.18 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันอังคาร



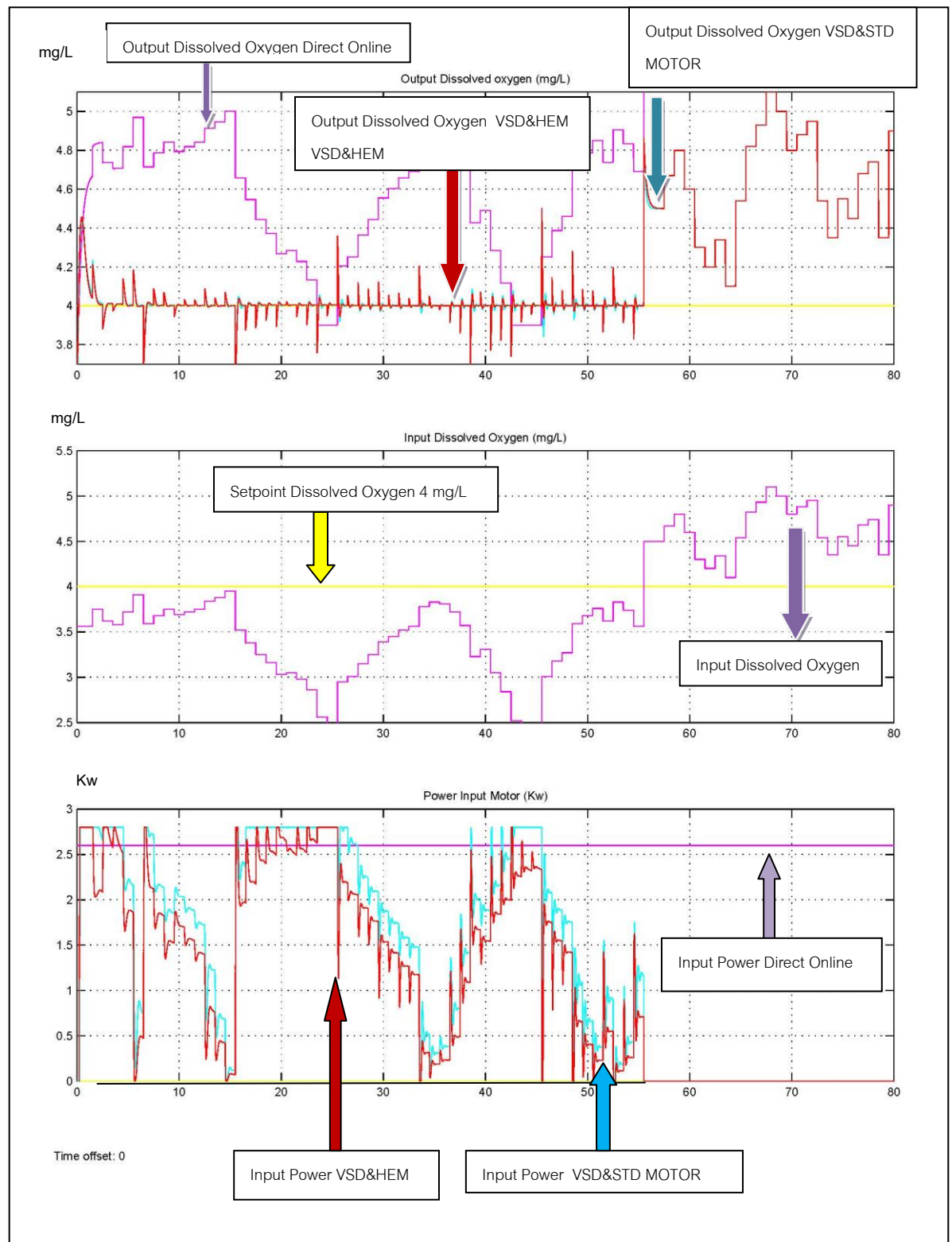
รูปที่ 6.19 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันพุธ



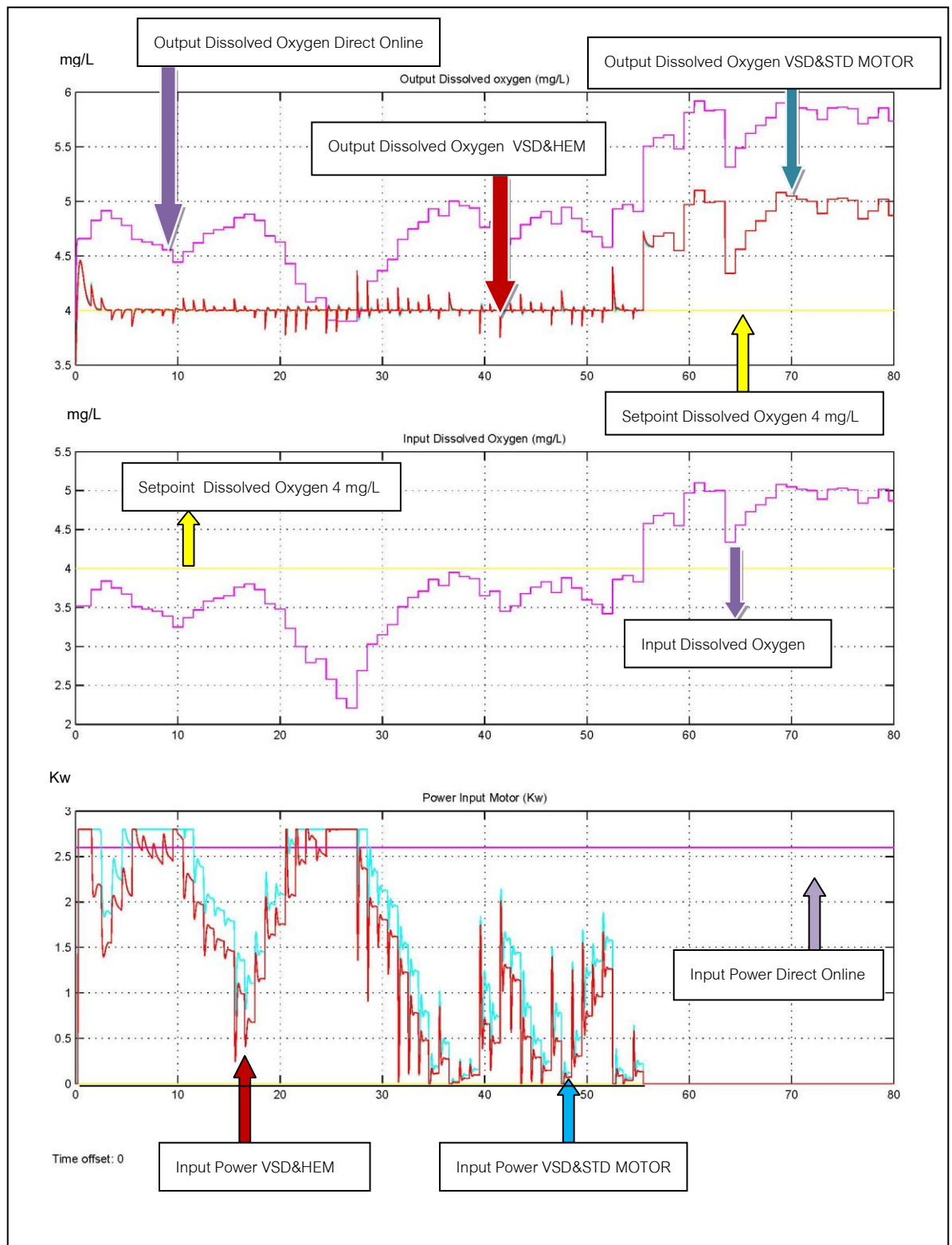
รูปที่ 6.20 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันพฤหัสบดี



รูปที่ 6.21 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันศุกร์



รูปที่ 6.22 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันเสาร์



รูปที่ 6.23 ภาพปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW) วันอาทิตย์

6.5 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในการเลือกสรรโครงการพลังงาน

6.5.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period PB) โดยในที่นี้จะทำการวิเคราะห์ต้นทุนโครงการมา 2 ชนิดการลงทุน เพื่อเปรียบเทียบการลงทุนว่าโครงการใดให้ระยะเวลาการคืนทุนได้เร็วกว่ากัน

โดยการไฟฟ้าภูมิภาค จัดกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า[13] ของสถานพยาบาลศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษกให้อยู่ในกลุ่ม ประเภทที่ 6 องค์กรไม่แสวงผลกำไรและคิดอัตราการจัดเก็บ ในอัตราปกติ 10 หน่วยแรก จัดเก็บอยู่ที่ 2.43 บาท ส่วนที่เกิน 10 หน่วยขึ้นไป จัดเก็บอยู่ที่ 3.52 บาท และ คิดค่าบริการรายเดือน 312.24 บาท/เดือน

ตารางที่ 6.5 เปรียบเทียบการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

| ระยะเวลา | ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจาก VSD ร่วมกับ Standard Motor | ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจาก VSD ร่วมกับ HEM |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1 สัปดาห์ | 228 (kWh/week) | 234 (kWh/week) |
| 1 ปี (52 สัปดาห์) | 11,856 (kWh/year) | 11,648 (kWh/year) |
| ในระยะเวลา 1 ปีจะประหยัดเงินได้ทั้งสิ้น โดยคำนวณจากค่าไฟฟ้า | 45,370 (Baht/year) | 45,370 (Baht/year) |

รูปแบบของ โครงการพลังงานแบ่งได้ 2 ลักษณะโครงการ

1 โครงการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ โดยในโครงการจะดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ขนาด 2.2 kW พร้อมอุปกรณ์ควบคุมแบบ PID และเครื่องมือวัดออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ติดตั้งที่บ่อรับน้ำเสีย แต่ยังคงใช้มอเตอร์เดิมอากาศเหนือผิวน้ำชุดเดิม โดยดำเนินการจัดจ้างผู้รับเหมาจากภายนอก

2 โครงการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับชุดมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง โดยในโครงการจะดำเนินการติดตั้งมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงทำงานร่วมกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ขนาด 2.2 kW พร้อมอุปกรณ์ควบคุมแบบ PID และเครื่องมือวัดออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ติดตั้งที่บ่อรับน้ำเสีย โดยดำเนินการจัดจ้างผู้รับเหมาจากภายนอก

ตารางที่ 6.6 ค่าใช้จ่ายใน 2 โครงการ

| รายการค่าใช้จ่ายในโครงการ | โครงการติดตั้งระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับมอเตอร์เดิม | โครงการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับชุดมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| ชุดมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงขนาด 2.2 kW | 0 | 19,450 |
| ระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ขนาด 2.2 kW | 23,000 | 23,000 |
| เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ 2 ชุด มีอายุใช้งาน 5 ปี | 53,000*2 | 53,000*2 |
| อุปกรณ์ควบคุมแบบ PID | 15,000 | 15,000 |
| ค่าแรงผู้รับจ้างติดตั้ง | 30,000 | 36,000 |
| ผลรวมค่าใช้จ่ายในโครงการ | 227,000 | 252,450 |

6.5.1.1 ระยะเวลาคืนทุนในโครงการติดตั้งระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับมอเตอร์ชุดเดิม [6]

Simple payback period ระยะเวลาเวลาคืนทุน
Increment cost ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากการลงทุนในโครงการ
Annual Baht Saving เงินที่ประหยัดได้ต่อปี (bath/year)

$$\begin{aligned} \text{Simple payback period} &= \frac{\text{Increment cost}}{\text{Annual Baht saving}} && \text{Years} \\ &= \frac{227,000}{44,638} \\ &= 5 && \text{Years} \quad \text{ดังนั้น} \end{aligned}$$

จะใช้เวลาคืนทุนทั้งสิ้น 5 ปี

6.5.1.2 ระยะเวลาคืนทุนในโครงการติดตั้งระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง [6] โดยส่วนนี้จะดำเนินการขายมอเตอร์เดิม เป็นทุนเข้ามาในระบบโครงการ

ได้เป็นเงินทั้งสิ้น 4,000 บาท และนำมาเป็นส่วนลดของต้นทุนโครงการ

$$\begin{aligned} \text{Simple payback period} &= \frac{\text{Increment cost}}{\text{Annual Baht saving}} && \text{Years} \\ &= \frac{252,450 - 4,000}{45,370} \\ &= 5.47 && \text{Years} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะใช้เวลาคืนทุนทั้งสิ้น 5.47 ปี ประมาณ 5 ปี 6 เดือน

6.5.2 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present value: NPV) [6]

ค่า NPV คือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุน พลังงาน จากมาตรการในรูปแบบตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ โดยพิจารณาระยะเวลา 10 ปี กับมูลค่าปัจจุบันของเงิน ที่จ่ายออกไป ภายใต้โครงการที่กำลังพิจารณา ณ อัตราลดค่า (discount rate) หรือค่าของทุน (cost of capital) ที่กำหนดจากคำนิยามข้างต้น การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ จะต้องทราบข้อมูลดังนี้

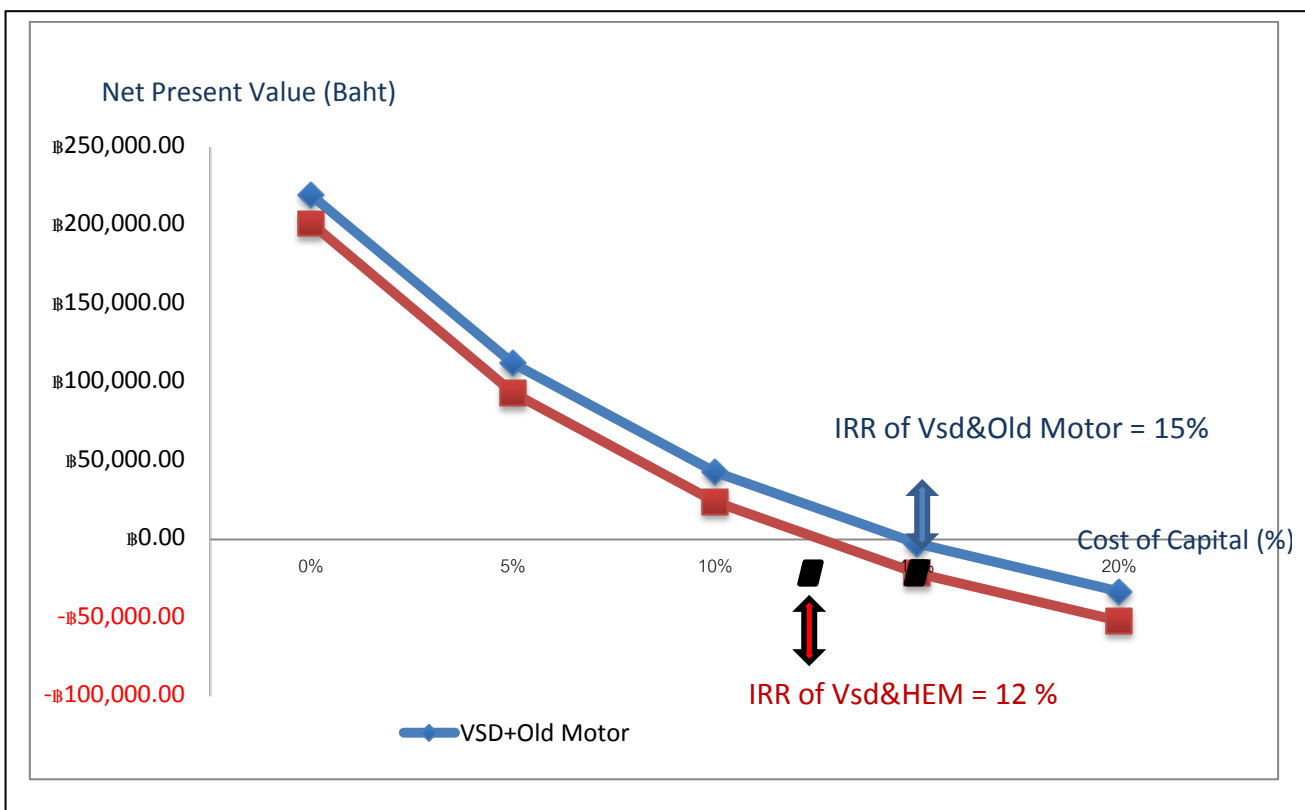
$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (6.1)$$

เมื่อ n อายุโครงการ (ปี)
 ES_t ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n
 I_0 เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (total investment)
 i อัตราลดค่า (discount rate)

ตารางที่ 6.7 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อายุโครงการ 10 ปี

| Cost of Capital % | NPV Profile of VSD&Old Motor | NPV Profile of VSD&HEM Motor |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| 0 | 219,380 | 201,250 |
| 5 | 112,079 | 93,224 |
| 10 | 42,983 | 23,935 |
| 15 | -2,585 | -21,520 |
| 20 | -33,213 | -51,864 |

จากผลการทดสอบด้วยวิธีการทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จะเห็นได้ว่าการเลือกโครงการจำเป็นต้อง เลือกได้เพียง 1 โครงการถ้าสองโครงการต่างมี NPV เป็นบวกทั้งคู่ และเป็นโครงการที่ทดแทนกันได้ (mutually exclusive) เราจะเลือกโครงการที่ NPV เป็นบวกมากกว่าเท่านั้น ดังนั้นจึงเลือกโครงการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์โดยใช้ร่วมกับมอเตอร์เดิม เนื่องจากพิจารณาที่ Cost of Capital เท่ากันนั้น ให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าในทุกช่วงของ NPV ที่ทำการทดสอบวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อายุโครงการ 10 ปี



รูปที่ 6.24 Net Present Values Profile

6.5.3 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return IRR) [6]

อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (IRR) เราจะหาอัตราส่วนลด (discount rate) ที่ทำให้กระแสเงินสดสุทธิ หรือผลประโยชน์ทั้งหมดในอนาคต คิดมูลค่าปัจจุบันแล้ว มีค่าเท่ากับเงินลงทุนในครั้งแรกพอดี (คืออัตราส่วนลดที่ทำให้ NPV = 0)

$$CF_0 = \frac{CF_1}{(1+IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+IRR)^n} \dots\dots\dots$$

ผลตอบแทนจากโครงการ VSD&Old Motor (IRR) เท่ากับ 16%

ผลตอบแทนจากโครงการ VSD&HEM Motor (IRR) เท่ากับ 12%

ดังนั้นการวิเคราะห์โครงการโดยวิธีอัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return IRR) นั้นจึง เลือกโครงการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับมอเตอร์เดิม โดยให้ผลตอบแทนโครงการอยู่ที่ 15 % ซึ่งจะสูงกว่า โครงการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง โดยให้ผลตอบแทนโครงการอยู่ที่ 12 %

บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลอง (Simulation) โดยนำโปรแกรม MATLAB Simulink มาสร้างการประมวลผลการใช้พลังงานไฟฟ้า ของระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง โดยนำปัจจัยที่สำคัญต่างๆ มาใช้ในการประมวลผลแบบจำลอง อาทิเช่น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิของน้ำเสีย รวมไปถึงประสิทธิภาพของระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์และมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์ การประหยัดพลังงานของระบบบำบัดน้ำเสีย หลังจากได้ผลการประหยัดพลังงานแล้ว อีกทั้งงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์ ด้วยกรรมวิธี NPV (Net Present Value) และ IRR (Internal Rate Return) โดยมีส่วนสำคัญดังนี้

1. สามารถนำแบบจำลองนี้ไปใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสและระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ได้ทุกขนาด โดยทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ตามขนาดของอุปกรณ์เท่านั้น
2. แบบจำลองนี้อ้างอิงจากคุณลักษณะของโหลดแบบแรงบิดคงที่ เนื่องจากระบบเดิมอากาศเหนือผิวน้ำใช้การส่งกำลังผ่านระบบเกียร์เพื่อเพิ่มแรงบิดที่ปลายเพลลาและรักษาระดับความเร็วรอบตามปริมาณน้ำเสียที่เข้ามา
3. สามารถใช้งานในช่วงความเร็ว 0-100 % ของค่าความถี่ใช้งาน และปรับลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ตามปริมาณน้ำเสียไหลเข้าระบบ
4. การวิเคราะห์การคืนทุนเบื้องต้น (Payback Period) โดยระบบปรับความเร็วรอบร่วมกับมอเตอร์เดิมใช้เวลา 4 ปี 10 เดือน และ ระบบปรับความเร็วรอบร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงใช้เวลา 5 ปี 6 เดือน
5. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยพิจารณาอายุโครงการ 10 ปี ด้วย IRR โดยวิเคราะห์จาก NPV Profile ที่ทำให้ NPV เป็น 0 ในทั้ง 2 โครงการ อัตราตอบแทนภายในโครงการระบบปรับความเร็วรอบร่วมกับมอเตอร์เดิมให้ IRR 15 % และระบบปรับความเร็วรอบร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงให้ IRR 12 %

6. การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อายุโครงการ 10 ปี โดยจะเห็นได้ว่าโครงการระบบปรับความเร็วรอบร่วมกับมอเตอร์เดิมให้การตอบแทนที่สูงกว่า ระบบปรับความเร็วรอบร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงในทุกช่วงของ Cost of Capital% ตามตารางที่ 6.1

ตารางที่ 7.1 NPV เปรียบเทียบผลตอบแทนโครงการระยะเวลา 10 ปี

| Cost of Capital % | NPV Profile of VSD&Old Motor | NPV Profile of VSD&HEM Motor |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| 0 | 219,380 | 201,250 |
| 5 | 112,079 | 93,224 |
| 10 | 42,983 | 23,935 |
| 15 | -2,585 | -21,520 |
| 20 | -33,213 | -51,864 |

7.2 ข้อเสนอแนะ

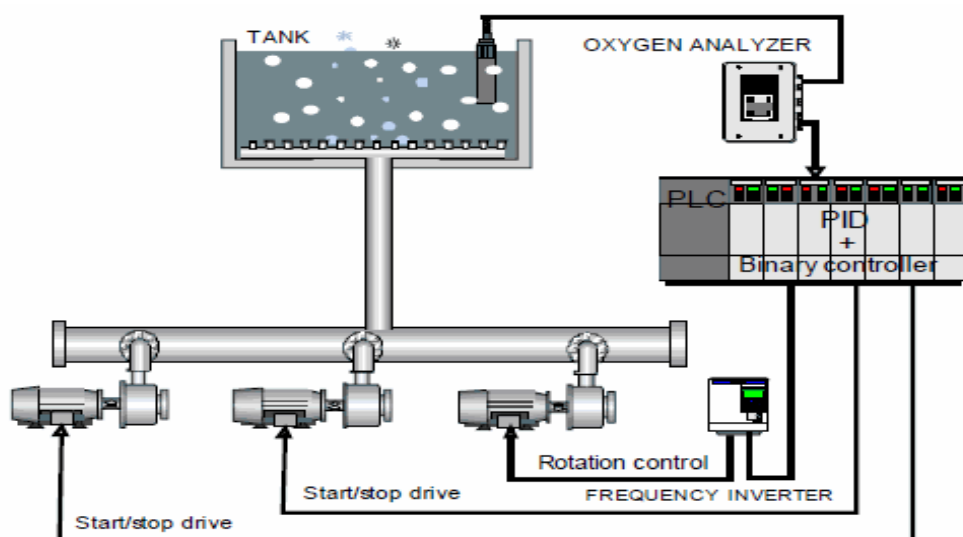
1. ในงานวิจัยชิ้นนี้ ได้ทำการเก็บผลของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและอุณหภูมิของน้ำเสียที่ไหลเข้าระบบบำบัด ส่วนอัตราการไหลของน้ำเสียนั้นนำค่าเฉลี่ยจากหน่วยงานที่ได้จัดเก็บไว้มาใช้ในการคำนวณ เนื่องจากไม่มีเครื่องมือวัดในส่วนนี้ ซึ่งในอนาคตหากได้มีการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย จะทำให้การคำนวณการใช้พลังงานมีความแม่นยำมากขึ้น

2. การวิเคราะห์ความประหยัดพลังงานของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor) จะมีการเพิ่มประสิทธิภาพ ของมอเตอร์ขึ้นไปอีกขั้นคือเป็น (Premium Efficiency Motor) หากได้มีการวิจัยและนำข้อมูลเชิงประสิทธิภาพของส่วนนี้คิดร่วมกับเงินลงทุน ก็จะเป็นการสร้างแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานได้อีกทางหนึ่ง

7.3 งานวิจัยที่ส่วนต่อไปในอนาคต

1. จากงานวิจัยชิ้นนี้ใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำเสียเฉลี่ยเข้ามาในระบบ ทำให้การประมวลผลจะมีส่วนคลาดเคลื่อนบ้าง ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างความแม่นยำในการประมวลผล ควรเพิ่มการติดตั้งระบบตรวจวัดอัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย และนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บผลของ Data Logger เข้ามาประมวลผลพร้อมกับ อุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ โดยนำข้อมูลที่ทำการจัดเก็บมาประมวลผลเพิ่มเติมจาก 2 ตัวแปรคืออุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ นำมาเพิ่มเป็น 3 ตัวแปรคือรวมส่วนของอัตราการไหลเข้าของน้ำเสียด้วยอีกส่วนหนึ่งเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณ

2. ในงานวิจัยส่วนที่ศึกษานั้นเป็นส่วนเติมอากาศเหนือผิวน้ำ และมีความต้องการแรงบิดคงที่ แต่ยังมีระบบบำบัดน้ำเสียอีกส่วนหนึ่งเป็นระบบเติมอากาศใต้ผิวน้ำโดยใช้หลักการของปั๊มเติมอากาศ ส่งออกซิเจนไปยังระบบท่อ และให้อากาศถูกเติมใต้ผิวน้ำใช้ร่วมกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ซึ่งระบบเติมอากาศใต้ผิวน้ำมีใช้ในภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก หากได้มีการศึกษาถึงการใช้พลังงานดังกล่าว ซึ่งระบบดังกล่าวมีคุณลักษณะแรงบิดแบบแปรผันตามความเร็วรอบซึ่งให้ผลการประหยัดได้สูงกว่า ระบบแรงบิดคงที่ทุกย่านความเร็ว อันเป็นแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำเสียได้อีกมาก



รูปที่ 7.1 ระบบการเติมอากาศใต้ผิวน้ำ [10]

รายการอ้างอิง

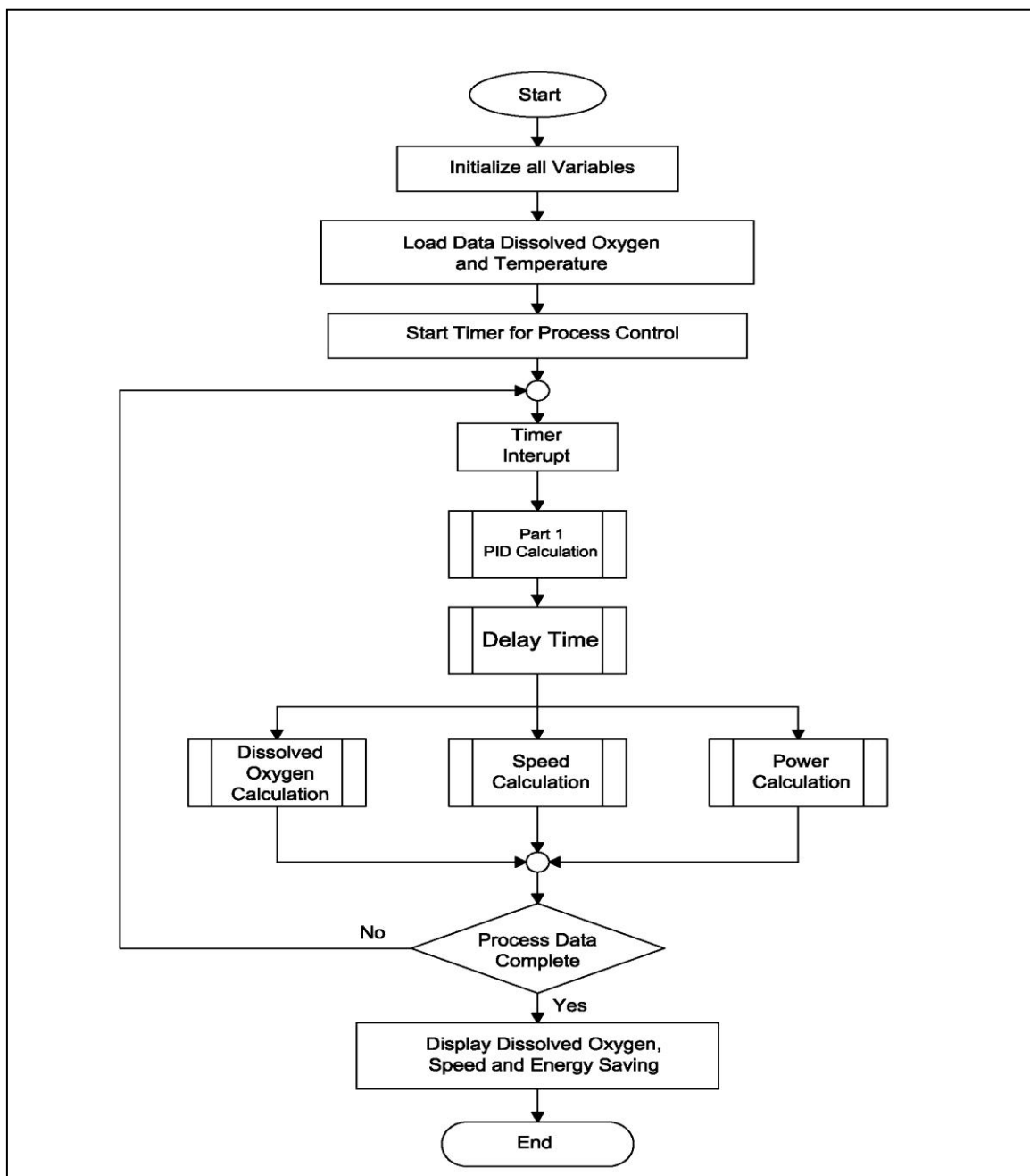
- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน คุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน-มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง.วารสารพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน 1(กุมภาพันธ์ 2547):1-15.
- [2] R, Krishnan. ELECTRIC MOTOR DRIVES Modeling, Analysis,and Control, PRENTICE HALL INTERNAL EDITIONS, 2001.
- [3] Muhammad H.Rashid, Power Electronics Circuit, Device,And Applications, PRENTICE HALL INTERNAL EDITIONS, 1997.
- [4] M.Hassanuzzaman , N. A. Rahim and R. Saidur, Analysis of Energy Saving For Rewinding and Replacement of Induction Motor, IEEE(2010) International Conference on Power and Enery (PECON 2010),2010
- [5] Curtis D. Johnson, Process Control Instrument Technology, 5th PRENTICE HALL INTERNAL EDITIONS, 2000.
- [6] เรืองรัก จำปาเงิน. การจัดการการเงิน (FUNDAMENTAL OF FINANCIAL MANAGEMENT) . พิมพ์ครั้งที่ 2.กรุงเทพมหานคร:บุ๊คเน็ต,2544.
- [7] กฤษณ์ คงเจริญ และ ชันวา จิตต์สงวน.การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุน โครงการผลิตน้ำร้อนระบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษา โรงพยาบาลแกลง จังหวัดระยอง.วารสารเศรษฐศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 1 (มกราคม 2547):33-48.
- [8] คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล รายงานผลการปฏิบัติตามมาตรการการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม ศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก มหาวิทยาลัยมหิดล.พศ 2553
- [9] เกียรติศักดิ์ อุดมสิม โรจน์. วิศวกรรมการก้ำจัดน้ำเสีย.เล่ม 3.พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี:บริษัท เอส. อาร์. พรินติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด พ.ศ. 2545
- [10] Ervin Akyurek, Mehmet Yuceer, Ilknur Atasoy, Rivan Berber, “Comparison of Control Strategies for Dissolved Oxygen Control in Activated Sludge Wastewater Treatment Process.”, Proc.of European Symposium on Computer Aided Process Engineering 19th,2009 ,pp. 1197-1201

- [11] The Math Works. Power System Blockset For Use with Simulink. New York :
The Math Work Printing, 2000.
- [12] ABB International. Motor and Drives efficiency. [ออนไลน์]. 2555
แหล่งที่มา: <http://www.abb.com/abblibrary/DownloadCenter/?showresultstab=true&categoryid=9AAC100217> [5 พฤษภาคม 2556]
- [13] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. อัตราค่าไฟฟ้าการไฟฟ้าภูมิภาค. [ออนไลน์]. 2554
แหล่งที่มา: <http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Front/StaticPage/StaticPage.aspx> [30 เมษายน 2554]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก โครงสร้างการทำงานของแบบจำลอง

ซอฟต์แวร์ของระบบการประมวลผลแบบจำลองด้วย SIMULINK MATLAB นั้นสามารถแบ่งส่วนการประมวลผลได้ 3 ส่วน คือ 1) ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ 2) การคำนวณปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 3) การเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับมอเตอร์เดิม กับระบบปรับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง



รูปที่ ก.1 แผนภาพการทำงาน โดยรวมของซอฟต์แวร์

ภาคผนวก ข**บทความที่ได้รับการตีพิมพ์**

ผลงานวิจัย ธนัช รัถยศิริ. การวิเคราะห์ความประหยัดพลังงานในโรงบำบัดน้ำเสียศูนย์
การแพทย์กาญจนาภิเษกโดยการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงร่วมกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ
มอเตอร์. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9, 2556 :

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ธนัช รัชศรี เกิดเมื่อวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (ไฟฟ้ากำลัง) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปีการศึกษา 2541 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในภาคต้นของปีการศึกษา 2553