

การรักษาความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยโรงจํกรนิวเคลียร์  
ในโหมดการติดตามโหลด

MAINTANING POWER SYSTEM FREQUENCY BY NUCLEAR POWER PLANTS  
IN LOAD FOLLOWING MODE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การรักษาความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยโรงจักรนิวเคลียร์

ในโหมดการติดตามโหลด

MAINTAINING POWER SYSTEM FREQUENCY BY NUCLEAR POWER PLANTS

IN LOAD FOLLOWING MODE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAINTANING POWER SYSTEM FREQUENCY BY NUCLEAR POWER PLANTS  
IN LOAD FOLLOWING MODE



A PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

การรักษาความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยโรงจักรนิวเคลียร์  
ในโหมดการติดตามโหลด

MAINTANING POWER SYSTEM FREQUENCY BY  
NUCLEAR POWER PLANTS IN LOAD FOLLOWING MODE



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.วรวรรณ นาคะวิโร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

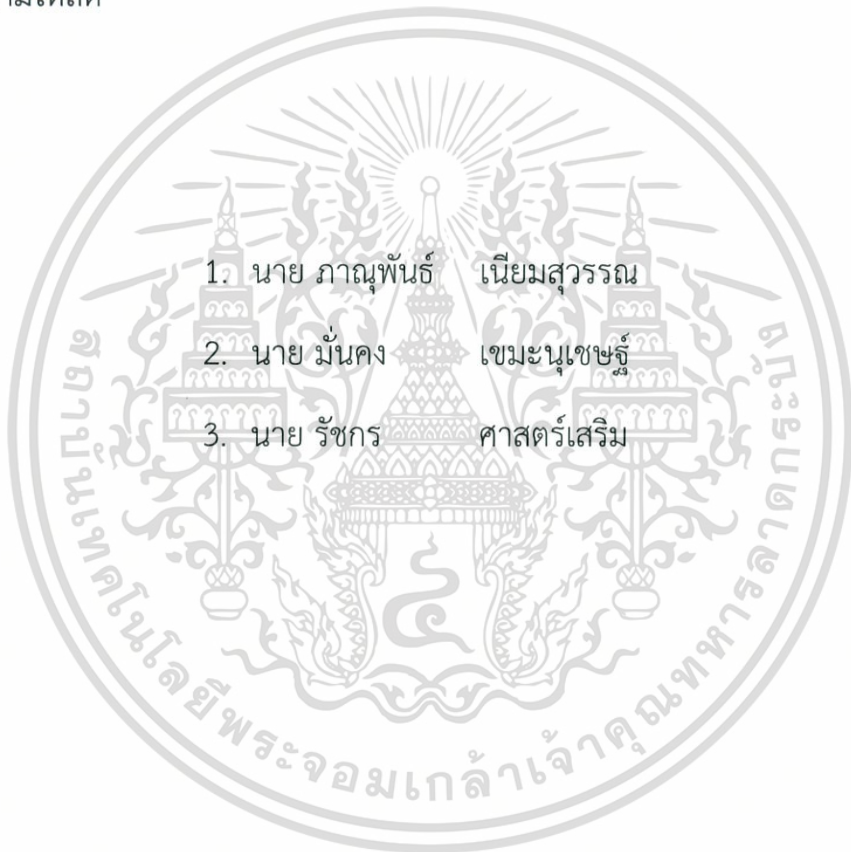
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การรักษาความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยโรงจักรนิวเคลียร์ในโหมดการ

ติดตามโหลด

ผู้จัดทำ



1. นาย ภาณุพันธ์ เนียมสุวรรณ
2. นาย มั่นคง เขมะนุเชษฐ์
3. นาย รัชกร ศาสตร์เสริม

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.วรวรรณ นาคะวิโร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การรักษาความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยโรงจักรนิวเคลียร์ ในโหมดการติดตามโหลด

นาย ภาณุพันธ์ เนียมสุวรรณ  
นาย มั่นคง เขมะนุเชษฐ์  
นาย รัชกร ศาสตร์เสริม  
ดร.วรวรรณ นาคะวีโรอาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2557

## บทคัดย่อ

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังลม และกำลังโหลดอย่างกะทันหันในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีแหล่งจ่ายพลังงานลมอยู่เป็นปริมาณมากอาจทำให้เกิดปัญหาด้านเสถียรภาพความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากนี้ความสามารถในการจ่ายโหลดในภาวะฐาน (Base load) บางประเทศ เช่น เยอรมันนี และฝรั่งเศส ที่มีการเดินเครื่องโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด ซึ่งจะนำไปสู่การเบี่ยงเบนของความถี่ออกจากค่ามาตรฐานได้ เพื่อแก้ไขปัญหาข้างต้นนี้

ปัญญานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุม PI ที่เหมาะสมด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization) เพื่อให้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถปรับกำลังการผลิตให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของความถี่ได้อย่างเหมาะสม ระบบทดสอบที่ใช้ในการศึกษาเป็นระบบพื้นที่ห่างไกลที่ประกอบด้วยสามพื้นที่เชื่อมต่อกัน (Three-area interconnected power system) โดยแต่ละพื้นที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดพลังงาน โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ พลังงานนิวเคลียร์ และพลังงานลม

ผลจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK แสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ได้รับการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ (Proportional-integral controller: PI) อย่างเหมาะสมสามารถรักษาความถี่ให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดได้ และให้ค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีตัวควบคุม PI และกรณีที่ตัวควบคุม PI ถูกปรับจูนโดยผู้ดำเนินการระบบ นอกจากนี้ยังได้พิจารณาเวลาหน่วงของสัญญาณสื่อสาร (Communication delay time) ระหว่างศูนย์กลางการควบคุมและโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ผล

การทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถรักษาการเปลี่ยนแปลงความถี่ให้อยู่ใน  
ขอบเขตได้แม้ว่าเวลาหน่วงจะมีค่าสูงถึง 700 ms



# MAINTANING POWER SYSTEM FREQUENCY BY NUCLEAR POWER PLANTS IN LOAD FOLLOWING MODE

Panupan Neamsuwan  
Mankong Keamanuchet  
Ratchakorn Sartserm  
Dr. Worawat Nakawiro supervisor  
Year 2014

## ABSTRACT

In power systems with significant penetration of wind energy sources, the sudden changes in wind power and load demand may result in frequency instability. Operating electric power generators in load following mode is a solution to resolve such problem. Nuclear power plants in some countries such as Germany and France have been operated in this mode besides the duty in serving base load.

This project designs PI controllers by particle swarm optimization (PSO) for nuclear power plants to adjust the power output in correspondence to the deviation of power system frequency. A wide area consisting of three interconnected areas is used as the test system. The generation technologies in this system are nuclear, wind and gas turbine.

Simulation results carried out by MATLAB/SIMULINK demonstrate that the nuclear power plants the optimally tuned PI controller can maintain the system frequency within the prescribed limits and give the lowest frequency deviation compared to the without controller case and the case where the controllers are tuned based on experiences of the system operator. Moreover communication delay time between the central control center and the power plants is considered. It is found that the proposed

method can help maintain the system frequency even the communication delay is up to 700 ms.



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากดร. วรวรรธน์ นาคะวิโร อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ให้คำแนะนำการทำปริญญาโทตลอดจนสนับสนุนเอกสารที่เกี่ยวข้องอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำปริญญาโทนี้

ขอขอบคุนนักศึกษาศึกษาปริญญาโทนายกรกชทัตน์ พิสิทธิ นายปรุจน์ แก้วสุกใส นายทศพร สุรินทร์แก้ว นายวรพงษ์ กรีอำพร และน.ส.สุกัญญา โพธิสุนทรสำหรับการให้คำปรึกษาด้านทฤษฎีและการสร้างแบบจำลองและเขียนโปรแกรมเป็นอย่างดีเสมอมา

ขอบคุนบิดามารดาผู้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา คณะผู้จัดทำขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ



# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	IV
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	1
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	1
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 แบบจำลองทางพลศาสตร์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	3
2.1.1 การออกแบบระบบควบคุม	3
2.1.2 การควบคุมความถี่ของโหลด	3
2.1.3 การควบคุมอุณหภูมิ	4
2.1.4 แบบจำลองการวิเคราะห์เชิงเส้นและเสถียรภาพ	5
2.2 คุณสมบัติของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	7
2.3 ระบบควบคุมแบบวงรอบปิด	7
2.4 ทฤษฎีคอนโทรลเลอร์แบบ PID	8
2.4.1 พจน์ Proportional	8
2.4.2 พจน์ Integral	9
2.4.3 พจน์ Derivative	9
2.4.4 รวมสามพจน์เข้าด้วยกัน	9
2.5 ระบบจ่ายกำลังและการควบคุม	11
2.6 เงื่อนไขการจ่ายกำลังการผลิต	12

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 ค่าความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุม (Communication delay time)	12
<b>บทที่ 3 การหาค่าอัตรายาย PI ที่เหมาะสมด้วยวิธี Particle swarm optimization</b>	<b>13</b>
3.1 วิธีการ Particle swarm optimization	13
3.2 การใช้วิธีการ Particle swarm optimization ในการหาค่าอัตรายาย PI ที่เหมาะสม	14
<b>บทที่ 4 ผลการศึกษา</b>	<b>17</b>
4.1 พิจารณาการติดตามโหลดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เมื่อมีการความต้องการกำลังไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆร่วมกับผลของการใช้ ตัวควบคุมที่หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธี PSO	18
4.1.1 ความต้องการกำลังไฟฟ้ารูปแบบที่ 1	18
4.1.2 ความต้องการกำลังไฟฟ้ารูปแบบที่ 2	20
4.1.3 ความต้องการกำลังไฟฟ้ารูปแบบที่ 3	23
4.2 พิจารณาการติดตามโหลดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เมื่อมีการกำลังการผลิตของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังงานลมในรูปแบบต่างๆ	26
4.2.1 กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมรูปแบบที่ 1	26
4.2.2 กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมรูปแบบที่ 2	30
4.2.3 กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมรูปแบบที่ 3	34
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	<b>42</b>
5.1 สรุปผล	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>43</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>44</b>
ภาคผนวก ก โปรแกรมในการหาค่า PI controller	45
ภาคผนวก ข บทความวิชาการ	49
<b>ประวัติผู้เขียน</b>	<b>54</b>

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	3
2.2 แบบจำลองการทำงานโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	4
2.3 ระบบการควบคุมอุณหภูมิ	5
2.4 แบบจำลองโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	7
2.5 ระบบควบคุมแบบวงรอบปิด	7
2.6 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	8
2.7 ระบบการเชื่อมต่อของไฟฟ้า 3 พื้นที่	11
2.8 แบบจำลองเชิงเส้นของระบบไฟฟ้า 3 พื้นที่	11
3.1 แบบจำลองของระบบ	15
3.2 แผนผังการทำงานของวิธี Particle swarm optimization	16
4.1 ความต้องการกำลังไฟฟ้า	18
4.2 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่	18
4.3 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่เมื่อขยายกราฟ	19
4.4 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า	19
4.5 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A	19
4.6 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B	20
4.7 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C	20
4.8 ความต้องการกำลังไฟฟ้า	21
4.9 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวมของ 3 พื้นที่	21
4.10 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวมของ 3 พื้นที่ เมื่อขยายกราฟ	21
4.11 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า	22
4.12 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A	22
4.13 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B	22
4.14 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C	23
4.15 ความต้องการกำลังไฟฟ้า	23
4.16 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่	24
4.17 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่ เมื่อขยายกราฟ	24
4.18 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า	24

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A	25
4.20 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B	25
4.21 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C	25
4.22 ความต้องการกำลังไฟฟ้า	26
4.23 กำลังการผลิตของหน่วยผลิตพลังงานลม	27
4.24 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่	27
4.25 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่ เมื่อขยายกราฟ	27
4.26 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า	28
4.27 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ A	28
4.28 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ B	28
4.29 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ C	29
4.30 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A	29
4.31 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B	29
4.32 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C	30
4.33 ความต้องการกำลังไฟฟ้า	30
4.34 กำลังการผลิตของหน่วยผลิตพลังงานลม	31
4.35 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่	31
4.36 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่ เมื่อขยายกราฟ	31
4.37 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า	32
4.38 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ A	32
4.39 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ B	32
4.40 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ C	33
4.41 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A	33
4.42 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B	33
4.43 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C	34
4.44 ความต้องการกำลังไฟฟ้า	34
4.45 กำลังการผลิตของหน่วยผลิตพลังงานลม	35
4.46 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่	35

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.47 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่ เมื่อขยายกราฟ	35
4.48 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า	36
4.38 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ A	36
4.50 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ B	36
4.51 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ C	37
4.52 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A	37
4.53 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B	37
4.54 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C	38
4.55 ความต้องการกำลังไฟฟ้า	39
4.56 กำลังการผลิตของหน่วยผลิตพลังงานลม	39
4.57 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่	40
4.58 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่ เมื่อขยายกราฟ	40
4.59 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า	40
4.60 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A	40
4.61 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B	41
4.62 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C	41

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน	2
2.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ	12
2.2 ค่าความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุม	12



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้กำลังไฟฟ้า กำลังการผลิตจากพลังงานลมส่งผลต่อการเบี่ยงเบนความถี่ในระบบไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการติดตามโหลด (Load following) เพื่อชดเชยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าง่ายๆ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์เป็นทางเลือกที่เหมาะสมทางเลือกหนึ่ง เนื่องจากมีศักยภาพในการติดตามโหลดที่มีปริมาณมากในพื้นที่ห่างไกลได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) ศึกษาและสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
- 2) ออกแบบตัวควบคุมของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ให้มีความสามารถในการติดตามโหลด
- 3) นำแบบจำลองมาจำลองการติดตามโหลดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เพื่อรักษา

ความถี่ของระบบไฟฟ้าพื้นที่ห่างไกล

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

- 1) พิจารณาเสถียรภาพทางความถี่เท่านั้น
- 2) ใช้ตัวควบคุม PI
- 3) ใช้แบบจำลองระบบไฟฟ้าห่างไกล 3 พื้นที่ ซึ่งมีความล่าช้าของสัญญาณสื่อสาร

ควบคุมสูงสุดที่ 0.70 วินาที

### 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

ทำการจำลองระบบไฟฟ้า 3 พื้นที่ที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งในพื้นที่ส่วนตะวันออกและตะวันตกเป็นโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและพื้นที่ส่วนกลางเป็นโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ทั้ง 3 พื้นที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานลมในแต่ละพื้นที่ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตและ/หรือความต้องการกำลังไฟฟ้าอย่างกะทันหันโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะทำการติดตามโหลด เพื่อให้กำลังการผลิตรวมของระบบมีความสมดุลกับความต้องการกำลังไฟฟ้า โดยการใช้ตัวควบคุม PI ที่ทำการหาค่าอัตราขยายสำหรับการติดตามโหลดที่เหมาะสมโดยใช้วิธี PSO (Particle swarm optimization)

## 1.5 แผนการดำเนินงานโครงการ

ขั้นตอนในการศึกษาต่างๆสามารถแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล
2. สร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
3. สร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้า 3 พื้นที่
4. เขียนโปรแกรม PSO เพื่อหาค่าอัตราขยาย PI ที่เหมาะสม
5. นำโปรแกรมที่ได้ไปพิจารณากรณีศึกษา
6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินการ							
	มิ.ย.57	ส.ค.57	ก.ย.57	ต.ค.57	ม.ค.58	ม.ค.58	มี.ค.58	เม.ย.58
ศึกษาค้นคว้าข้อมูล	←→							
สร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้านิวเคลียร์		←→						
สร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้า 3 พื้นที่			←→					
เขียนโปรแกรม PSO เพื่อหาค่าอัตราขยาย PI ที่เหมาะสม					←→			
นำโปรแกรมที่ได้ไปพิจารณากรณีศึกษา						←→		
สรุปผลและทำเล่มปริยญาณิพนธ์							←→	

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

จากผลการจำลองทำให้ทราบว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถติดตามโหลดในพื้นที่ห่างไกลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

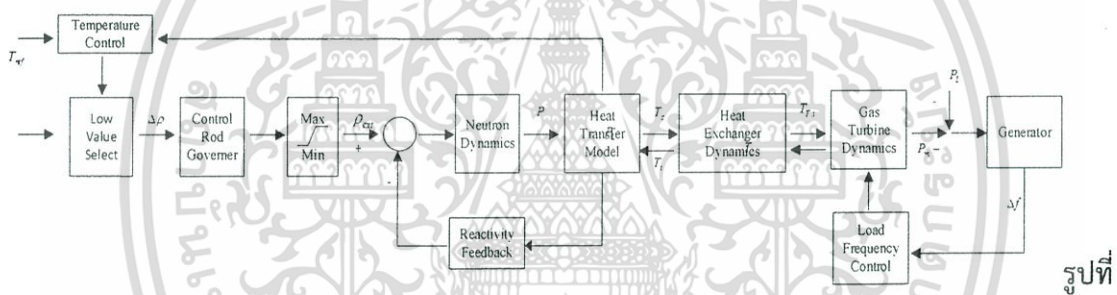
## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถอธิบายได้โดยแบบจำลองทางพลศาสตร์ด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมวงรอบปิดเพื่อให้มีความสมดุลกับความต้องการกำลังไฟฟ้า โดยการรับส่งข้อมูลการควบคุมของระบบไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลจะมีความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุมที่ต้องพิจารณาด้วยรายละเอียดทั้งหมดที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

### 2.1 แบบจำลองทางพลศาสตร์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์[1]

#### 2.1.1 การออกแบบระบบควบคุม

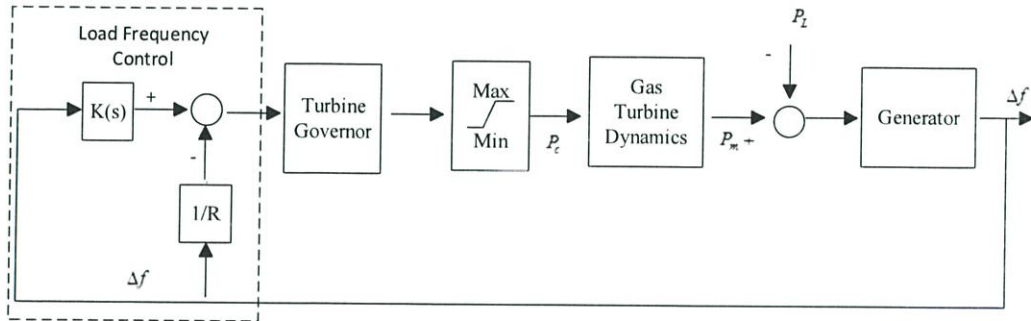
แบบจำลองการควบคุมของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ประกอบด้วย ลูปการควบคุมสามลูปได้แก่ การควบคุมความถี่ อุณหภูมิ และตัวเร่ง ลูปการควบคุมหลักของโหลดในช่วงการทำงานตามปกติคือ การควบคุมความถี่โหลด และลูปการควบคุมอุณหภูมิ ความเร่ง จะทำงานในสภาวะไม่ปกติ กลไกการควบคุมของกังหันก๊าซในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แสดงได้ในรูปที่ 2.1



#### 2.1 ระบบการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

#### 2.1.2 การควบคุมความถี่ของโหลด

การควบคุมความถี่ของโหลดเป็นกลไกการควบคุมหลักในช่วงการทำงานปกติ ความเปลี่ยนแปลงของความเร็วระหว่างความเร็วอ้างอิงและความเร็วที่วัดได้จะเป็นอินพุทของการควบคุมความถี่โหลด ซึ่งประกอบไปด้วยลูปควบคุมปฐมภูมิ(แบบสัดส่วน)และลูปควบคุมตติยภูมิ (อินทิกรัล)



รูปที่ 2.2 แบบจำลองการทำงานโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ลูบควบคุมป้อนภูมิใช้ความเร็วของดรูป (R) ซึ่งเป็นสัดส่วนต่อกำลังเข้าที่พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความเร็วของดรูปเป็นฟังก์ชันของตัวควบคุม (Governor) ซึ่งจะลดความเร็วอ้างอิงของตัวควบคุม (Governor) ในขณะที่โหลดเพิ่มขึ้น โดยช่วงของความเร็วที่สามารถติดตามได้จะอยู่ในช่วงที่ 95-107 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วปกติ นั่นคือค่าทั่วไปของ R อยู่ที่ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วที่ระบุไว้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์รูปการควบคุมตติยภูมิสำหรับการควบคุมความถี่ของโหลดถูกออกแบบเป็นตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล (PI) เพื่อจัดการเบี่ยงเบนความถี่ในสภาวะคงตัวดังต่อไปนี้

$$\Delta P_c(t) = -\frac{1}{R} \Delta f(t) - K_f \int_0^t \Delta f(t) dt \quad (2.1)$$

โดย  $K_f$  คือ ค่าคงที่ของอัตราขยายการควบคุมแบบอินทิกรัล

R คือ ความเร็วของดรูป

### 2.1.3 การควบคุมอนุหภูมิ

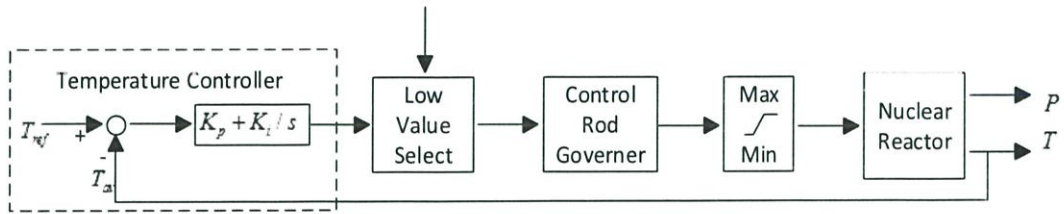
การควบคุมอนุหภูมิถูกใช้เป็นกลไกการควบคุมฉุกเฉินเพื่อจำกัดอนุหภูมิเข้าที่พุทสูงสุดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เมื่อความต้องการโหลดเพิ่มขึ้นอย่างมาก

การควบคุมอนุหภูมิสามารถออกแบบให้เป็นตัวควบคุมแบบ PI สำหรับความคลาดเคลื่อนระหว่างอนุหภูมิที่วัดได้และที่อ้างอิง ตัวควบคุมแบบ PI สำหรับการควบคุมนี้ (จะนำเสนอรูปแบบของลาปาซในรูปที่ 2.3) ซึ่งกำหนดโดย

$$\Delta p(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.3)$$

$$e(t) = T_{ref} - T_{av} \quad (2.4)$$

โดย  $e(t)$  คือ ความเบี่ยงเบนระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องปฏิกรณ์และอ้างอิง และ  $K_p, K_i$  เป็นค่าคงที่ของอัตราขยายการควบคุมแบบสัดส่วนและอินทิกรัลตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยถูกกำหนดโดย  $T_{av} = (T_{out} + T_{in} / 2)$



รูปที่ 2.3ระบบการควบคุมอุณหภูมิ

#### 2.1.4 แบบจำลองการวิเคราะห์เชิงเส้นและเสถียรภาพ

แบบจำลองระบบของโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์สามารถนำเสนอด้วยแบบจำลองอินพุตเอาต์พุตทั่วไป (ฟังก์ชันถ่ายโอน) สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพแบบจำลองระบบในรูปแบบเชิงเส้นมีดังต่อไปนี้ ตัวควบคุมที่ควบคุมแท่งรูด (Control rod governor) มีฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$G_G(s) = \frac{1}{1 + \tau_g s} \quad (2.5)$$

แบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์ที่ไม่มีการป้อนกลับของรีแอกติวิตี้ถูกกำหนดโดย

$$G_R(s) = \frac{s + \lambda}{\Lambda s(s + \beta / \Lambda)} \quad (2.6)$$

สมการเชิงเส้นที่เป็นการประมาณค่าสำหรับการสร้างแบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์การทำงานสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ในช่วงวิกฤติ จะใช้แบบจำลองของไอน้ำ (การเข้าออกของความเย็นและความร้อน) สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$G_L(s) = \frac{1}{1 + \tau_L s} \quad (2.7)$$

โดย  $\tau_L$  คือ ค่าคงที่เวลาเฉลี่ย ฟังก์ชันถ่ายโอนในส่วนการแลกเปลี่ยนความร้อนถูกกำหนดโดยแบบจำลองอนุพันธ์อันดับหนึ่งที่อยู่ในช่วง Dead time (FOPDT) ซึ่งถูกใช้

เพื่อออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิดังนี้

$$G_H(s) = \frac{1}{1 + \tau_h s} e^{-\theta s} \quad (2.8)$$

โดย  $\tau_h$  คือ ค่าคงที่เวลาของช่วงการแลกเปลี่ยนความร้อนและ  $\theta$  คือ เวลาวิกฤติ ในพจน์ของเวลาวิกฤติ (Dead time) สามารถประมาณได้เป็น  $\exp(-\theta s) \approx 1/(1+\theta s)$  ด้วยการขยายของอนุกรมเทย์เลอร์ ซึ่งพลศาสตร์ในช่วงการแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถละเลยได้ เมื่อมีกลไกการควบคุมทางอ้อมโดยอธิบายระบบกักกันได้ดังนี้

$$G_T(s) = \frac{1}{1 + \tau_r s} \quad (2.9)$$

โดย  $\tau_r$  (วินาที) คือ ค่าคงที่เวลาของระบบกักกัน และแบบจำลองของโหลด-เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีฟังก์ชันถ่ายโอนดังต่อไปนี้

$$G_{GL}(s) = \frac{1}{D + 2Hs} \quad (2.10)$$

เสถียรภาพของวิธีการควบคุมสามารถวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีเชิงเส้นซึ่งมีวิธีการควบคุมการติดตามโหลดมีสองวิธีคือ การควบคุมความถี่ของโหลดโดยใช้แท่งควบคุม (Control rod) และใช้ตัวควบคุมกักกัน (turbine governor)

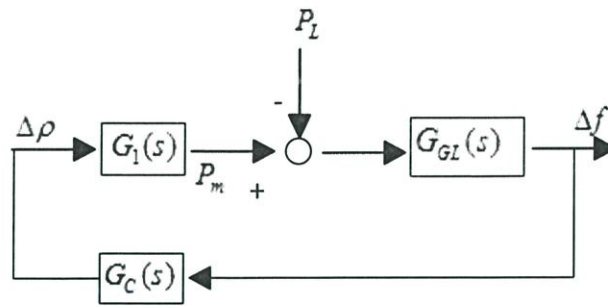
โดยการใช้แบบจำลองเชิงเส้นดังกล่าวแผนผังบล็อกของกลไกการควบคุมความถี่ของโหลดสามารถสังเกตได้จากในรูปที่ 2.4

ในรูปที่ 2.4 บล็อก  $G_1(s)$  แสดงฟังก์ชันถ่ายโอนที่ถูกต้องเข้ากันอย่างโดยตรง นั่นคือ

$$G_1(s) = G_G(s)G_R(s)G_L(s)G_H(s)G_T(s) \quad (2.11)$$

และบล็อก  $G_C(s)$  แสดงตัวควบคุมความถี่ของโหลด คือ

$$G_C(s) = -\frac{1}{R} - K_I \frac{1}{s} \quad (2.12)$$

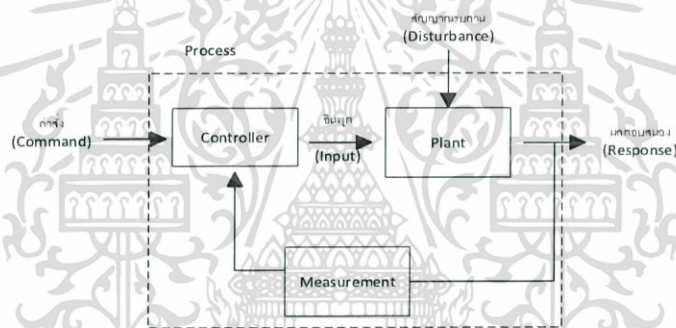


รูปที่ 2.4 แบบจำลองโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

## 2.2 คุณสมบัติของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิด PWM มีสามารถจ่ายโหลดตั้งแต่ 50-100% ของกำลังการผลิตไฟฟ้า และมีคุณสมบัติในการติดตามโหลดโดยมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตระหว่าง 3.8-5.2% ของพิกัดการผลิตต่อนาที [2]

## 2.3 ระบบควบคุมแบบวงรอบปิด (Closed Loop Control)[3]

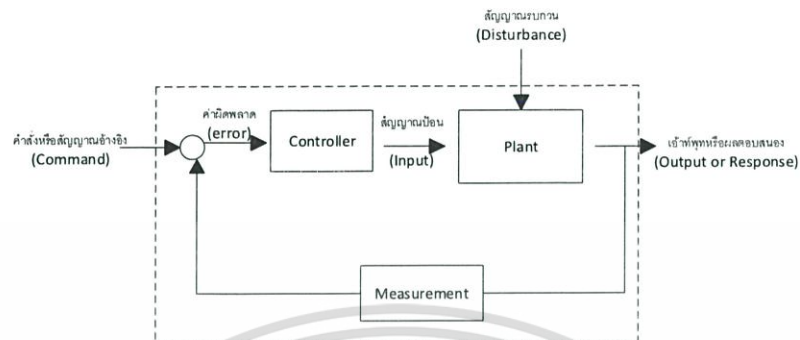


รูปที่ 2.5 ระบบควบคุมแบบวงรอบปิด

ลักษณะทั่วไปของระบบควบคุมแบบวงรอบปิดจะเป็นไปตามรูปที่ 2.5 ในการควบคุมแบบวงรอบปิด ตัวควบคุม (Controller) จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิงหรือคำสั่ง (Referent or Command) กับสัญญาณเข้าที่พืหรือผลตอบสนอง (Output or Response) ที่ป้อนกลับมาโดยตัวตรวจจับ (Measurement or Sensor) แล้วนำไปสร้างสัญญาณป้อนหรืออินพุท (Input) ให้กับสิ่งที่ต้องการควบคุม (System under controlled or Plant) เพื่อที่จะให้ผลผลิตเข้าที่พืหรือผลตอบสนองให้เป็นไปตามสัญญาณอ้างอิงที่ต้องการ (Command or Reference)

ระบบควบคุมแบบวงรอบปิดอาจจะเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) ตามรูปที่ 2.6 ระบบนี้เป็นระบบควบคุมที่

พยายามรักษาเอาต์พุตให้ได้ตามต้องการ โดยการนำเอาสัญญาณเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงที่ต้องการแล้วนำค่าความแตกต่างไปใช้ในการควบคุมสัญญาณป้อนให้กับสิ่งที่ต้องการควบคุม



รูปที่ 2.6 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

## 2.4 ทฤษฎีคอนโทรลเลอร์แบบ PID [4]

การควบคุมแบบ PID นั้นประกอบด้วยพจน์สำหรับการปรับแต่ง 3 พจน์ รวมกันเป็น MV

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (2.13)$$

โดยที่  $P_{out}$ ,  $I_{out}$  และ  $D_{out}$  เป็นเอาต์พุตจากแต่ละพจน์ตามลำดับ

### 2.4.1 พจน์ Proportional

พจน์ Proportional เปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของค่า Error ปัจจุบัน ซึ่งค่า  $P_{out}$  สามารถคำนวณได้โดยการนำค่า Error มาคูณกับ ค่าคงที่  $K_p$

$$P_{out} = K_{out} e(t) \quad (2.14)$$

ค่า  $K_p$  ที่สูงจะเป็นผลให้ค่าเอาต์พุตมากขึ้นตามหากค่า  $K_p$  มากเกินไป ระบบอาจจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงข้ามหากค่า  $K_p$  น้อยเกินไปอาจทำให้ระบบตอบสนองช้าเกินไป ซึ่งในกรณีนี้เป็นไปได้ว่าการตอบสนองดังกล่าวอาจจะสู้สิ่งรบกวน (Disturbance) ในระบบได้ทันการเช่นในการเร่งรอบเครื่องยนต์ เมื่อมีโหลดมากกระทำกับเครื่อง หากคอนโทรลเลอร์เร่งรอบเครื่องช้าไม่ทันกับโหลดที่เพิ่มขึ้นมาทันที่รอบเครื่องก็จะค่อยๆตกลงและเครื่องก็จะดับในที่สุด

### 2.4.2 พจน์ Integral

พจน์ Integral เป็นอัตราส่วนของค่า Error สะสมในหนึ่งช่วงเวลา (ปัจจุบัน ย้อนไปในอดีต) ค่า  $I_{out}$  เกิดจากผลคูณของค่าคงที่  $K_i$  กับผลรวมของ  $e(t)$  ซึ่งเป็นค่าสะสมของ Error ที่ควรจะต้องถูกแก้ไขมาก่อนหน้านี้

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (2.15)$$

พจน์ Integral (เมื่อใช้ร่วมกับพจน์ Proportional) จะช่วยเร่งให้ระบบวิ่งเข้าหา SP เร็วขึ้น และช่วยลด Error ที่เกิดจากการใช้พจน์ Proportional อย่างเดียว อย่างไรก็ตาม เนื่องจากว่าพจน์ Integral นั้นเกิดจากการคำนวณโดยรวม Error ที่เกิดขึ้นในอดีตด้วย อาจจะทำให้เกิด Overshoot เกิน SP ในค่าปัจจุบันด้วย

### 2.4.3 พจน์ Derivative

อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า Error ในโปรเซสนั้นคำนวณได้โดยสโลป (Slope) ของกราฟ Error vs time ซึ่งก็คืออนุพันธ์แรกเทียบกับเวลา และคูณค่าสโลปนี้กับค่าคงที่  $K_d$  ก็จะได้พจน์ Derivative

$$D_{out} = K_d \frac{de}{dt}(t) \quad (2.16)$$

พจน์ Derivative จะช่วยดึงเอาที่พุดจากคอนโทรลเลอร์ให้ช้าลง ซึ่งจะเห็นผลได้ชัดเมื่อโปรเซสเข้าใกล้ Set point ฉะนั้นพจน์ Derivative จึงช่วยลดอาการ Overshoot ซึ่งเกิดจากพจน์ Integral และช่วยปรับปรุงเสถียรภาพของระบบ โดยรวมอย่างไรก็ตามค่า Derivative นั้นค่อนข้างไวต่อ Noise ซึ่งอาจทำให้ระบบไม่เสถียรได้หาก Noise และค่า  $K_p$  สูงเกินไป

### 2.4.4 รวมสามพจน์เข้าด้วยกัน

เมื่อรวมพจน์ Proportional, Integral, และ Derivative เข้าด้วยกันก็จะได้เอาที่พุดจากคอนโทรลเลอร์ PID ดังนี้

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}(t) \quad (2.17)$$

โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ

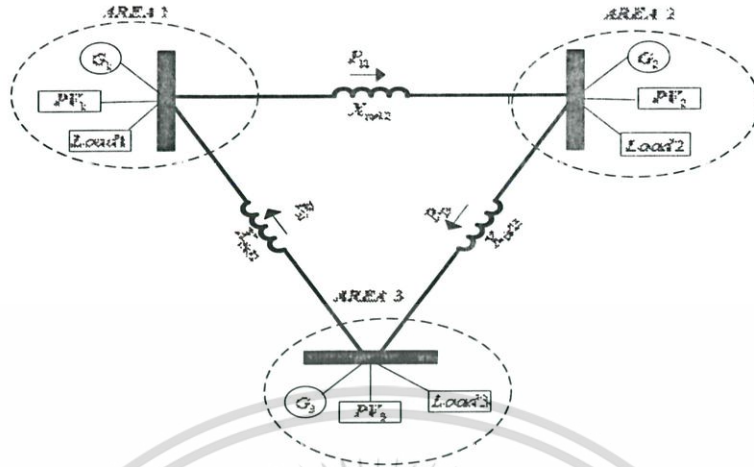
ค่า Proportional gain,  $K_p$ : ค่าที่มากขึ้นหมายถึงการตอบสนองที่เร็วขึ้น เพราะค่า Error ยิ่งมากค่าชดเชยจากพจน์นี้ก็มากขึ้นตามค่า Gain ที่มากเกินไปจะนำไปสู่ โพรเซสที่ไม่เสถียรและการแกว่ง (Oscillation)

ค่า Integral gain,  $K_i$ : ค่าที่มากขึ้นหมายถึงค่า Error แบบ Steady-state จะถูกกำจัดได้เร็วขึ้น ข้อเสียก็คือ Overshoot ค่า Error ที่เป็นลบ จะต้องถูกแก้ด้วย Error ที่เป็นบวกก่อนที่ระบบจะเข้าสู่ Steady-state

ค่า Derivative gain,  $K_d$ : ค่าที่มากขึ้นหมายถึงขนาด Overshoot ที่ลดลง แต่ก็อาจทำให้การตอบสนองช้าลงบ้าง และอาจนำไปสู่ความไม่เสถียรของระบบเนื่องจาก Noise ได้

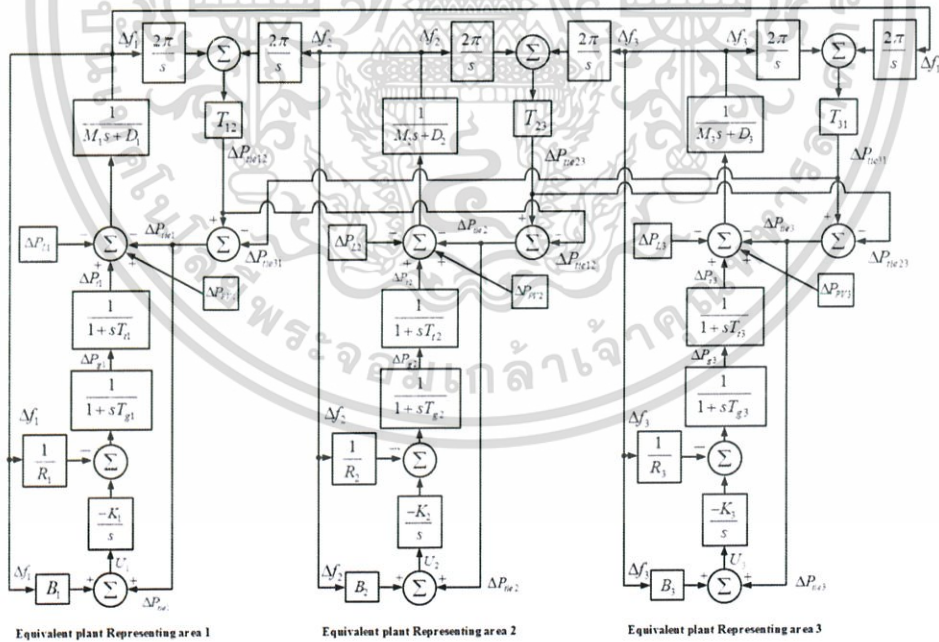


2.5 ระบบจ่ายกำลังและการควบคุม[5]



รูปที่ 2.7 ระบบการเชื่อมต่อของไฟฟ้า 3 พื้นที่

รูปที่ 2.7 แสดงพื้นที่ 3 พื้นที่ที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าซึ่งใช้ในการศึกษาพื้นที่แต่ละพื้นที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $G_i$  ที่  $i=1,2,3$ , โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์  $PV_i$  ที่  $i=1,2,3$  และโหลดที่  $i=1,2,3$  เอ้าท์พุทกำลังที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.8 แบบจำลองเชิงเส้นของระบบไฟฟ้า 3 พื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ

Area Parameter	1	2	3
$K_i$	0.30	0.20	0.4
D (pu/Hz)	0.015	0.016	0.015
2H (pu s)	0.1667	0.2197	0.1247
$T_g$ (s)	0.08	0.06	0.07
$T_t$ (s)	0.40	0.44	0.40
$\beta$ (pu/Hz)	0.3483	0.3827	0.3692
R (Hz/s)	3	2.73	2.82
$T_{ij}$ (pu/Hz)	$T_{12}=0.20, T_{13}=0.25$	$T_{21}=0.20, T_{23}=0.12$	$T_{31}=0.25, T_{32}=0.12$
Generation Capacity	1000 MW	1100 MW	850 MW

## 2.6 เงื่อนไขการจ่ายกำลังการผลิต

ในการจ่ายกำลังการผลิตนอกจากจะต้องจ่ายกำลังการผลิตตามความต้องการของกำลังไฟฟ้าแล้วยังต้องมีการพิจารณาเงื่อนไขทางความถี่ โดยในระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่จะมีการกำหนดให้ความเบี่ยงเบนความถี่ได้ระหว่าง  $\pm 1\%$  [6]

## 2.7 ค่าความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุม (Communication delay time)

ค่าความล่าช้าของสัญญาณควบคุมขึ้นกับประเภทของการสื่อสารดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 ค่าความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุม [7]

ประเภทของการสื่อสาร	ค่าความล่าช้าของสัญญาณ(ms)
Fiber-optic cables	100-150
Digital microwave links	100-150
Power line (PLC)	150-350
Telephone lines	200-350
Satellite link	500-700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การหาค่าอัตราขยาย PI ที่เหมาะสมด้วยวิธี Particle swarm optimization

### 3.1 วิธีกร Particle swarm optimization[8]

วิธีการอนุภาค PSO จะเริ่มต้นจากการสุ่มกลุ่มของคู่คำตอบกับเวกเตอร์ที่ใช้ปรับปรุงคำตอบนั้นกลุ่มของคู่คำตอบกับเวกเตอร์จะมีจำนวนเท่ากับ  $K$  โดยวิธี PSO จะเรียกคำตอบว่า ตำแหน่ง (Position) และเรียกเวกเตอร์ที่ใช้ปรับปรุงคำตอบว่า ความเร็ว (Velocity) คู่ของตำแหน่งและความเร็วที่จะใช้ในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งนั้นๆจะเรียกว่า อนุภาค (Particle) ซึ่งอนุภาคนี้เปรียบเสมือนสัตว์ปีกหนึ่งตัวนั่นเองกล่าวได้ว่าอนุภาคหนึ่งตัวจะรู้ตำแหน่งและความเร็วของตัวเอง ดังนั้นวิธี PSO จะมีจำนวนอนุภาคเท่ากับ  $K$  ตัวโดยอนุภาคทุกตัวจะมีหมายเลขกำกับตั้งแต่ อนุภาคหมายเลข 1 อนุภาคหมายเลข 2 ไปจนถึงอนุภาคหมายเลข  $K$  สำหรับตำแหน่งของอนุภาคซึ่งหมายถึงคำตอบๆหนึ่งของปัญหาจะมีจำนวนมิติ (Dimension) เท่ากับจำนวนของตัวแปรของปัญหานั้นๆ ซึ่งค่าในมิติแต่ละมิติของตำแหน่งก็คือค่าของตัวแปรแต่ละตัวนั่นเอง ส่วนความเร็วของอนุภาคซึ่งคือเวกเตอร์ที่ใช้ในการปรับปรุงตำแหน่งก็จะมีจำนวนมิติเท่ากับจำนวนมิติของตำแหน่งเช่นกัน ดังนั้นจึงได้ว่าอนุภาคตัวที่  $i$  มีตำแหน่งปัจจุบันอยู่ที่  $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$  และมีความเร็วปัจจุบันอยู่ที่  $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$  โดย  $D$  คือจำนวนมิติ หรือก็คือจำนวนตัวแปรที่ต้องการหาค่านั้นเอง

ค่าความเร็วของอนุภาคแต่ละตัวจะมีการปรับเปลี่ยนไปเรื่อยๆ ตามข้อมูลที่ได้รับโดยข้อมูลสำคัญคือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ตัวมันเองเคยได้ไปมาเรียกว่า ตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Personal Best Position) ซึ่งแทนด้วย  $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$  และตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ฝูงอนุภาคทั้งฝูงเคยพบเรียกว่า ตำแหน่ง ที่ดีที่สุดสากล (Global Best Position) ซึ่งแทนด้วย  $G_i$  นอกจาก ตำแหน่งที่ดีที่สุดทั้ง 2 ตำแหน่งแล้ว พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนความเร็วของอนุภาคแต่ละตัวคือ

(1) น้ำหนักแรงเฉื่อย (Inertia Weight) ซึ่งเขียนแทนด้วย  $W$  โดยน้ำหนัก แรงเฉื่อยมีหน้าที่ลดขนาดของความเร็วเดิมลง

(2) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว ซึ่งเขียนแทนด้วย  $C_1$  มีหน้าที่ควบคุมขนาดของเวกเตอร์ของความเร็วที่ชี้ไปทางตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว

(3) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล ซึ่งเขียนแทนด้วย  $C_2$  มีหน้าที่ควบคุมขนาดของเวกเตอร์ของความเร็วที่ชี้ไปทางตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล

### 3.2 การใช้วิธีการ Particle swarm optimization ในการหาค่าอัตราขยาย PI ที่

เหมาะสม

1. กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการหาค่า PI ที่เหมาะสมได้กำหนด ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้เป็นผลรวมของค่าสูงสุดของความถี่ที่เบี่ยงเบนกับความผลรวมกำลังสองของความถี่ที่เบี่ยงเบนในช่วงเวลาที่พิจารณาตามสมการ

$$\text{Min} \left\{ \frac{1}{3} \left[ \sum_{i=1}^3 \left( \int_{t=0}^{t_s} \Delta f_i(t) dt \right) \right] + M \right\} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $i = \text{Number of Area}$

$$M = \text{Max}(\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3)$$

2. กำหนดขอบเขตของค่าอัตราขยาย PI โดยที่

$$K_p^{\min} \leq K_p \leq K_p^{\max} \quad (3.2)$$

$$K_i^{\min} \leq K_i \leq K_i^{\max} \quad (3.3)$$

3. ตั้งค่าพารามิเตอร์ตั้งค่าการวนซ้ำปัจจุบัน  $t=1$  กำหนดตำแหน่งและ ความเร็ว

$$v_{iD}^{t+1} = wv_{iD}^t + C_1r_1(P_{iD}^t - x_{iD}^t) + C_2r_2(G_i^t - x_{iD}^t) \quad (3.4)$$

ของอนุภาค K ตัวในฝูง

4. สำหรับตัวอนุภาคแต่ละตัวแปลงตำแหน่งไปเป็นคำตอบของปัญหาที่ กำหนด

$$x_{iD}^{t+1} = x_{iD}^t + v_{iD}^{t+1} \quad (3.5)$$

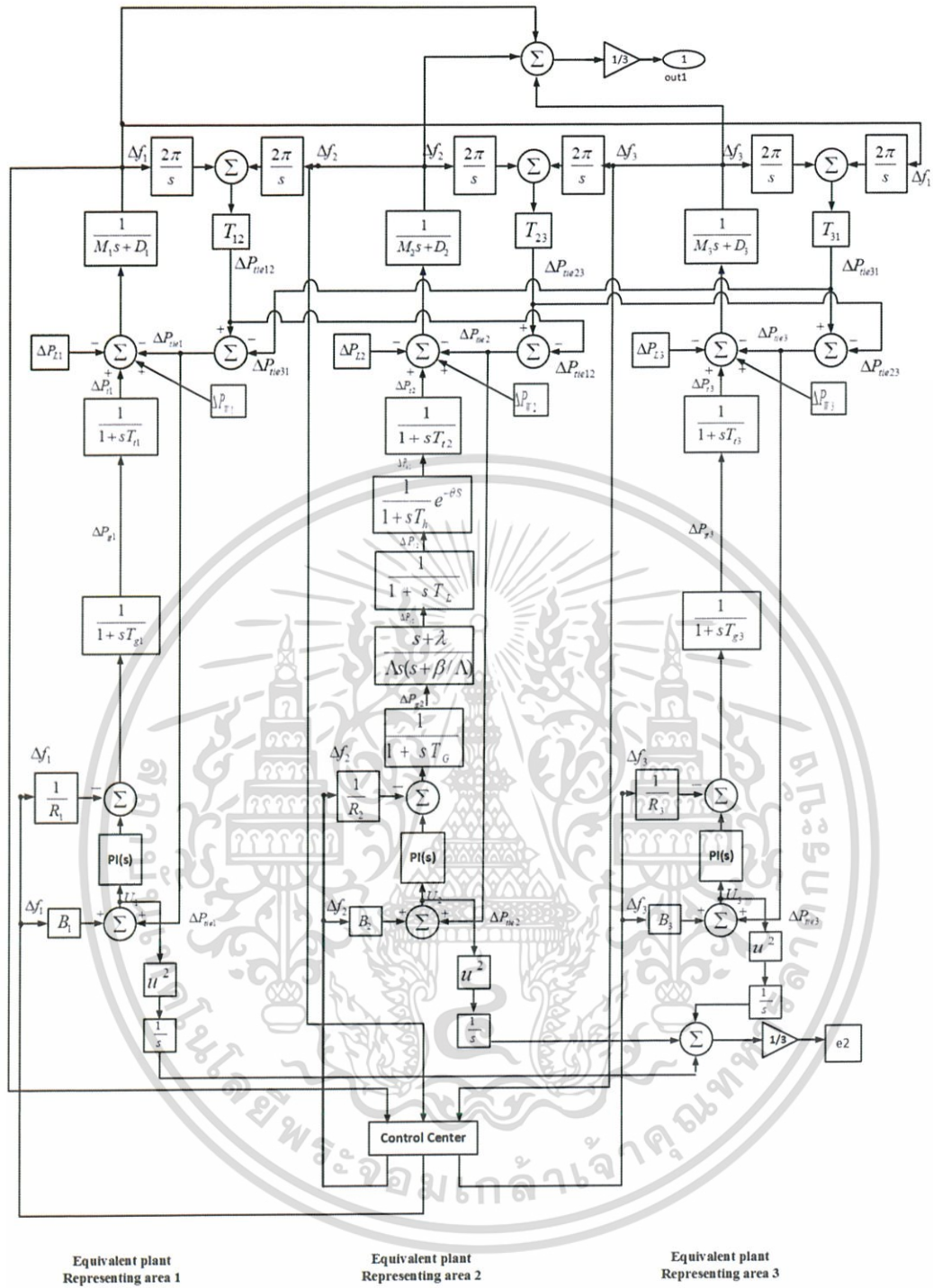
และทำการประเมินค่าคำตอบนั้นๆ โดยใช้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ คำตอบจากตำแหน่งนั้นๆ

5. ปรับตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว

6. ปรับตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล

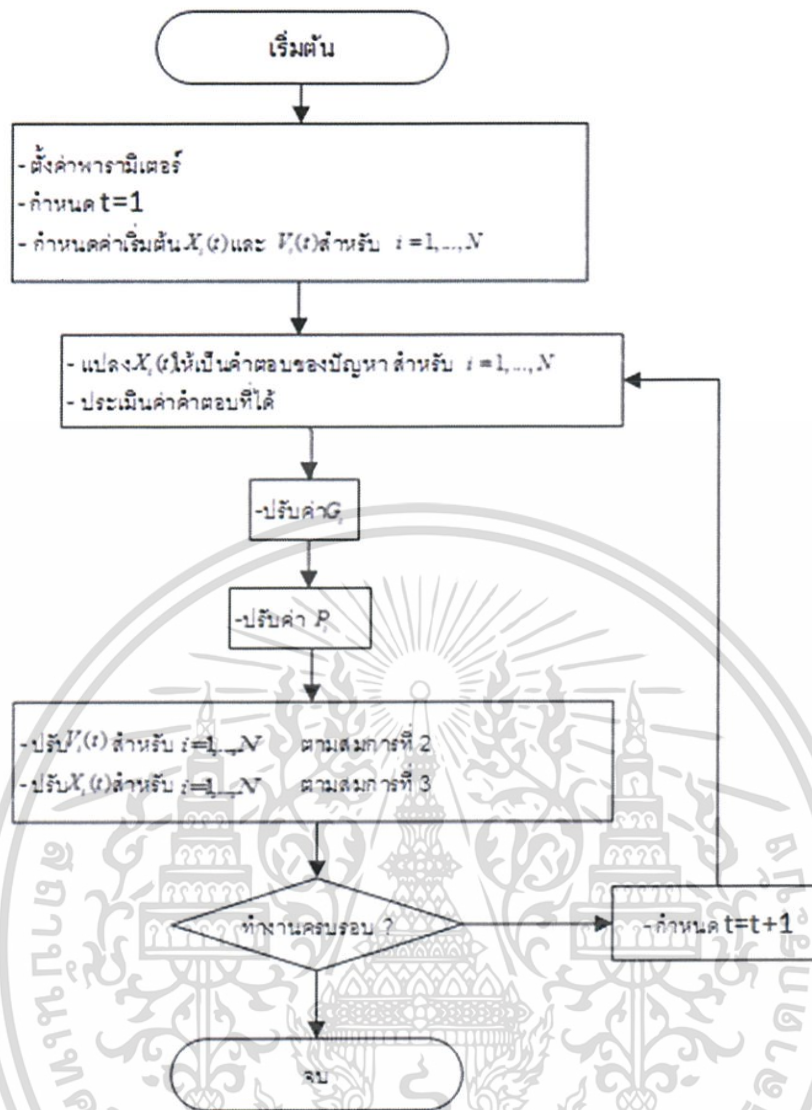
7. ปรับความเร็วและตำแหน่งของอนุภาคทุกตัวด้วยสมการที่ (3.4) และ สมการที่ (3.5)

8. ถ้าทำงานครบรอบที่กำหนดไว้ให้หยุดการวนซ้ำแต่ถ้ายังไม่ครบรอบที่ กำหนดให้ตั้งค่า  $t = t + 1$  แล้วกลับไปทำงานที่ขั้นตอนที่ 4



รูปที่ 3.1 แบบจำลองของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของวิธี PSO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#### 4.1 พิจารณาการติดตามโหลดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เมื่อมีการความต้องการกำลังไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ ร่วมกับผลของการใช้ ตัวควบคุมที่หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธี PSO

ในกรณีนี้จะมีความต้องการกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 3 กรณีดังนี้

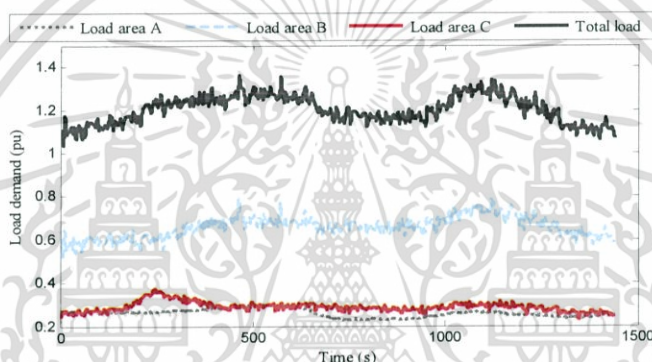
##### 4.1.1 ความต้องการกำลังไฟฟ้ารูปแบบที่ 1

กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของความต้องการกำลังไฟฟ้าไม่มาก

เมื่อ Optimization จะได้ค่าพารามิเตอร์ PI ดังนี้

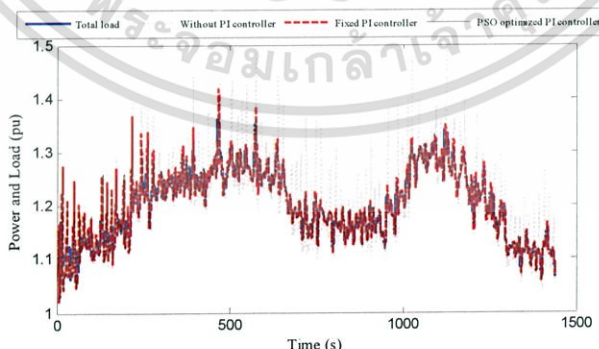
โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ A	ค่าพารามิเตอร์ $P=0.0160482312727656$ , $I=0.00198079942914306$
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์พื้นที่ B	ค่าพารามิเตอร์ $P=-0.000131097735893$ , $I=5.94183955276896e-06$
โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ C	ค่าพารามิเตอร์ $P=0.00290447601813838$ , $I=0.0013968049715974$

ความต้องการกำลังไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่แสดงในรูปที่ 4.1



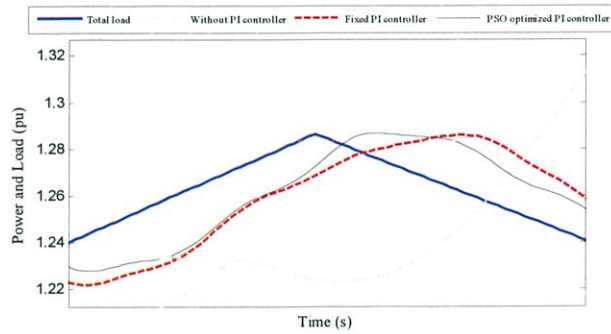
รูปที่ 4.1 ความต้องการการกำลังไฟฟ้า

กำลังการผลิตรวมทั้งหมดของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและนิวเคลียร์เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 จะสังเกตได้ว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการติดตามโหลดที่ดีที่สุด รองลงมาคือการใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุม



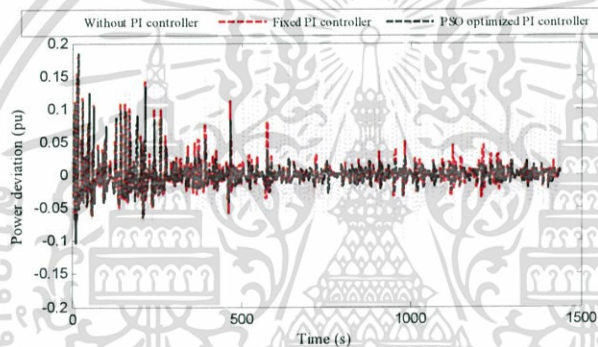
รูปที่ 4.2 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



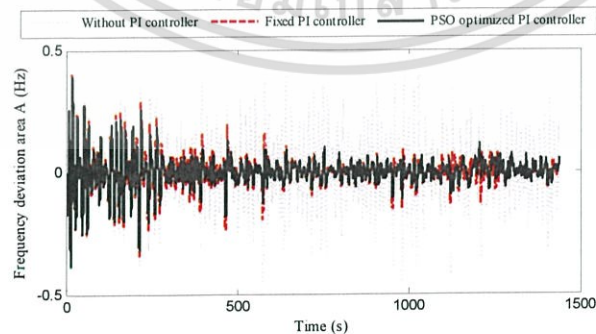
รูปที่ 4.3 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่ เมื่อขยายกราฟ

การเบี่ยงเบนของกำลังไฟฟ้าเมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.4 จะสังเกตว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุด การใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุมมีการเบี่ยงเบนความถี่ที่มากขึ้นตามลำดับ



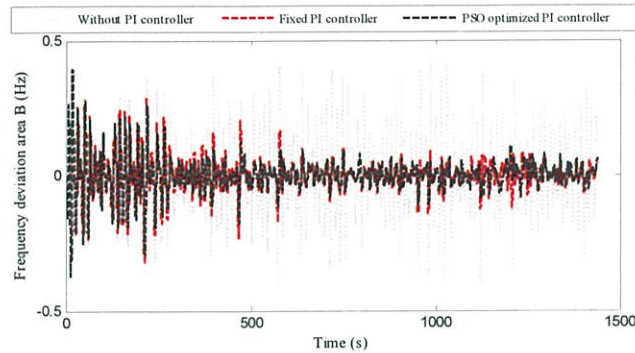
รูปที่ 4.4 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า

การเบี่ยงเบนของความถี่ 3 พื้นที่เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.5-4.7 จะสังเกตว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการเบี่ยงเบนความถี่น้อยที่สุด การใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุมมีการเบี่ยงเบนความถี่ที่มากขึ้นตามลำดับ

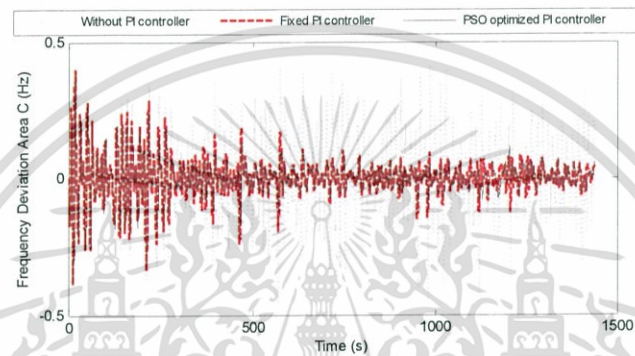


รูปที่ 4.5 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B



รูปที่ 4.7 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C

จากผลการจำลองในกรณี 4.1.1 (มีการเปลี่ยนแปลงของความต้องการกำลังไฟฟ้าไม่มาก) แสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถติดตามโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดไม่มากได้ทั้งกรณีที่ไม่ใช้ตัวควบคุม, ใช้ตัวควบคุม PI ที่สุ่มค่าอัตราขยาย, ใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่า PI ที่เหมาะสมด้วยวิธี PSO

#### 4.1.2 ความต้องการกำลังไฟฟ้ารูปแบบที่ 2

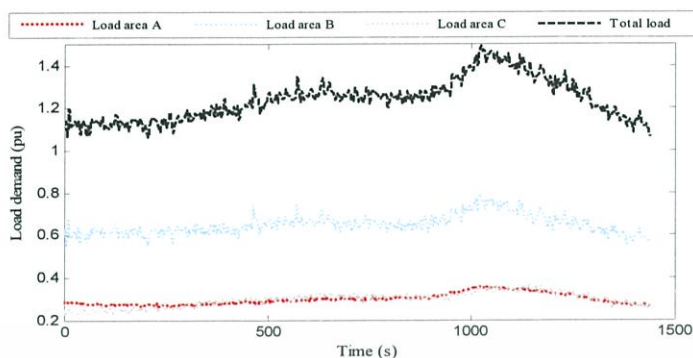
กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของความต้องการกำลังไฟฟ้าปริมาณมากโดยความต้องการต่ำสุดและสูงสุดแตกต่างกัน 0.4 PU. ของกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

เมื่อ Optimization จะได้ค่าพารามิเตอร์ PI ดังนี้

โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ A	ค่าพารามิเตอร์ $P=0.194119165076597$ , $I=0.000616114709278949$
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์พื้นที่ B	ค่าพารามิเตอร์ $P=0.0176710591872463$ , $I=-2.68005356686996e-05$
โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ C	ค่าพารามิเตอร์ $P=-0.011786793149939$ , $I=0.000995053246307676$

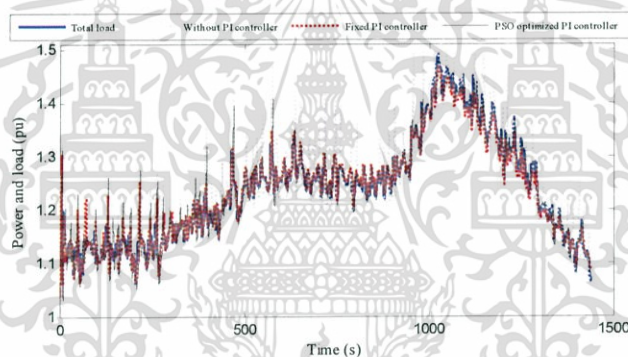
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้องการกำลังไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่แสดงในรูปที่ 4.8

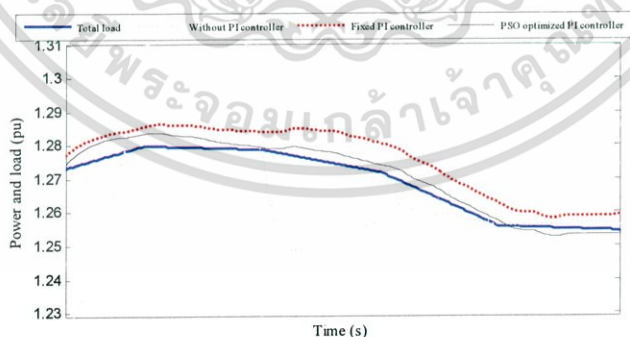


รูปที่ 4.8 ความต้องการกำลังไฟฟ้า

กำลังการผลิตรวมทั้งหมดของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและนิวเคลียร์เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10 จะสังเกตได้ว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการติดตามโหลดที่ดีที่สุด รองลงมาคือการใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุม



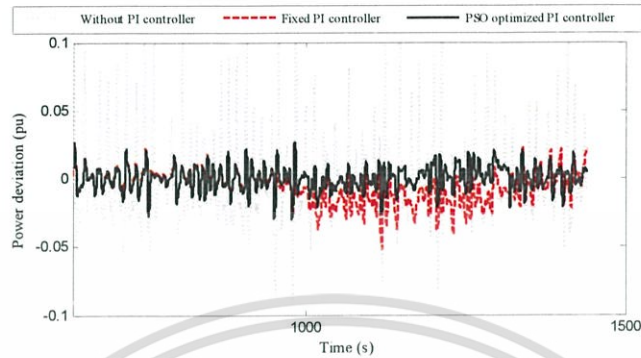
รูปที่ 4.9 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวมของ 3 พื้นที่



รูปที่ 4.10 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวมของ 3 พื้นที่ เมื่อขยายกราฟ

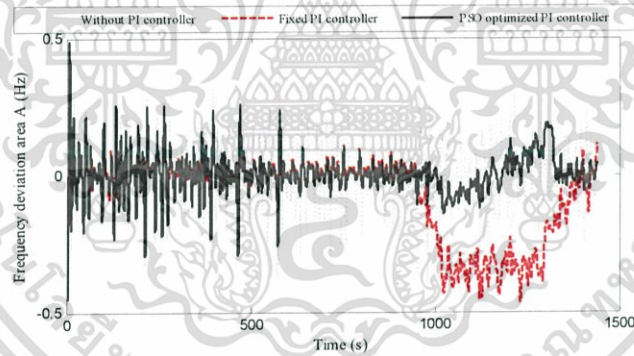
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเบี่ยงเบนของกำลังไฟฟ้าเมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.11 จะสังเกตว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุด การใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุมมีการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นตามลำดับ

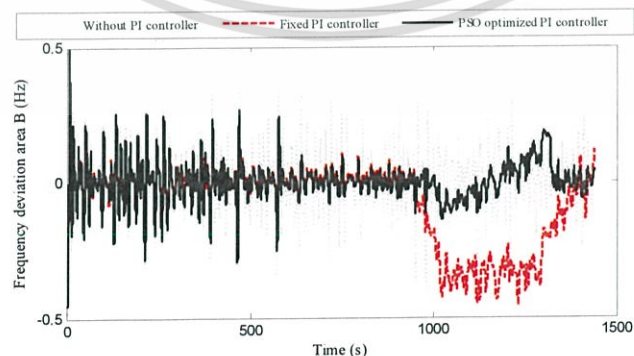


รูปที่ 4.11 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า

การเบี่ยงเบนของความถี่ 3 พื้นที่เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.12-4.14 จะสังเกตว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการเบี่ยงเบนความถี่ที่น้อยที่สุด การใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุมมีการเบี่ยงเบนความถี่ที่มากขึ้นตามลำดับ

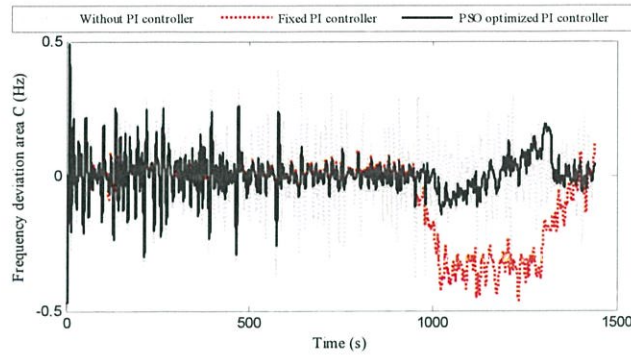


รูปที่ 4.12 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A



รูปที่ 4.13 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C

จากผลการจำลองในกรณี 4.1.2 (มีการเปลี่ยนแปลงของความต้องการกำลังไฟฟ้าปริมาณมากโดยความต้องการต่ำสุดและสูงสุดแตกต่างกัน 0.4 PU. ของกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์) แสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถติดตามโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดปริมาณมากมากได้ทั้งกรณีที่ ไม่ใช้ตัวควบคุม, ใช้ตัวควบคุม PI ที่สูงค่าอัตราขยาย, ใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่า PI ที่เหมาะสมด้วยวิธี PSO

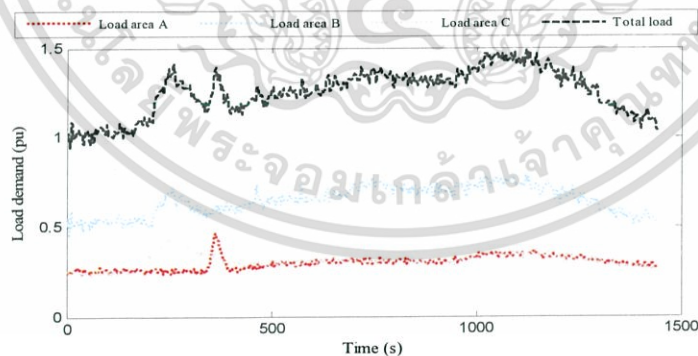
#### 4.1.3 ความต้องการกำลังไฟฟ้ารูปแบบที่ 3

กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของความต้องการกำลังไฟฟ้าปริมาณมากในเวลาอันสั้น

เมื่อ Optimization จะได้ค่าพารามิเตอร์ PI ดังนี้

โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ A	ค่าพารามิเตอร์ $P=0.0346483915086753, I=0.000125810727922179$
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์พื้นที่ B	ค่าพารามิเตอร์ $P=0.0478554061029569, I=-6.47229733379373e-05$
โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ C	ค่าพารามิเตอร์ $P=0.0216912603339764, I=0.000418977172319269$

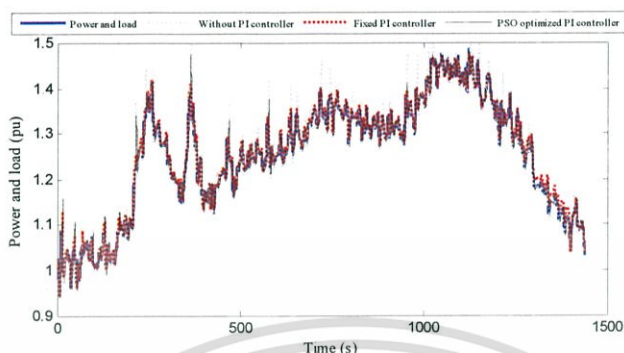
ความต้องการกำลังไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่แสดงในรูปที่ 4.15



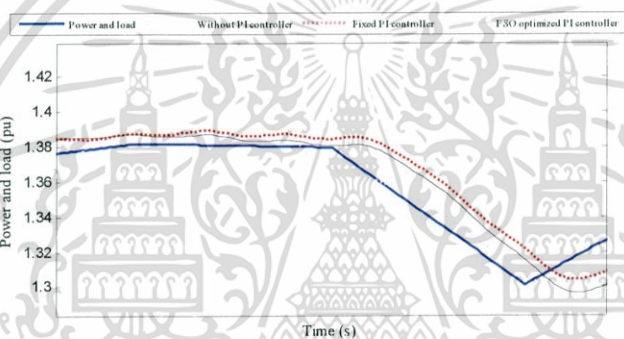
รูปที่ 4.15 ความต้องการกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังการผลิตรวมทั้งหมดของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและนิวเคลียร์เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 จะสังเกตได้ว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการติดตามโหลดที่ดีที่สุด รองลงมาคือการใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุม

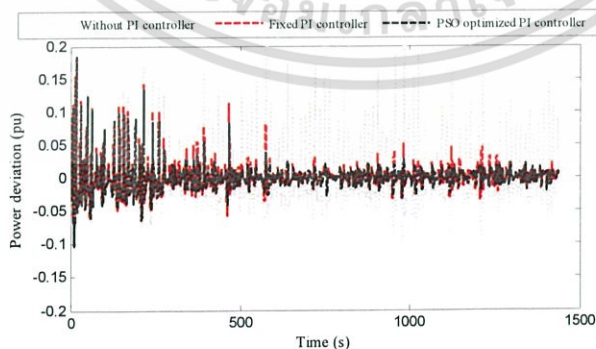


รูปที่ 4.16 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่



รูปที่ 4.17 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่ เมื่อขยายกราฟ

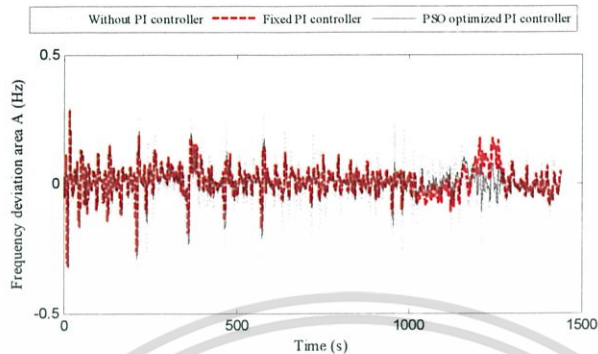
การเบี่ยงเบนของกำลังไฟฟ้าเมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.18 จะสังเกตว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุด การใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุมมีการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นตามลำดับ



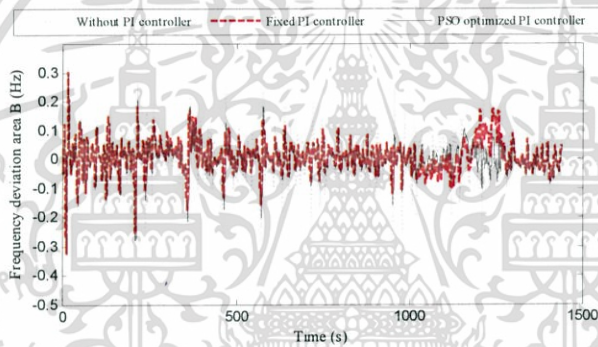
รูปที่ 4.18 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

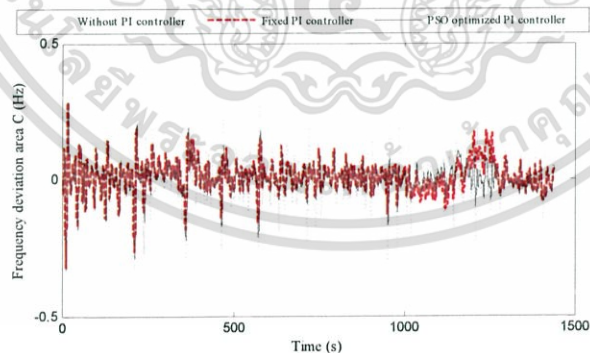
การเบี่ยงเบนของความถี่ 3 พื้นที่เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.19-4.21 จะสังเกตว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการเบี่ยงเบนความถี่ที่น้อยที่สุด การใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุมมีการเบี่ยงเบนความถี่ที่มากขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 4.19 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A



รูปที่ 4.20 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B



รูปที่ 4.21 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C

จากผลการจำลองในกรณี 4.1.3 (มีการเปลี่ยนแปลงของความต้องการกำลังไฟฟ้าปริมาณมากในเวลาอันสั้น) แสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถติดตามโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดกะทันหันได้ทั้งกรณีที่ไม่ใช้ตัวควบคุม , ใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยาย , ใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่า PI ที่เหมาะสมด้วยวิธี PSO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการจำลองในกรณี 4.1 แสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถติดตามโหลดได้ดีที่สุดเมื่อหาค่าอัตราขยาย PI ด้วยวิธี PSO ทั้ง 3 กรณี การไม่ใช้ตัวควบคุมให้ผลที่แย่ที่สุดทั้ง 3 กรณี ส่วนการใช้ตัวควบคุมแบบค่าอัตราขยายคงที่จะมีการติดตามโหลดไม่ดีเมื่อใช้กับกรณีที่ 2 และ 3 (การเปลี่ยนแปลงโหลดปริมาณมากและการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างกะทันหัน) โดยจะมีการเบี่ยงเบนความถี่มากขึ้นในช่วงท้ายที่ทิศทางการเปลี่ยนแปลงโหลดเพิ่มขึ้นเปลี่ยนเป็นลดลง

#### 4.2 พิจารณาการติดตามโหลดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เมื่อมีการกำลัการผลิตของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังงานลมในรูปแบบต่างๆ

##### 4.2.1 กำลัการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมรูปแบบที่ 1

กรณีที่ 1 มีการกำลัการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมลดลงเป็น 0 อย่างกะทันหัน

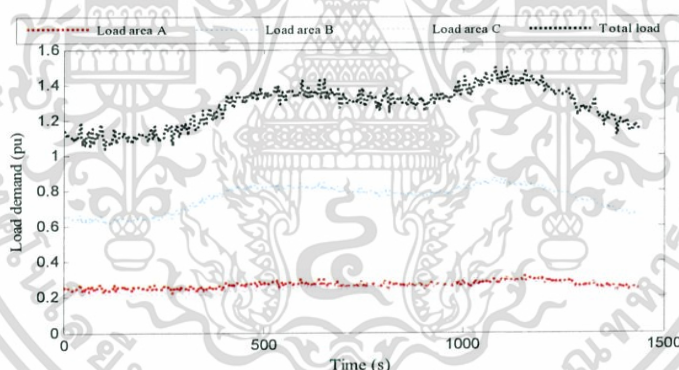
เมื่อ Optimization จะได้ค่าพารามิเตอร์ PI ดังนี้

โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ A ค่าพารามิเตอร์  $P=-0.067078440545518$ ,  $I=0.000659194388360029$

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์พื้นที่ B ค่าพารามิเตอร์  $P=0.0327434489648112$ ,  $I=4.85278271929196e-05$

โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ C ค่าพารามิเตอร์  $P=-0.0536977692238632$ ,  $I=-0.00750106867157343$

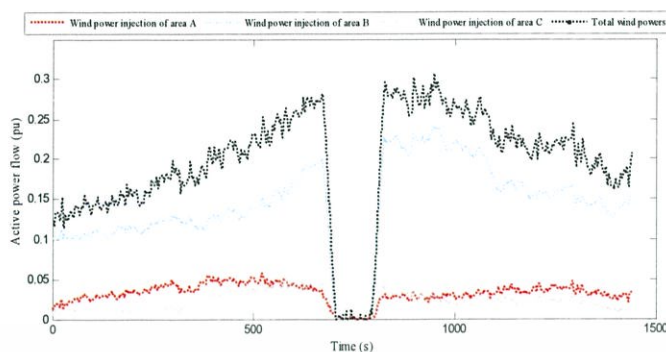
ความต้องการกำลัไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่แสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ความต้องการกำลัไฟฟ้า

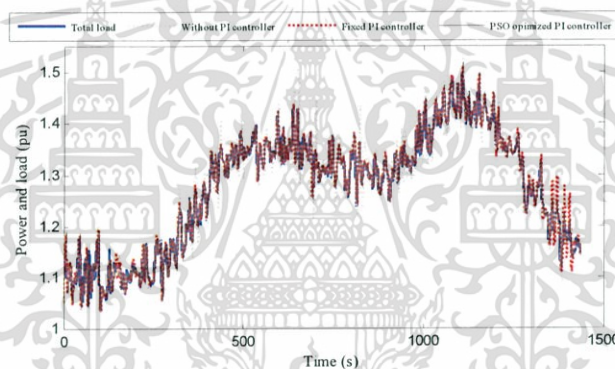
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมแสดงในรูปที่ 4.23

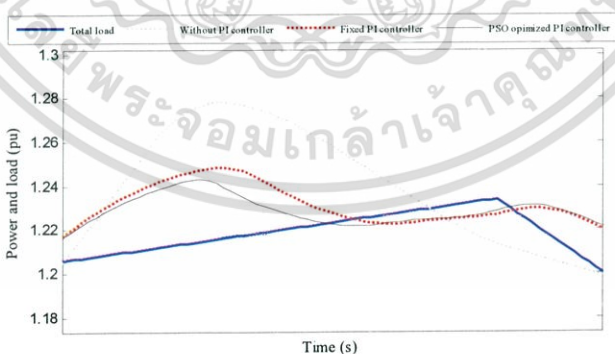


รูปที่ 4.23 กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลม

กำลังการผลิตรวมทั้งหมดของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและนิวเคลียร์เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.24 และ 4.25 จะสังเกตได้ว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการติดตามโหลดที่ดีที่สุด รองลงมาคือการใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุม



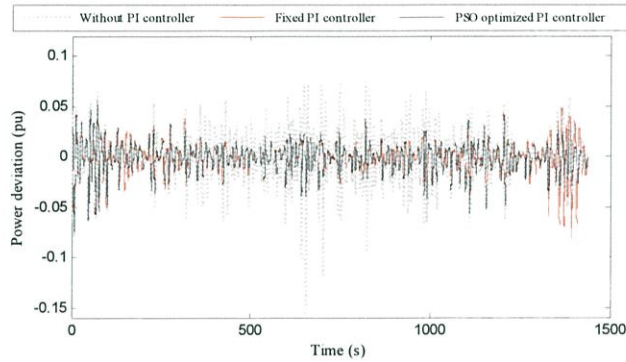
รูปที่ 4.24 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่



รูปที่ 4.25 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่ เมื่อขยายกราฟ

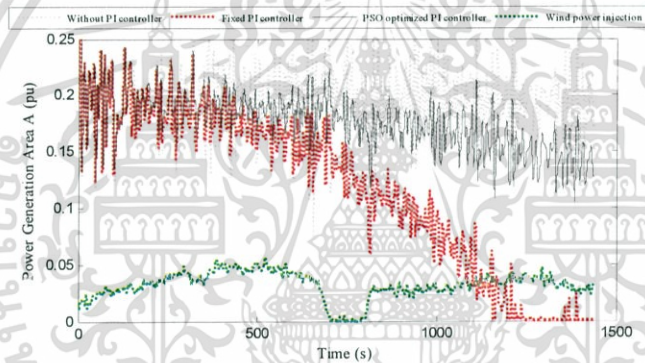
การเบี่ยงเบนของกำลังไฟฟ้าเมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.26 จะสังเกตว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุด การใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุมมีการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

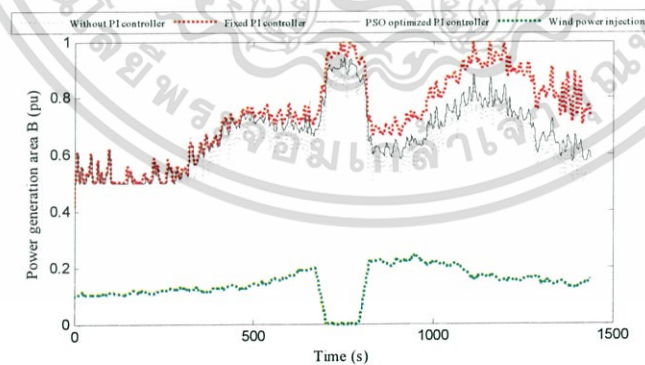


รูปที่ 4.26 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า

กำลังการผลิตไฟฟ้าของความถี่ 3 พื้นที่ เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.27-4.29 จะสังเกตว่าการไม่ใช้ตัวควบคุมและการใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่ กำลังไฟฟ้าจะเบี่ยงเบนมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป จะสังเกตว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะติดตามกำลังการผลิตที่ลดลงอย่างกะทันหันของแหล่งจ่ายพลังงานลม

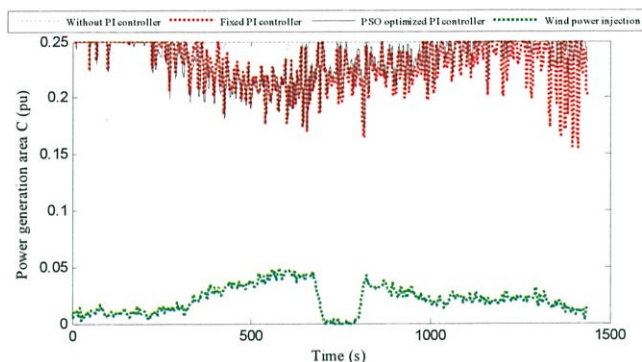


รูปที่ 4.27 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ A



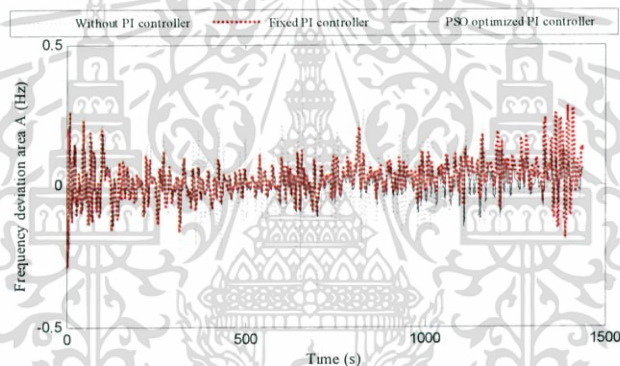
รูปที่ 4.28 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

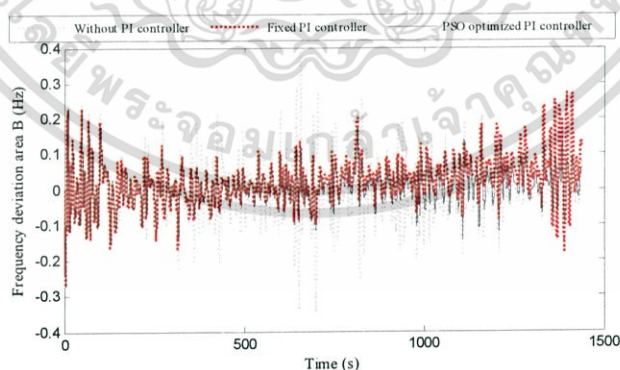


รูปที่ 4.29 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ C

การเบี่ยงเบนของความถี่ 3 พื้นที่เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.30-4.32 จะสังเกตว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการเบี่ยงเบนความถี่น้อยที่สุด การใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุมมีการเบี่ยงเบนความถี่ที่มากขึ้นตามลำดับ

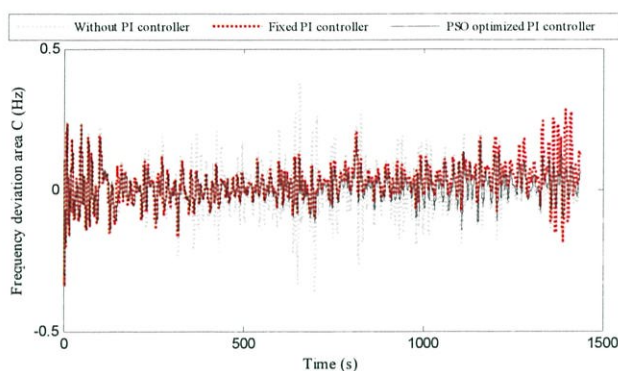


รูปที่ 4.30 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A



รูปที่ 4.31 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C

จากผลการจำลองในกรณี 4.2.1 (มีกำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลดลงเป็น 0 อย่างกะทันหัน) แสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมอย่างกะทันหันได้ด้วยการใช้ตัวควบคุมการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่า PI ที่เหมาะสมด้วยวิธี PSO ส่วนการใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุมมีความสามารถในการติดตามโหลดที่เป็นอันดับ 2 และ 3 ตามลำดับ

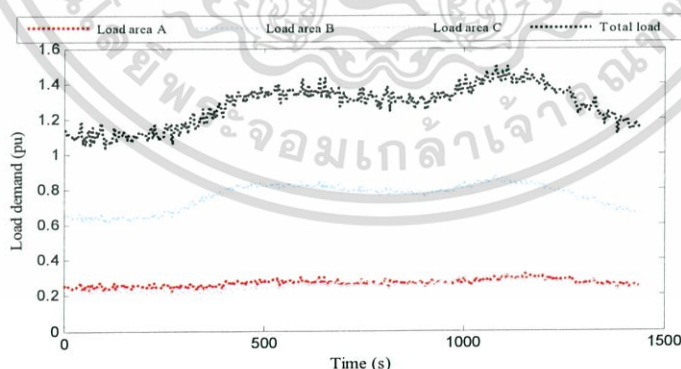
#### 4.2.2 กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมรูปแบบที่ 2

กรณีที่มีกำลังการผลิตของพลังงานลมในลักษณะทั่วไป

เมื่อ Optimization จะได้ค่าพารามิเตอร์ PI ดังนี้

โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ A	ค่าพารามิเตอร์ $P=0.6333437717248491$ , $I=-1.43622751724369$
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์พื้นที่ B	ค่าพารามิเตอร์ $P=-0.342399306020987$ , $I=-0.0417330987581388$
โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ C	ค่าพารามิเตอร์ $P=-0.281827781337601$ , $I=0.480441125280510$

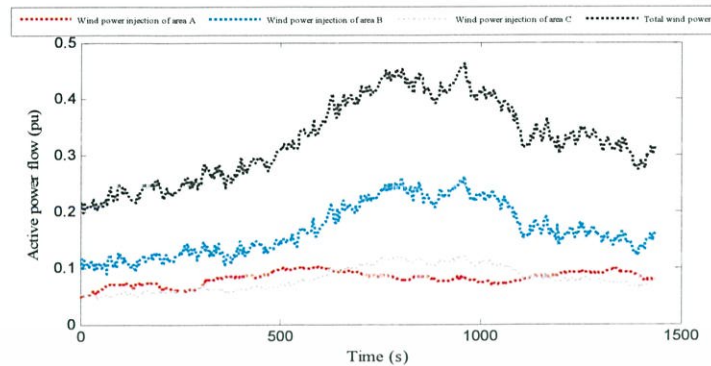
ความต้องการกำลังไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่แสดงในรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 ความต้องการกำลังไฟฟ้า

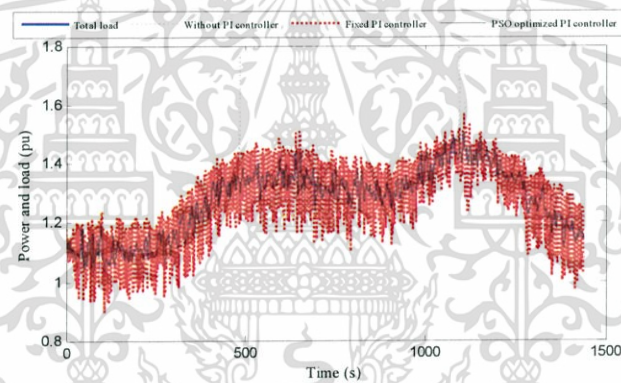
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมแสดงในรูปที่ 4.34

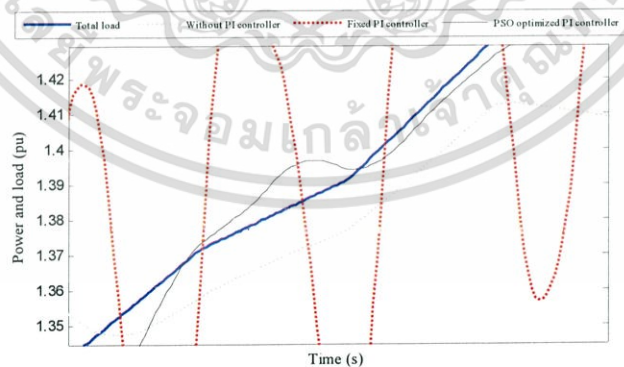


รูปที่ 4.34 กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลม

กำลังการผลิตรวมทั้งหมดของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและนิวเคลียร์เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.35 และ 4.36 จะสังเกตได้ว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการติดตามโหลดที่ดีที่สุด รองลงมาคือการใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุม



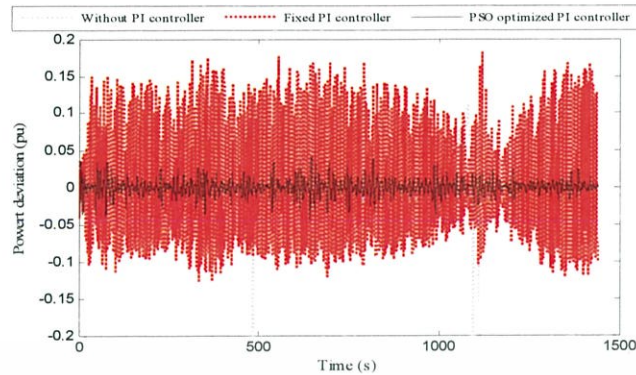
รูปที่ 4.35 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 เฟส



รูปที่ 4.36 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 เฟส เมื่อขยายกราฟ

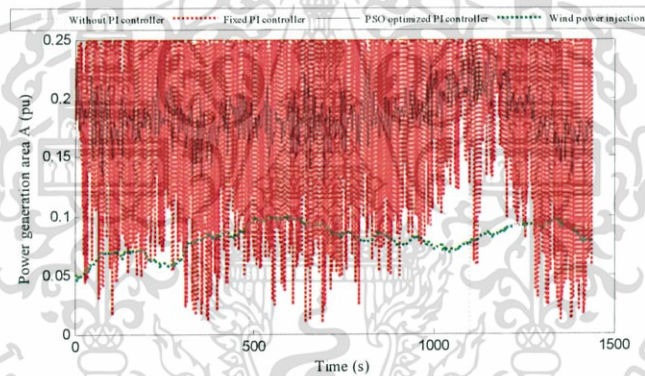
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเบี่ยงเบนของกำลังไฟฟ้าเมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.37

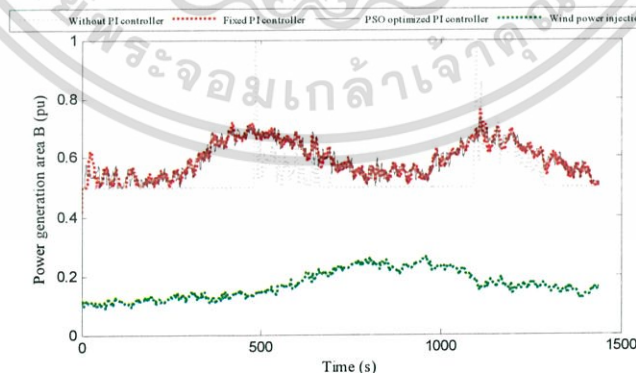


รูปที่ 4.37 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า

กำลังการผลิตไฟฟ้าของความถี่ 3 พื้นที่ เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.38-4.40 จะสังเกตว่าเมื่อใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่ กำลังการผลิตของพื้นที่ A และ C จะมีการเบี่ยงเบนกำลังการผลิตในพื้นที่ B (เส้นกราฟสีแดง) เนื่องมาจากตัวควบคุมที่ไม่เหมาะสมทำให้กำลังการผลิตรวมมีการเบี่ยงเบนเป็นอย่างมากดังรูปที่ 4.37 และจะส่งผลโดยตรงต่อการเบี่ยงเบนของความถี่

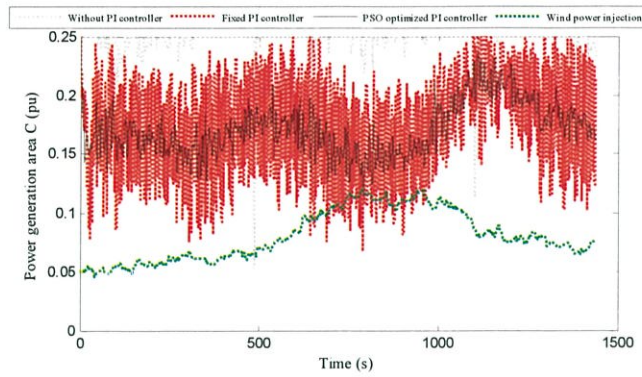


รูปที่ 4.38 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ A



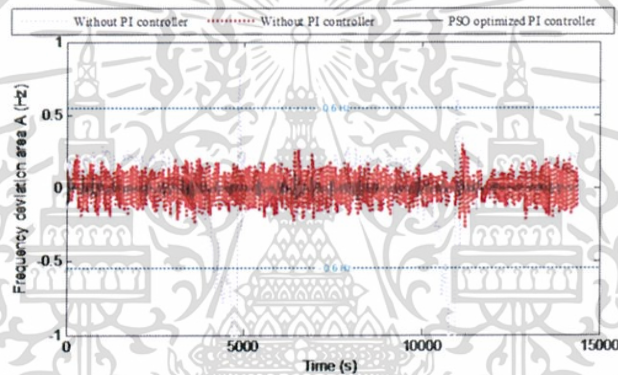
รูปที่ 4.39 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

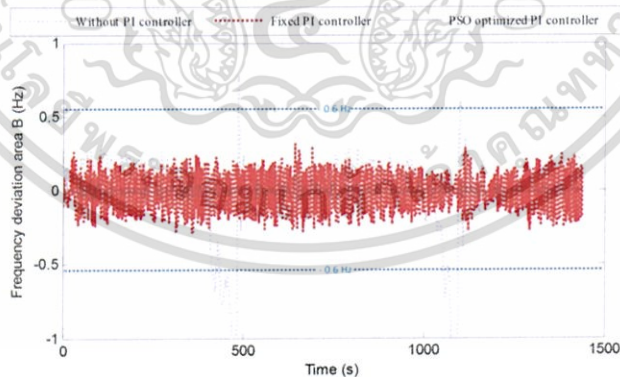


รูปที่ 4.40 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ C

การเบี่ยงเบนของความถี่ 3 พื้นที่เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.41-4.43 จะสังเกตว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการเบี่ยงเบนความถี่ที่น้อยที่สุด การใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุมมีการเบี่ยงเบนความถี่ที่มากขึ้นตามลำดับ

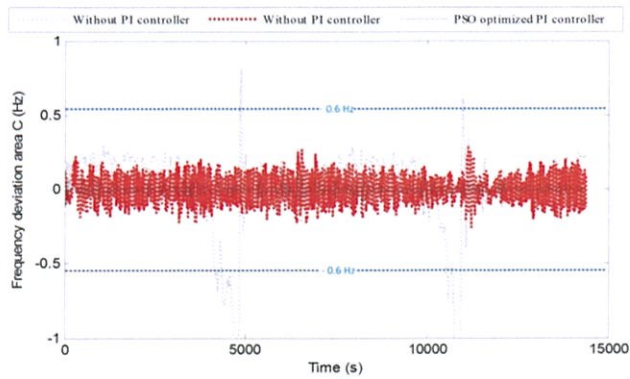


รูปที่ 4.41 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A



รูปที่ 4.42 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C

จากผลการจำลองในกรณี 4.2.2 (กำลังการผลิตของพลังงานลมในลักษณะทั่วไป) แสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมได้ ด้วยการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายที่เหมาะสมด้วยวิธี PSO ส่วนการไม่ใช้ตัวควบคุม, การใช้ตัวควบคุม PI ที่สุ่มค่าอัตราขยายไม่สามารถติดตามโหลดได้ (พิจารณาจากการเบี่ยงเบนความถี่เกิน 1 %)

#### 4.2.3 กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมรูปแบบที่ 3

กรณีที่มีกำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมลดลงเป็นเวลานาน

เมื่อ Optimization จะได้ค่าพารามิเตอร์ PI ดังนี้

โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ A

ค่าพารามิเตอร์  $P=0.0246113424139886$ ,  $I=-0.261101367885163$

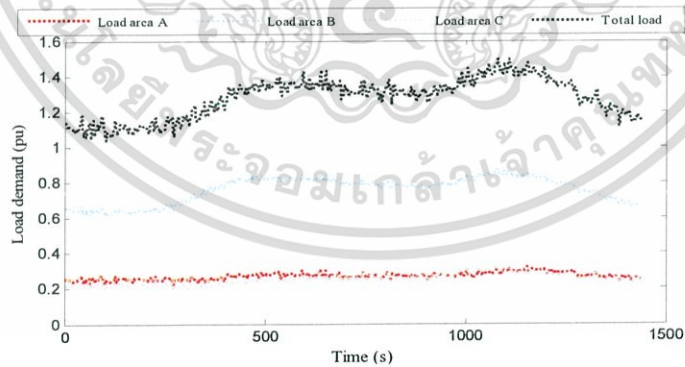
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์พื้นที่ B

ค่าพารามิเตอร์  $P=-0.061549059757236$ ,  $I=-9.78618754660e-05$

โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ C

ค่าพารามิเตอร์  $P=-0.100484785886874$ ,  $I=-0.003039810732318$

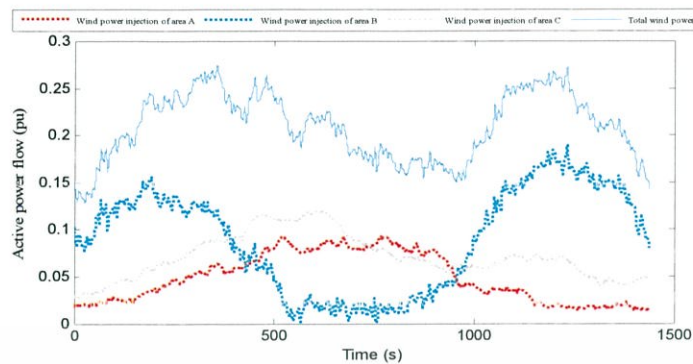
ความต้องการกำลังไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่แสดงในรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 ความต้องการกำลังไฟฟ้า

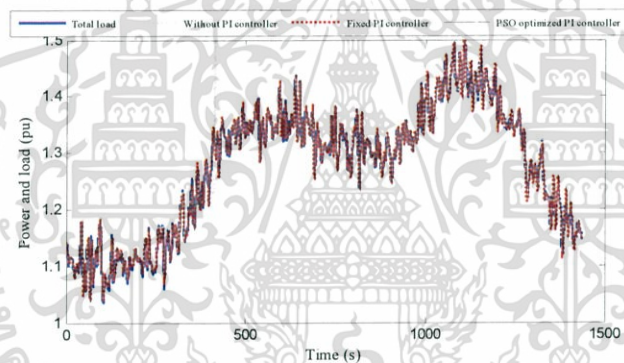
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมแสดงในรูปที่ 4.45

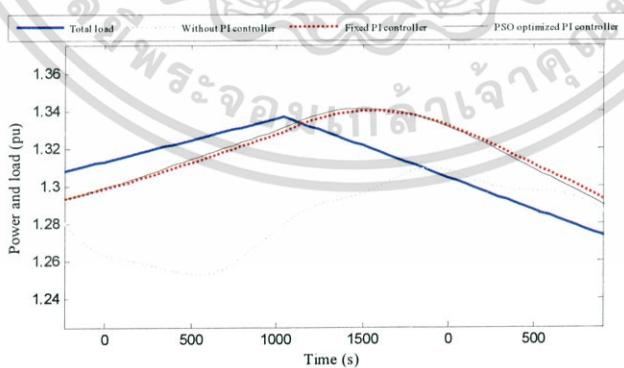


รูปที่ 4.45 กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลม

กำลังการผลิตรวมทั้งหมดของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและนิวเคลียร์เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.46 และรูปที่ 4.47 จะสังเกตเห็นว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการติดตามโหลดที่ดีที่สุด รองลงมาคือการใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุม



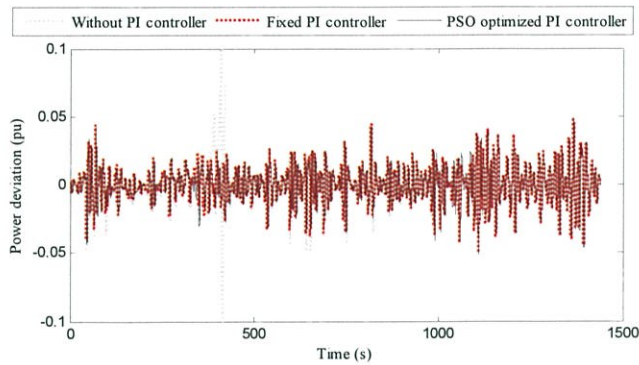
รูปที่ 4.46 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่



รูปที่ 4.47 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่ เมื่อขยายกราฟ

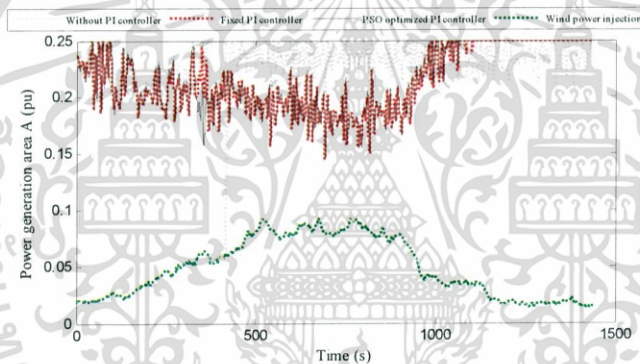
การเบี่ยงเบนของกำลังไฟฟ้าเมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.48 จะสังเกตว่าการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าเมื่อไม่ใช้ตัวควบคุมมีการเบี่ยงเบนที่ไม่สามารถยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

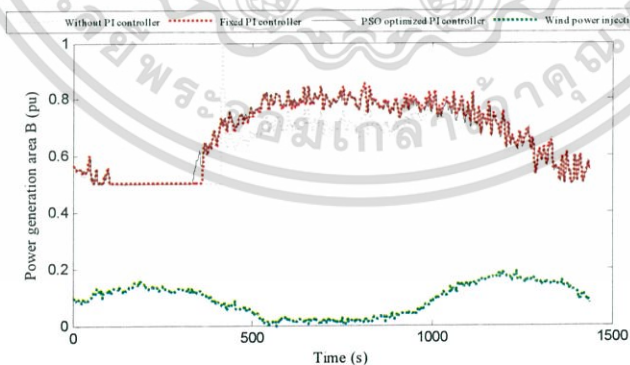


รูปที่ 4.48 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า

กำลังการผลิตไฟฟ้าของความถี่ 3 พื้นที่ เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.49-4.50 จะสังเกตว่าการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายด้วยวิธี PSO มีการเบี่ยงเบนกำลังการผลิตน้อยที่สุด การใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุมมีการเบี่ยงเบนกำลังการผลิตที่มากขึ้นตามลำดับ

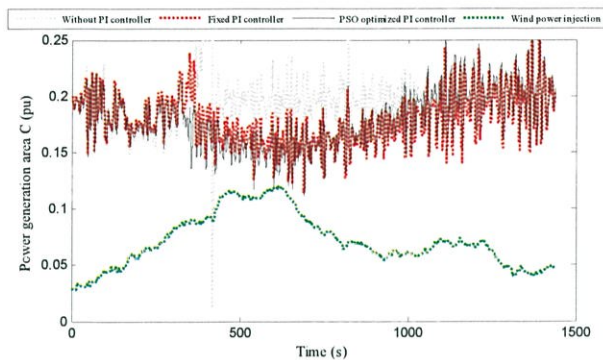


รูปที่ 4.49 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ A



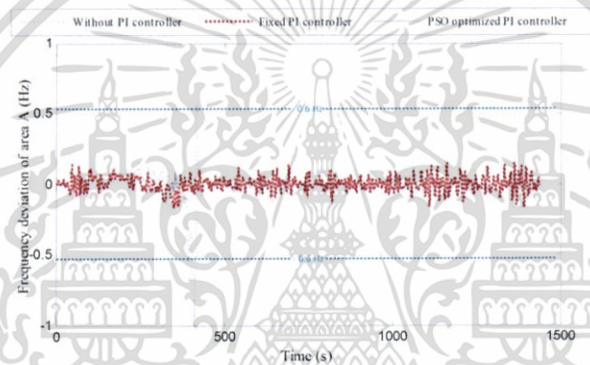
รูปที่ 4.50 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

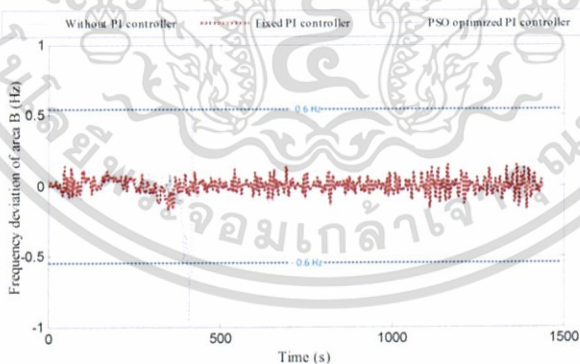


รูปที่ 4.51 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่ C

การเบี่ยงเบนของความถี่ 3 พื้นที่เมื่อใช้การควบคุมรูปแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 4.52-4.53

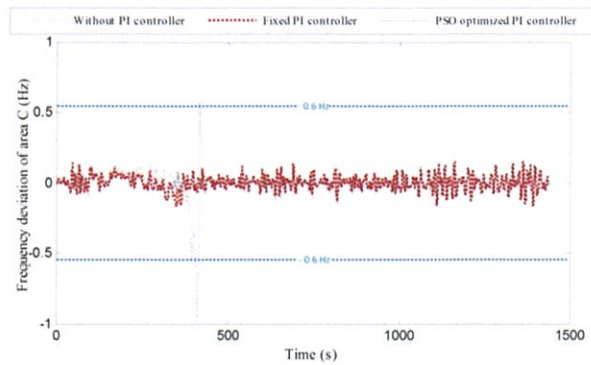


รูปที่ 4.52 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A



รูปที่ 4.53 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.54 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C

จากผลการจำลองในกรณี 4.2.3 (กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมลดลงเป็นเวลานาน) แสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมได้ดีที่สุดด้วยการใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยายที่เหมาะสมด้วยวิธี PSO รองลงมาการใช้ตัวควบคุม PI ที่มีค่าอัตราขยายคงที่ ส่วนกรณีที่ไม่ใช้ตัวควบคุมไม่สามารถติดตามโหลดได้ (พิจารณาจากการเบี่ยงเบนความถี่เกิน 1%)

ในกรณี 4.2 ผลการจำลองทั้ง 3 กรณีแสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถติดตามโหลดได้ดีที่สุด เมื่อหาค่าอัตราขยาย PI ด้วยวิธี PSO กรณี รองลงมาคือการใช้ตัวควบคุมที่มีอัตราขยาย PI ที่คงที่ โดยจะมีการเบี่ยงเบนตลอดช่วงเวลาในกรณีที่ 2 แต่ค่าความเบี่ยงเบนความถี่สูงสุดยังสามารถยอมรับได้ การไม่ใช้ตัวควบคุมให้ผลที่แย่มากที่สุดทั้ง 3 กรณีซึ่งในกรณีที่ 4.2.2 และ 4.2.3 พบว่าความถี่เบี่ยงเบนเกินมาตรฐานที่ยอมรับได้

4.3 พิจารณาการติดตามโหลดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานลมลดลงอย่างทันทีทันใด ร่วมกับผลของความล่าช้าสัญญาณควบคุมที่ค่าต่างๆ

เมื่อ Optimization จะได้ค่าพารามิเตอร์ PI ดังนี้

(1) เมื่อไม่มีความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุม

โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ A	ค่าพารามิเตอร์ $P=-0.0607078440545518$ , $I=0.000659194388360029$
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์พื้นที่ B	ค่าพารามิเตอร์ $P= 0.0327434489648112$ , $I=4.85278271929196e-05$
โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ C	ค่าพารามิเตอร์ $P=-0.0536977692238632$ , $I=-0.00750106867157343$

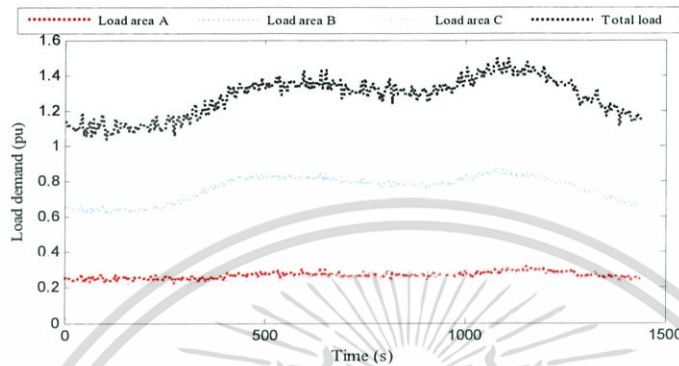
(2) เมื่อค่าความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุมเท่ากับ 0.35 วินาที

โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ A	ค่าพารามิเตอร์ $P= 0.407127610908771$ , $I=0.000184626203952525$
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์พื้นที่ B	ค่าพารามิเตอร์ $P=0.0829236619790604$ , $I=2.42149267283074e-05$
โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ C	ค่าพารามิเตอร์ $P=-0.334328670874876$ , $I=-0.0226343160186589$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

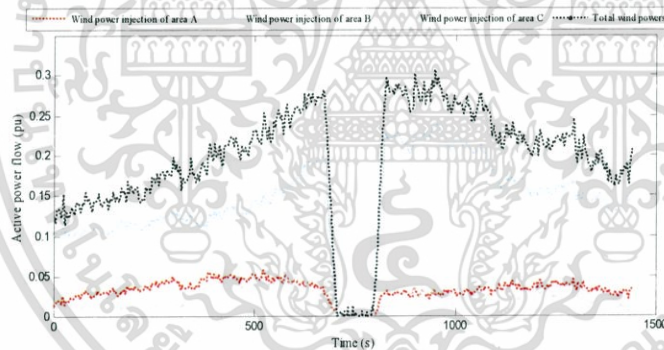
(3) เมื่อค่าความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุมเท่ากับ 0.70 วินาที

โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ A      ค่าพารามิเตอร์  $P=0.407674356837390$  ,  $I=-0.000306282162573894$   
 โรงไฟฟ้านิวเคลียร์พื้นที่ B      ค่าพารามิเตอร์  $P=0.0975642062366429$  ,  $I=5.16393497569720e-05$   
 โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพื้นที่ C      ค่าพารามิเตอร์  $P=-0.368071342680721$  ,  $I=-0.00979466530649167$   
 ความต้องการกำลังไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่แสดงในรูปที่ 4.55



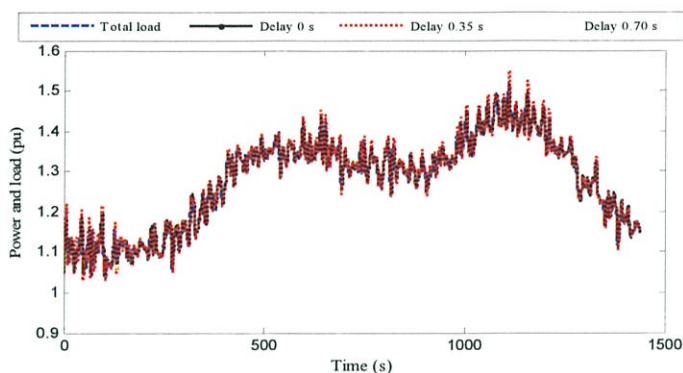
รูปที่ 4.55 ความต้องการกำลังไฟฟ้า

กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมแสดงในรูปที่ 4.56 จะสังเกตเห็นว่าการลดลงของกำลังการผลิตจากแหล่งผลิตพลังงานลมอยู่กะทันหัน

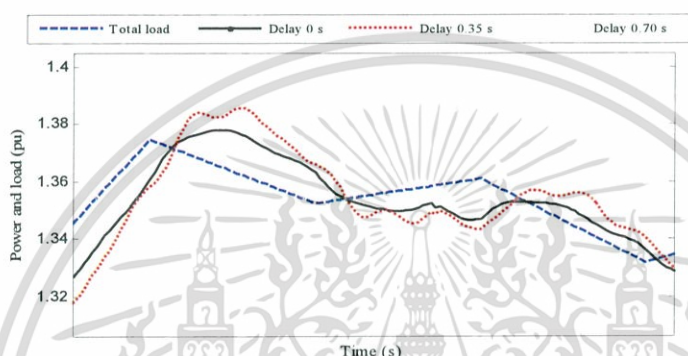


รูปที่ 4.56 กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลม

กำลังการผลิตรวมทั้งหมดของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและนิวเคลียร์ที่ค่าความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุมค่าต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.57 และ 4.58

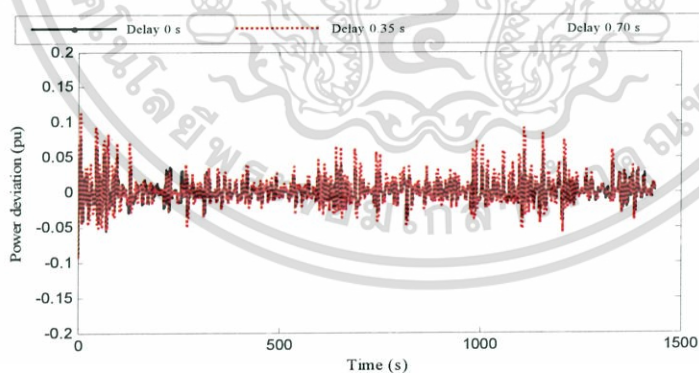


รูปที่ 4.57 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่



รูปที่ 4.58 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่ เมื่อขยายกราฟ

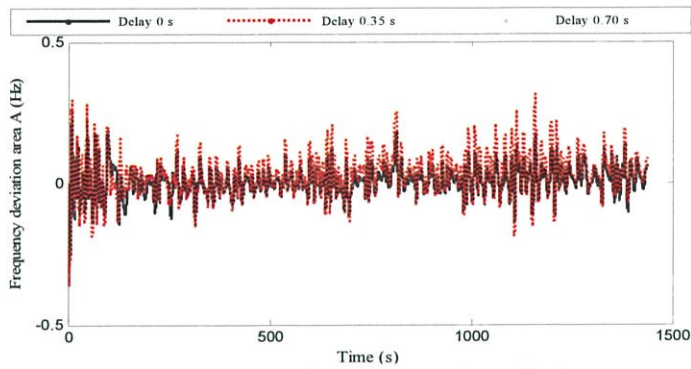
การเบี่ยงเบนของกำลังไฟฟ้าที่ค่าความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุมค่าต่างๆแสดงในรูปที่ 4.59 จะสังเกตเห็นว่าค่าความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุมที่ 0 วินาทีที่มีการติดตามโหลดที่ดีที่สุดและแย่งน้อยที่สุดสุดและมากขึ้นเมื่อค่าสัญญาณสื่อสารควบคุมมีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็น 0.35 และ 0.7 วินาที



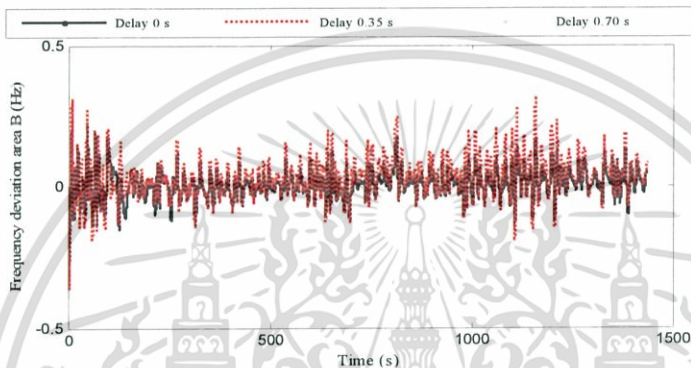
รูปที่ 4.59 การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า

การเบี่ยงเบนของความถี่ 3 พื้นที่ที่ค่าความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุมค่าต่างๆแสดงในรูปที่ 4.60-4.62 จะสังเกตเห็นว่าค่าความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุมที่ 0 วินาทีที่มีการเบี่ยงเบนความถี่ที่น้อยที่สุดสุดและมากขึ้นเมื่อค่าสัญญาณสื่อสารควบคุมมีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็น 0.35 และ 0.7 วินาที

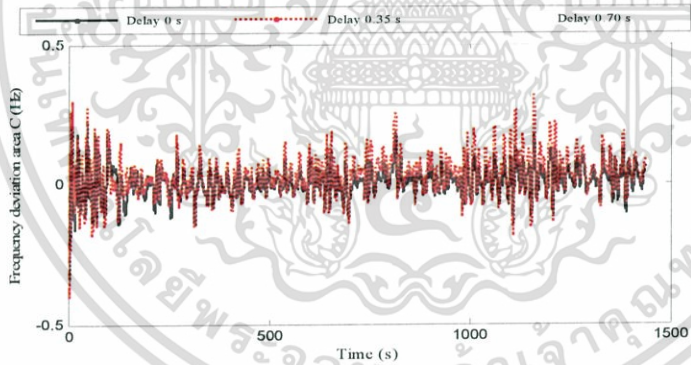
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.60 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ A



รูปที่ 4.61 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ B



รูปที่ 4.62 การเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ C

จากกรณี 4.3 จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้ตัวควบคุม PI ที่หาค่าอัตราขยาย PI ที่เหมาะสมด้วยวิธี PSO มีความสามารถในการติดตามโหลดในสภาวะปกติและสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลด กำลั้งการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมอย่างกะทันหันในพื้นที่ห่างไกล ซึ่งมีค่าความล่าช้าสัญญาณสื่อสารควบคุมสูงสุดที่ 0.70 วินาทีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาการนำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาการรักษาเสถียรภาพความถี่ในระบบไฟฟ้า ซึ่งผลจำลองแสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีความสามารถในการติดตามโหลดในสภาวะปกติและสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงความต้องการกำลังไฟฟ้าและกำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมอย่างกะทันหันได้

ในพื้นที่ห่างไกล ความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารส่งผลต่อการรับส่งข้อมูลคำสั่งควบคุมระหว่างศูนย์ควบคุมและโรงไฟฟ้า ผลการจำลองพบว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถติดตามโหลดในพื้นที่ห่างไกลที่มีความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุมสูงสุดที่ 0.7 วินาทีได้

และพบว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้ตัวควบคุม PI โดยหาค่าอัตราขยายที่เหมาะสมด้วยวิธี PSO มีความสามารถในการติดตามโหลดที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวควบคุม PI ที่กำหนดค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุม

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรพิจารณาออกแบบตัวควบคุมที่มีความคงต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดและพลังงานทดแทนรูปแบบต่างๆด้วย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Günyaz Ablay, "A modeling and control approach to advanced nuclear power plants with gas turbines," **ScienceDirect**, 2013, pp. 899–909.
- [2] E.ON Energie AG, Munich, "Compatibility of renewable energies and nuclear power in the generation portfolio," **Universität Stuttgart Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy**, 2009, pp. iii.
- [3] สุชาติ จันทร์จรมานิตย์, **ระบบควบคุม Control Systems**, เชียงใหม่, 2555.
- [4] น.ต.กัปตัน เตียวตระกูล, "คอนโทรลเลอร์แบบ PID," **วารสารกรมอิเล็กทรอนิกส์ทหารเรือ**, ปีที่15, ฉบับที่16, หน้า 52-57.
- [5] Worapong Kreeumporn, Issarachai Ngamroo, "Smart PV Farms for Frequency Control in Multi-Area Interconnected Power System," **Sci Verse Science Direct**, 2014.
- [6] Pouyan Pourbeik, "Dynamic Models for Turbine-Governors in Power System Studies," **IEEE 2013 The Institute of Electrical and Electronic Engineers**, 2013, pp. 3.
- [7] Manoj Datta, Tomonobu Senjyu, Atsushi Yona, Toshihisa Funabashi, "Fuzzy Control of MW-class PV Generation to Reduce Frequency and Tie-line Power Fluctuations in Three Control Area Power System," **IEEE International Conference on Fuzzy Systems**, 2011, pp. 2440-2441.
- [8] พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์, "การอธิบายขั้นตอนการทำงานของวิธีการพาทิเคิลสวอมออปติไมเซชันผ่านตัวอย่าง," **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)**, ปีที่6, ฉบับที่11, หน้า79-82.
- [9] Ashok Mohan Jadhav, Dr.K.Vadirajacharya, "Performance Verification of PID Controller in an Interconnected Power System Using Particle Swarm Optimization," **Sci Verse Science Direct**, 2011, pp. 2075-2080.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%% Initialization
clear
clc
n = 50; % Size of the swarm " no of birds "
bird_setp =5000000; % Maximum number of "birds steps"
dim = 6; % Dimension of the problem
c2 =1.2; % PSO parameter C1
c1 = 0.12; % PSO parameter C2
w =0.9; % pso momentum or inertia
fitness=0*ones(n,bird_setp);

%-----%
%initialize the parameter %
%-----%

R1 = rand(dim, n);
R2 = rand(dim, n);
current_fitness =0*ones(n,1);

%-----%
% Initializing swarm and velocities and position %
%-----%

current_position = 10*(rand(dim, n)-.5);
velocity = .3*randn(dim, n);
local_best_position =current_position ;

%-----%
% Evaluate initial population %
%-----%

for i = 1:n
    current_fitness(i) = tracklsq(current_position(:,i));
end
local_best_fitness =current_fitness ;
[global_best_fitness,g] = min(local_best_fitness) ;
for i=1:n
    globl_best_position(:,i) = local_best_position(:,g) ;
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                %-----%
                                % VELOCITY UPDATE %
                                %-----%
velocity = w *velocity + c1*(R1.*(local_best_position-current_position)) +
c2*(R2.*(globl_best_position-current_position));
                                %-----%
                                % SWARMUPDATE %
                                %-----%
current_position = current_position + velocity ;

                                %-----%
                                % evaluate anew swarm %
                                %-----%

%% Main Loop
iter = 0 ;                                % Iterations' counter
while (iter<bird_setp )
iter = iter + 1;
for i = 1:n,
current_fitness(i) = tracklsq(current_position(:,i));
end
for i = 1 : n
    ifcurrent_fitness(i) <local_best_fitness(i)
        local_best_fitness(i) = current_fitness(i);
        local_best_position(:,i) = current_position(:,i);
    end
end
end
[current_global_best_fitness,g] = min(local_best_fitness);
ifcurrent_global_best_fitness<global_best_fitness
global_best_fitness = current_global_best_fitness;
    for i=1:n
        globl_best_position(:,i) = local_best_position(:,g);
    end
end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

velocity = w *velocity + c1*(R1.*(local_best_position-current_position)) +
c2*(R2.*(globl_best_position-current_position));
current_position = current_position + velocity;
sprintf('The value of interationiter %3.0f ', iter );
end          % end of while loop its mean the end of all step that the birds move it %
function F = tracklsq(pid)
    Kp = pid(1);
    Ki = pid(2);
    Kp(1)=pid(3);
    Ki(1)=pid(4);
    Kp(2)=pid(5);
    Ki(2)=pid(6);
    % Compute function value
    simopt = simset('solver','ode5','SrcWorkspace','Current','DstWorkspace','Current'); %
Initialize sim options
[tout,xout,yout] = sim('optsim1',[0 1440],simopt);
e=yout ; % compute the error
sys_overshoot=max(yout); % compute the overshoot
alpha=10;beta=10;F=e2*beta+sys_overshoot*alpha;
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การรักษาความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยโรงจํานิวเคลียร์ในโหมดการติดตามโหลด

## MAINTAINING POWER SYSTEM FREQUENCY BY NUCLEAR POWER PLANTS IN LOAD FOLLOWING MODE

ภาณุพันธ์ เนียมสุวรรณ มั่นคง เขมระอนุเชษฐ์ และรัชกร ศาสตร์เสริม  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
1 ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบังกรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

### บทคัดย่อ

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังลม และกำลังโหลดอย่างกะทันหันในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีแหล่งจ่ายพลังงานลมอยู่เป็นปริมาณมากอาจทำให้เกิดปัญหาด้านเสถียรภาพความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากนี้ความสามารถในการจ่ายโหลดในภาวะฐาน (Base load) บางประเทศ เช่น เยอรมันนี และฝรั่งเศส ที่มีการเดินเครื่องโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด ซึ่งจะนำไปสู่การเบี่ยงเบนของความถี่ออกจากค่ามาตรฐานได้ เพื่อแก้ไขปัญหาข้างคั่นนี้

ปัญญานินพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุม PI ที่เหมาะสมด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization) เพื่อให้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถปรับกำลังการผลิตให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของความถี่ได้อย่างเหมาะสม ระบบทดสอบที่ใช้ในการศึกษาเป็นระบบพื้นที่ห่างไกลที่ประกอบด้วยสามพื้นที่เชื่อมต่อกัน (Three-area interconnected power system) โดยแต่ละพื้นที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดพลังงาน โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ พลังงานนิวเคลียร์ และพลังงานลม

ผลจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK แสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ได้รับการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ (Proportional-integral controller: PI) อย่างเหมาะสมสามารถรักษาความถี่ให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดได้ และให้ค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีตัวควบคุม PI และกรณีที่ตัวควบคุม PI ถูกปรับจูนโดยผู้ดำเนินการระบบ นอกจากนี้ยังได้พิจารณาเวลาหน่วงของสัญญาณสื่อสาร (Communication delay time) ระหว่างศูนย์กลางการควบคุมและโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถรักษาการเปลี่ยนแปลงความถี่ให้อยู่ในขอบเขตได้ แม้ว่าเวลาหน่วงจะมีค่าสูงถึง 700 ms

คำสำคัญ: วิธีกลุ่มอนุภาค พื้นที่ห่างไกล โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ตัวควบคุมแบบพีไอ

### ABSTRACT

In power systems with significant penetration of wind energy sources, the sudden changes in wind power and load demand may result in frequency instability. Operating electric power generators in load following mode is a solution to resolve such problem. Nuclear power plants in some countries such as Germany and France have been operated in this mode besides the duty in serving base load.

This project designs PI controllers by particle swarm optimization (PSO) for nuclear power plants to adjust the power output in correspondence to the deviation of power system frequency. A wide area consisting of three interconnected areas is used as the test system. The generation technologies in this system are nuclear, wind and gas turbine.

Simulation results carried out by MATLAB/SIMULINK demonstrate that the nuclear power plants the optimally tuned PI controller can maintain the system frequency within the prescribed limits and give the lowest frequency deviation compared to the without controller case and the case where the controllers are tuned based on experiences of the system operator. Moreover communication delay time between the central control center and the power plants is considered. It is found that the proposed method can help maintain the system frequency even the communication delay is up to 700 ms.

**Keywords:** Particle swarm optimization Load following Wide area Nuclear power plant PI controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

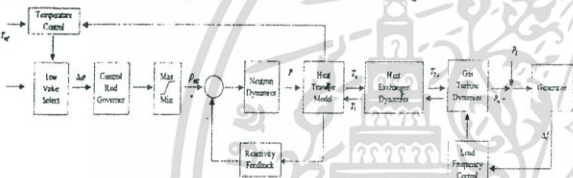
1. บทนำ

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้กำลังไฟฟ้า, กำลังการผลิตจากพลังงานลมส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีโรงไฟฟ้าสำหรับการติดตามโหลด (Load following) เพื่อชดเชยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าดังกล่าว โรงไฟฟ้านิวเคลียร์เป็นทางเลือกที่เหมาะสมทางเลือกหนึ่งเนื่องจากมีศักยภาพในการติดตามโหลดที่มีปริมาณมากในพื้นที่ห่างไกลได้

2. แบบจำลองทางพลศาสตร์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

2.1 การออกแบบระบบควบคุม

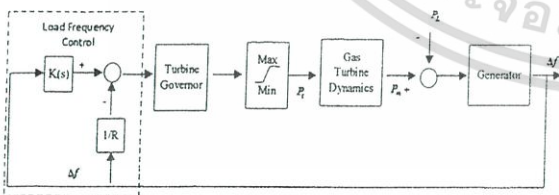
แบบจำลองการควบคุมของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ประกอบด้วย ลูปการควบคุมสามลูปได้แก่ การควบคุมความถี่, อุณหภูมิ และตัวเร่ง ลูปการควบคุมหลักของโหลดในช่วงการทำงานปกติคือ การควบคุมความถี่โหลด และลูปการควบคุมอุณหภูมิ, ความเร่ง จะทำงานในสภาวะไม่ปกติการควบคุมของกังหันก๊าซในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แสดงได้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 1 ระบบการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

2.2 การควบคุมความถี่ของโหลด

การควบคุมความถี่ของโหลดเป็นกลไกการควบคุมหลักในช่วงการทำงานปกติ ความเบี่ยงเบนของความเร็วระหว่างความเร็วอ้างอิงและความเร็วที่วัดได้จะเป็นอินพุตของการควบคุมความถี่โหลด ซึ่งประกอบไปด้วยลูปควบคุมปฐมภูมิ(แบบสัดส่วน) และลูปควบคุมคดียุทิมิ(อินทิกรัล)



รูปที่ 2 แบบจำลองการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ลูปควบคุมปฐมภูมิใช้ความเร็วของครูป(R) ซึ่งเป็นสัดส่วนต่อกำลังเข้าที่พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความเร็วของครูปเป็นฟังก์ชันของตัวควบคุม(governor) ซึ่งจะลดความเร็วอ้างอิงของตัวควบคุม(governor) ในขณะที่โหลดเพิ่มขึ้น โดยช่วงของความเร็วที่สามารถติดตามได้จะอยู่ในช่วงที่ 95-107 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วกัก นั่นคือค่าทั่วไปของ R อยู่ที่ประมาณ 4เปอร์เซ็นต์ของความถี่ที่ระบุไว้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์รูปการควบคุมคดียุทิมิสำหรับการควบคุมความถี่ของโหลดถูกออกแบบเป็นตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล(PI)เพื่อจัดการเบี่ยงเบนความถี่ในสภาวะคงตัวดังต่อไปนี้

$$\Delta P_C(t) = -\frac{1}{R} \Delta f(t) - K_i \int_0^t \Delta f(t) dt \quad (2.1)$$

โดย  $K_i$  คือ ค่าคงที่ของอัตราขยายการควบคุมแบบอินทิกรัล  $R$  คือ ความเร็วของครูป

2.3 การควบคุมอุณหภูมิ

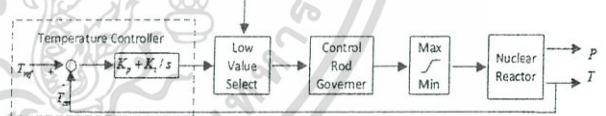
การควบคุมอุณหภูมิถูกใช้เป็นกลไกการควบคุมเป็นกรณีพิเศษเพื่อจำกัดอุณหภูมิเข้าที่พุทสูงสุดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เมื่อความต้องการโหลดเพิ่มขึ้นอย่างมาก

การควบคุมอุณหภูมิสามารถออกแบบให้เป็นตัวควบคุมแบบ PI สำหรับความถี่เคลื่อนระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้และที่อ้างอิง ตัวควบคุมแบบ PI สำหรับการควบคุมนี้ (จะนำเสนอรูปแบบของลาปลาซในรูปที่ 2.3) ซึ่งกำหนดโดย

$$\Delta p(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.3)$$

$$e(t) = T_{ref} - T_{av} \quad (2.4)$$

โดย  $e(t)$  คือ ความผิดพลาดระหว่างอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เฉลี่ยและอ้างอิง และ  $K_p, K_i$  เป็นค่าคงที่ของอัตราขยายการควบคุมแบบสัดส่วนและอินทิกรัลตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยถูกกำหนดโดย  $T_{av} = (T_{out} + T_{in}) / 2$  สำหรับอุณหภูมิที่เข้าและออกของเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ 3 ระบบการควบคุมอุณหภูมิ

2.4 แบบจำลองการวิเคราะห์เชิงเส้นและเสถียรภาพ

แบบจำลองระบบของโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์สามารถนำเสนอด้วยแบบจำลองอินพุตเอาต์พุตทั่วไป(ฟังก์ชันถ่ายโอน)สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพ แบบจำลองระบบในรูปแบบเชิงเส้นมีดังต่อไปนี้ ตัวควบคุมที่ควบคุมแท่งรีด (control rod governor) มีฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$G_G(s) = \frac{1}{1 + \tau_g s} \quad (2.5)$$

แบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์ที่ไม่มีกรุป้อนกลับของรีแอคติวิตี้ที่ถูกกำหนดโดย

$$G_R(s) = \frac{s + \lambda}{\Lambda s(s + \beta / \Lambda)} \quad (2.6)$$

สมการเชิงเส้นนี้เป็นการประมาณค่าสำหรับการสร้างแบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์การทำงานสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ในช่วงวิกฤติ จะใช้แบบจำลองของไอน้ำ(การเข้าออกของความเย็นและความร้อน)ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$G_L(s) = \frac{1}{1 + \tau_L s} \quad (2.7)$$

โดย  $\tau_L$  คือ ค่าคงที่เวลาเฉลี่ย ฟังก์ชันถ่ายโอนในส่วนการแลกเปลี่ยนความร้อนถูกกำหนดโดยแบบจำลองอนุพันธ์อันดับหนึ่งที่อยู่ในช่วง Dead time(FOPDT)ที่ถูกใช้เพื่อออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิดังนี้

$$G_H(s) = \frac{1}{1 + \tau_h s} e^{-\theta s} \quad (2.8)$$

โดย  $\tau_h$  คือ ค่าคงที่เวลาของช่วงการแลกเปลี่ยนความร้อน และ  $\theta$  คือ เวลาวิกฤติ ในพจน์ของเวลาวิกฤติ (dead time) สามารถประมาณได้เป็น  $\exp(-\theta s) \approx 1 / (1 + \theta s)$  ด้วยการให้การขยายของอนุกรมเทย์เลอร์ ซึ่งจะสังเกตได้ว่า พลศาสตร์ในช่วงการแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถละเลยได้เมื่อมีกลไกการควบคุมทางอ้อม ดังสามารถอธิบายระบบกันหัน ได้ด้วย

$$G_T(s) = \frac{1}{1 + \tau_T s} \quad (2.9)$$

โดย  $\tau_T$  (วินาที)คือ ค่าคงที่เวลาของระบบกันหันแบบจำลองของไหล-เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นดังต่อไปนี้

$$G_{Gt}(s) = \frac{1}{D + 2Hs} \quad (2.10)$$

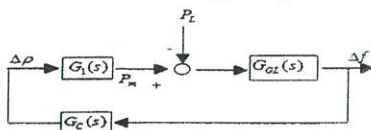
เสถียรภาพของการควบคุมสามารถทำการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีเชิงเส้น ซึ่งวิธีการควบคุมการติดตามไหลที่มีสองวิธีคือ การควบคุมความถี่ของไหลโดยใช้แท่งควบคุม(Control rod) และการใช้ตัวควบคุมกันหัน(turbine governor)เมื่อใช้แบบจำลองเชิงเส้นแผนผังบล็อกของกลไกการควบคุมความถี่ของไหลสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4

ในรูปที่4บล็อก  $G_1(s)$  แสดงฟังก์ชันถ่ายโอนที่ถูกต่อเข้ากันโดยตรงดังนี้

$$G_1(s) = G_C(s)G_R(s)G_L(s)G_H(s)G_T(s) \quad (2.11)$$

และบล็อก  $G_C(s)$  แสดง ตัวควบคุมความถี่ของไหล

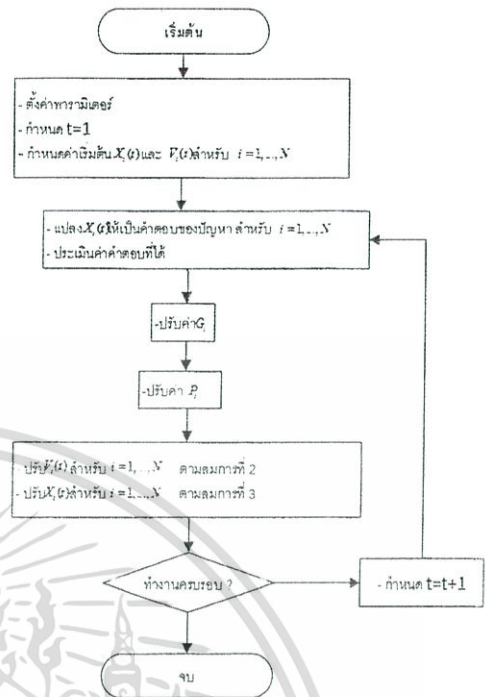
$$G_C(s) = -\frac{1}{R} - K_f \frac{1}{s} \quad (2.12)$$



รูปที่4แบบจำลองโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

### 3.การใช้วิธีการ Particle swarm optimizationในการหาค่า

อัตราขยาย PI ที่เหมาะสม



รูปที่ 5ผังการทำงาน Particle swarm optimization

ขั้นตอนการทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการหาค่า PI ที่เหมาะสมได้ กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้เป็นผลรวมของค่าสูงสุดของความถี่ที่เบี่ยงเบนกับความผลรวมกำลังสองของความถี่ที่เบี่ยงเบนทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณาตามสมการ

$$Min \left\{ \frac{1}{3} \left[ \sum_{i=1}^3 \left( \int_{t=0}^t \Delta f_i(t) dt \right)^2 \right] + M \right\} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $i = \text{Number of Area}$   
 $M = \text{Max}(\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3)$

2. กำหนดขอบเขตของค่าอัตราขยาย PI โดยที่

$$K_p^{\min} \leq K_p \leq K_p^{\max} \quad (3.2)$$

$$K_i^{\min} \leq K_i \leq K_i^{\max} \quad (3.3)$$

3. ตั้งค่าพารามิเตอร์ตั้งค่าการวนซ้ำปัจจุบัน  $t=1$  กำหนดตำแหน่งและความเร็ว

$$v'_{iD}{}^{t+1} = w v'_{iD}{}^t + C_1 r_1 (P'_{iD} - x'_{iD}{}^t) + C_2 r_2 (G'_i - x'_{iD}{}^t) \quad (3.4)$$

ของอนุภาค K ตัวในฝูง

4. สำหรับตัวอนุภาคแต่ละตัวแปลงค่าตำแหน่งไปเป็นคำตอบของปัญหาที่กำหนด

$$x'_{iD}{}^{t+1} = x'_{iD}{}^t + v'_{iD}{}^{t+1} \quad (3.5)$$

และทำการประเมินค่าคำตอบนั้นๆ โดยใช้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของคำตอบจากตำแหน่งนั้นๆ

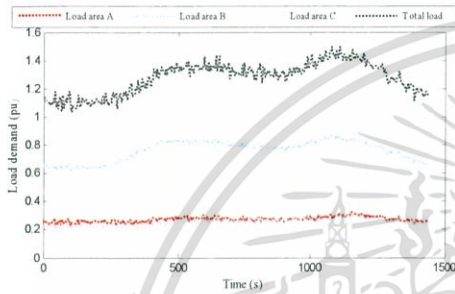
5. ปรับตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

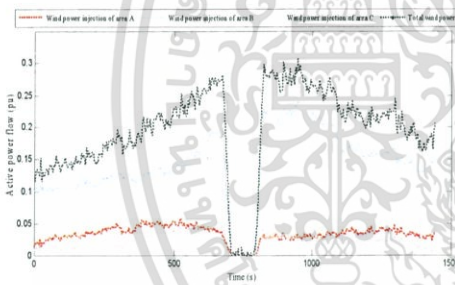
6. ปรับตำแหน่งที่ตั้งที่สุดสากล
7. ปรับความเร็วและตำแหน่งของอนุภาคทุกตัวด้วยสมการที่ (3.4) และสมการที่ (3.5)
8. ถ้าทำงานครบรอบที่กำหนดไว้ให้หยุดการวนซ้ำแต่ถ้ายังไม่ครบรอบที่กำหนดให้ตั้งค่า = +1 แล้วกลับไปทำงานที่ขั้นที่ 4.

**4. ผลการจำลอง**

จำลองการติดตามโหลดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานลมลดลงอย่างทันทีทันใด ร่วมกับผลของความล่าช้าสัญญาณควบคุมที่ค่าต่างๆ โดยใช้ตัวควบคุมที่หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธี Particle swarm optimization

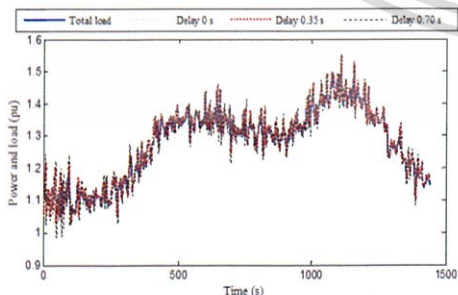


รูปที่ 6 ความต้องการกำลังไฟฟ้า

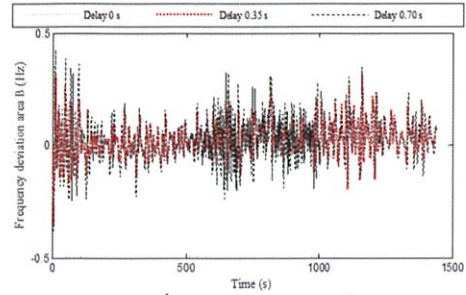


รูปที่ 7 กำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลม

กำลังการผลิตรวมทั้งหมดของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและนิวเคลียร์ที่ค่าความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุมค่าต่างๆ แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวม 3 พื้นที่



รูปที่ 9 การเบี่ยงเบนความถี่

**5. สรุป**

ปริญญาานิพนธ์นี้ศึกษาการนำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาการรักษาเสถียรภาพความถี่ในระบบไฟฟ้า ซึ่งผลจำลองแสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีความสามารถในการติดตามโหลดในสภาวะปกติและสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงความต้องการกำลังไฟฟ้าและกำลังการผลิตของแหล่งจ่ายพลังงานลมอย่างกะทันหันได้

ในพื้นที่ห่างไกล ความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารส่งผลการรับส่งข้อมูลคำสั่งควบคุมระหว่างศูนย์ควบคุมและโรงไฟฟ้า ผลการจำลองพบว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถติดตามโหลดในพื้นที่ห่างไกลที่มีความล่าช้าของสัญญาณสื่อสารควบคุมสูงสุดที่ 0.7 วินาทีได้

และพบว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้ตัวควบคุม PI โดยหาค่าอัตราขยายที่เหมาะสมด้วยวิธี Particle swarm optimization มีความสามารถในการติดตาม โหลดที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวควบคุม PI ที่กำหนดค่าอัตราขยายคงที่และการไม่ใช้ตัวควบคุม

**เอกสารอ้างอิง**

- [1] GünyazAblay, "A modeling and control approach to advanced nuclear power plants with gas turbines," ScienceDirect, 2013, pp. 899–909.
- [2] E.ON Energie AG, Munich, "Compatibility of renewable energies and nuclear power in the generation portfolio," Universitat Stuttgart Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy, 2009, pp. iii.
- [3] สุชาติ จันทรจักรมานิตย์,ระบบควบคุมControl Systems, เชียงใหม่, 2555.
- [4] น.ต.กัปตัน เดียวตระกูล, "คอนโทรลเลอร์แบบPID," วารสารกรมอิเล็กทรอนิกส์ทหารเรือ, ปีที่15, ฉบับที่16, หน้า52-57.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



นายภาณุพันธ์ เนียมสุวรรณ

ที่อยู่ : 28/3 ถ.ธิตะจารีย์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.พิจิตร

E-mail : neamsuwanp@gmail.com

เบอร์โทรศัพท์ : 083-954-1656



นายมันคง เขมะนุเชษฐ์

ที่อยู่ : 1025 ถ.แสงชูโต ต.ท่าม่วง อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี

E-mail : mankong23@gmail.com

เบอร์โทรศัพท์ : 082-365-1664



นายรัชกร ศาสตร์เสริม

ที่อยู่ : 449/32 ซ.สุวินทวงศ์ 11 เขต มีนบุรี กรุงเทพฯ 10510

E-mail : ratchakorn\_bpv@hotmail.com

เบอร์โทรศัพท์ : 087-515-9440

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้