

การปรับปรุงการควบคุมความถี่โหนดในระบบไฟฟ้าโดยการปรับตัวควบคุมพีไอดีให้เหมาะสมด้วย
อัลกอริทึมหมีส่น้ำตาล

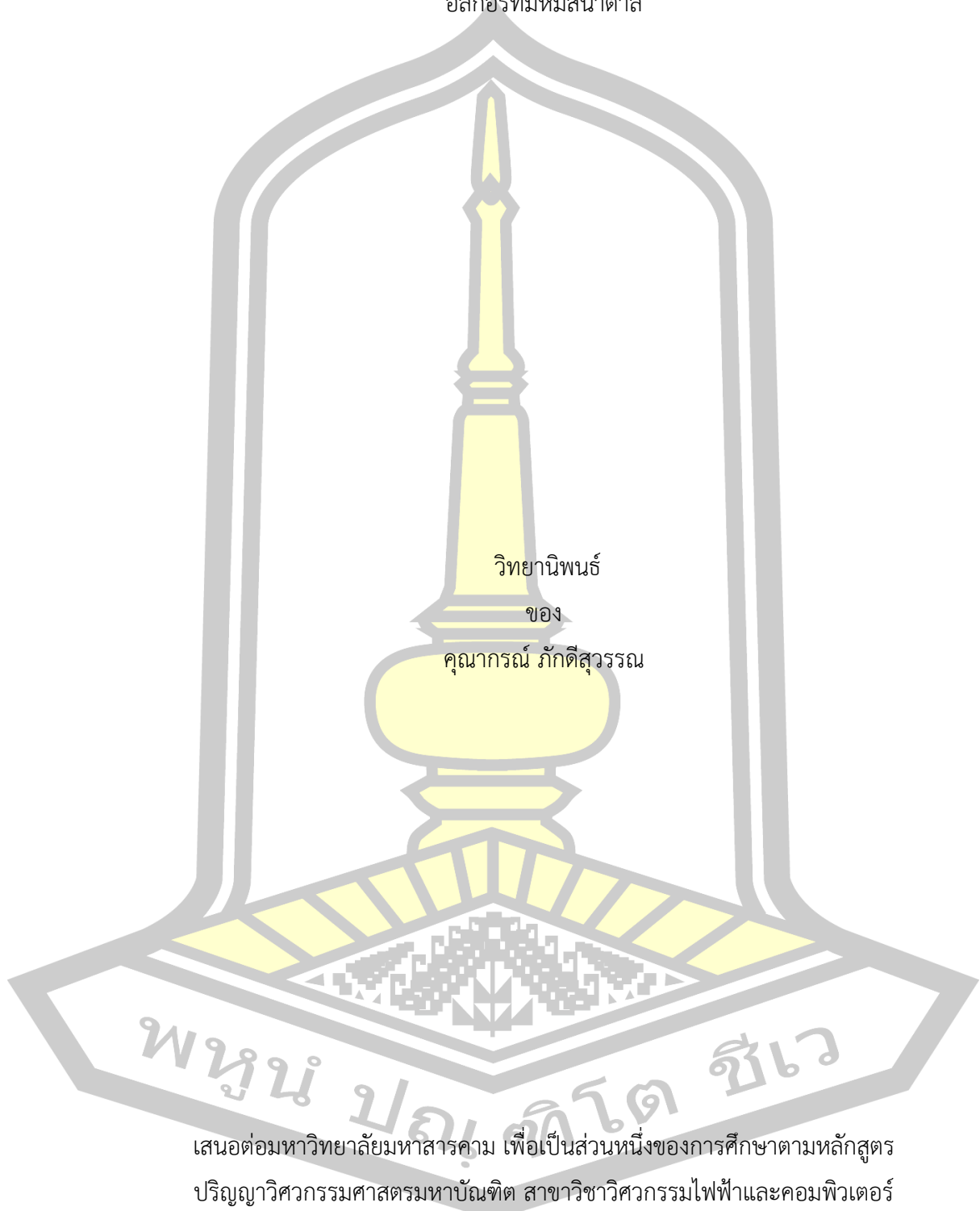
วิทยานิพนธ์
ของ
คุณากรณ์ ภัคดีสุวรรณ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

สิงหาคม 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การปรับปรุงการควบคุมความถี่โวลต์ในระบบไฟฟ้าโดยการปรับตัวควบคุมพีไอดีให้เหมาะสมด้วย
อัลกอริทึมหมีสี่น้ำตาล



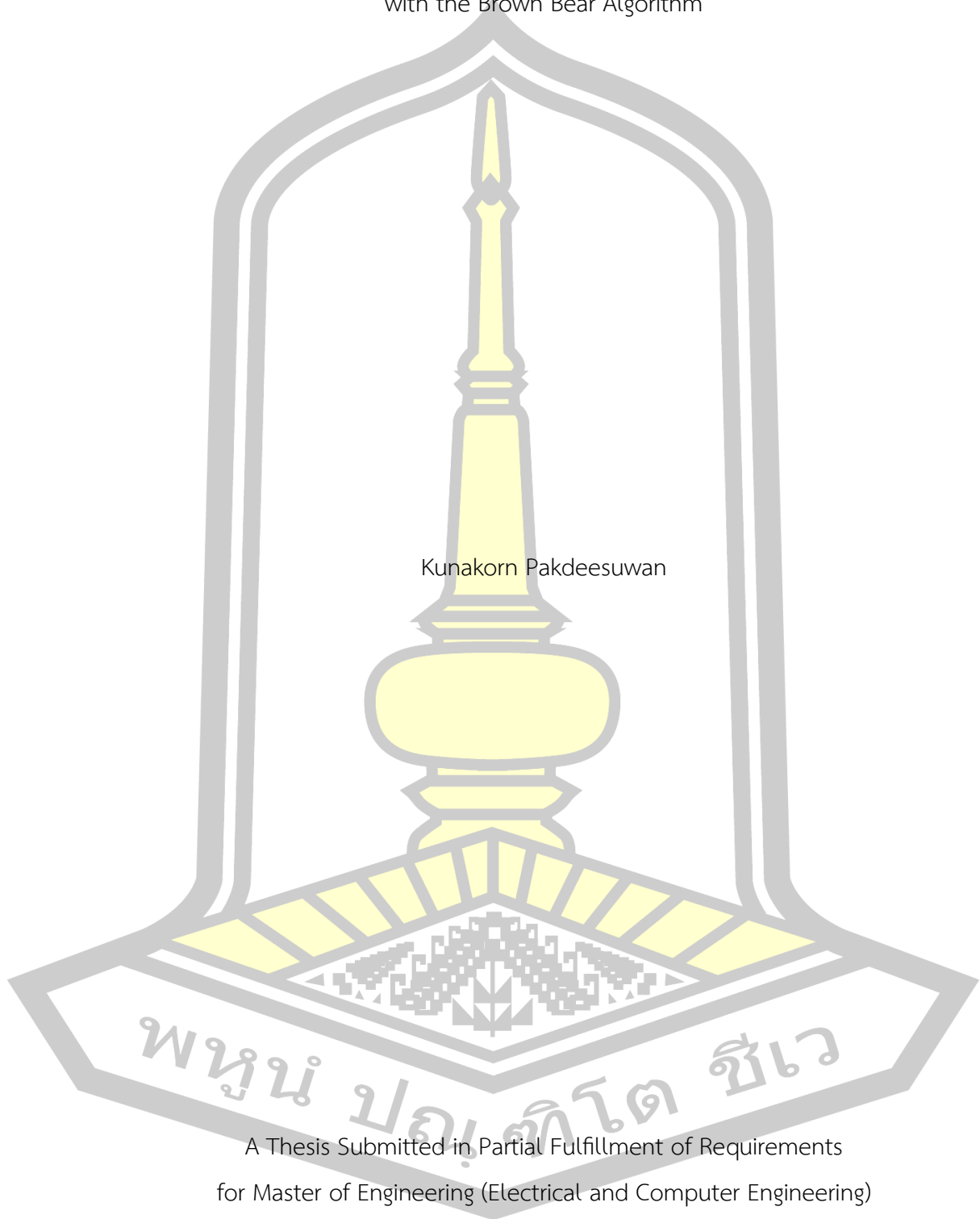
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

สิงหาคม 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Improving Load Frequency Control in Power Systems by Optimizing PID Controllers
with the Brown Bear Algorithm

Kunakorn Pakdeesuwan



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

August 2025

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายคุณากรณ์ ภัคดีสุวรรณ
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. จักรพันธ์ ออบมา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. สุพรรณนิภา วัฒนะ)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. ชัยยงค์ เสริมผล)

.....กรรมการ

(อ. ดร. ณรงค์กรณ์ อุทาพิทย์)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. จักรมาส เลหาวิช)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(ผศ. ดร. พลเดช เชาวรัตน์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การปรับปรุงการควบคุมความถี่โวลต์ในระบบไฟฟ้าโดยการปรับตัวควบคุมพีไอดีให้เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล		
ผู้วิจัย	คุณากรณ์ ภักดีสุวรรณ		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณนิภา วัฒนะ		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2568

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID สำหรับระบบโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมสองพื้นที่ โดยใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมสามวิธี ได้แก่ เทคนิควิธีพันธุกรรม GA (Genetic Algorithm) เทคนิควิธีฝูงอนุภาค PSO (Particle Swarm Optimization) และเทคนิควิธีหมีสีน้ำตาล BOA (Brown Bear Optimization Algorithm) การปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ได้รับการประเมินด้วยโปรแกรม MATLAB บนระบบที่มีหน่วยประมวลผล AMD Ryzen 7 7735HS การ์ดจอ RTX 4050 และหน่วยความจำ 32 GB ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม BOA มีประสิทธิภาพสูงกว่า GA และ PSO ในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ PID ที่เหมาะสม โดยเฉพาะเมื่อใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE (Integral of Absolute Error) และ ITAE (Integral Time Multiplied Absolute Error) BOA สามารถลดการเบี่ยงเบนของความถี่ ลดเวลาเข้าสู่สภาวะคงที่ และลดค่าความผิดพลาดของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การควบคุมการผลิตพลังงานไฟฟ้าอัตโนมัติมีเสถียรภาพ และความเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้น ผลการศึกษารังนี้เน้นย้ำถึงศักยภาพของอัลกอริทึม BOA ในฐานะเครื่องมือที่ทรงประสิทธิภาพสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวควบคุม PID ในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีการเชื่อมโยงหลายพื้นที่

คำสำคัญ : การควบคุมการผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติ, การควบคุมความถี่โวลต์, ตัวควบคุมแบบพีไอดี, เทคนิควิธีหาค่าที่เหมาะสมฝูงอนุภาค, เทคนิควิธีหาค่าที่เหมาะสมพันธุกรรม, เทคนิควิธีหาค่าที่เหมาะสมหมีสีน้ำตาล

TITLE	Improving Load Frequency Control in Power Systems by Optimizing PID Controllers with the Brown Bear Algorithm		
AUTHOR	Kunakorn Pakdeesuwan		
ADVISORS	Associate Professor Supannika Wattana , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2025

ABSTRACT

The goal of this study is to improve the PID controller parameters for a two-area cogeneration power plant system by using three optimization techniques: the GA (Genetic Algorithm), the PSO (Particle Swarm Optimization) and the BOA (Brown Bear Optimization Algorithm). The tuning of the PID controller was evaluated using MATLAB on a system equipped with an AMD Ryzen 7 7735HS processor, an RTX 4050 graphics card and 32 GB of RAM. The results show that the BOA is better than both the GA and the PSO at finding the best PID parameters, especially for the IAE (Integral of Absolute Error) and ITAE (Integral Time Multiplied Absolute Error) objective functions. The BOA demonstrated improved effectiveness in stabilizing frequency deviations while also minimizing both settling time and error within the system. The enhanced performance of the PID controller through BOA leads to greater stability and efficiency in power generation and distribution, thereby fostering a more dependable automatic power generation control system. This investigation emphasizes the promise of the BOA as a valuable instrument for enhancing PID controllers in extensive interconnected power systems.

Keyword : Automatic Generation Control, Brown Bear Optimization Algorithm, Genetic Algorithm, Load Frequency Control, Particle Swarm Optimization, PID Controller

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณนิภา วัฒนะ และ ศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ถ่ายทอดองค์ความรู้ และช่วยชี้แนะแนวทางการดำเนินงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยงค์ เสริมผล และ อาจารย์ ดร.ณรงค์กรณ์ อุทาพิทย์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะอย่างละเอียดรอบคอบ ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนางานวิจัยฉบับนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านแห่งภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ อบรมสั่งสอน และให้ความอนุเคราะห์ด้านวิชาการตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชา ตลอดจน เพื่อนนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านเอกสาร ให้คำแนะนำ และมอบกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณสิทธิศักดิ์ อุดมศรี ที่มีส่วนร่วมสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึง คุณวรรณิ์ รักดีธา นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนอย่างจริงใจ

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่น้องทุกท่าน ที่เป็นแรงผลักดัน และกำลังใจสำคัญในการดำเนินชีวิต การศึกษา และการทำวิจัย จนสามารถสำเร็จการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาได้อย่างราบรื่น

ข้าพเจ้าตระหนักดีว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อาจยังมีข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดอยู่บ้าง จึงขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว และขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

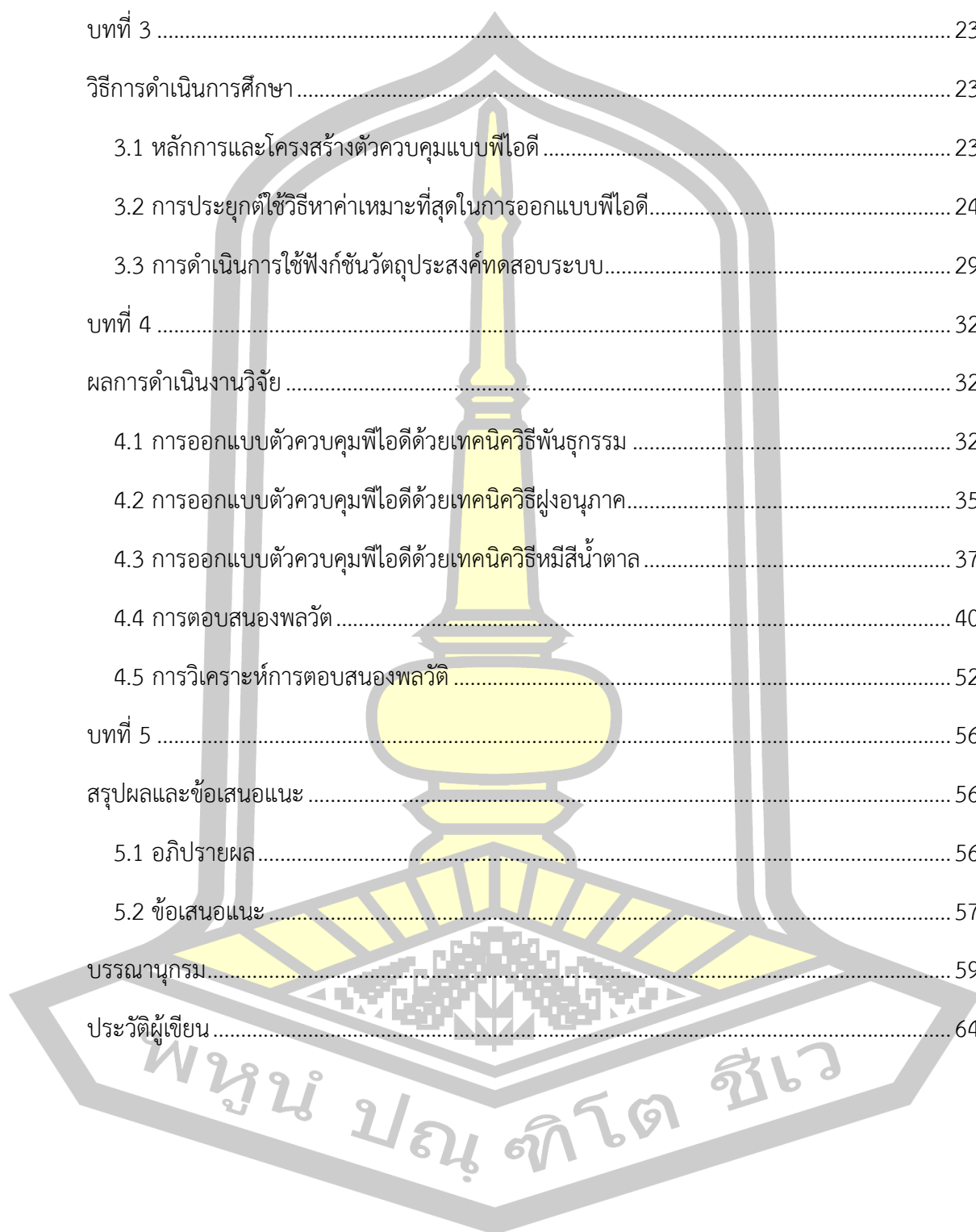
คุณากรณ์ รักดีสุวรรณ

พนุน ปณ จิตโต ชเว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1	1
บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2	4
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ระบบควบคุม.....	4
2.2 ชนิดตัวควบคุม.....	5
2.3 การออกแบบของตัวควบคุมพีไอดี.....	6
2.4 เทคนิคหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	8
2.5 ระบบผลิตไฟฟ้า.....	16
2.6 ระบบไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่.....	18
2.7 ระบบการควบคุมโรงไฟฟ้า.....	19

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3	23
วิธีการดำเนินการศึกษา	23
3.1 หลักการและโครงสร้างตัวควบคุมแบบพีไอดี	23
3.2 การประยุกต์ใช้วิธีหาค่าเหมาะที่สุดในการออกแบบพีไอดี	24
3.3 การดำเนินการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทดสอบระบบ	29
บทที่ 4	32
ผลการดำเนินงานวิจัย	32
4.1 การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีด้วยเทคนิควิธีพันธุกรรม	32
4.2 การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีด้วยเทคนิควิธีฝูงอนุภาค	35
4.3 การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีด้วยเทคนิควิธีหมีสืบน้ำตาล	37
4.4 การตอบสนองพลวัต	40
4.5 การวิเคราะห์การตอบสนองพลวัต	52
บทที่ 5	56
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	56
5.1 อภิปรายผล	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม	59
ประวัติผู้เขียน	64



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การหาค่า K_p , T_i และ T_d ด้วยวิธี ZN.....	8
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบเทคนิควิธีการหาค่าที่เหมาะสม.....	14
ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์สำหรับระบบเชื่อมกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนสองพื้นที่.....	26
ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ของ BOA (Brown Bear Algorithm)	27
ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ของ PSO (Particle Swarm Optimization)	28
ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ของ GA (Genetic Algorithm)	29
ตารางที่ 7 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีเทคนิควิธีพันธุกรรม.....	34
ตารางที่ 8 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีเทคนิควิธีฝูงอนุภาค.....	37
ตารางที่ 9 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีเทคนิควิธีหมีสืบน้ำตาล	39
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบพลวัตตอบสนองค่าลูกคลื่นสูงสุด.....	52
ตารางที่ 11 เปรียบเทียบพลวัตการตอบสนองค่าเข้าที่ 2% band.....	53
ตารางที่ 12 เปรียบเทียบพลวัตการตอบสนองค่าความคลาดเคลื่อน.....	54



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 แผนภาพบล็อกของการควบคุม PID	6
ภาพประกอบ 2 การตอบสนองของซีกเลอร์-นิโคลส์	7
ภาพประกอบ 3 ขั้นตอนการดำเนินการเทคนิควิธีอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล	11
ภาพประกอบ 4 ขั้นตอนการดำเนินการเทคนิควิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม	12
ภาพประกอบ 5 ขั้นตอนการดำเนินการเทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงอนุภาค	13
ภาพประกอบ 6 โครงสร้างระบบผลิตไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่	19
ภาพประกอบ 7 ไดอะแกรมควบคุมแรงดันไฟฟ้า และระบบควบคุมความถี่	20
ภาพประกอบ 8 โครงสร้างตัวควบคุม PID แบบขนาน	24
ภาพประกอบ 9 การเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนสองพื้นที่	25
ภาพประกอบ 10 การจำลองการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธีพันธุกรรม ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE	32
ภาพประกอบ 11 การจำลองการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธีพันธุกรรม ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ISE	33
ภาพประกอบ 12 การจำลองการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธีพันธุกรรม ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE	33
ภาพประกอบ 13 การจำลองการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธีพันธุกรรม ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE	34
ภาพประกอบ 14 การจำลองการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธีฝูงอนุภาค ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE	35
ภาพประกอบ 15 การจำลองการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธีฝูงอนุภาค ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ISE	35
ภาพประกอบ 16 การจำลองการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธีฝูงอนุภาค ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE	36

ภาพประกอบ 30 การเปียงเบนของกำลังในสายส่ง สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE	48
ภาพประกอบ 31 การเปียงเบนของกำลังในสายส่ง สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ISE.....	49
ภาพประกอบ 32 การเปียงเบนของกำลังในสายส่ง สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE	50
ภาพประกอบ 33 การเปียงเบนของกำลังในสายส่ง สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE	51



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ระบบควบคุมการผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติ (AGC) [1] มีหน้าที่สำคัญในระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกัน และมีพื้นที่ขนาดใหญ่ที่เชื่อมต่อกันหลายพื้นที่ เพื่อสามารถรักษาความถี่ของระบบให้มีความเสถียรภาพมากขึ้น และพลังงานที่ส่งผ่านสายเชื่อมโยง (Tie-Line) ทำให้อยู่ในค่าที่ปกติ เช่น ถ้าหากเกิดจากการรบกวนเกิดขึ้น แบบกะทันหัน ถ้ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้น้อยกว่าความต้องการที่จะใช้พลังงาน ความถี่ที่หน่วยของการผลิตไฟฟ้าจะทำให้ลดลง [2] ส่งผลต่อความสามารถผลิตกำลังไฟฟ้ากำลังของระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน เป็นระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ที่มีการเชื่อมโยงจากแหล่ง โดยประเภทโรงไฟฟ้า เช่น การเชื่อมโยงระหว่างโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่ การเชื่อมโยงระหว่างไฟฟ้าพลังงานน้ำ และพลังงานความร้อน โดยเชื่อมต่อถึงกันด้วยสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-Line) เพื่อเพียงพอต่อความต้องการ การผลิตไฟฟ้า [3]

ปัจจุบันมีการออกแบบตัวควบคุมการผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติ มีความล้ำสมัย โดยมีเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้การออกแบบการจำลองระบบนิยมใช้คอมพิวเตอร์เพื่อในการออกแบบ อย่างแพร่หลายโดยได้นำเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม หรือ (Optimization) มาประยุกต์ใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมความถี่โหลดในแต่ละพื้นที่ โดยตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative) นั้นนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในงานระบบที่ควบคุมอุตสาหกรรม และรวมไปถึงระบบโรงไฟฟ้า โดยตัวควบคุมประเภท PID (Proportional Integral Derivative) นั้นมีความสามารถปรับความแปรปรวนที่อาจจะเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า โดยปัญหาของตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative) นั้นคือการหาค่าพารามิเตอร์ ที่มีความซับซ้อน และมีระบบขนาดใหญ่ เช่น การเชื่อมโยงระหว่างโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่ การเชื่อมโยง ระหว่างไฟฟ้าพลังงานน้ำ และพลังงานความร้อน โดยเชื่อมต่อถึงกันด้วยสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-Line) โดยจะตั้งค่าตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative) ให้เหมาะสม จึงจะแก้ไขปัญหา ให้ระบบมีความเสถียรภาพ และมีความประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า การออกโรงไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพนั้นต้องพึ่งพาเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมในการออกแบบ เช่น ระบบไฟฟ้าสองพื้นที่พร้อมระบบควบคุมการผลิตอัตโนมัติโดยใช้การควบคุม PID (Proportional Integral Derivative), FOPID, การเพิ่มประสิทธิภาพผู้ลงอนุภาค และอัลกอริทึมทางพันธุกรรม [4] การเพิ่ม

ประสิทธิภาพพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative) โดยใช้อัลกอริทึม PSO แบบไฮบริด [5] การควบคุม PID (Proportional Integral Derivative) แบบไม่เชิงเส้นที่ได้รับ การปรับให้เหมาะสมสำหรับการติดตามจุดพลังงานสูงสุดในระบบ PV โดยใช้การเพิ่มประสิทธิภาพ กลุ่มอนุภาค [6] การควบคุมความถี่โหนดของระบบไฟฟ้าสองพื้นที่ที่มีแหล่งพลังงานหมุนเวียนโดยใช้ เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพหมีสีน้ำตาล [7] และการพัฒนาตัวควบคุม PID ด้วยอัลกอริทึมหมากรุก [1]

จากการศึกษาค้นคว้าในบทความ ในวารสารทั้งในประเทศ และต่างประเทศ พบว่างานวิจัย ส่วนใหญ่นำเสนอการออกแบบการเชื่อมโยงระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่ เป็นเชิงเส้น โดย เทคนิควิธีหมีสีน้ำตาล เป็นสัตว์นักล่าที่ชอบล่าเนื้อ และออกหากินในเวลา กลางคืน เป็น อีกสัตว์ชนิดหนึ่งที่มีอาณาเขตที่ใหญ่ โดยส่วนมากจะพบในทวีปอเมริกาเหนือ ส่วนในการสื่อสารของ เทคนิคหมีสีน้ำตาลนั้น จะสื่อสารโดยการทำสัญลักษณ์กลิ่นเท้า และรอยเท้า ส่วนมากนั้นจะพบในหมิ ตัวผู้ และยังมีพฤติกรรมอื่น ๆ อีกอย่าง เช่น การสุดดมกลิ่นเท้า โดยพฤติกรรมเหล่านี้ช่วยเสริมสร้าง การติดต่อซึ่งกัน และกัน โดยหลัก ๆ นั้น พฤติกรรมที่บ่งบอกของเทคนิคหมีสีน้ำตาลนั้น คือ การทำ สัญลักษณ์กลิ่นเท้า และการสุดดมกลิ่นเท้า [8]

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ออกแบบตัวควบคุม PID สำหรับการเชื่อมโยงระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่โดย เทคนิคการออกแบบค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ตัวควบคุมด้วยวิธีหมีสีน้ำตาล
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการออกแบบค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ตัวควบคุมด้วยเทคนิควิธี ผีฝูงอนุภาค, เทคนิควิธีพันธุกรรม และเทคนิควิธีหมีสีน้ำตาล
- 1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE ,ISE ,ITAE และ ITSE โดยการออกแบบค่าที่ เหมาะสมของพารามิเตอร์ตัวควบคุมด้วยเทคนิควิธีผีฝูงอนุภาค,เทคนิควิธีพันธุกรรม และเทคนิค วิธีหมีสีน้ำตาล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาแบบจำลองสำหรับการเชื่อมระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่
- 1.3.2 ศึกษาเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมเทคนิควิธีผีฝูงอนุภาค
- 1.3.3 ศึกษาเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมเทคนิควิธีพันธุกรรม
- 1.3.4 ศึกษาเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมเทคนิควิธีหมีสีน้ำตาล

1.3.5 ศึกษาหลักการและโครงสร้างของตัวควบคุม PID

1.3.6 ศึกษาฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบ IAE, ISE, ITAE และ ITSE

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เรียนรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของตัวควบคุม PID และการหาค่าที่เหมาะสมในตัวควบคุม PID

1.4.2 ได้พัฒนาประยุกต์ใช้เทคนิคหีสึ้นน้ำตาล เพื่อหาค่าอันตรายการขยายของตัวควบคุม PID

1.4.3 ได้เรียนรู้โปรแกรมเขียนโปรแกรมภาษา MATLAB / Simulink



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะนำเสนอการพัฒนาตัวควบคุม PID (Proportional-Integral-Derivative Control) โดยมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวควบคุม PID โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม และระบบไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่ (Two-Area Power System) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมความถี่ และการผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติ (AGC) นอกจากนี้ยังมีการออกแบบตัวควบคุมด้วยเทคนิค (BOA) Brown Bear Optimization Algorithm และการอธิบายถึง งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่นำเสนอแนวทาง และผลการศึกษาที่ใช้เทคนิคต่าง ๆ ในการปรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID

2.1 ระบบควบคุม

ทฤษฎีระบบควบคุม (Control System) เป็นอีกหนึ่งทางด้านสาขาคณิตศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ในการควบคุมหมายถึง การควบคุมระบบพลศาสตร์ ให้มีค่าเอาต์พุต (Output) ค่าที่อยากทราบ ทำการป้อนค่าอินพุต (Input) ที่เหมาะสมให้กับระบบ เช่น ระบบควบคุมอุณหภูมิห้องของเครื่องปรับอากาศ หรือที่เปิดน้ำปิดน้ำโดยอัตโนมัติเมื่อน้ำหมด และน้ำเต็ม ในการควบคุมการขับเคลื่อนยานพาหนะ เช่น รถยนต์ ก็เป็นการควบคุมอีกแบบหนึ่ง ที่ผู้ขับเคลื่อนเป็นผู้ควบคุมความเร็ว และทิศทาง ระบบควบคุมที่ต้องมีคนเข้ามาเกี่ยวข้องนี้ ถือว่าเป็น ระบบควบคุมไม่อัตโนมัติ (Manual Control) แต่ทฤษฎีระบบควบคุมจะครอบคลุมเฉพาะการวิเคราะห์และออกแบบ ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control)

ระบบควบคุมแบ่งออกได้ 2 เป็นระบบ คือ ควบคุมวงเปิด (Open-Loop Control) คือ ระบบควบคุมที่ไม่ได้ใช้สัญญาณจากเอาต์พุต (Output) โดยบอกถึงการควบคุม ในระบบที่ 2 คือ ระบบควบคุมวงปิด (Closed-Loop Control) หรือ ระบบป้อนกลับ (Feedback Control) โดยใช้ค่าที่วัด (Output) มาคำนวณค่าที่ควบคุม และ ยังสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของระบบ เช่น เป็นเชิงเส้น (Linear) กับ ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) และแปรผันตามเวลา (Time-Varying) กับ ไม่แปรผันตามเวลา (Time-Invariant) เป็นต้น [9]

2.2 ชนิดตัวควบคุม

2.2.1 ตัวควบคุม P

ตัวควบคุมแบบสัดส่วนหรือตัวควบคุม P เป็นตัวควบคุมแบบป้อนกลับที่ง่ายที่สุดซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบควบคุมอุตสาหกรรม มันทำงานโดยคำนวณความแตกต่างระหว่างค่าที่ตั้งไว้และค่ากระบวนการปัจจุบัน หรือค่าความผิดพลาดจากนั้นจึงปรับเอาต์พุต (Output) ให้เป็นสัดส่วนกับความผิดพลาด

2.2.2 ตัวควบคุม PI

ถ้าพูดถึงตัวควบคุม PI เป็นประเภทของตัวควบคุมที่ใช้กันอย่างกว้างขวางของระบบควบคุม ตัวควบคุม PI ประกอบไปด้วยตัวควบคุมแบบสัดส่วน (P) และตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (I) ตัวควบคุมแบบ (P) จะคำนวณความแตกต่างระหว่างค่าที่ตั้งไว้ และค่าที่วัดได้ และสร้างสัญญาณข้อผิดพลาด สัญญาณข้อผิดพลาดจะถูกส่งไปยังตัวควบคุมแบบ I ซึ่งจะคำนวณอินทิกรัลของสัญญาณข้อผิดพลาด ผลลัพธ์ของตัวควบคุมแบบ I จะถูกใช้เพื่อปรับเอาต์พุตของตัวควบคุม PI [10]

2.2.3 ตัวควบคุม PD

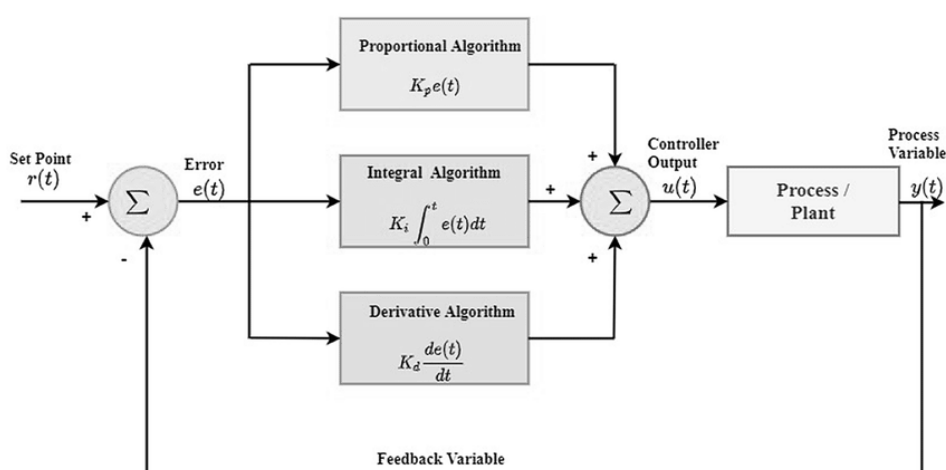
ตัวควบคุม PD หรือตัวควบคุมสัดส่วนอนุพันธ์เป็นตัวควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบควบคุมอุตสาหกรรม ตัวควบคุม PD ใช้การรวมกันของการกระทำแบบสัดส่วนและอนุพันธ์เพื่อคำนวณสัญญาณควบคุม สัญญาณการควบคุมนี้ใช้เพื่อขับเคลื่อน กระบวนการไปยังจุดตั้งค่าที่ต้องการตัวควบคุม PD ประกอบด้วยสององค์ประกอบหลัก

องค์ประกอบสัดส่วน องค์ประกอบสัดส่วนจะขึ้นอยู่กับความผิดพลาดระหว่างจุดตั้งค่ากับค่าที่วัดได้ ความผิดพลาดคือ สัดส่วนกับสัญญาณควบคุมซึ่งหมายถึงยิ่งความผิดพลาดมากสัญญาณควบคุมก็จะยิ่งมากขึ้น องค์ประกอบอนุพันธ์ องค์ประกอบอนุพันธ์จะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด อนุพันธ์ถูกใช้เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบ และป้องกันไม่ให้เกิดโอเวอร์ชูต

2.2.4 ตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control)

ตัวควบคุมแบบสัดส่วน – อินทิกรัล – อนุพันธ์ PID (Proportional Integral Derivative Control) [11] หรือเรียกว่าตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) คือระบบที่ควบคุมแบบป้อนกลับที่มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวาง และกระบวนการควบคุมต่าง ๆ โดยมีค่าความผิดพลาด ที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของตัวแปร และค่าที่ถูกต้องการที่สุดหรือค่าที่ต้องการของ PID (Proportional Integral Derivative Control) ที่จะพยายามลดค่าความผิดพลาดให้มีค่าน้อยที่สุด ทำโดยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรที่ควบคุมด้วย PID (Proportional Integral Derivative Control) ที่เปลี่ยนไปตามพฤติกรรมธรรมชาติของระบบ และก่อให้เกิดการควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพในการควบคุมต่าง ๆ ให้มีค่าที่ใกล้เคียงค่าที่ต้องการมากที่สุด โดยมี

ภาพประกอบ 1 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบ PID (Proportional Integral Derivative Control) วิธีคำนวณตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) ขึ้นอยู่กับสามตัวแปร คือสัดส่วนที่กำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ผ่านมาแล้ว และค่าอนุพันธ์ที่กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดของสามตัวแปรใช้ในการปรับค่าคงที่ของตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) ให้เหมาะสมที่สุดกับการต้องการ การตอบสนองของตัวควบคุมโดยจะเรียงลำดับตามความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต (Overshoots) และค่าแกว่งของระบบ (Oscillation)



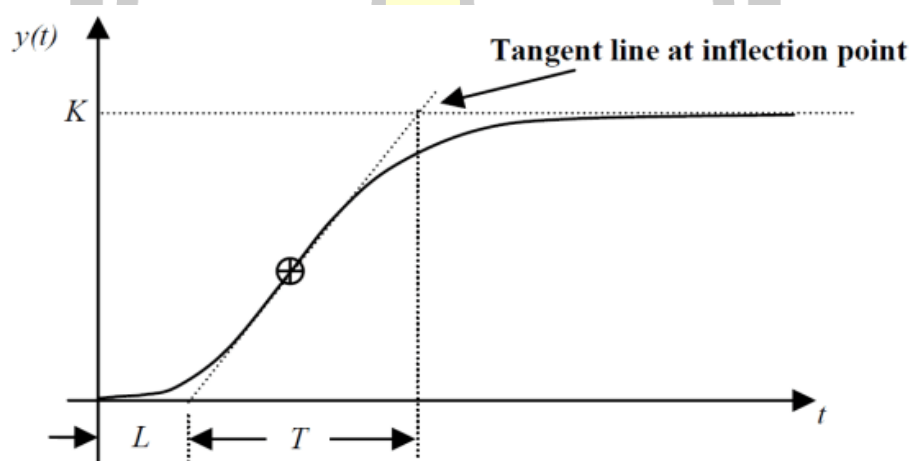
ภาพประกอบ 1 แผนภาพบล็อกของการควบคุม PID

2.3 การออกแบบของตัวควบคุมพีไอดี

การออกแบบระบบควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) หลากหลายวิธี แต่วิธีการที่ได้รับความนิยม และใช้อย่างกว้างขวางที่นำมาวิจัย และเป็นที่รู้จักคือ วิธีการของซีกเลอร์-นิโคลส์ (Ziegler – Nichols หรือ ZN) โดยวิธีนี้เป็นเครื่องมือในการปรับแต่ง PID (Proportional Integral Derivative) สำหรับการควบคุมต่าง ๆ และมีเป้าหมายในการปรับแต่งระบบควบคุมทำงานที่เหมาะสมของความต้องการ วิธีการเหล่านี้ช่วยการหาค่าพารามิเตอร์เหมาะสมสำหรับที่จะมาควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) ในระบบควบคุมต่าง ๆ และที่สำคัญเป็นเครื่องมือในการควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูง [13]

2.3.1 วิธีการของซีกเลอร์-นิโคลส์ (Ziegler - Nichols)

วิธีการของซีกเลอร์-นิโคลส์นี้ได้เสนอโดย John G. Ziegler และ Nathaniel B. Nichols ในปี ค.ศ.1940 เป็นวิธีที่ใช้สำหรับปรับปรุง และพัฒนาตัวควบคุมของระบบ เพื่อให้ระบบควบคุมมีผลตอบสนองที่ดีแต่ไม่เกินค่าพุ่งสูงมากเท่าไร และตอบสนองที่เร็ว โดยซีกเลอร์-นิโคลส์ได้พัฒนาการทดลอง และวิเคราะห์ผลต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกระบวนการหลากหลาย ในอุตสาหกรรม [14] วิธีการนี้ถูกนำมาใช้กับกระบวนการที่มีการตอบสนองแบบขั้นดังภาพประกอบที่ 2 การตอบสนองประเภทนี้เป็นลักษณะเฉพาะของระบบอันดับหนึ่งที่มีความล่าช้าในการขนส่ง (transportation delay) การตอบสนองนี้ ได้กำหนดด้วยพารามิเตอร์สองตัว คือ L (เวลาล่าช้า) และ T (ค่าคงที่เวลา) พารามิเตอร์เหล่านี้ถูกคำนวณโดยการวาดเส้นสัมผัสกับการตอบสนองแบบขั้น ณ จุดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากที่สุด (point of inflection) และสังเกตจุดตัดของเส้นสัมผัสนี้กับแกนเวลา และค่าคงที่ในสถานะคงที่ (steady state value)



ภาพประกอบ 2 การตอบสนองของซีกเลอร์-นิโคลส์

จากภาพประกอบผลตอบสนองภาพประกอบที่ 2 มีพารามิเตอร์ที่สำคัญทั้งหมดมี 3 ตัวได้แก่ K , L และ T ได้ถูกกำหนดโดยจากการลากเส้นสัมผัสกับผลตอบสนองที่จุดเปลี่ยนเว้าในภาพประกอบ 2 ดังนั้นระบบ $G(s)$ เราสามารถรับรู้ได้โดยเป็นระบบหนึ่งรวมถึงการหน่วงเวลาในการขนส่ง (transport lag) ดังนั้นสามารถใช้ระบบนี้เพื่อประมาณผลตอบสนองระบบได้อย่างทันสมัย ดังสมการที่ (2.1)

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} \cong \frac{ke^{-Ls}}{Ts+1} \quad (2.1)$$

จากพารามิเตอร์ L และ T ที่ได้จากผลตอบสนอง ชิกเลอร์ และนิโคลส์ได้แนะนำวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ k_p , k_i และ T_d ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การหาค่า K_p , T_i และ T_d ด้วยวิธี ZN

ชนิดของตัว Controller	K_p	K_i	K_d
P - Controller	$\frac{T}{L}$	—	—
PI - Controller	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	—
PID - Controller	$1.2\frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

2.4 เทคนิคหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องการแก้โจทย์ปัญหาตามเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดให้ได้ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ให้เหมาะสมที่สุด ปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นมีทั้งแบบจำลอง และแบบสมการทางคณิตศาสตร์ของระบบนั้น ๆ ปัจจุบันนี้มีการพัฒนาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมอย่างกว้างขวาง ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เป็นต้น [16]

2.4.1) เทคนิควิธีหมีสีน้ำตาล เป็นสัตว์น้ำที่ขบถและออกหากินในเวลากลางวัน เป็นอีกสัตว์ชนิดหนึ่งที่มีอาณาเขตที่ใหญ่ โดยส่วนมากจะพบในทวีปอเมริกาเหนือ ส่วนในการสื่อสารของเทคนิคหมีสีน้ำตาลนั้น จะสื่อสารโดยการทำสัญลักษณ์กลิ่นเท้า และรอยเท้า ส่วนมากนั้นจะพบในหมีตัวผู้ และยังมีพฤติกรรมอื่น ๆ อีกอย่าง เช่น การสูดดมกลิ่นเท้า โดยพฤติกรรมเหล่านี้ช่วยเสริมสร้างการติดต่อซึ่งกัน และกัน โดยหลัก ๆ นั้น พฤติกรรมที่พบบ่อยของเทคนิคหมีสีน้ำตาลนั้น คือ การทำสัญลักษณ์กลิ่นเท้า และการสูดดมกลิ่นเท้า และได้รับแสดงสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อที่จะออกแบบอัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพ [8] ซึ่งจะมีขั้นตอน ดังนี้

ตัวแปรที่สำคัญของวิธีหมีสีน้ำตาล และขั้นตอนสำคัญของหมีสีน้ำตาล มีดังนี้

$P_{ij}j^{th}i^{th}$ คือ สัญลักษณ์การเหยียบ
 i^{th} คือ กลุ่มหมีสีน้ำตาล

$P_{ij}^{max} - P_{ij}^{min}$	คือ ขอบต่ำสุด และสูงสุดของสัญลักษณ์กลั่นที่เหยียบตามลำดับ
λ	คือ จำนวนในการสุ่มระหว่าง (0,1)
N_{pop}	คือ จำนวนประชากรจำนวนทั้งหมดของกลุ่มที่อยู่ในอาณาเขต (หนึ่ง)
D	คือ จำนวนตัวแปรการตัดสินใจ (จำนวนที่เหยียบของตามละกลุ่ม) ตัวแปรการตัดสินใจ (การทำสัญลักษณ์กลั่นในแต่ละกลุ่ม)
$P_{ij,k}^{new}$	คือ j_{th} การอัปเดตเครื่องหมายการเหยียบของ i_{th} กลุ่ม
$P_{ij,k}^{old}$	คือ เป็นการเหยียบครั้งที่แล้ว j_{th}
$\alpha_{i,j,k}$	คือ เลขการสุ่ม ใน (0,1)
θ_k	คือ สิ่งที่กำหนดที่เกิดขึ้น
$P_{i,j,k}^{new}, P_{j,k}^{worst}$	คือ j_{th} ก้าวที่ดีที่สุด j_{th} และกลั่นที่แย่ที่สุด
F_k	คือ สิ่งที่เกิดขึ้นโดย k_{th} เป็นการวนซ้ำที่ขึ้นอยู่กับ θ_k
$P_{m,j,k}^{new}$	คือ j_{th} อัปเดตเครื่องหมายการเหยียบของ m_{th} ของกลุ่มในระหว่าง k_{th} ของการวนซ้ำ
$P_{m,j,k}^{old}, P_{n,j,k}^{old}$	คือ j_{th} เป็นรอยเหยียบของ m_{th} และ n_{th} ในกลุ่มระหว่าง k_{th} การวนซ้ำตามลำดับ ($m \neq n$)
$f(P_{m,k}^{old}), f(P_{n,k}^{old})$	คือ ฟังก์ชันสำหรับ m_{th} และ n_{th} กลุ่มตามลำดับ $\lambda_{j,k}$ ตัวเลขสุ่มที่กระจายอยู่ในช่วง (0,1) และการเลือกนี้จะดำเนินต่อไปจนกว่าจะถึงเกณฑ์ที่สิ้นสุด เมื่อพิจารณาปัญหาทั้งหมดในเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มกำหนดจำนวนประชากรหมีสีน้ำตาล และสร้างอาณาเขตกลุ่มหมีสีน้ำตาล และสุ่มการเหยียบของกลุ่มหมีสีน้ำตาลโดยอธิบายดังสมการที่ (2.2)

$$P_{ij} = P_{ij}^{min} + \lambda \cdot (P_{ij}^{max} - P_{ij}^{min}) \quad (2.2)$$

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์ค่าสมบูรณ์ของการทดลองสุ่มของประชากรหมีสีน้ำตาล และเลือกขอบเขตการเหยียบที่ดีที่สุด และแย่ที่สุดดังสมการที่ (2.3)

$$P = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & P_{1,D} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & P_{2,D} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ PN_{pop,1} & PN_{pop,2} & \dots & PN_{pop,D} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

ขั้นตอนที่ 3 ทำสัญลักษณ์เครื่องหมายส่งกลับเท่า โดยเทียบอย่างเป็นเอกลักษณ์ และการเทียบอย่างรอบคอบไม่ประมาท $P_{i,j,k}^{new} = P_{i,j,k}^{old} + F_k \cdot (P_{i,j,k}^{base} - L_k \cdot P_{j,k}^{worst})$ และอีกอย่างคือการทำล่อยต่ำลงเป็นล่อยเดินที่พื้น

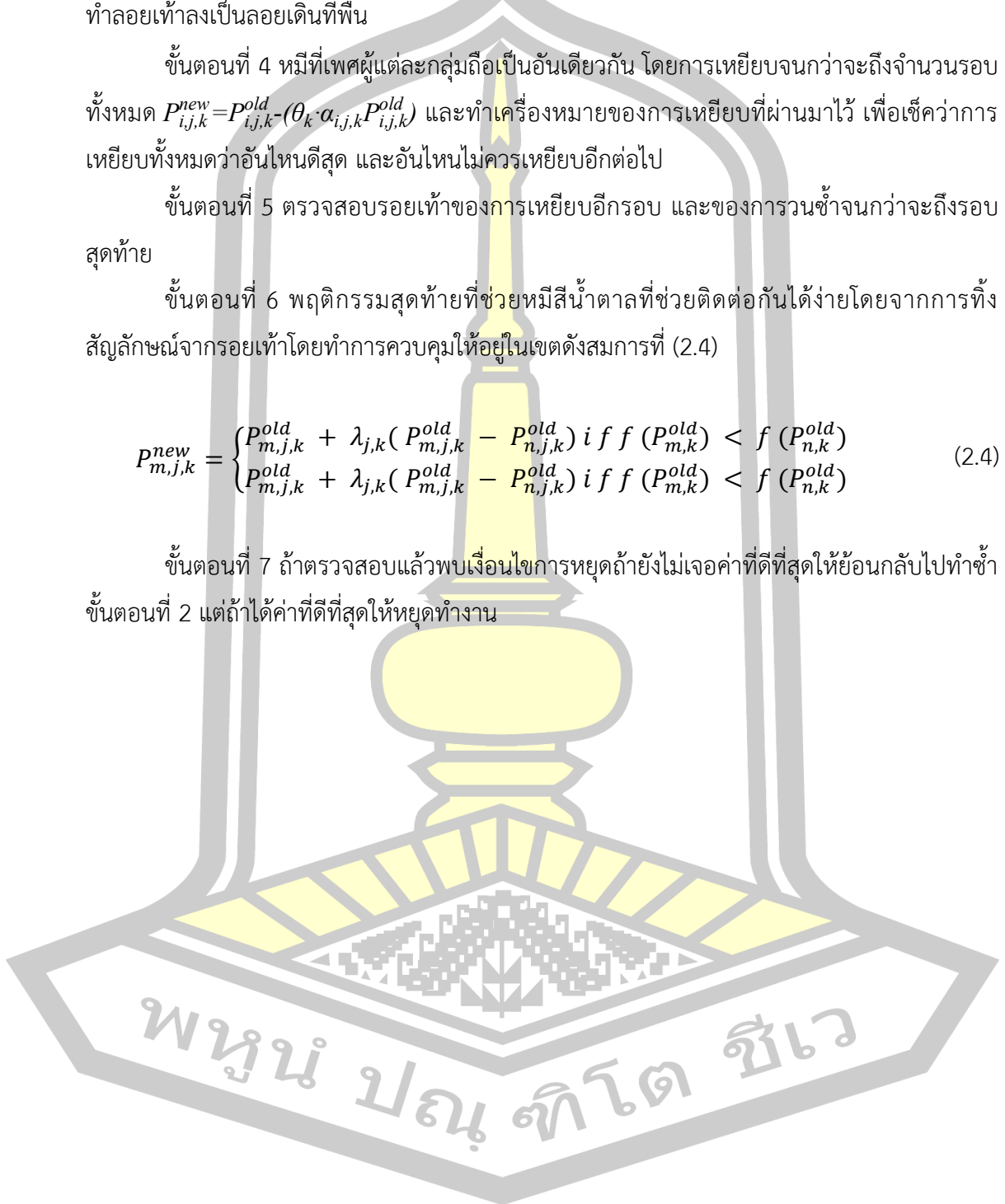
ขั้นตอนที่ 4 หมิติเพศผู้แต่ละกลุ่มถือเป็นอันเดียวกัน โดยการเทียบจนกว่าจะถึงจำนวนรอบทั้งหมด $P_{i,j,k}^{new} = P_{i,j,k}^{old} - (\theta_k \cdot \alpha_{i,j,k} \cdot P_{i,j,k}^{old})$ และทำเครื่องหมายของการเทียบที่ผ่านมาไว้ เพื่อเช็คว่าการเทียบทั้งหมดว่าอันไหนดีที่สุด และอันไหนไม่ควรเทียบอีกต่อไป

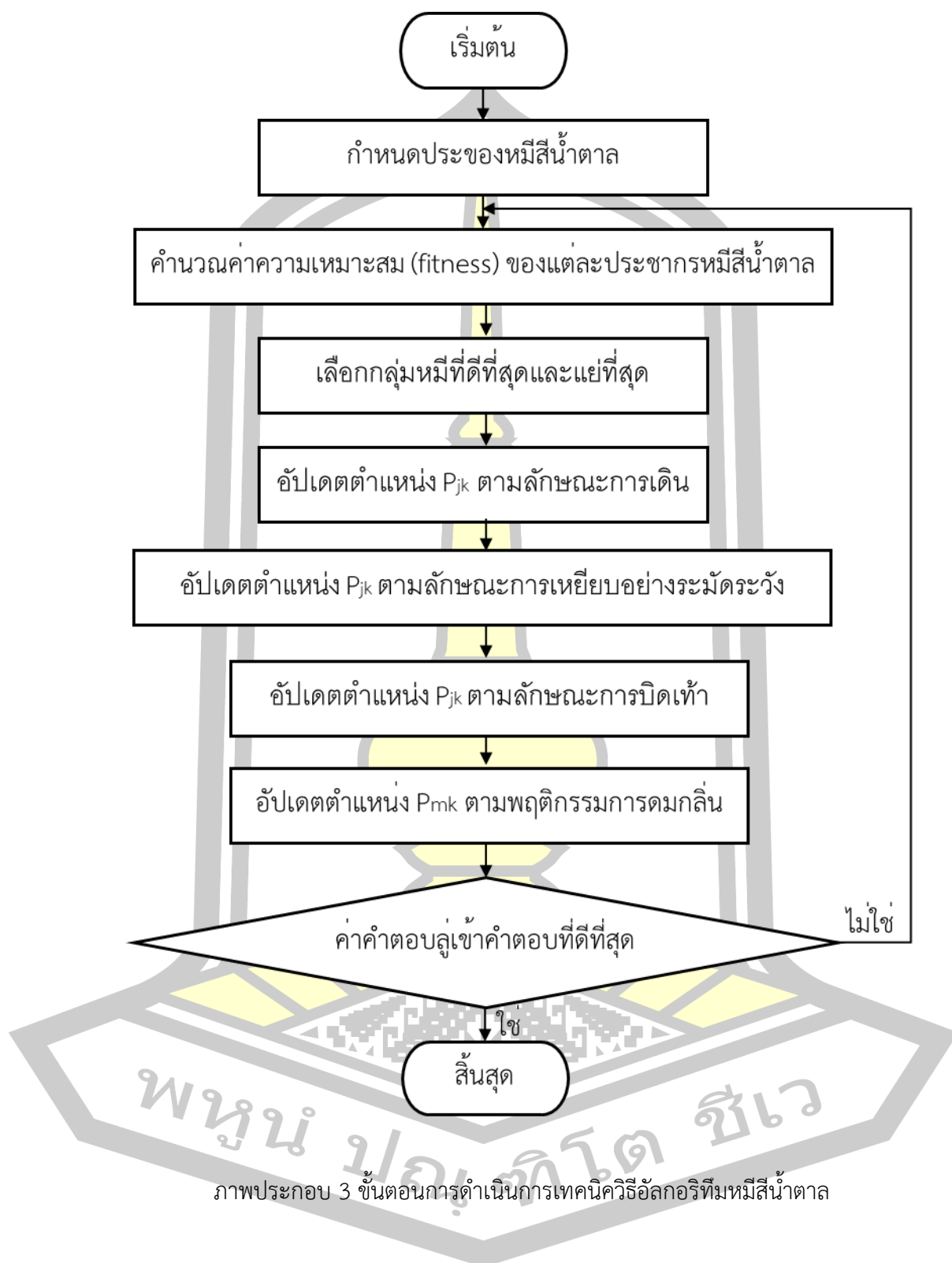
ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบรอยเท้าของการเทียบอีกรอบ และของการวนซ้ำจนกว่าจะถึงรอบสุดท้าย

ขั้นตอนที่ 6 พฤติกรรมสุดท้ายที่ช่วยหมิสน้ำตาลที่ช่วยติดต่อกันได้ง่ายโดยจากการทั้งสัญลักษณ์จากรอยเท้าโดยทำการควบคุมให้อยู่ในเขตดังสมการที่ (2.4)

$$P_{m,j,k}^{new} = \begin{cases} P_{m,j,k}^{old} + \lambda_{j,k} (P_{m,j,k}^{old} - P_{n,j,k}^{old}) & \text{if } f(P_{m,k}^{old}) < f(P_{n,k}^{old}) \\ P_{m,j,k}^{old} + \lambda_{j,k} (P_{m,j,k}^{old} - P_{n,j,k}^{old}) & \text{if } f(P_{m,k}^{old}) < f(P_{n,k}^{old}) \end{cases} \quad (2.4)$$

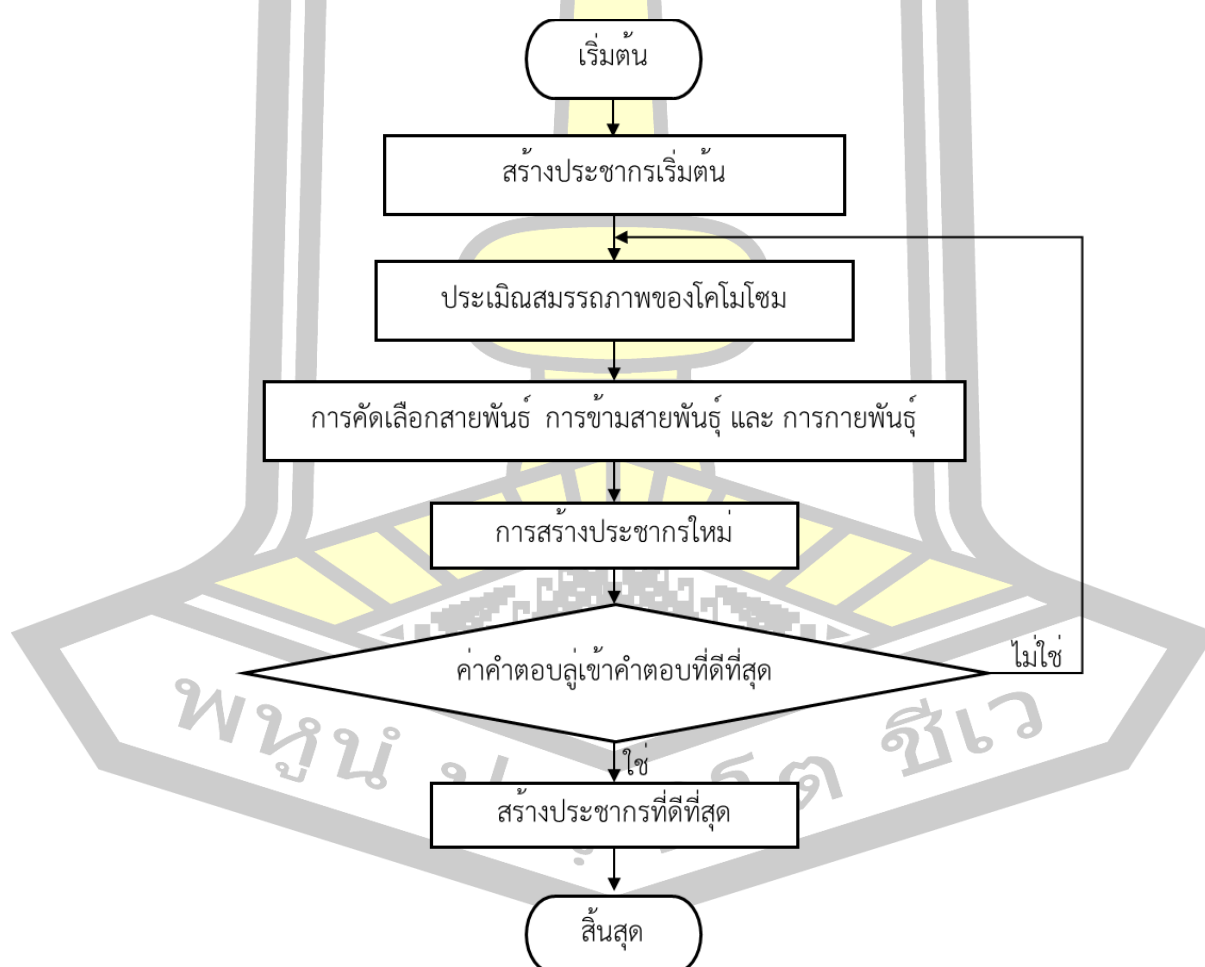
ขั้นตอนที่ 7 ถ้าตรวจสอบแล้วพบเงื่อนไขการหยุดถ้ายังไม่เจอค่าที่ดีที่สุดให้ย้อนกลับไปทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้าได้ค่าที่ดีที่สุดให้หยุดทำงาน





2.4.2) เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

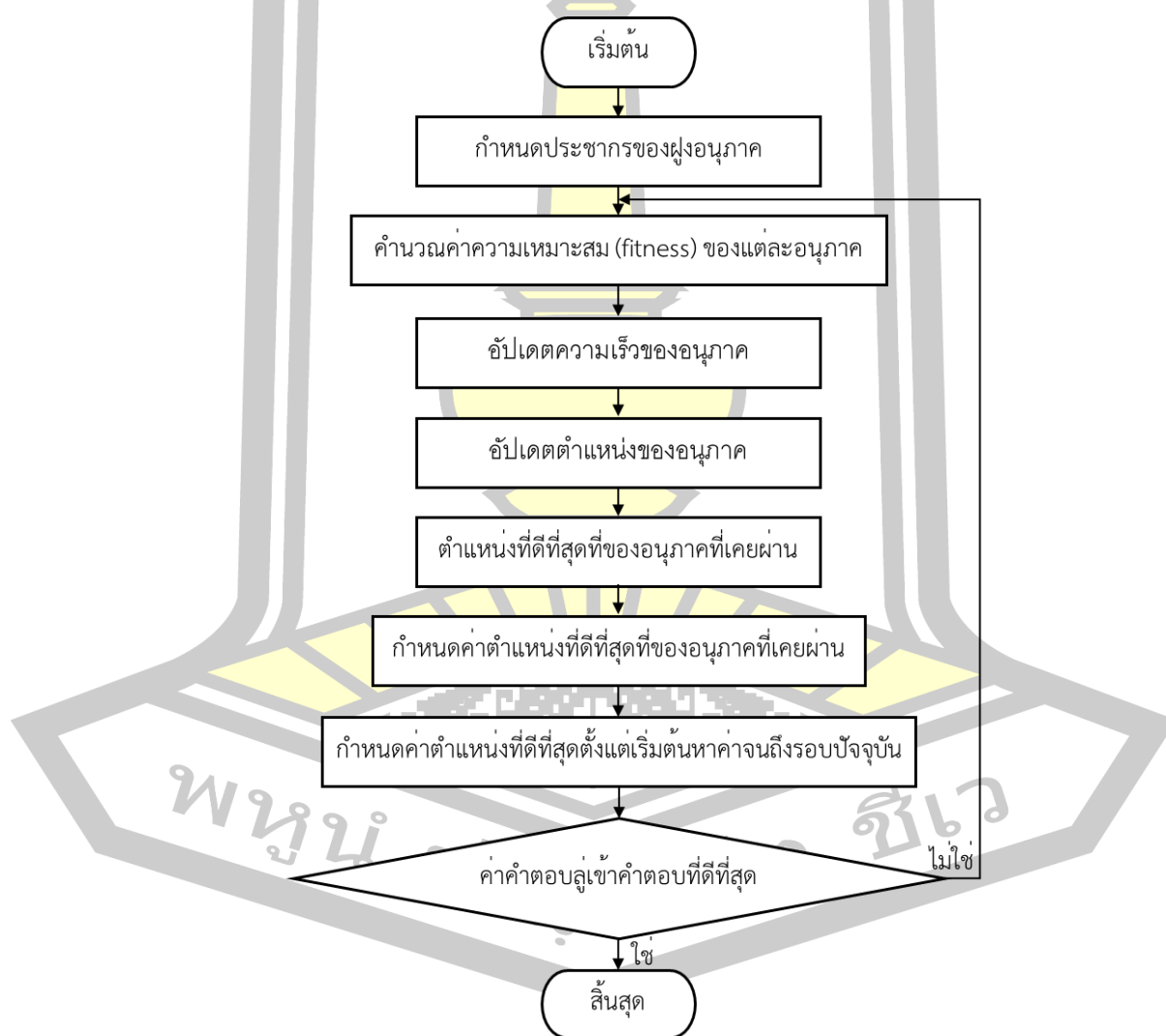
ส่วนที่ถูกค้นพบมาในช่วงแรกสุดของสิ่งที่เราเรียกในทุกวันนี้ว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เกิดในช่วงปลายปี 1950 เขียนโดยนักชีววิทยาด้านการวิวัฒนาการโดยต้องการหารูปแบบการวิวัฒนาการตามธรรมชาติแต่ไม่ได้ถูกมองว่าสามารถนำไปใช้สำหรับการแก้ปัญหาในด้านอื่น ๆ ได้ แต่ก็ไม่นานนักในปี 1962 นักวิจัยเช่น G.E.P. Box, G.J. Friedman, W.W. Bledsoe และ H.J. Bremermann ทั้งหมดได้ทำการพัฒนาขั้นตอนวิธี ต่าง ๆ ในการการเพิ่มประสิทธิภาพของฟังก์ชัน และปัญหาการเรียนรู้ของเครื่องเช่นเดียวกัน แต่งานวิจัยของพวกเขาก็ได้รับการติดตามที่น้อย งานวิจัยที่ประสบความสำเร็จกว่าคืองานวิจัยในปี 1965 เมื่อ Ingo Rechenberg ได้เสนอเทคนิคที่เค้าเรียกว่ากลุทธ์การวิวัฒนาการถึงแม้ว่ามันจะคล้ายกับขั้นตอนวิธีของนักป็นเขามากกว่าวิธีเชิงพันธุกรรมมากนัก โดยจะคล้ายคลึงกันแต่จะไม่มีการผลิตจำนวนประชากรออกมามาก และไม่มีไขว้เปลี่ยน (Cross Over) [17] ขั้นตอนวิธีการออกแบบวิธีพันธุกรรมมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 4 ขั้นตอนการดำเนินการเทคนิควิธัลกอริทึมพันธุกรรม

2.4.3) เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization)

Kennedy และ Eberhart ได้นำเสนอแนวคิดวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีอนุภาคเป็นครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ. 1995 โดยได้แรงบันดาลใจจากการดูพฤติกรรมการอยู่ร่วมกันของสัตว์ เช่น ฝูงนก หรือ ฝูงปลา และฝูงแมลง เป็นต้น ซึ่งวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยการค้นหาแบบกลุ่มประชากร (Population Based) ตัวดำเนินการเรียกว่า อนุภาค (Particle) ที่สามารถเคลื่อนตามตำแหน่งได้ อนุภาคนี้จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม และอยู่ในขอบเขตที่กำหนดว่าจะค้นหา โดยแต่ละอนุภาคจะเคลื่อนย้ายตำแหน่งโดยอ้างอิงตำแหน่งของตัวเอง และตำแหน่งที่ใกล้เคียงที่เคยผ่านมาแล้ว เพื่อที่จะหาทิศทางในการเคลื่อนที่ต่อไป จนกว่าจะพบคำตอบค่าที่ดีที่สุด และอาจจะพบคำตอบด้วยตัวเอง [19] และวิธีการของกลุ่มอนุภาคมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 5 ขั้นตอนการดำเนินการเทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงอนุภาค

2.2.5) การเปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียของแต่ละอัลกอริทึมที่กล่าวมาข้างต้น ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบเทคนิควิธีการหาค่าที่เหมาะสม

เทคนิควิธีการหาค่าที่เหมาะสม	ข้อเสีย	ข้อดี
เทคนิควิธีฝูงอนุภาค	1. การติดอยู่ในค่าที่เหมาะสมเชิงพื้นที่ (Local Optima) อาจติดอยู่ในค่าที่เหมาะสมเฉพาะจุด โดยไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global Optima) ได้ 2. การควบคุมการคอนเวอร์เจนซ์หากพารามิเตอร์ถูกตั้งค่าไม่เหมาะสม อาจทำให้อัลกอริทึมคอนเวอร์จเร็วเกินไปจนไม่สามารถสำรวจพื้นที่การค้นหาค่าได้ครบถ้วน 3. ความไวต่อพารามิเตอร์ประสิทธิภาพของขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ เช่น น้ำหนักแรงเฉื่อย (Inertia Weight) และค่าคงที่เร่งความเร็ว ซึ่งการปรับแต่งค่าที่เหมาะสมอาจใช้เวลา และความเชี่ยวชาญ 4. ประสิทธิภาพลดลงในปัญหาความซับซ้อนสูง เช่น ในปัญหาที่มีมิติสูงและความซับซ้อนมาก PSO อาจใช้เวลามากขึ้น และประสิทธิภาพลดลงเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมที่ออกแบบมาเฉพาะ	1. ความเรียบง่าย และการใช้งานง่าย มีโครงสร้างที่เข้าใจง่าย และต้องการพารามิเตอร์เพียงไม่กี่ตัวในการกำหนดค่า เช่น จำนวนอนุภาค และค่าคงที่เร่งความเร็ว 2. ความเร็วในการคอนเวอร์เจนซ์ เช่น มักจะสามารถค้นหาวีธีแก้ปัญหาที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมที่สุดได้รวดเร็ว 3. ความยืดหยุ่น 4. ไม่ต้องการอนุพันธ์ของฟังก์ชันสามารถใช้กับปัญหาที่ไม่มีอนุพันธ์ได้ เนื่องจากอาศัยข้อมูลค่าฟังก์ชันเพียงอย่างเดียวในการอัปเดตตำแหน่ง

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบเทคนิควิธีการหาค่าที่เหมาะสม(ต่อ)

เทคนิควิธีการหาค่าที่เหมาะสม	ข้อเสีย	ข้อดี
เทคนิควิธีพันธุกรรม	1. การปรับแต่งพารามิเตอร์ ่อง การการปรับแต่งพารามิเตอร์ เช่น ขนาดของประชากร อัตรา การกลายพันธุ์ และอัตรา การครอสโอเวอร์ เพื่อให้ เหมาะสมกับแต่ละปัญหา 2. ความเร็วในการคำนวณ ใช้ ทรัพยากรการคำนวณสูง โดยเฉพาะเมื่อมีประชากรขนาดใหญ่และต้องดำเนินการหลาย รอบ 3. ผลลัพธ์ที่อาจไม่เหมาะสม ที่สุดไม่มีการรับประกันว่า คำตอบสุดท้ายจะเป็นค่าที่ เหมาะสมที่สุด (Global Optimum) แต่อาจเป็นค่าที่ เหมาะสมที่สุดที่หาได้ใน ขอบเขตการค้นหา 4. การตั้งค่าเริ่มต้นที่ไม่ เหมาะสมอาจทำให้อัลกอริทึม ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีได้ 5. การออกแบบฟังก์ชันความ เหมาะสมที่เหมาะสมและ ครอบคลุมเป็นสิ่งสำคัญ แต่หาก ไม่ดีพออาจทำให้การค้นหา ประสิทธิภาพลดลง	1. การค้นหาในพื้นที่ขนาดใหญ่ และซับซ้อน สามารถสำรวจ พื้นที่ค้นหาขนาดใหญ่และมี ความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้จะไม่มีข้อมูล เชิงลึกเกี่ยวกับปัญหา 2. ความยืดหยุ่น 3. การหลีกเลี่ยงจุดสุดยอดเชิง ท้องถิ่น (Local Optima) ด้วย การใช้กลยุทธ์เช่นการกลายพันธุ์ (Mutation) และการครอสโอ เวอร์ (Crossover) อัลกอริทึม สามารถหลีกเลี่ยงการติดอยู่ใน จุดสุดยอดเชิงท้องถิ่นได้ 4. การค้นหาแบบหลายทิศทาง (Population-Based Search) 5. GA ค้นหาจากประชากร หลายตัวแทนพร้อมกัน ซึ่งเพิ่ม โอกาสในการค้นหาคำตอบที่ดี ที่สุดในพื้นที่ค้นหา

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบเทคนิควิธีการหาค่าที่เหมาะสม(ต่อ)

เทคนิควิธีการหาค่าที่เหมาะสม	ข้อเสีย	ข้อดี
เทคนิควิธีหมีสีน้ำตาล	- อัลกอริทึมที่ได้แรงบันดาลใจจากธรรมชาติมักถูกวิจารณ์ว่าไม่มีหลักการทางคณิตศาสตร์ที่ชัดเจนในบางส่วน และอาจต้องใช้การทดสอบเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลลัพธ์ในหลากหลายบริบท - การใช้งานในปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้น ถึงแม้ BOA จะมีประสิทธิภาพในปัญหาบางรูปแบบ แต่ประสิทธิภาพอาจลดลงในปัญหาที่ซับซ้อนหรือที่มีมิติสูงมาก (High-Dimensional Problems)	- ไม่ต้องการการปรับพารามิเตอร์เฉพาะของอัลกอริทึม BOA ไม่มีพารามิเตอร์เฉพาะที่ต้องปรับ เช่น พารามิเตอร์ทางสังคม หรือพารามิเตอร์ความเฉื่อย - ความเร็วในการคอนเวอร์เจนซ์ - ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ - ความทนทาน และความยืดหยุ่น BOA ถูกออกแบบมาให้จัดการกับข้อจำกัดและเงื่อนไขในปัญหา EDP

2.5 ระบบผลิตไฟฟ้า

ระบบผลิตไฟฟ้า (Electricity generation system) คือระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีหรือกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เพื่อแปลงพลังงานจากแหล่ง เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ น้ำ ถ่านหิน หรือก๊าซธรรมชาติ เป็นพลังงานไฟฟ้า ระบบนี้จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์การผลิตไฟฟ้า เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบส่งจ่าย และอุปกรณ์ควบคุมระบบ ที่จะได้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพอย่างสูงในงานต่าง ๆ ในแบบความต้องการของผู้ใช้งาน ในระบบผลิตไฟฟ้านี้ [20] ระบบผลิตไฟฟ้าสามารถแบ่งประเภทของระบบผลิตไฟฟ้า ได้ดังนี้

2.5.1 โรงไฟฟ้าพลังน้ำ (Hydro Power Plant)

โรงไฟฟ้าพลังน้ำ (Hydro Power Plant) คือ โรงไฟฟ้าที่ใช้แรงดันของน้ำให้หมุนไปผลักดันกังหัน เป็นพลังงานทางกลที่สามารถควบคุมได้ และต่อเพลาเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า โรงไฟฟ้าพลังน้ำสามารถเดินเครื่องจ่ายไฟได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสำหรับการใช้ผลิตไฟฟ้า

ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง แต่การปล่อยน้ำของโรงไฟฟ้ามีจำกัด ซึ่งต้องคำนึงถึงเรื่องน้ำเพื่อความต้องการทางการเกษตรและด้านอื่น ๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง เพื่อให้สัมพันธ์กันในประโยชน์ด้านอื่น

2.5.2 โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine Power Plant)

โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine Power Plant) คือ โรงไฟฟ้าที่ใช้เครื่องกังหันก๊าซเป็นเครื่องต้นกำลัง ทำการผลิตไฟฟ้าด้วยการเผาไหม้เชื้อเพลิงของส่วนผสมระหว่างก๊าซธรรมชาติกับอากาศความดันสูงจากเครื่องอัดอากาศในห้องเผาไหม้เกิดเป็นไอร้อน ที่ความดันและอุณหภูมิสูงไปขับเคลื่อนเครื่องกังหันก๊าซ เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าออกมา สำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ได้ คือ ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซล โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ สามารถเดินเครื่องได้รวดเร็ว เหมาะสมสำหรับใช้เป็นโรงไฟฟ้าสำรองเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการสูงหรือในกรณีฉุกเฉิน

2.5.3 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermal Power Plant)

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermal Power Plant) คือ โรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานความร้อนผลิตไฟฟ้า โดยอาศัยการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงให้กลายเป็นไอน้ำที่มีแรงดันสูงเพื่อขับเคลื่อนกังหันไอน้ำ เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการผลิตไฟฟ้า เชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแตกต่างกันออกไป เช่น ถ่านหิน น้ำมันเตา ก๊าซธรรมชาติ

2.5.4 โรงไฟฟ้าดีเซล (Diesel Power Plant)

โรงไฟฟ้าดีเซล (Diesel Power Plant) คือ โรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากเครื่องยนต์ดีเซลในการผลิตพลังงาน พลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องยนต์ดีเซลจะใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โรงไฟฟ้าดีเซลมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นโรงไฟฟ้าสำรองเพื่อจ่ายไฟฟ้าในเวลาที่มีความต้องการทางไฟฟ้าสูงสุดหรือในกรณีฉุกเฉินนอกจากนี้ โรงไฟฟ้าดีเซลยังสามารถติดตั้งได้ง่ายรวดเร็วและเคลื่อนย้ายไปติดตั้งยังสถานที่ใหม่ได้ง่าย

2.5.5 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell Power Plant)

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell Power Plant) คือ โรงไฟฟ้าที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์หรือแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหลักในการผลิตไฟฟ้า โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Panels) ในการดักจับแสงอาทิตย์ จากนั้นถูกแปลงเป็นไฟฟ้าโดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้หรือใช้กระบวนการอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เพื่อส่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปยังกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้งานในด้านต่าง ๆ

2.5.6 โรงไฟฟ้าพลังงานลม (Wind Turbine Power Plant)

โรงไฟฟ้าพลังงานลม (Wind Turbine Power Plant) คือ โรงไฟฟ้าที่อาศัยพลังงานจลน์ของลม โดยใช้กังหันลมเป็นพลังงานกลในการผลิตไฟฟ้า พลังงานกลจะถูกเปลี่ยนรูปแบบไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมอยู่กับแกนหมุนกังหันลม จากนั้นจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับความเร็วลม สถานที่ที่ติดตั้ง เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของแหล่งพลังงาน จึงต้องมีตัวสะสมหรือกักเก็บพลังงานเป็นตัวช่วย

2.5.7 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (Combined-Cycle Power Plant)

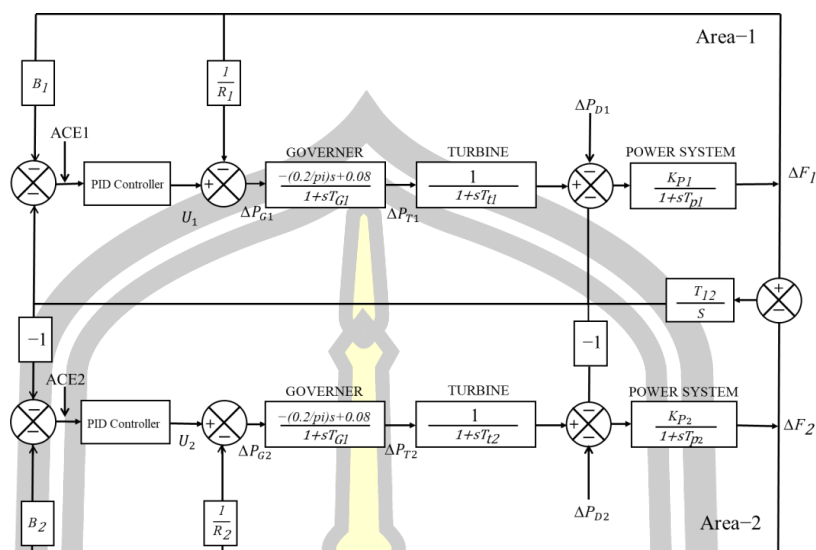
โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (Combined-Cycle Power Plant) คือโรงไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โดยเป็นการทำงานร่วมกันของระบบ 2 ระบบ คือ ระบบโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและระบบโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำโดยการนำไอเสียของเครื่องกังหันก๊าซที่มีความร้อนสูงไปให้ความร้อนในหม้อไอน้ำ (Boiler) จนน้ำเดือดกลายเป็นไอ จากนั้นขับเคลื่อนกังหันไอน้ำที่ต่อกับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าการทำงานร่วมกันของระบบทั้งสองระบบของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม ทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับโรงไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ ที่มีเพียงหนึ่งระบบในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

2.6 ระบบไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่

ระบบไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่ (Electrical System in Two Areas) [21] หมายถึง ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ที่ได้รับการออกแบบเพื่อควบคุม กำกับ และจัดการการผลิตและการจ่ายพลังงานไฟฟ้าระหว่างพื้นที่การผลิตไฟฟ้าสองพื้นที่ ที่เชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบผ่านโครงข่ายสายส่งกำลังไฟฟ้า (Interconnected Power System) โดยระบบพลังงานไฟฟ้าสองพื้นที่ ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในแต่ละพื้นที่ และเพื่อจัดการปัญหาหรือเหตุขัดข้องที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และการจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

การทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่โดยเน้นการรักษาความมั่นคงของโครงข่าย และการเสริมสร้างเสถียรภาพของความถี่ [22] และกำลังไฟฟ้าภายในระบบไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง ผ่านการเชื่อมโยงการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าสองพื้นที่เข้าด้วยกัน ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นคือการกระจายการผลิตไฟฟ้าที่สมดุล และการปรับสมดุลโหลดของแต่ละพื้นที่ได้อย่างทันทีที่มีประสิทธิภาพ ถึงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของโหลด หรือการหยุดทำงานของโรงไฟฟ้าบางส่วนก็ตาม

จากโครงสร้างการทำงานแสดงดังภาพประกอบ 6 ระบบไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่จึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มศักยภาพการใช้ทรัพยากรผลิตไฟฟ้า และการจัดการพลังงานอย่างเหมาะสม และคุ้มค่า ทั้งยังช่วยเพิ่มเสถียรภาพ และความเชื่อมั่นในการจ่ายกระแสไฟฟ้าภายในระบบโครงข่ายขนาดใหญ่ และสนับสนุนการพัฒนาโครงข่ายไฟฟ้าสมัยใหม่ และที่สำคัญยังมีหน้าที่ที่สำคัญในการอำนวยความสะดวกด้านความสามารถในการใช้ทรัพยากรไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ



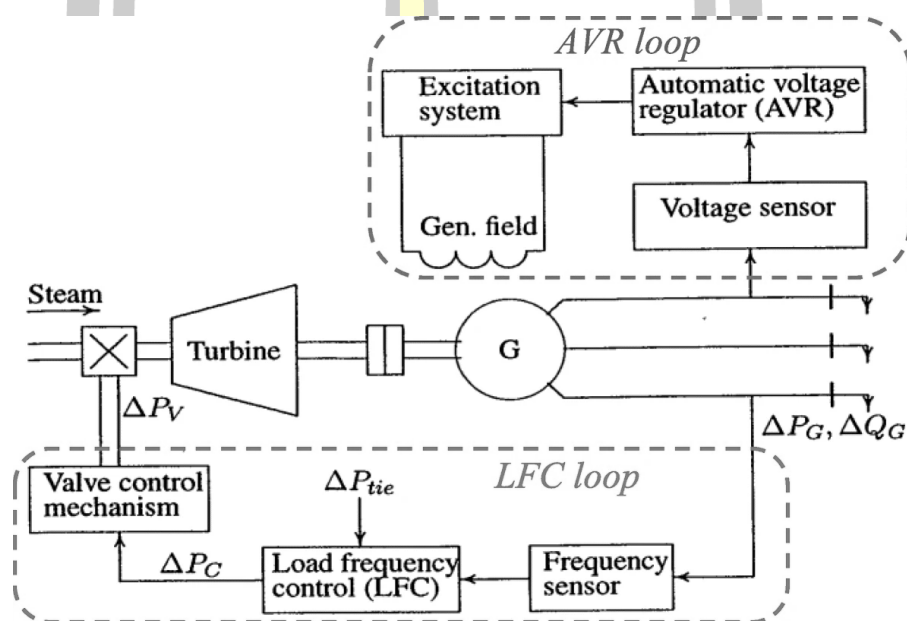
ภาพประกอบ 6 โครงสร้างระบบผลิตไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่

2.7 ระบบการควบคุมโรงไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Synchronous Generator) มีระบบควบคุมหลักสองระบบ ได้แก่ LFC (Load Frequency Control) ซึ่งทำหน้าที่รักษาความเร็วเชิงมุมของ Prime Mover ที่ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสโดยการควบคุม วาล์วโซลินอยด์ หรือ มอเตอร์เซอร์โวไฮดรอลิก และ AVR (Automatic Voltage Regulator) ซึ่งมีหน้าที่ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าเชิงปลาย (Terminal Voltage) โดยการควบคุม Exciter ที่จ่ายกระแสให้กับ Field Windings ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยมีการใช้ การย้อนกลับจากเซ็นเซอร์ ซึ่งจะวัดแรงดันไฟฟ้าที่ปลายเพื่อปรับการทำงานของ Exciter ให้เหมาะสม ดังภาพประกอบ 7 แสดงระบบควบคุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในภาระโหลดในระบบจ่ายไฟแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะมีการเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดสามารถควบคุมได้โดยการเปลี่ยนแปลงกระแสในฟิลด์ตามการเปลี่ยนแปลงในโหลด ซึ่งเรียกว่า วิธีควบคุมการกระตุ้น (Excitation Control Method) ระบบ AVR จะตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด และปรับการรับสัญญาณจากแอมพลิฟายเออร์ ซึ่งจะควบคุมการทำงานของ Exciter เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ปลายอยู่ในระดับที่คงที่

การผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อที่จะทำให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ และการควบคุมความถี่ให้อยู่เกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ปัจจุบันโหลดมีความเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ถ้าหากมีโหลดในระบบเพิ่มขึ้นในทางตรงกันข้ามความเร็วกังหันจะลดลง ก่อนที่ตัวควบคุม (Governor) โดยทำให้การจ่ายไอน้ำ ให้สอดคล้องกับโหลดใหม่ได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ของระบบลดลง ตัวควบคุมจะปรับไปยัง

ตำแหน่งกลับไปยังจุดตั้งค่า (Set Point) เพื่อที่จะรักษาความเร็วให้คงที่ แต่อีกหนึ่งมุม ระบบกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควบคุมแรงดันไฟฟ้า และการไหลของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟโดยใช้ AVR (Automatic Voltage Regulator) ในการค้นคว้าพฤติกรรมของระบบพลวัตผ่านการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) จึงจำเป็นออกแบบระบบควบคุมโรงไฟฟ้าที่มีการปรับแรงดันไฟฟ้าโดยเครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ AGC (Automatic Generation Control) และรักษาความถี่ให้มีการเสถียรภาพในการผลิตไฟฟ้า [24] ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 ไดอะแกรมควบคุมแรงดันไฟฟ้า และระบบควบคุมความถี่

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 Sitthisak Audomsi, Kunakorn Pakdeesuwan, Ekkarat Chanthamat, Nattawoot Suwannata, Nopanom Kaewhanam, Theerayuth Chatchanayuenyong และ Worawat Sa-ngiamvibool [1] ได้นำเสนอการออกแบบ และระบบควบคุมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้า ความร้อนสองระบบที่เชื่อมต่อกัน โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID (Proportional Integral Derivative) ร่วมกับอัลกอริทึมหมากรุก CA (Chess Algorithm) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบควบคุมโรงไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยระบบไฟฟ้า และระบบควบคุมจะมีพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับแต่งตัวควบคุมอัตโนมัติ (AGC) โดยเฉพาะตัวควบคุมแบบ PID (Proportional Integral Derivative Control) งานวิจัยนี้แนะนำการใช้อัลกอริทึมหมากรุกและ PSO (Particle Swarm

Optimization) เพื่อปรับแต่งพารามิเตอร์และประเมินประสิทธิภาพของวิธีนี้ในบริบทของการเปลี่ยนแปลงขนาดโหลดไฟฟ้า แบบไดนามิกจากการทดลองพบว่า การใช้อัลกอริทึมหาค่าเหมาะที่สุดเพื่อปรับแต่งพารามิเตอร์ของระบบผลิตไฟฟ้า จะทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า

2.8.2 Farheen Bano, Muhammad Ayaz , Dur-e-Zehra Baig และ Syed Muhammad Hur Rizvi [26] งานวิจัยนี้ได้ประเมินกลยุทธ์การควบคุมความถี่โหลด LFC (Load Frequency Control) ต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงตัวควบคุม PID แบบดั้งเดิม การปรับแต่ง PID โดยใช้ อัลกอริทึมพันธุกรรม GA (Genetic Algorithm) การปรับแต่ง PID โดยใช้อัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยฝูงอนุภาค PSO (Particle Swarm Optimization) และตัวควบคุมที่ใช้เครือข่ายประสาทเทียม ANN (Artificial Neural Network) ทั้งในโครงข่ายไฟฟ้าระบบเดียว และโครงข่ายที่เชื่อมต่อกัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า PID ที่ปรับแต่งด้วย GA และ PSO มีประสิทธิภาพเหนือกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม โดยให้ค่าความเกินที่ต่ำที่สุด (Minimal Overshoot) และเวลาเข้าที่ (Settling Time) ที่รวดเร็ว การวางตำแหน่งขั้วมีความสมดุลระหว่างเวลาตอบสนอง และเสถียรภาพ ขณะที่ตัวควบคุม ANN แสดงความสามารถในการปรับตัว และเวลาขึ้น (Rise Time) ที่รวดเร็ว แต่กลับมีความเกินที่สูงกว่า และเวลาเข้าที่ ที่นานกว่าวิธีการปรับแต่งแบบหาค่าที่เหมาะสม การควบคุมด้วยสายส่ง (Tie-line Bias Control) ช่วยให้การปรับเสถียรภาพความถี่ดีขึ้น แต่ยังคงมีปัญหา และเวลาดังค่าที่ยาวนาน ที่น่าสังเกตคือ PID ที่ปรับแต่งด้วย PSO แสดงศักยภาพที่โดดเด่น โดยสามารถลดความเกิน และฟื้นตัวความถี่ได้อย่างรวดเร็ว การศึกษานี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของกลยุทธ์การควบคุมที่เหมาะสม ต่อ LFC ซึ่งจำเป็นต่อการเพิ่มเสถียรภาพ และประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า

2.8.3 Mahmud Iwan Solihin, Lee Fook Tack และ Moey Leap Kean [27] จากงานวิจัยพบว่าตัวควบคุม PID ที่ออกแบบโดยใช้การปรับแต่งด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพด้วย PSO มีค่า ลูกคลื่น (Overshoot) น้อยกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม ZN (Ziegler-Nichols) ตัวควบคุม PID ที่ปรับแต่งด้วย PSO โดยใช้ดัชนีประสิทธิภาพ (Performance Index) ที่แตกต่างกันมีผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกัน ยกเว้นกรณีที่ปรับแต่งด้วย ITSE (Integral of Time weighted Squared Error) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เวลาเข้าที่ (Settling Time) ยาวนานกว่า วิธีการแบบดั้งเดิมมีประโยชน์ในการให้ค่าตั้งต้นของพารามิเตอร์ PID ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการปรับแต่งเพิ่มเติม สรุปคือการใช้วิธีการปรับแต่งสมัยใหม่ จึงเป็นการเสริมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวควบคุม PID ที่ออกแบบโดยวิธีดั้งเดิมได้อย่างเห็นผล นอกจากนี้ยังมีเทคนิคหลากหลายที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพได้ โดย PSO ถือเป็นหนึ่งในเครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพที่มีประสิทธิภาพ และทันสมัยในปัจจุบัน

2.8.4 ByTapan Prakash, Praveen Prakash Singh, Vinay Pratap Singh และ Sri Niwas Singh [28] ได้นำเสนอตัวปรับแต่งใหม่ที่เรียกว่า BOA (Brown-Bear Optimization

Algorithm) ซึ่งมีพื้นฐานจากรูปแบบการสื่อสารระหว่างหมีสีน้ำตาล ที่ใช้พฤติกรรมการสร้างรอยกลิ่นด้วยอุ้งเท้า (pedal scent marking) และการดมกลิ่น (sniffing behavior) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจ่ายไฟฟ้าแบบประหยัด (Economic Dispatch Problem หรือ EDP) เป็นปัญหาสำคัญในการดำเนินงานระบบไฟฟ้าอย่างเหมาะสมพฤติกรรมการสร้างรอยกลิ่นด้วยอุ้งเท้าของหมี ซึ่งเป็นวิธีการสื่อสารที่ ถูกอธิบายด้วยคุณสมบัติหลากหลาย เช่น การเดินเป็นเอกลักษณ์ในขณะที่เดิน การเหยียบอย่างระมัดระวังบนรอยเท้าเดิม และการบิดเท้าบนรอยที่พื้นดิน พฤติกรรมการดมกลิ่นที่พบในหมีช่วยเสริมความแข็งแกร่งให้การสื่อสารของพวกมัน จากพฤติกรรมเหล่านี้ ได้มีการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้าง BOA ขึ้น โดยอัลกอริทึมนี้สามารถรักษาสมดุลระหว่างการสำรวจและการแสวงหาผลลัพธ์ และไม่ต้องพึ่งพาพารามิเตอร์เฉพาะของอัลกอริทึม เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ BOA ได้มีการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมนี้ในการแก้ปัญหาฟังก์ชัน ทดสอบมาตรฐานหลายรูปแบบที่มีความซับซ้อนต่างกัน พร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอัลกอริทึมการปรับแต่งอื่น ๆ เพื่อยืนยันความสามารถของ BOA โดยพบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าอัลกอริทึมที่มีอยู่ในปัจจุบันในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับฟังก์ชันทดสอบมาตรฐาน และยังมีการใช้การทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Wilcoxon's signed rank test เพื่อยืนยันความมีผลลัพธ์ที่ได้ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า BOA ให้ผลลัพธ์ที่มีนัยสำคัญมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมที่ทันสมัยอื่น ๆ นอกจากนี้ BOA ยังถูกนำไปใช้ในการแก้ปัญหา EDP โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนรวมภายใต้ข้อจำกัดเชิงปฏิบัติ ผลลัพธ์ที่ได้จาก BOA มีต้นทุนต่ำกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมการปรับแต่งอื่น ๆ ที่มีการรายงานไว้ในวรรณกรรมอย่างชัดเจน

2.8.5 Arun Kumar Maurya, Devendra Singh, Hera Khan และ Parveen Kumar [24] ได้ศึกษาระบบควบคุมผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติ AGC ใช้การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาคุณพลวัตของการผลิตไฟฟ้า และความผันผวนของโหลดไฟฟ้า โดยแบบจำลองระบบอันดับสองแบบดั้งเดิมที่ประกอบด้วยตัวควบคุมความเร็ว (governor) และกังหัน (turbine) นั้น เป็นแบบจำลองที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการจัดการความถี่โหลดในพื้นที่เดียว (single-area load frequency management) แต่การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่ระบบไฟฟ้าสองพื้นที่ (two-area electrical power system) โดยใช้แบบจำลอง MATLAB/SIMULINK ถูกนำมาใช้เพื่อผสมผสานตัวควบคุม PI และ PID สำหรับควบคุมความถี่และสายส่งไฟฟ้า (Tie line) ของระบบไฟฟ้าสองพื้นที่ และยังได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบตัวควบคุมทั้งสองประเภท ด้วยเทคนิคการปรับค่า PID-tuned ที่ปรับค่าที่กำหนดให้กับตัวควบคุมเพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น ตัวควบคุม PID ที่มีหน้าที่กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง หรือส่วนประกอบอื่น ๆ เพื่อรักษาสภาพการทำงานให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ในฐานะที่เป็นวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย ตัวควบคุมสัดส่วน อินทิกรัล อนุพันธ์ ถูกนำไปใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษา

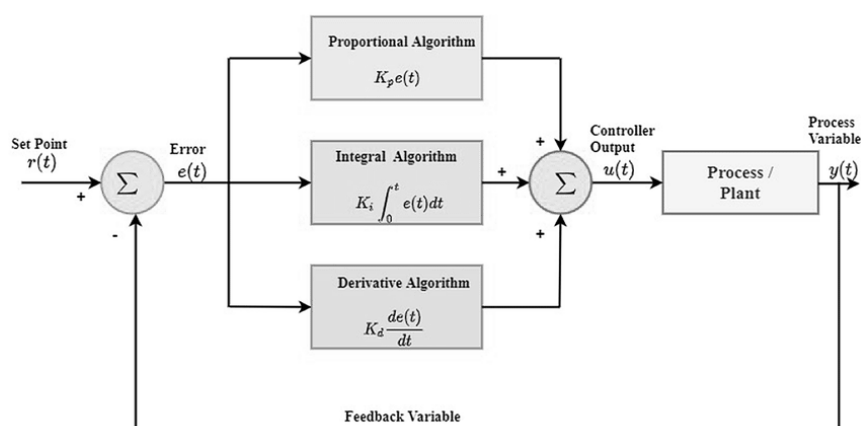
ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้าง และหลักการพื้นฐานของตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Controller) รวมถึงวิธีการออกแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการปรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID เช่น เทคนิควิธีพันธุกรรม GA (Genetic Algorithm) เทคนิควิธีฝูงอนุภาค PSO (Particle Swarm Optimization) และเทคนิควิธีหมีสีน้ำตาล BOA (Brown Bear Optimization Algorithm) นอกจากนี้ยังมีการอธิบายขั้นตอนการออกแบบและการจำลองระบบควบคุมโดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เพื่อทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวควบคุม PID ที่ออกแบบ

3.1 หลักการและโครงสร้างตัวควบคุมแบบพีไอดี

โครงสร้างของตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) ที่มีความนิยมอย่างมากและมีรูปแบบที่ไม่ซับซ้อน โครงสร้างตัวควบคุม [13] PID (Proportional Integral Derivative Control) แบบขนานนั้นมีประสิทธิภาพในการควบคุมที่สูง และเหนือชั้นมาก และยังมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนจนยากเกินไป ทำให้ง่ายในการปรับแต่งกับขยายความสามารถของตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) ตามที่ต้องการ

การที่นำไปใช้สถานการณ์จริงนั้น อาจต้องเปลี่ยนโครงสร้างหรือเพิ่มฟังก์ชัน ที่จะให้ตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) ได้ทำงานตามที่ต้องการ และมีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองในการใช้งานในงานต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด การปรับเปลี่ยนและการเพิ่มความสามารถในตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพื่อที่จะอยากให้ทำงานเต็มที่ในสถานการณ์ และการใช้งานอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมวัตถุประสงค์ของตัวควบคุมที่กำหนดไว้ ตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) แสดงดังสมการที่ (3.1) และโครงสร้างบล็อกไดอะแกรม ในภาพประกอบ 6 โครงสร้างตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) แบบขนาน

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.1)$$



ภาพประกอบ 8 โครงสร้างตัวควบคุม PID แบบขนาน

การประยุกต์ใช้ตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) ดังแสดงในภาพประกอบ 8 เริ่มมีข้อจำกัดเมื่อนำมาใช้ในสถานการณ์จริง ดังนั้นต้องมีการดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขตัวควบคุมให้ใช้งานได้ตามที่ต้องการ มีเป้าหมายที่สำคัญคือทำการออกแบบตัวควบคุมให้อิสระที่เพียงพอ เพื่อให้ตอบสนองต่อค่าคำสั่งอ้างอิง (Setpoint) อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังคำนึงถึงความสามารถการตอบสนองต่อโหลดรบกวน (Load Disturbance) การลดทอนสัญญาณรบกวนที่มาจากการตรวจจับ (Measurement Noise) ทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสถานการณ์หรือสภาวะจริง การปรับปรุงนี้มีความจำเป็นเพื่อให้ตัวควบคุม PID ทำงานได้อย่างแม่นยำ มีประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมระบบ หรือกระบวนการต่าง ๆ

3.2 การประยุกต์ใช้วิธีหาค่าเหมาะที่สุดในการออกแบบพีไอดี

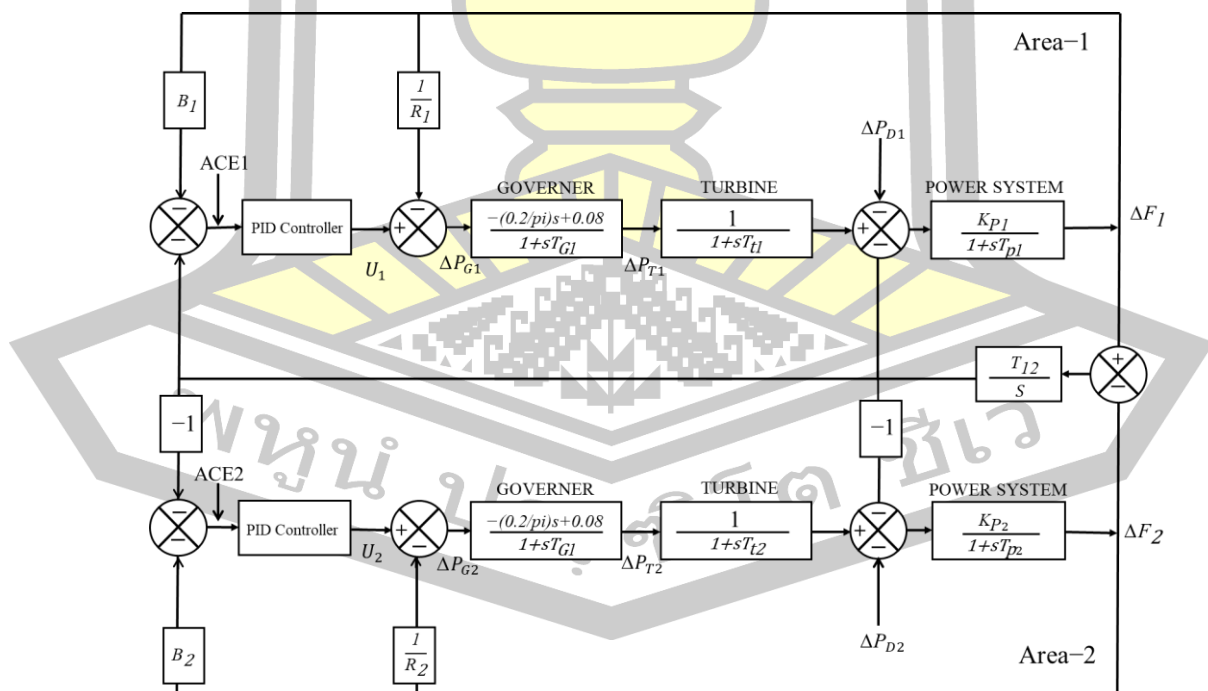
เมื่อมีความต้องการออกแบบตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative) ในระบบต่าง ๆ ต้องใช้ เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดมาพัฒนาตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้กับพารามิเตอร์ของ PID (Proportional Integral Derivative Control) ประกอบด้วย อัตราขยายสัดส่วน K_p อัตราขยายปริพันธ์ K_i และอัตราขยายอนุพันธ์ K_d จำเป็นต้องใช้วิธีการหาค่าเหมาะที่สุด

เมื่อค่าอัตราขยายสัดส่วน K_p มีค่าสูงมาก ระบบอาจจะไม่มีเสถียรภาพ และค่าโอเวอร์ชูตจะมีค่าสูงเหมือนกัน เมื่อค่า K_p มีค่าต่ำมาก ผลตอบสนองของระบบอาจจะมีความช้า และค่าความผิดพลาดในระบบจะสูง ในส่วนของอัตราขยายปริพันธ์ K_i เมื่อมีค่าสูงมาก จะเกิดค่าโอเวอร์ชูตสูงขึ้น แต่เมื่อค่า K_i มีค่าต่ำมาก ผลตอบสนองของระบบอาจจะมีความช้า และค่าความผิดพลาดในระบบจะสูง ในส่วนสุดท้ายอัตราขยายอนุพันธ์ K_d เมื่อค่าสูงมาก ระบบจะไม่มีเสถียรภาพ และค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบควบคุมที่ใช้

ความหมายช่วงขอบเขตที่รับค่าพารามิเตอร์ ทำการพิจารณาจากอัตราขยายสัดส่วน K_p มีค่าในช่วงระหว่าง 0 ถึง 10 อัตราขยายปริพันธ์ K_i มีค่าในช่วงระหว่าง 0 ถึง 10 อัตราขยายอนุพันธ์ K_d มีค่าในช่วงระหว่าง 0 ถึง 10 เมื่อเราต้องการค่าที่ใช้ในระบบควรเลือกค่าที่เหมาะสมภายในช่วงที่กล่าวมาเบื้องต้นเพื่อให้ระบบควบคุมทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

หาค่าอัตราขยายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวควบคุมแบบ PID (Proportional Integral Derivative Control) วิทยานิพนธ์นี้ ใช้เทคนิคหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยผสมกับระบบส่งไฟฟ้าความร้อนสองพื้นที่ ดังภาพประกอบ 9

โดยเริ่มกำหนด และแทนค่าพารามิเตอร์สำหรับระบบเชื่อมโยงกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนสองพื้นที่ ประกอบด้วย 15 พารามิเตอร์ ดังตาราง 3 แบบจำลองเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนสองพื้นที่ภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 การเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนสองพื้นที่

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์สำหรับระบบเชื่อมกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนสองพื้นที่

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
B_1, B_2	0.425 p.u.Mw/Hz
R_1, R_2	2.4 Hz/p.u.
d_{11}	0.01 Hz
d_{12}	0.00 Hz
T_{g1}, T_{g2}	0.08 s
k_{p1}, k_{p2}	120 Hz/p.u.Mw
T_{t1}, T_{t2}	0.3 s
T_{p1}, T_{p2}	20 s
T_{12}	0.707 p.u.

โดยมาทดสอบและเปรียบเทียบ 3 วิธี โดยวิธีที่ทดสอบคือ Brown Bear Optimization Algorithm ,Particle Swarm Optimization และ Genetic Algorithm ต่อจากนี้ เป็นการประยุกต์วิธีหมีสีน้ำตาลมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ระเบียบการดำเนินของวิธีหมีสีน้ำตาลในการหาค่าเหมาะสมที่สุดของอัตราขยายต่าง ๆ ของตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) มีขั้นตอนดังนี้

จำนวนตัวแปรที่ต้องการค้นหา

ขอบเขตบน 10

ขอบเขตล่าง 0

จำนวนหมี 30

จำนวนรอบการค้นหา (Maximum Generation) 30

ขั้นตอนที่ 1 : เริ่มกำหนดจำนวนประชากรหมีสีน้ำตาล และสร้างอาณาเขตกลุ่มหมีสีน้ำตาล และสุ่มการเหยียบของกลุ่มหมีสีน้ำตาล

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์ค่าสมบูรณ์ของการทดลองสุ่มของประชากรหมีสีน้ำตาล และเลือกขอบเขตการเหยียบที่ดีที่สุด และแย่ที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 ทำสัญลักษณ์เครื่องหมายส่งกลับเท่า โดยเทียบอย่างเป็นเอกลักษณ์ และการเทียบอย่างรอบคอบไม่ประมาท และอีกอย่างคือการทำลอยเท่าลงเป็นลอยเดินที่พื้น

ขั้นตอนที่ 4 หมิติเพศผู้แต่ละกลุ่มถือเป็นอันเดียวกัน โดยการเทียบจนกว่าจะถึงจำนวนรอบทั้งหมด และทำเครื่องหมายของการเทียบที่ผ่านมาไว้ เพื่อเช็คว่าการเทียบทั้งหมดว่าอันไหนดีที่สุด และอันไหนไม่ควรเทียบอีกต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบรอยเท้าของการเทียบอีกรอบ และของการวนซ้ำจนกว่าจะถึงรอบสุดท้าย

ขั้นตอนที่ 6 พฤติกรรมสุดท้ายที่ช่วยหิมิสน้ำตาลที่ช่วยติดต่อกันได้ง่ายโดยจากการทั้งสัญลักษณ์จากรอยเท้าโดยทำการควบคุมให้อยู่ในเขต

ขั้นตอนที่ 7 ถ้าตรวจสอบแล้วพบเงื่อนไขการหยุดถ้ายังไม่เจอค่าที่ดีที่สุดให้ย้อนกลับไปทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้าได้ค่าที่ดีที่สุดให้หยุดทำงาน

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ของ BOA (Brown Bear Algorithm)

ตัวแปร	ค่าพารามิเตอร์
nop	30
maxTter	30
NumberofBrownBears	30

เทคนิควิธีฝูงอนุภาคมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ระเบียบการดำเนินของวิธีกลุ่มอนุภาคในการหาค่าเหมาะสมที่สุดของอัตราขยายต่าง ๆ ของตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) มีขั้นตอนดังนี้

จำนวนตัวแปรที่ต้องการค้นหา

ขอบเขตบน 10

ขอบเขตล่าง 0

จำนวนอนุภาค 30

จำนวนรอบการค้นหา (Maximum Generation) 30

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าที่จะค้นหาโดยค่าที่ต่ำสุด สูงสุด ของพารามิเตอร์ทุกตัว และโดยสุ่มค่าเริ่มต้นของอนุภาคแต่ละตัวสุ่มหาแต่ละมิติ และสุ่มหาค่าความเร็วค่าเริ่มต้น ลำดับต่อไปกำหนดให้

เป็นค่าเริ่มต้นที่ดีที่สุดที่ค้นพบแล้วอนุภาคแต่ละตัว และกำหนดอนุภาคที่ค้นหาที่ถูกที่สุดของอนุภาคทั้งหมด โดยคำตอบพวกนี้ต้องเป็นคำตอบที่เป็นไปได้มากที่สุด ต้องอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด และเข้ากับเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ

ขั้นตอนที่ 2 หาฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละอนุภาค และทำการประเมินเปรียบเทียบค่าอนุภาคแต่ละตัว พร้อมแทนให้เป็น แล้วเอาค่าที่คิดว่าถูกต้องที่สุด โดยแทน

ขั้นตอนที่ 3 การปรับเปลี่ยนค่าความเร็วใหม่ของอนุภาคของแต่ละตัว

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อพบความเร็วใหม่จากขั้นตอนที่ 3 ให้ตรวจสอบ

ขั้นตอนที่ 5 ทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งใหม่ของอนุภาคแต่ละตัว

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบที่ค้นพบใหม่ของอนุภาคต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดและสอดคล้องกับเงื่อนไขที่บังคับต่าง ๆ ถ้าไม่อยู่ในขอบเขตที่เข้าเงื่อนไขก็ให้อนุภาคนั้นอยู่ตำแหน่งเดิม

ขั้นตอนที่ 7 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้ายังไม่ถูกค่าที่สูงสุดให้ย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้าถึงค่าที่สูงสุดให้หยุดทำงาน

ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ของ PSO (Particle Swarm Optimization)

ตัวแปร	ค่าพารามิเตอร์
nop	30
master	30
wMin	1
Wmax	0.1
C_1, C_2	2
$V_{Max}=(ub-lb)$	*0.2
VMin	-VMin

เทคนิควิธีพันธุกรรมมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ระเบียบการดำเนินของวิธีพันธุกรรมในการหาค่าเหมาะสมที่สุดของอัตราขยายต่าง ๆ ของตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) มีขั้นตอนดังนี้

จำนวนตัวแปรที่ต้องการค้นหา

ขอบเขตบน 10

ขอบเขตล่าง 0

ขนาดประชากร 30

กำหนดรุ่น 30

จำนวนรอบการค้นหา (Maximum Generation) 30 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 1 สร้างประชากรเริ่มต้นรูปแบบโครโมโซม โดยสุ่มประชากรต้นแบบที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์และหาค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 3 การคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) อ้างอิงจากค่าฟังก์ชันความเหมาะสม โดยการพิจารณาจากค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่สุด และพิจารณาค่าน้ำหนักที่ถูกเลือกในการถูกเลือกสูง

ขั้นตอนที่ 4 การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) โดยเลือกบางส่วนของโครโมโซมที่ดีที่สุดของพ่อและแม่เพื่อจะมาสร้างโครโมโซมรุ่นลูก ตามอัตราที่ความเป็นไปได้ในการข้ามสายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 5 การกลายพันธุ์ (Mutation) โดยการเปลี่ยนค่าโครโมโซมบางตำแหน่งเป็นค่าตำแหน่งที่สุ่มได้ ในความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 6 การแทนประชากร (Replacement) ประชากรรุ่นใหม่ของชุดโครโมโซมรุ่นลูกที่เกิดจากวิวัฒนาการต่าง ๆ ข้างต้น โดยจะถูกนำไปแทนที่ประชากรก่อนหน้านี้ และถูกนำไปเป็นวิวัฒนาการใหม่ทำโดยกระบวนการต่าง ๆ จะถูกปฏิบัติซ้ำ ๆ จนจะถึงรุ่นที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 7 เพิ่มจำนวนประชากรของจำนวนรุ่น ($Gen = Gen + 1$) และตรวจเงื่อนไข ถ้าค่าที่อยากได้ตรงตามเงื่อนไขให้หยุด ถ้าไม่ย้อนกลับไปทำซ้ำยังขั้นตอนที่ 2

ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ของ GA (Genetic Algorithm)

ตัวแปร	ค่าพารามิเตอร์
Generations	30
PopulationSize	30

3.3 การดำเนินการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทดสอบระบบ

ฟังก์ชันที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) ของระบบโรงงานพลังงานความร้อนสองพื้นที่ ได้สร้างขึ้นเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ

พารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) โดยจะประกอบไปด้วย k_p , k_i , k_d ภายในปริภูมิค้นหา มีดัชนีสมรรถนะที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของระบบมี 4 ประเภท ดังต่อไปนี้

- 1) ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ IAE (Integral Absolute Error) ดังสมการที่ (3.2)

$$IAE = \int_0^{30} |e(t)| dt \quad (3.2)$$

- 2) ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดกำลังสอง ISE (Integral Square Error) ดังสมการที่ (3.3)

$$ISE = \int_0^{30} e^2(t) dt \quad (3.3)$$

- 3) ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา ITAE (Integral Time Multiplied Absolute Error) ดังสมการที่ (3.4)

$$ITAE = \int_0^{30} t|e(t)| dt \quad (3.4)$$

- 4) ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา ITSE (Integral Time multiplied Square Error) ดังสมการที่ (3.5)

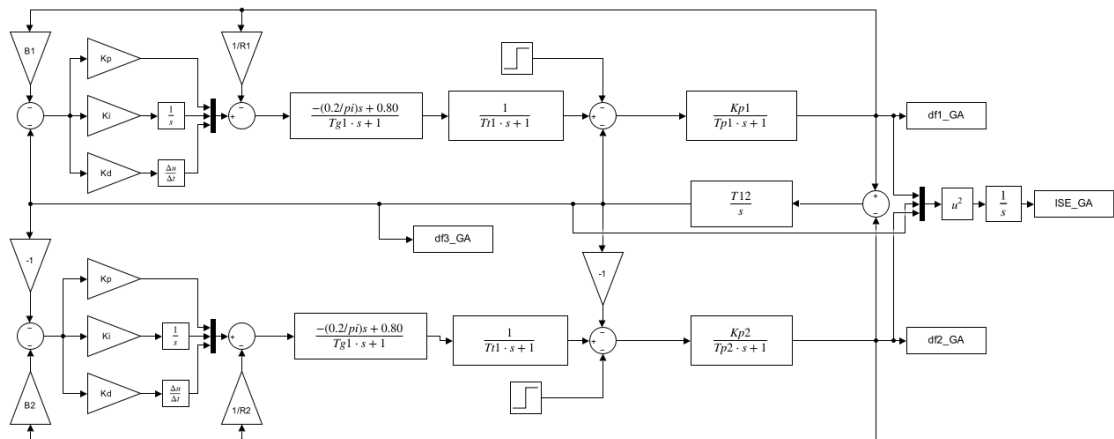
$$ITSE = \int_0^{30} te^2(t) dt \quad (3.5)$$

และยังได้พิจารณานำเสนอเกณฑ์สมรรถนะโดเมนเวลา (Time Domain) คือค่าโอเวอร์ชูต (Overshoot), ค่าเวลาที่เพิ่มขึ้น (Rise Time) และค่าเวลาเข้าสู่สมดุล (Steady State Error)

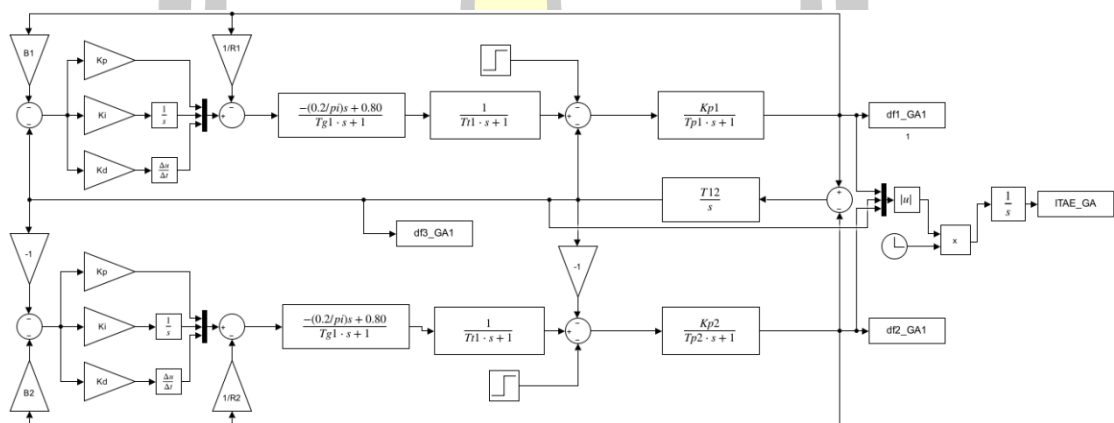
การปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในเทคนิควิหิงฝูงอนุภาค PSO (Particle Swarm Optimization) เทคนิควิหิงพันธุกรรม GA (Genetic Algorithm) และเทคนิควิหิงหมีน้ำตาล BOA (Brown Bear Optimization) เพื่อค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและมีความซับซ้อนอย่างมาก การ

ทดสอบ และประเมินผลนั้นเกิดขึ้นกับขั้นตอนแรกในการค้นหา การทดสอบหลายรอบเป็นการที่สำคัญเพื่อลดความเสถียร และลดผลกระทบจากการที่สุ่มค่าเริ่มต้น ความซับซ้อนเทคนิควิธีฝูงอนุภาค เทคนิควิธีพันธุกรรม และเทคนิควิธีมีสีน้ำตาล นั้นต้องพิจารณาค่าทำตอบที่ทดลองอย่างละรอบโดยละเอียด ดังนั้น การทดสอบที่ทดสอบข้อมูลจากค่าพารามิเตอร์ในเทคนิควิธีฝูงอนุภาค, เทคนิควิธีพันธุกรรม และเทคนิควิธีมีสีน้ำตาล ทำให้สมบูรณ์เลยจะทำการทดสอบ 30 รอบ เพื่อลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นจากค่าตอบที่เริ่มต้นจากการสุ่ม

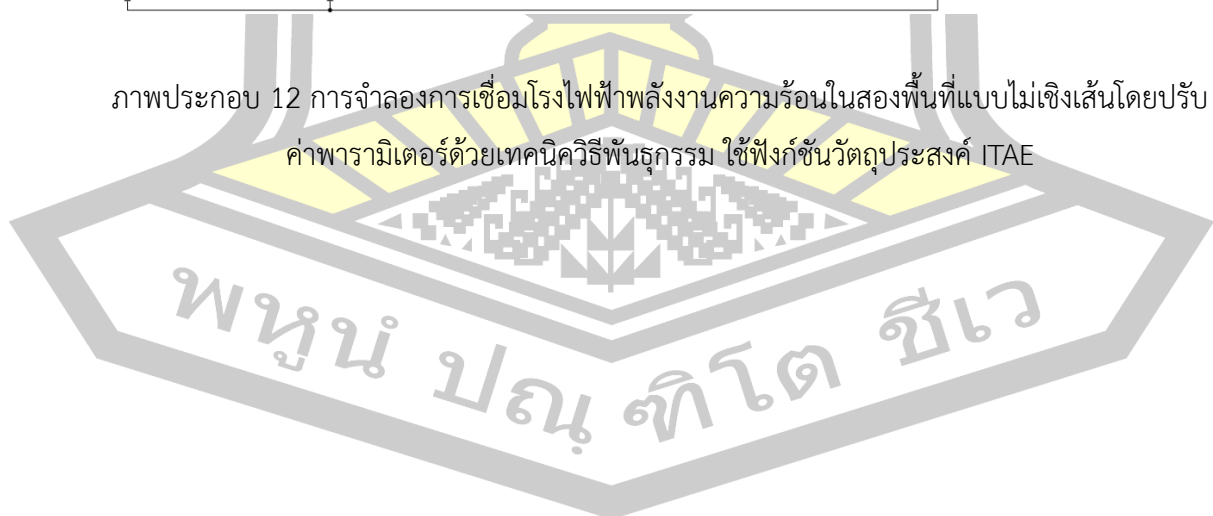


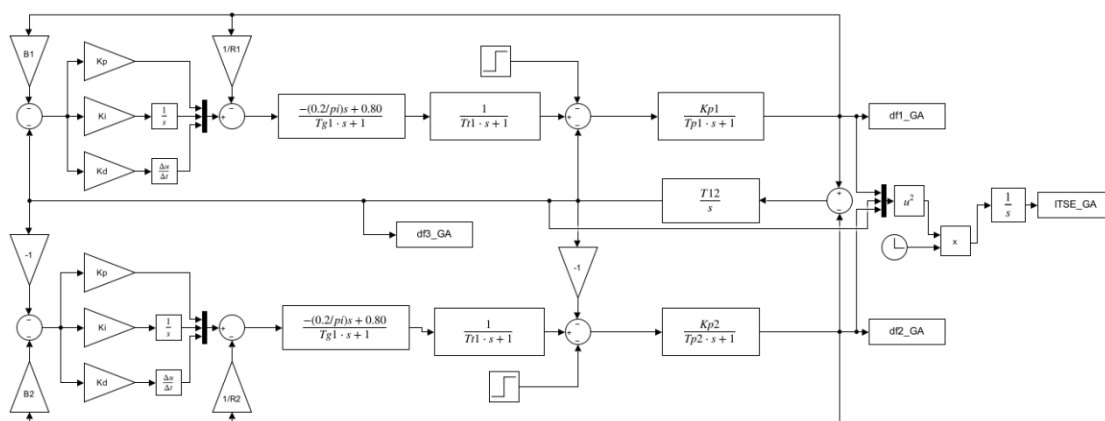


ภาพประกอบ 11 การจำลองการเชื่อมโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธีพันธุกรรม ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ISE



ภาพประกอบ 12 การจำลองการเชื่อมโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธีพันธุกรรม ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE



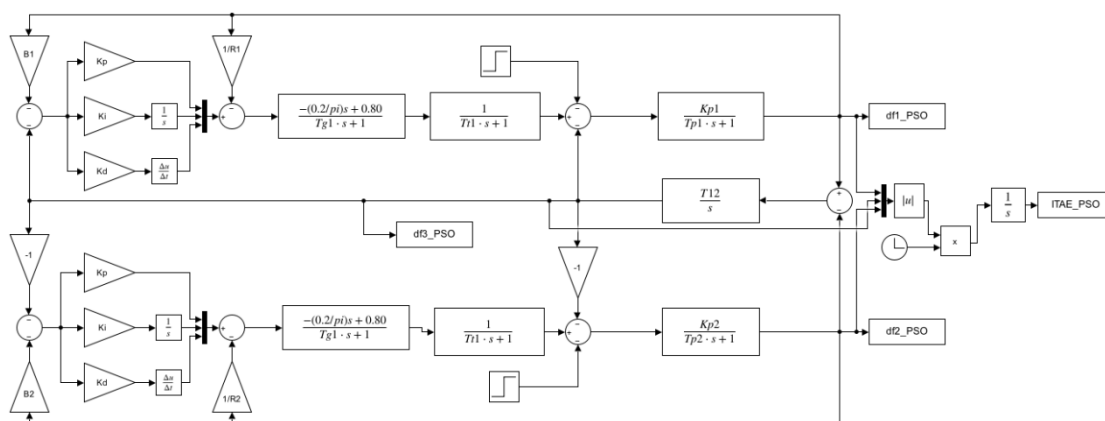


ภาพประกอบ 13 การจำลองการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิวัฒนาการ ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE

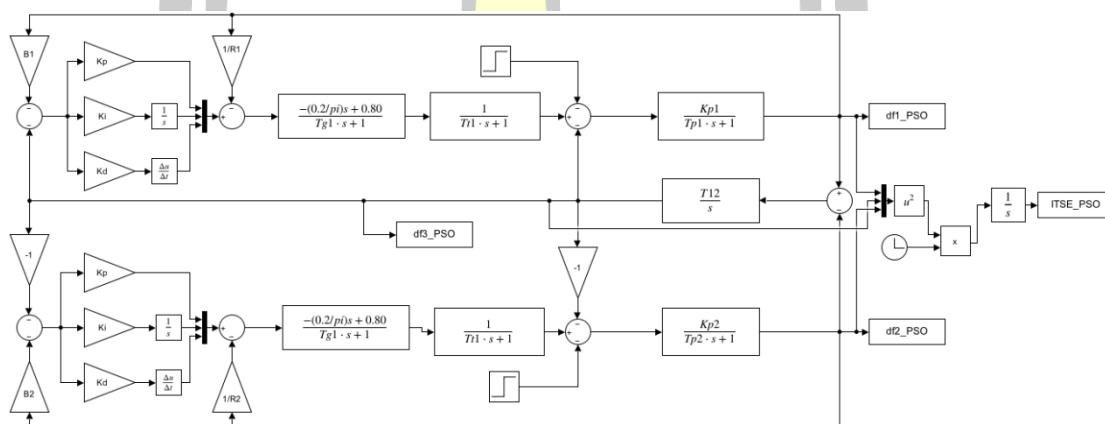
จากภาพประกอบ 10-13 สามารถสังเกตการณ์จำลองตัวดำเนินงานด้วยเทคนิควิธีพันธุกรรม เพื่อที่จะออกแบบหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมพีไอดี ด้วยวิธีการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของโรงไฟฟ้าสองพื้นที่เข้าพร้อมกัน การทดสอบการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าได้รับการกำหนดโหลดมีการเปลี่ยนแปลง $t = 1$ s ที่ 0.01 p.u. ในพื้นที่ ที่ 1 และ 0.00 p.u. ในพื้นที่ ที่ 2 ผลลัพธ์ได้จากการทดลองนี้จะประกอบไปด้วยการเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 และ 2 ยังรวมไปถึงการเบี่ยงเบนสายส่ง การประเมินผลเบี่ยงเบนนั้น โดยทำได้จากการใช้ฟังก์ชันของวัตถุประสงค์ 4 แบบ คือ IAE (Integral Absolute Error), ISE (Integral Square Error), ITAE (Integral Time Multiplied Absolute Error) และ ITSE (Integral Time multiplied Square Error) ผลที่ได้จากการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีเทคนิควิธีพันธุกรรม

เทคนิควิธีอัลกอริทึม		IAE	ISE	ITAE	ITSE
เทคนิควิธีพันธุกรรม	Kp	3.3538	3.3599	3.3799	3.4382
	Ki	9.2802	9.9993	9.0488	9.9965
	Kd	1.1563	1.4246	1.1207	1.3518



ภาพประกอบ 16 การจำลองการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิวัฒนาการ ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE



ภาพประกอบ 17 การจำลองการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิวัฒนาการ ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE

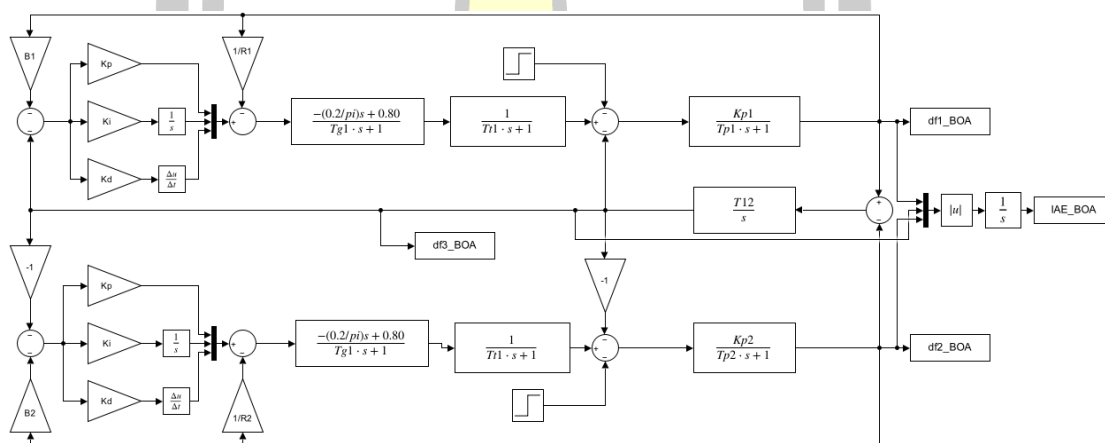
จากภาพประกอบ 14-17 สามารถสังเกตการณ์จำลองตัวดำเนินการด้วยเทคนิควิวัฒนาการ เพื่อที่จะออกแบบหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมฟuzzy ด้วยวิธีการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของโรงไฟฟ้าสองพื้นที่เข้าพร้อมกัน การทดสอบการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าได้รับการกำหนดโหลดมีการเปลี่ยนแปลง $t = 1$ s ที่ 0.01 p.u. ในพื้นที่ ที่ 1 และ 0.00 p.u. ในพื้นที่ ที่ 2 ผลลัพธ์ได้จากการทดลองนี้จะประกอบไปด้วยการเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 และ 2 ยังรวมไปถึงการเบี่ยงเบนสายส่ง การประเมินผลเบี่ยงเบนนั้น โดยทำได้จากการใช้ฟังก์ชันของวัตถุประสงค์ 4 แบบ คือ IAE (Integral Absolute Error), ISE (Integral Square Error), ITAE (Integral Time

Multiplied Absolute Error) และ ITSE (Integral Time multiplied Square Error) ผลที่ได้จากการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีเทคนิควิธีฝูงอนุภาค

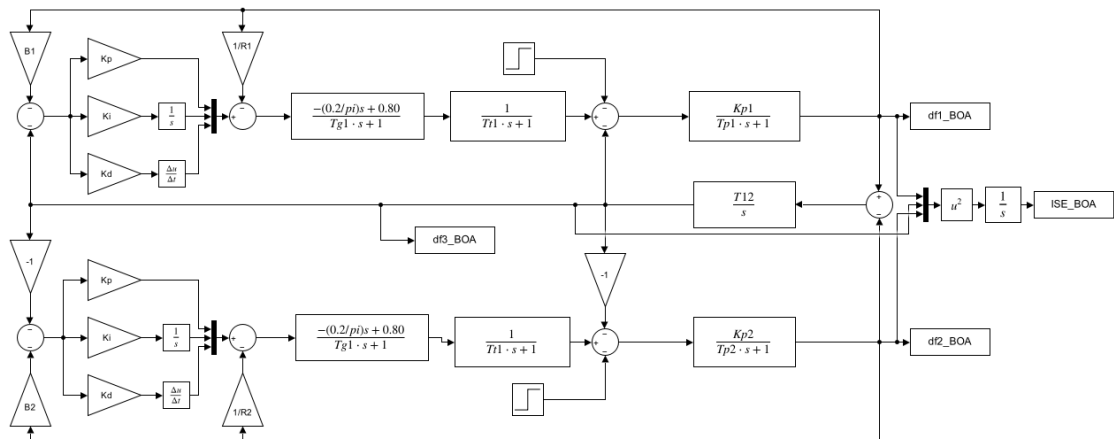
เทคนิควิธีอัลกอริทึม		IAE	ISE	ITAE	ITSE
เทคนิควิธีฝูงอนุภาค	kp	3.2290	2.7309	2.0003	2.5200
	Ki	7.0220	7.8374	5.5609	8.6417
	Kd	1.5126	1.3846	1.1669	1.5191

4.3 การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีด้วยเทคนิควิธีหมีสีน้ำตาล

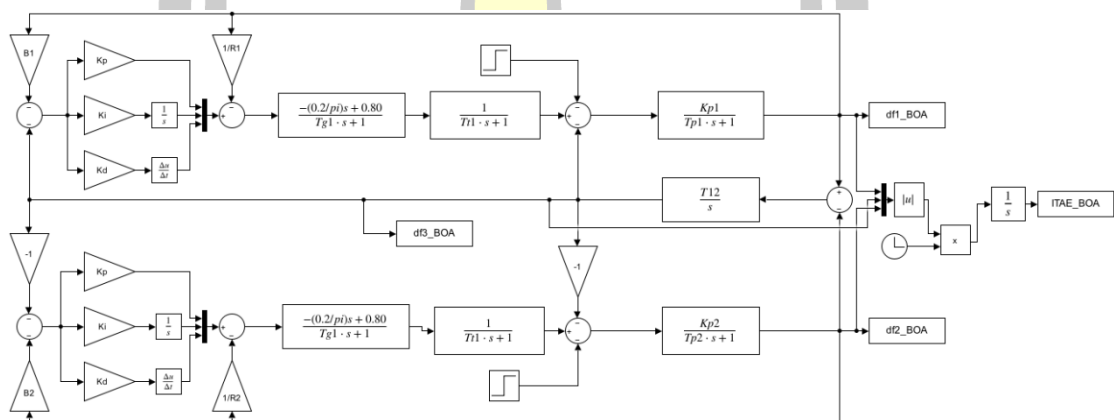


ภาพประกอบ 18 การจำลองการเชื่อมโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธีหมีสีน้ำตาล ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE

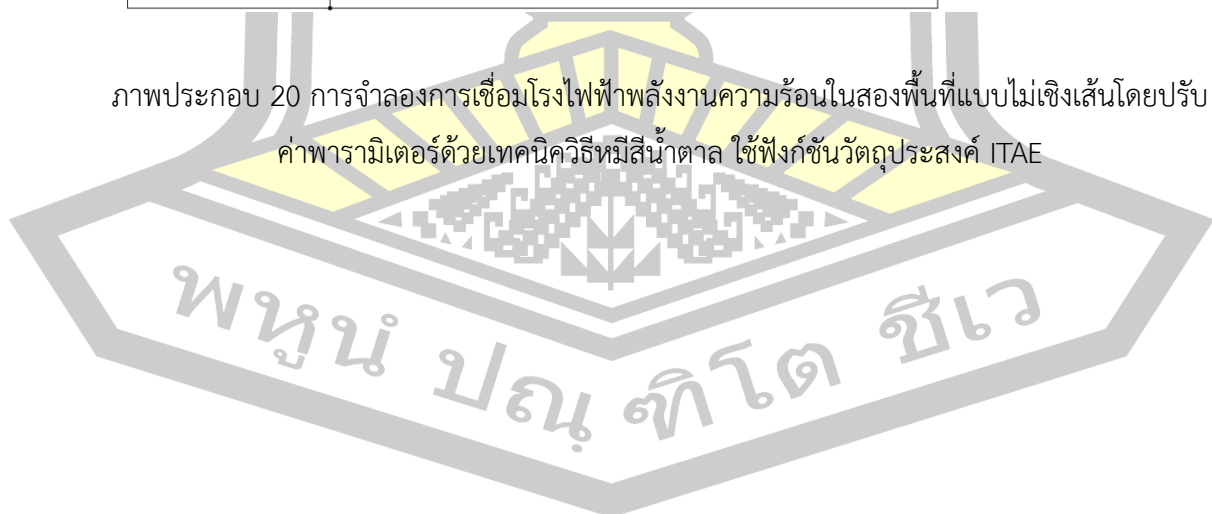
พูน ปณ ทิโต ชีว



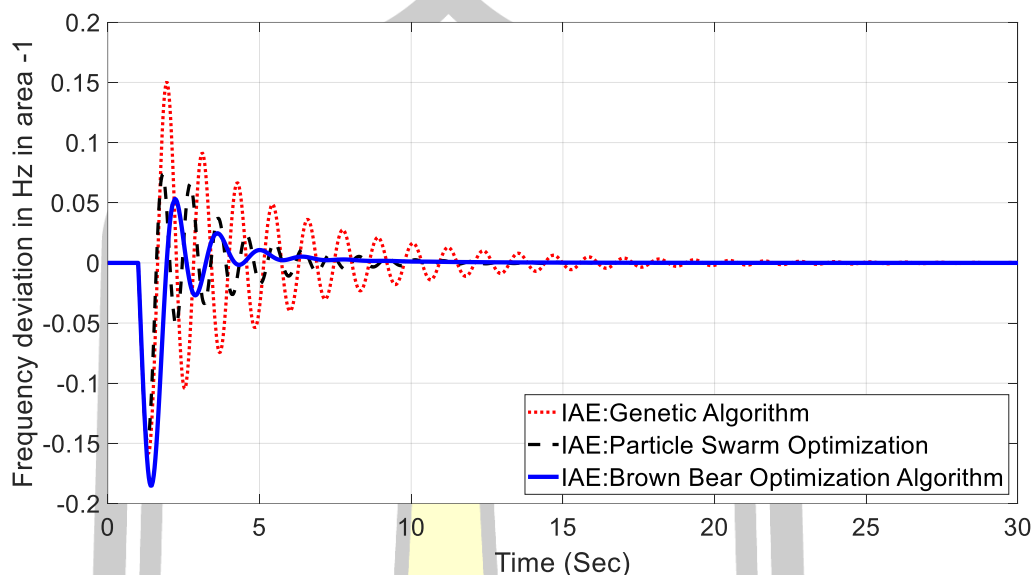
ภาพประกอบ 19 การจำลองการเชื่อมโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธีหมีสีน้ำตาล ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ISE



ภาพประกอบ 20 การจำลองการเชื่อมโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในสองพื้นที่แบบไม่เชิงเส้นโดยปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธีหมีสีน้ำตาล ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE



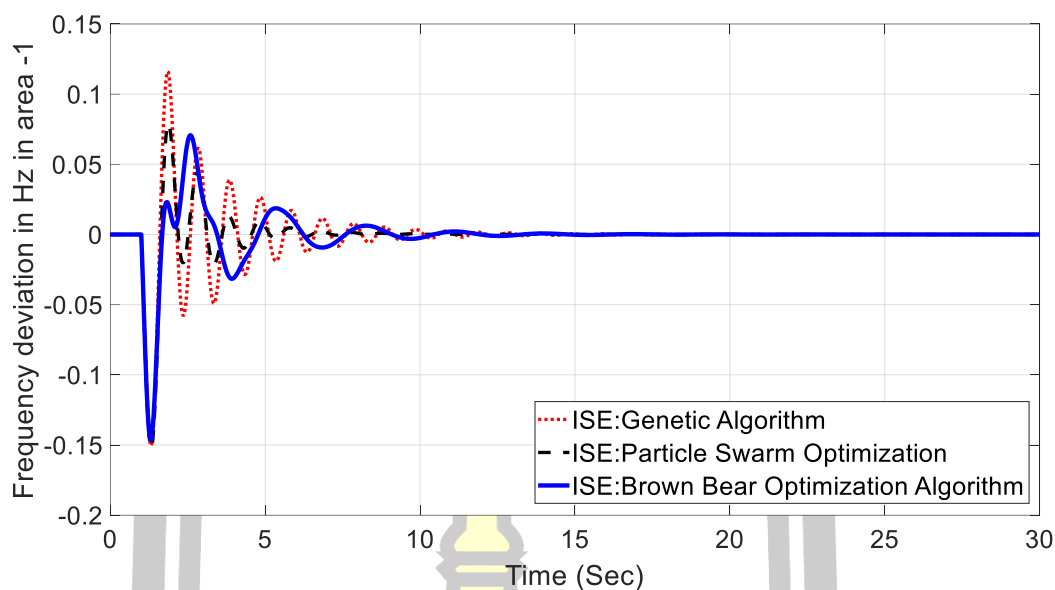
4.4 การตอบสนองพลวัต



ภาพประกอบ 22 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE

จากการผลการทดลองที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE ภาพประกอบ 22 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน สรุปได้ว่า อัลกอริทึม BOA (Brown Bear Optimization Algorithm) มีความสามารถในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ภายใต้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่เน้นการลดค่าความผิดพลาดแบบสะสม โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า BOA ช่วยให้ระบบสามารถตอบสนองต่อความผิดปกติของโหลดได้อย่างรวดเร็ว มีค่า overshoot ต่ำ และใช้เวลาเข้าสู่ภาวะคงที่สั้นกว่าการใช้ อัลกอริทึม GA และ PSO อย่างเห็นได้ชัด และสามารถลดการสั่น (oscillation) ของความถี่ในช่วงเวลาการตอบสนองได้มากที่สุด ซึ่งสะท้อนถึงความมั่นคง (stability) และความแม่นยำ (accuracy) ที่สูงของอัลกอริทึมดังกล่าว

เมื่อเปรียบเทียบกับ GA และ PSO พบว่า GA มีค่า overshoot สูงและเกิดการสั่นสะเทือนอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ PSO มีการตอบสนองที่ดีกว่า GA แต่ยังไม่สามารถลดค่า error ได้รวดเร็วเท่า BOA จึงทำให้ BOA เป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการควบคุมความถี่ในระบบที่มีลักษณะพลวัตสูง และต้องการความแม่นยำในการรักษาความเสถียรของระบบซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของฟังก์ชัน IAE

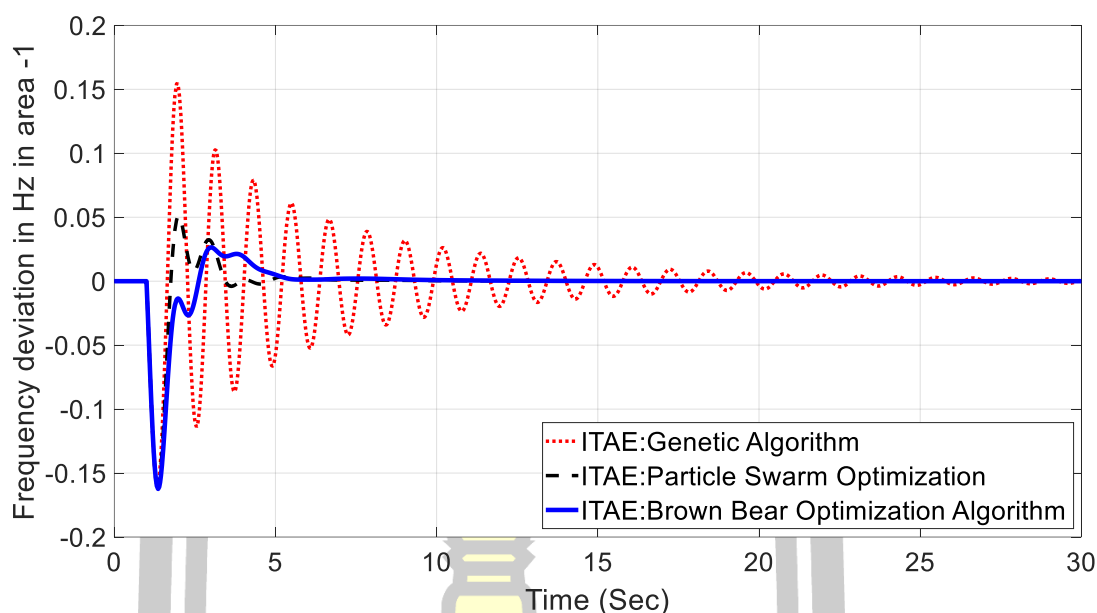


ภาพประกอบ 23 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ISE

จากการผลการทดลองที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ISE ภาพประกอบ 23 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน สรุปได้ว่า อัลกอริทึม BOA (Brown Bear Optimization Algorithm) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดความผิดพลาดของความถี่ในพื้นที่ที่ 1 โดยสามารถลดค่า overshoot และลดการสั่นของระบบในช่วงเวลาตอบสนองได้ดีกว่าอัลกอริทึม GA (Genetic Algorithm) และ PSO (Particle Swarm Optimization)

เมื่อเปรียบเทียบกับ GA และ PSO จะพบว่า GA มีการตอบสนองที่รวดเร็วแต่เกิด overshoot สูงและการสั่นสะเทือนชัดเจน ส่วน PSO แม้จะควบคุมได้เสถียรกว่า GA แต่ยังคงมีการแกว่งของค่าความถี่ในช่วงแรก โดยที่ BOA สามารถควบคุมระบบให้เข้าสู่ภาวะคงที่ได้รวดเร็ว แสดงให้เห็นถึงควมมีประสิทธิภาพในการลด error ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้เกณฑ์การประเมินของ ISE ซึ่งเน้นการลดค่าความผิดพลาดกำลังสองอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลา

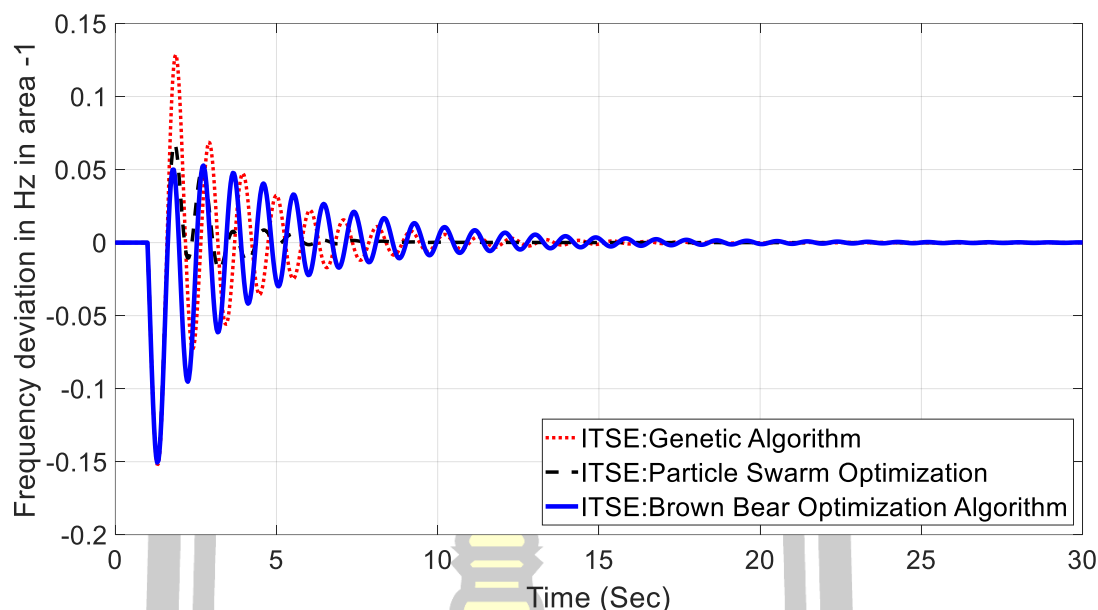
พูน ปณ จิต ชเว



ภาพประกอบ 24 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE

จากการผลการทดลองที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE ภาพประกอบ 24 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน สรุปได้ว่า อัลกอริทึม BOA (Brown Bear Optimization) สามารถควบคุมค่าความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อเทียบกับอัลกอริทึม GA (Genetic Algorithm) และ PSO (Particle Swarm Optimization) พบว่า BOA มีค่าการเบี่ยงเบนของความถี่ต่ำที่สุดในช่วงเวลาทั้งหมด และสามารถลด overshoot ได้อย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งเข้าสู่ค่าคงที่ในเวลาสั้น แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการลดผลรวมของความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนักด้วยเวลาได้ดีที่สุด

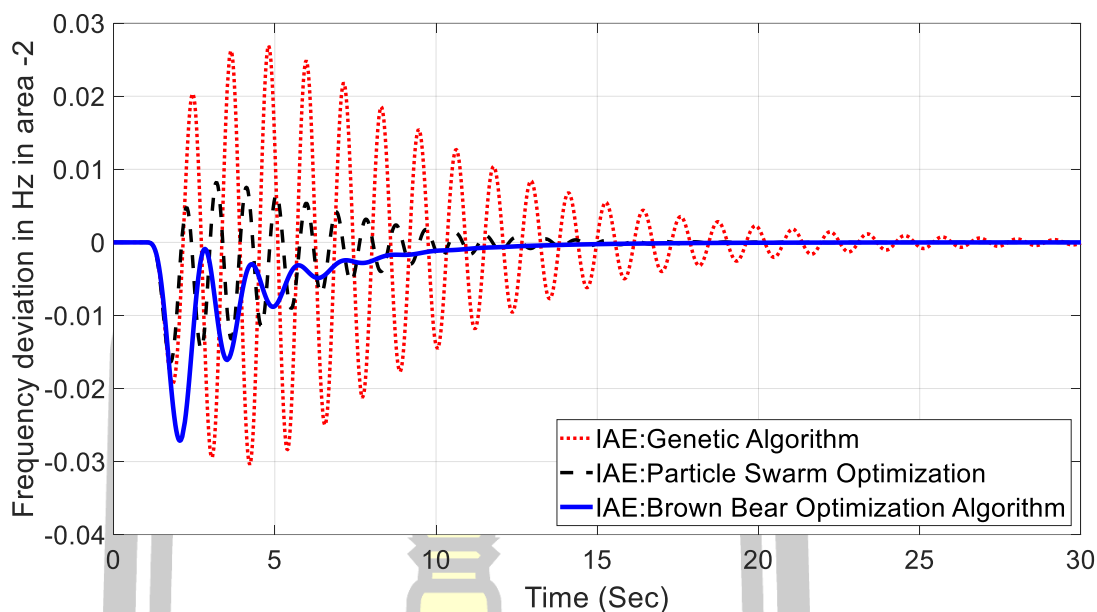
โดยที่ GA มีการสั่น และ overshoot สูงในช่วงต้นของการตอบสนอง และ PSO ถึงแม้จะควบคุมได้ดีกว่า GA แต่ยังมีแกว่งตัวมากกว่า BOA อย่างชัดเจน ดังนั้น BOA เป็นอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมความถี่ในระบบที่มีความไม่แน่นอนสูง และเน้นการลดความผิดพลาดในระยะเวลายาวนานอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของฟังก์ชัน ITAE



ภาพประกอบ 25 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE

จากการผลการทดลองที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE ภาพประกอบ 25 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยอัลกอริทึม GA, PSO และ BOA พบว่าอัลกอริทึม PSO ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด มีค่า overshoot ต่ำ และสามารถทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะเสถียรได้ในระยะเวลาที่สั้นมากกว่า GA และ BOA แสดงให้เห็นว่า PSO สามารถลดค่าความผิดพลาดแบบยกกำลังสองที่ถ่วงด้วยเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเหมาะสมสำหรับการควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้าพลังงานความร้อนแบบเชื่อมโยง

สาเหตุที่อัลกอริทึม BOA (Brown Bear Optimization Algorithm) ให้ผลลัพธ์ด้อยกว่าอัลกอริทึม PSO ภายใต้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE เนื่องจากแม้ว่า BOA จะสามารถทำให้ระบบมีเสถียรภาพในระยะยาวได้ดี แต่ในช่วงเวลา 0-20 วินาที ระบบยังมีการแกว่งตัวที่ชัดเจน ทำให้เกิด error ที่มีน้ำหนักมากในกระบวนการคำนวณ ITSE ส่งผลให้ค่าความผิดพลาดรวมสูงกว่า PSO ที่สามารถลด error ได้รวดเร็วกว่าจึงให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าในการควบคุมความถี่ของระบบ

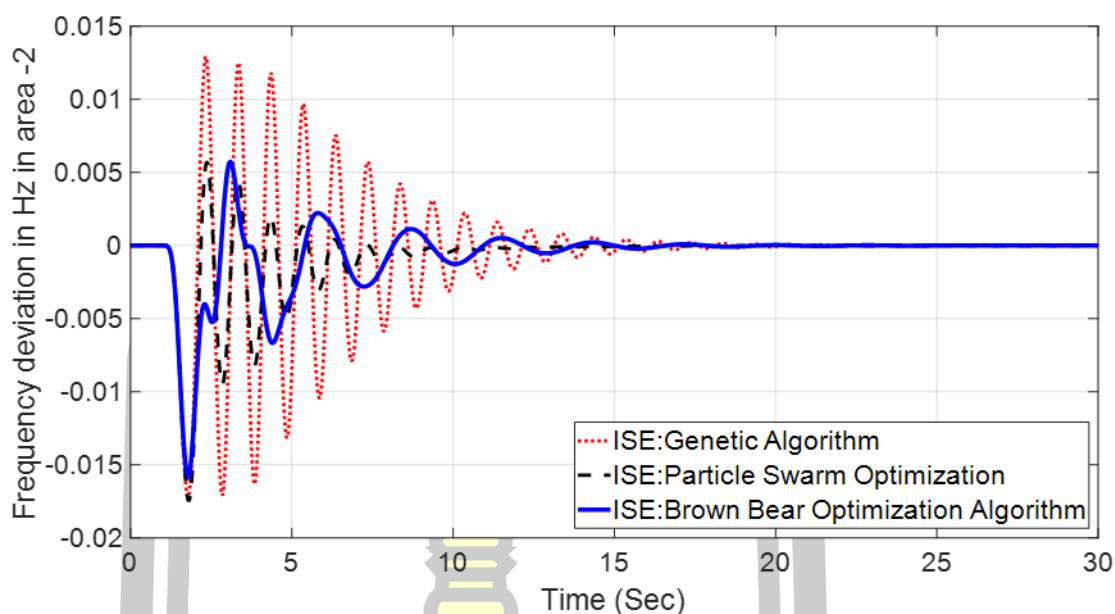


ภาพประกอบ 26 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE

จากการผลการทดลองที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE ภาพประกอบ 26 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน สรุปได้ว่า อัลกอริทึม BOA (Brown Bear Optimization Algorithm) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าอัลกอริทึม GA (Genetic Algorithm) และ PSO (Particle Swarm Optimization) อย่างชัดเจนในด้านของการควบคุมความถี่ในระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน

อัลกอริทึม BOA แสดงให้เห็นถึงค่า Overshoot ให้อยู่ในระดับต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับ GA และ PSO รวมถึงมีระยะเวลาการเข้าสู่ค่าคงที่ (Settling Time) ที่สั้นกว่า ส่งผลให้ระบบสามารถกลับสู่สมดุลได้เร็ว และมีความเสถียรสูงกว่า ในขณะที่ GA แสดงผลลัพธ์ที่ด้อยกว่าอย่างชัดเจน ในด้าน Overshoot ที่มากกว่า การเข้าสู่ที่ช้ากว่า และพฤติกรรมการสั่นที่ยาวนานกว่า สำหรับ PSO แม้จะมีสมรรถนะที่ดีกว่า GA โดยเฉพาะในด้านความเร็วในการเข้าสู่เริ่มต้น แต่ยังคงแสดงการสั่นสะเทือนเล็กน้อยในช่วงเวลาหลังการรบกวน

จึงสามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่า ภายใต้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE และเงื่อนไขของระบบพลังงานความร้อนที่มีความซับซ้อนสูง อัลกอริทึม BOA เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม โดยสามารถตอบสนองต่อความต้องการด้านความรวดเร็ว และความแม่นยำ

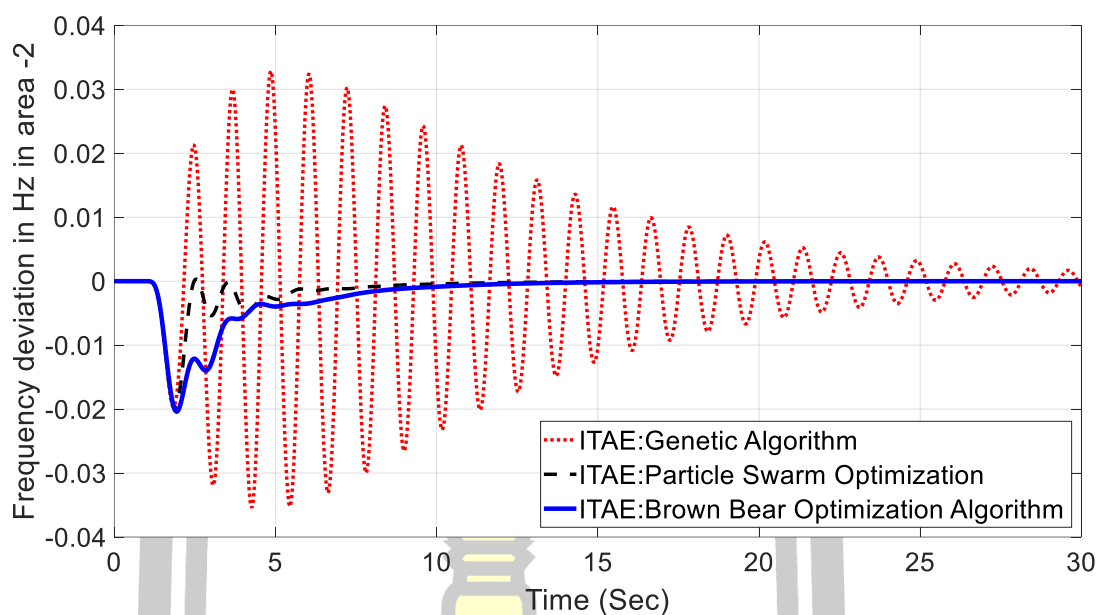


ภาพประกอบ 27 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ISE

จากการผลการทดลองที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ISE ภาพประกอบ 27 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน สรุปได้ว่า อัลกอริทึม PSO (Particle Swarm Optimization) มีความสามารถในการควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับ GA (Genetic Algorithm) และ BOA (Brown Bear Optimization Algorithm)

อัลกอริทึม PSO แสดงให้เห็นถึงค่า overshoot ที่ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับ GA และ BOA และยังมีค่า settling time ระยะที่สั้นกว่า โดยระบบสามารถกลับเข้าสู่สภาวะสมดุล (Steady State) ได้ดี ในส่วนอัลกอริทึม GA แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดที่ชัดเจน โดยมีค่า overshoot สูง และมีการสั่นสะเทือนที่ต่อเนื่องยาวนาน ในส่วน BOA การเข้าสู่สภาวะสมดุลในระยะยาว แต่ในช่วงต้นกลับมีลักษณะของ overshoot และ undershoot ที่สูง และยังมีลักษณะของการสั่นไหวมากกว่าที่พบใน PSO สรุปได้ว่า PSO เป็นอัลกอริทึมที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในด้านความเสถียร ความเร็วในการตอบสนอง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของฟังก์ชัน ISE

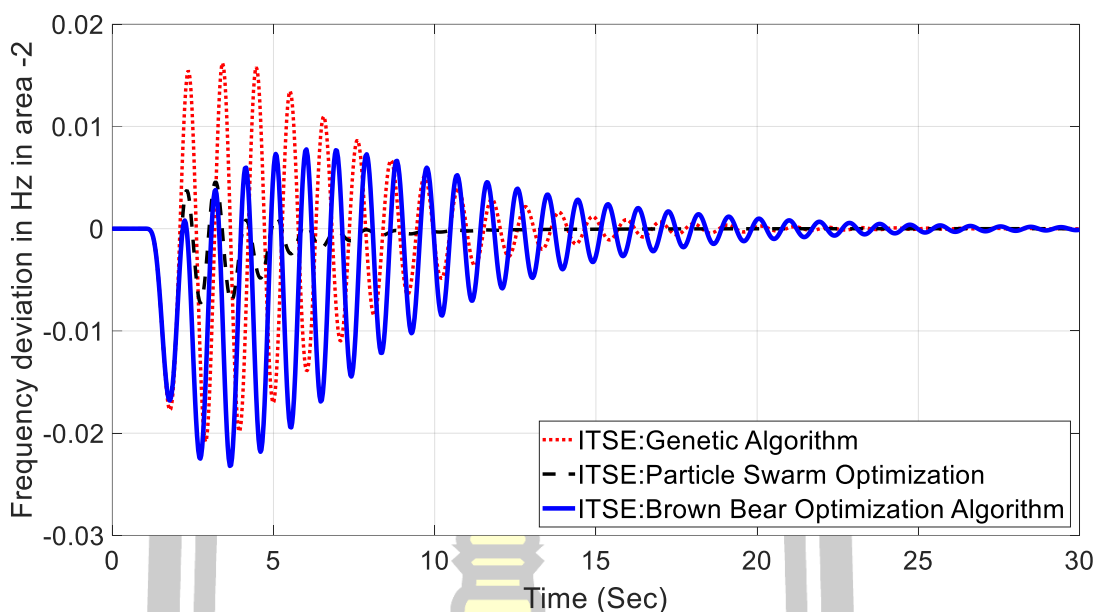
ในส่วนที่สาเหตุที่ทำให้ BOA เป็นอัลกอริทึมที่ต้องพึ่งพารามิเตอร์ภายใน ซึ่งหากไม่ได้ปรับค่าที่เหมาะสม อาจทำให้เกิดการกระจายการค้นหาที่ไม่สมดุล ส่งผลให้ ไม่สามารถหาค่า global best solution ได้เร็ว เท่า PSO ที่มีการอัปเดตตำแหน่งอย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพประกอบ 28 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE

จากการผลการทดลองที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE ภาพประกอบ 28 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน สรุปได้ว่า อัลกอริทึม BOA (Brown Bear Optimization Algorithm) มีความสามารถในการควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับ GA (Genetic Algorithm) และ PSO (Particle Swarm Optimization)

อัลกอริทึม BOA แสดงให้เห็นถึงค่า overshoot ได้อย่างชัดเจน แต่ในส่วนการเข้าสู่สภาวะเสถียร (settling time) ของ PSO สามารถตอบสนองได้ดีกว่า BOA แต่โดยรวมการควบคุมพฤติกรรม การสั่นของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันถึงจะ BOA จะมีพฤติกรรมการควบคุมที่ใกล้เคียงกับ PSO ในบางช่วงเวลา โดยเฉพาะในช่วงกลางของการตอบสนอง แต่ผลลัพธ์ในภาพรวมยังคงแสดงให้เห็นว่า BOA มีความเหนือชั้นกว่าทั้งในด้านความเสถียร ความเร็วในการตอบสนอง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของฟังก์ชัน ITAE ที่ต้องการลดความผิดพลาดในระยะเริ่มต้นเป็นหลัก

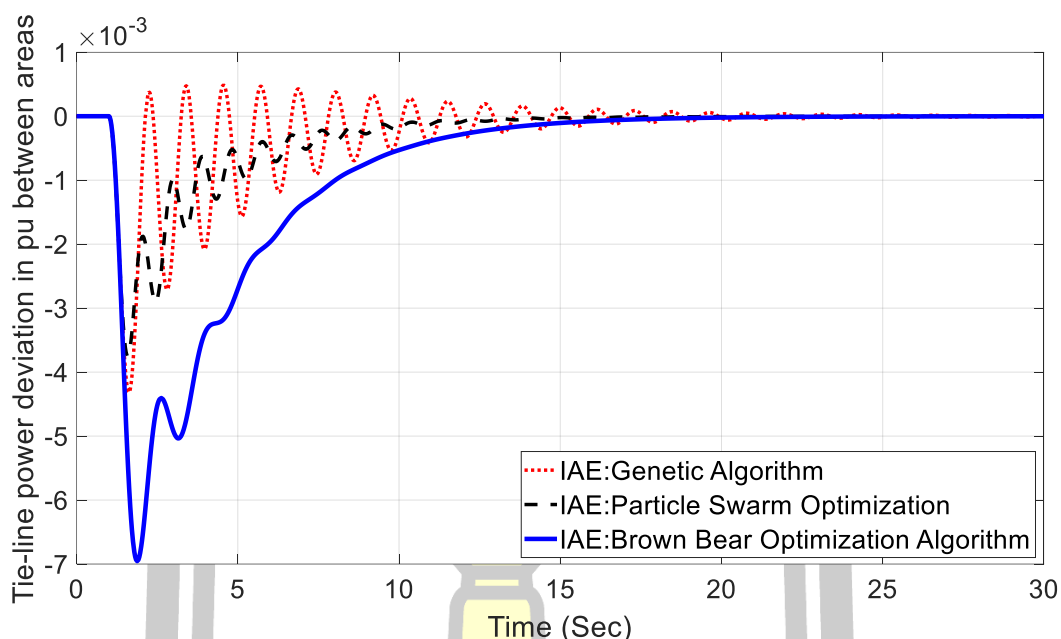


ภาพประกอบ 29 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE

จากการผลการทดลองที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE ภาพประกอบ 29 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 2 สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน สรุปได้ว่า อัลกอริทึม PSO (Particle Swarm Optimization) มีความสามารถในการควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับ GA (Genetic Algorithm) และ BOA (Brown Bear Optimization Algorithm)

อัลกอริทึม PSO แสดงให้เห็นถึงค่า overshoot ที่ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับ GA และ BOA และยังมีค่า settling time ระยะที่สั้นกว่า โดยระบบสามารถกลับเข้าสู่สภาวะสมดุล (Steady State) ได้ดี ในส่วนอัลกอริทึม GA แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดที่ชัดเจน โดยมีค่า overshoot สูง และมีการสั่นสะเทือนที่ต่อเนื่องยาวนาน ในส่วน BOA ก็มีค่า overshoot สูง และมีการสั่นสะเทือนที่ต่อเนื่องยาวนานเช่นกัน และยังมีลักษณะของการสั่นไหวมากกว่าที่พบใน PSO สรุปได้ว่า PSO เป็นอัลกอริทึมที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในด้านความเสถียร ความเร็วในการตอบสนองตามเกณฑ์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE

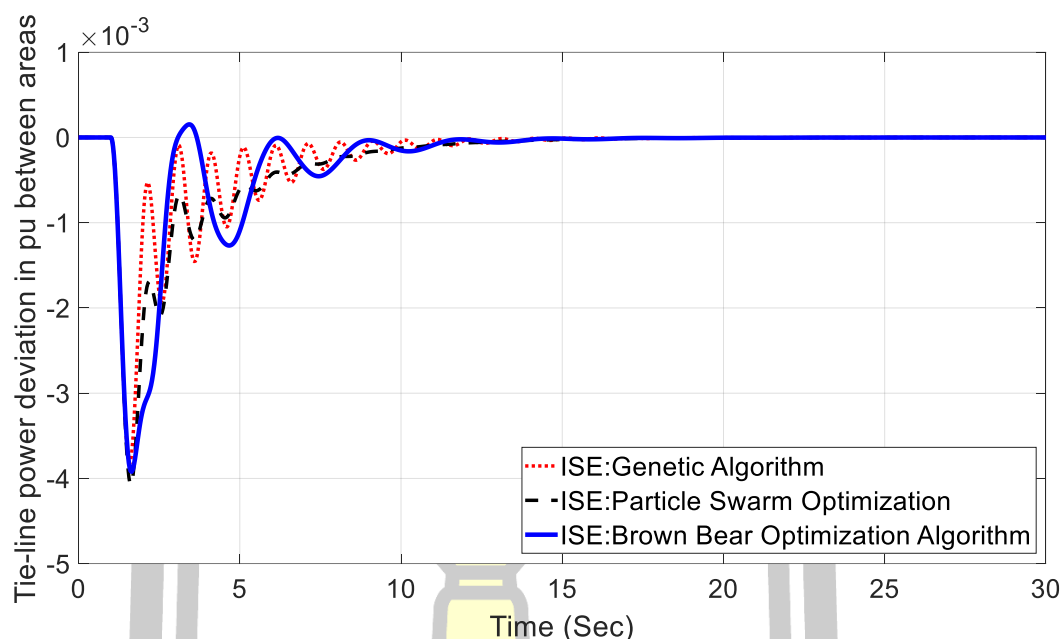
ในส่วนที่สาเหตุที่ทำให้ BOA เป็นอัลกอริทึมที่ต้องพึ่งพารามิเตอร์ภายใน ซึ่งหากไม่ได้ปรับค่าที่เหมาะสม อาจทำให้เกิดการกระจายการค้นหาที่ไม่สมดุล ส่งผลให้ ไม่สามารถหาค่า global best solution ได้เร็ว เท่า PSO ที่มีการอัปเดตตำแหน่งอย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพประกอบ 30 การเบี่ยงเบนของกำลังในสายส่ง สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE

จากการผลการทดลองที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE ภาพประกอบ 30 การเบี่ยงเบนของกำลังในสายส่ง สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน สรุปได้ว่า อัลกอริทึม PSO (Particle Swarm Optimization) มีความสามารถในการควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับ GA (Genetic Algorithm) และ BOA (Brown Bear Optimization Algorithm)

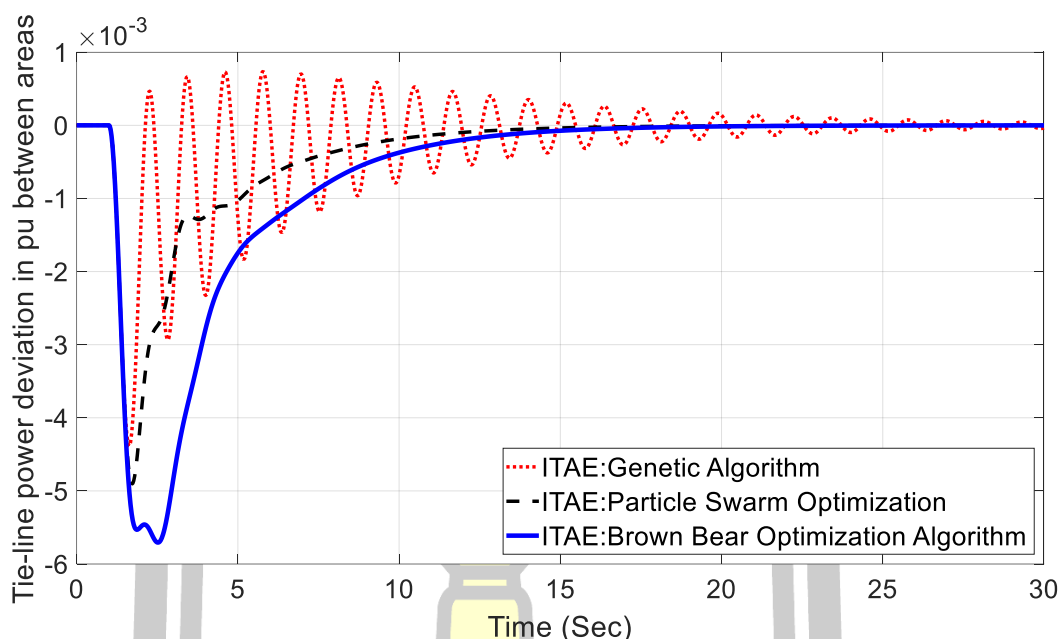
อัลกอริทึม PSO แสดงให้เห็นถึงค่า overshoot ที่ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับ GA และ BOA และยังมีค่า settling time ระยะที่สั้นกว่า โดยระบบสามารถกลับเข้าสู่สภาวะสมดุล (Steady State) ได้ดี ในส่วนอัลกอริทึม GA แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดที่ชัดเจน โดยมีค่า overshoot สูง และมีการสั่นสะเทือนที่ต่อเนื่องยาวนาน แต่ในทางกลับกัน BOA แม้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนช่วงต้นที่สูง ดังลึกในช่วงไม่กี่วินาทีแรก แต่สามารถฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็ว และเข้าสู่สถานะคงที่โดยแทบไม่เกิดการสั่นใด ๆ สรุปได้ว่า PSO เป็นอัลกอริทึมที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในด้านความเสถียร ความเร็วในการตอบสนอง และประสิทธิภาพโดยรวมให้ผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อน ช่วงเวลามีค่าน้อยกว่า ส่งผลให้ PSO มีประสิทธิภาพดีกว่าทั้ง BOA และ GA ตามเกณฑ์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE



ภาพประกอบ 31 การเบี่ยงเบนของกำลังในสายส่ง สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ISE

จากการผลการทดลองที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ISE ภาพประกอบ 31 การเบี่ยงเบนของกำลังในสายส่ง สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน สรุปได้ว่า อัลกอริทึม PSO (Particle Swarm Optimization) มีความสามารถในการควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับ GA (Genetic Algorithm) และ BOA (Brown Bear Optimization Algorithm)

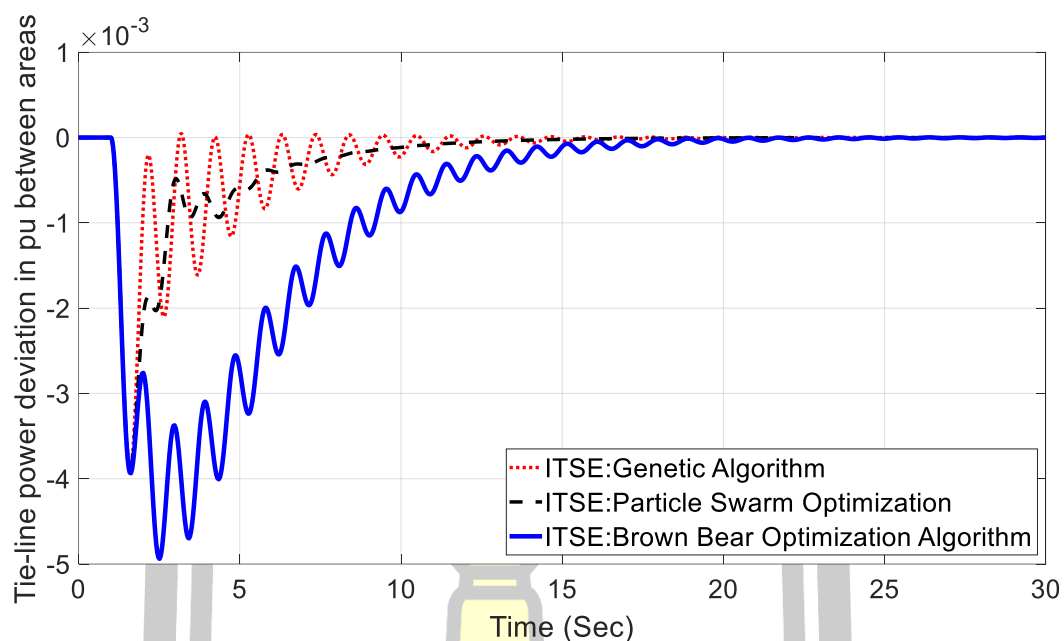
อัลกอริทึม PSO แสดงให้เห็นถึงค่า overshoot ที่ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับ GA และ BOA และยังมีค่า settling time ระยะที่สั้นกว่า โดยระบบสามารถกลับเข้าสู่สภาวะสมดุล (Steady State) ได้ดีกว่า GA และ BOA สังเกตได้ว่า BOA ถึงจะมีค่า overshoot สูงกว่า GA และ PSO แต่โดยรวมเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วกว่า GA แต่ก็ยังไม่ดีเท่า PSO ส่งผลให้ PSO ที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ISE จึงแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเพิ่มความเสถียรของระบบและลดความผันผวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพประกอบ 32 การเบี่ยงเบนของกำลังในสายส่ง สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE

จากการผลการทดลองที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE ภาพประกอบ 32 การเบี่ยงเบนของกำลังในสายส่ง สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน สรุปได้ว่า อัลกอริทึม PSO (Particle Swarm Optimization) มีความสามารถในการควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับ GA (Genetic Algorithm) และ BOA (Brown Bear Optimization Algorithm)

อัลกอริทึม PSO แสดงให้เห็นถึงค่า overshoot ที่ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับ GA และ BOA และยังมีค่า settling time ระยะที่สั้นกว่า โดยระบบสามารถกลับเข้าสู่สภาวะสมดุล (Steady State) ได้ดีกว่า GA และ BOA สังเกตได้ว่า GA มีค่า overshoot สูงกว่า BOA และ PSO และยังมีการเกิดการแกว่งที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับ BOA และ PSO แต่โดยรวมเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วกว่า GA แต่ก็ยังไม่ดีเท่า BOA ส่งผลให้ PSO ที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE จึงแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเพิ่มความเสถียรของระบบและลดความผันผวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพประกอบ 33 การเบี่ยงเบนของกำลังในสายส่ง สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE

จากการผลการทดลองที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE ภาพประกอบ 33 การเบี่ยงเบนของกำลังในสายส่ง สำหรับการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน สรุปได้ว่า อัลกอริทึม PSO (Particle Swarm Optimization) มีความสามารถในการควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับ GA (Genetic Algorithm) และ BOA (Brown Bear Optimization Algorithm)

อัลกอริทึม PSO แสดงให้เห็นถึงค่า overshoot ที่ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับ GA และ BOA และยังมีค่า settling time ระยะที่สั้นกว่า โดยระบบสามารถกลับเข้าสู่สภาวะสมดุล (Steady State) ได้ดีกว่า GA และ BOA สังเกตได้ว่า BOA ถึงจะมีค่า overshoot สูงกว่า GA และ PSO แต่โดยรวมเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วกว่า GA แต่ก็ยังไม่ดีเท่า PSO ส่งผลให้ PSO ที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE และมีเสถียรภาพสูงสุด เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการความแม่นยำในการควบคุมในช่วงเวลาที่ยาวนาน โดยมีประสิทธิภาพดีกว่า GA และ BOA

4.5 การวิเคราะห์การตอบสนองพลวัต

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบพลวัตตอบสนองค่าลูกคลื่นสูงสุด

เทคนิควิธีอัลกอริทึม / ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	ค่าลูกคลื่นสูงสุด		
	Δ_{r1}	Δ_{r2}	$\Delta_{Tie-line}$
เทคนิควิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (IAE)	0.0159	0.0030	0.0004
เทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงอนุภาค (IAE)	0.0149	0.0016	0.0003
เทคนิควิธีอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล (IAE)	0.0186	0.0027	0.0006
เทคนิควิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (ISE)	0.0158	0.0030	0.0004
เทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงอนุภาค (ISE)	0.0148	0.0016	0.0003
เทคนิควิธีอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล (ISE)	0.0146	0.0016	0.0003
เทคนิควิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (ITAE)	1.3244	1.4748	3.6176
เทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงอนุภาค (ITAE)	0.0151	0.0020	0.0004
เทคนิควิธีอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล (ITAE)	0.0146	0.0016	0.0003
เทคนิควิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (ITSE)	0.0151	0.0017	0.0003
เทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงอนุภาค (ITSE)	0.0152	0.0017	0.0004
เทคนิควิธีอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล (ITSE)	0.0151	0.0023	0.0004

จากตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบค่าลูกคลื่นสูงสุด โดยการจำลองโรงไฟฟ้าร้อนสองพื้นที่โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองพลวัตในการตอบสนองจากการเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 1 การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ที่ 2 และการเบี่ยงเบนกำลังในสายส่งเชื่อมต่อ โดยตัวควบคุม PID ที่ใช้วิธีการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ด้วยอัลกอริทึมต่าง ๆ ได้แก่ (GA), (PSO) และ(BOA) ร่วมกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE, ISE, ITAE และ ITSE ผลการทดลองพบว่าเทคนิค PSO ให้ค่าความเบี่ยงเบนของความถี่ และพลังงานสายส่งที่ต่ำที่สุดในหลายกรณี โดยเฉพาะ

เมื่อใช้ร่วมกับฟังก์ชัน IAE และ ISE ส่งผลให้ระบบตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว และมีเสถียรภาพ ขณะที่ BOA ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับ PSO และมีแนวโน้มที่ดีในการลดค่าความผิดพลาด โดยเฉพาะในกรณีของฟังก์ชัน ITAE และ ISE แต่ในบางกรณีของการใช้ GA ร่วมกับฟังก์ชัน ITAE พบว่ามีค่าลูกคลื่นสูงสุดที่ผิดปกติ ซึ่งอาจแสดงถึงความไม่เหมาะสมของอัลกอริทึม GA เมื่อใช้งานร่วมกับฟังก์ชัน ITAE ในบริบทของระบบควบคุมนี้ โดยสรุป เทคนิคการปรับจูนที่ใช้ PSO และ BOA มีความเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการควบคุมพลวัตในระบบไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ เนื่องจากสามารถลดการเบี่ยงเบนของตัวแปรสำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีแนวโน้มที่จะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ได้อย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบพลวัตการตอบสนองค่าเข้าที่ 2% band

เทคนิควิธีอัลกอริทึม / ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	ค่าเวลาเข้าที่ 2% band		
	Δ_{f1}	Δ_{f2}	$\Delta_{Tie-line}$
เทคนิควิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (IAE)	569.1076	862.0347	578.9738
เทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงอนุภาค (IAE)	290.9995	481.4187	409.3688
เทคนิควิธีอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล (IAE)	266.5869	438.1915	500.5307
เทคนิควิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (ISE)	534.4390	827.3002	544.3306
เทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงอนุภาค (ISE)	269.9542	446.7487	379.2148
เทคนิควิธีอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล (ISE)	334.3492	464.2210	379.7540
เทคนิควิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (ITAE)	960.8218	1,149.40	1,048.30
เทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงอนุภาค (ITAE)	182.2211	356.4607	415.5504
เทคนิควิธีอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล (ITAE)	341.2640	468.3257	385.1879
เทคนิควิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (ITSE)	349.4049	563.1660	392.1513
เทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงอนุภาค (ITSE)	156.1050	297.0299	327.9838
เทคนิควิธีอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล (ITSE)	502.3211	926.4034	583.2763

จากผลการทดลองในตารางที่ 11 พบว่าการปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ด้วย อัลกอริทึม PSO (Particle Swarm Optimization) ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการลดระยะเวลาที่สัญญาณ เบี่ยงเบนเข้าสู่ช่วง 2% ของค่าคงที่ โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITSE ซึ่งให้ระยะเวลา การเข้าสู่ช่วง 2% ต่ำที่สุดทั้งในด้านการเบี่ยงเบนความถี่ของพื้นที่ที่ 1 = 156.1050 พื้นที่ที่ 2 = 297.0299 และในสายส่ง = 327.9838 ขณะที่ อัลกอริทึม BOA (Brown Bear Optimization) แสดงผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับ PSO ในหลายกรณี โดยเฉพาะเมื่อใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE และ ITAE แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ การใช้ของอัลกอริทึม GA (Genetic Algorithm) โดยเฉพาะเมื่อใช้กับฟังก์ชัน ITAE ส่งผลให้ระบบมีระยะเวลาเข้าสู่ช่วง 2% ที่ ยาวนานที่สุด คือ การเบี่ยงเบนในพื้นที่ที่ 1 = 960.8218, พื้นที่ที่ 2 = 1,149.4000 และสายส่ง = 1,048.3000 ซึ่งสะท้อนถึงการตอบสนองของระบบที่ล่าช้า และอาจไม่เหมาะสมกับการใช้งานใน ระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างรวดเร็ว ในบริบทของระบบควบคุมนี้ โดยสรุป เทคนิค PSO โดยเฉพาะเมื่อใช้งานร่วมกับฟังก์ชัน ITSE และ ITAE แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการลด ระยะเวลาการตอบสนองของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในระบบผลิต ไฟฟ้าอัตโนมัติที่ต้องการความแม่นยำ และเสถียรภาพในการควบคุมการเบี่ยงเบนของความถี่ในแต่ละ พื้นที่ และสายส่ง

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบพลวัตการตอบสนองค่าความคลาดเคลื่อน

เทคนิควิธีอัลกอริทึม / ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	ค่าความผิดพลาดของระบบ
เทคนิควิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (IAE)	0.02530
เทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงนกฮูก (IAE)	0.01380
เทคนิควิธีอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล (IAE)	0.01590
เทคนิควิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (ISE)	0.00012
เทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงนกฮูก (ISE)	0.00009
เทคนิควิธีอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล (ISE)	0.00010
เทคนิควิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (ITAE)	0.10300
เทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงนกฮูก (ITAE)	0.02290

ตาราง 12 เปรียบเทียบพลวัตการตอบสนองค่าความคลาดเคลื่อน(ต่อ)

เทคนิควิธีอัลกอริทึม / ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	ค่าความผิดพลาดของระบบ
เทคนิควิธีอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล (ITAE)	0.06590
เทคนิควิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (ITSE)	0.00023
เทคนิควิธีอัลกอริทึมฝูงอนุภาค (ITSE)	0.00012
เทคนิควิธีอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล (ITSE)	0.00020

จากตาราง 12 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ที่ได้จากการปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ด้วยอัลกอริทึม ได้แก่ GA (Genetic Algorithm), PSO (Particle Swarm Optimization) และ BOA (Brown Bear Optimization Algorithm) โดยพิจารณาพร้อมกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ IAE, ISE, ITAE และ ITSE ผลการทดลองพบว่า อัลกอริทึม PSO ที่ใช้ร่วมกับฟังก์ชัน ISE ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด คือ 0.00009 รองลงมาคือ BOA กับ ISE 0.00010 และ PSO กับ ITSE 0.00012 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำสูงของระบบควบคุมเมื่อใช้การปรับจูนแบบ PSO และ BBO ภายใต้ฟังก์ชันที่ให้ความสำคัญกับพฤติกรรมพลวัตของระบบในเชิงเวลา และความผิดพลาดในทางกลับกัน การใช้ GA ร่วมกับ ITAE และ IAE ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่สุดที่ 0.10300 และ 0.02530 ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ถึงความไม่เหมาะสมของการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE ร่วมกับ GA ในบริบทของระบบควบคุมนี้ โดยสรุป เทคนิค PSO และ BOA มีแนวโน้มให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำในทุกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับฟังก์ชัน ISE และ ITSE ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการออกแบบระบบควบคุมที่ต้องการความแม่นยำในการรักษาความเสถียรของระบบพลังงานไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

พหุ ประทีป ชีวะ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา และปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวควบคุมแบบ PID สำหรับระบบควบคุมการผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติ AGC (Automatic Generation Control) ในระบบโรงไฟฟ้าพลังความร้อนไม่ทำความร้อนซ้ำสองพื้นที่ ซึ่งมีลักษณะพลวัตไม่เสถียร และตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดได้อย่างรวดเร็ว การควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้าในสถานะเช่นนี้ จำเป็นต้องอาศัยตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูง และมีการปรับจูนพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอย่างแม่นยำ ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสามเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม ได้แก่ อัลกอริทึมพันธุกรรม GA (Genetic Algorithm), การเพิ่มประสิทธิภาพด้วยฝูงอนุภาค PSO (Particle Swarm Optimization) และอัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล BOA (Brown Bear Optimization Algorithm) โดยพิจารณาผลลัพธ์จากตัวชี้วัดสำคัญ ได้แก่ ค่าความผิดพลาดสะสม (Error), เวลาเข้าสู่สถานะคงที่ (Settling Time), ค่าการเบี่ยงเบนของความถี่ในพื้นที่ 1 และพื้นที่ 2 รวมไปถึงสายส่ง ซึ่งใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น IAE, ISE, ITAE และ ITSE เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแต่ละเทคนิค

ผลการทดลองด้วย MATLAB บนระบบประมวลผลประสิทธิภาพสูง แสดงให้เห็นว่า BOA มีความสามารถในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ของ PID ที่ดีที่สุดในทุกด้าน เมื่อเทียบกับ GA และ PSO โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้งานร่วมกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ITAE และ IAE ซึ่งสามารถลดค่าความผิดพลาด ลด overshoot และลดระยะเวลาที่ระบบใช้ในการกลับเข้าสู่สถานะคงที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ GA มีแนวโน้มให้ผลลัพธ์ที่ไม่เสถียรโดยเฉพาะในกรณีที่ใช้ ITAE เป็นฟังก์ชันเป้าหมาย

การปรับจูน PID ด้วย BOA จึงสามารถยกระดับเสถียรภาพของระบบควบคุมการผลิตไฟฟ้าได้อย่างชัดเจน รองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างรวดเร็ว และรักษาความถี่ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่งผลให้ระบบผลิตและจ่ายไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการควบคุมระบบไฟฟ้าสมัยใหม่ที่มีการผสมผสานพลังงานหมุนเวียนเข้าในระบบอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น อัลกอริทึม BOA จึงถือเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพสูงในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ AGC และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบควบคุมไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ต้องการความแม่นยำในการ

ควบคุม ความเสถียรในการดำเนินงาน และการตอบสนองต่อภาระโหลดที่เปลี่ยนแปลงแบบเรียลไทม์ งานวิจัยนี้จึงสนับสนุนให้มีการศึกษาต่อยอดการประยุกต์ใช้ BOA ในระบบควบคุมอื่น ๆ เช่น การควบคุมแรงดันไฟฟ้า การควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบหลายจุด และการจัดการพลังงานในไมโครกริด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบไฟฟ้าในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมหมีสีน้ำตาล BOA กับระบบไฟฟ้าที่ซับซ้อนมากขึ้น จากผลการศึกษาในวิทยานิพนธ์ พบว่า BOA มีประสิทธิภาพในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID สำหรับระบบไฟฟ้าสองพื้นที่ (Two-Area Power System) อย่างมีนัยสำคัญ ในการใช้งานจริง ระบบไฟฟ้าในปัจจุบันมีความซับซ้อนมากขึ้น เนื่องจากการผสมผสานระหว่างแหล่งพลังงานหลายรูปแบบ เช่น พลังงานหมุนเวียน (พลังงานแสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล) ซึ่งมีความไม่แน่นอนสูง ดังนั้น ควรขยายขอบเขตการวิจัยโดยนำ BOA ไปประยุกต์ใช้ในระบบที่มีพลังงานหมุนเวียนผสม เพื่อศึกษาความสามารถของ BOA ในการรับมือกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงแบบไม่แน่นอน (non-deterministic) และแบบเรียลไทม์

การเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมเชิงวิวัฒนาการรุ่นใหม่อื่น ๆ ในงานวิจัยนี้มีการเปรียบเทียบ BOA กับ PSO และ GA ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมและใช้กันแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม เพื่อให้สามารถประเมินศักยภาพของ BOA ได้รอบด้านยิ่งขึ้น ควรนำไปเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมล่าสุดที่ถูกพัฒนาขึ้น เช่น GWO (Grey Wolf Optimizer), HHO (Harris Hawks Optimization), MFO (Moth Flame Optimization) และ WOA (Whale Optimization Algorithm) การเปรียบเทียบเหล่านี้จะช่วยสนับสนุนความเหนือกว่า หรือข้อจำกัดของ BOA ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยเฉพาะด้านการคอนเวอร์เจนซ์ ความเสถียร และความแม่นยำของผลลัพธ์

การวิเคราะห์ผลการควบคุมในเชิงลึก งานวิจัยจะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เช่น IAE, ISE, ITAE และ ITSE ในการประเมินผลลัพธ์ แต่แนะนำให้เพิ่มเติมการวิเคราะห์ลักษณะพลวัตของระบบในเชิงกราฟ เช่น กราฟการตอบสนองของระบบ (Step Response) การเปรียบเทียบ Overshoot, Settling Time และ Steady-State Error การวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ (Frequency Response Analysis)

การพัฒนาอัลกอริทึม BOA ให้มีความสามารถมากยิ่งขึ้นแม้ BOA จะมีข้อดี โดยไม่ต้องตั้งค่าพารามิเตอร์เฉพาะทางเพิ่มเติม แต่ก็ยังมีข้อจำกัด เช่น อาจติดอยู่ในค่าที่เหมาะสมเฉพาะจุด (Local Optimum) ในบางสถานการณ์ ดังนั้น ควรพิจารณาพัฒนา BOA ไปอีกขั้น เช่น Hybrid BOA ผสมผสานกับ Local Search เช่น Hill Climbing หรือ Simulated Annealing เพื่อเพิ่มโอกาสการค้นหา

Global Optimum และ Adaptive BOA พัฒนา BOA ให้สามารถปรับพฤติกรรมการค้นหาแบบอัตโนมัติตามสภาพของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำลังประเมินอยู่ การต่อยอดไปสู่ระบบควบคุมอัจฉริยะ (Intelligent Control Systems) อัลกอริทึม BOA แสดงศักยภาพในการปรับพารามิเตอร์ PID ได้แม่นยำ จึงสามารถต่อยอดไปสู่การพัฒนากระบวนการควบคุมอัจฉริยะได้ เช่น ระบบควบคุมแบบ Fuzzy-PID ที่ปรับพารามิเตอร์ fuzzy โดย BOA ระบบควบคุมโดยใช้ Deep Learning เพื่อเรียนรู้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงโหลดและพฤติกรรมของระบบ แล้วใช้ BOA ปรับน้ำหนักของโมเดล แนวทางนี้จะช่วยให้ระบบควบคุมสามารถตอบสนองต่อความเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้แบบทันที และมีประสิทธิภาพ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการจำลองและออกแบบระบบควบคุมด้วยโปรแกรม MATLAB โดยใช้ทั้งในรูปแบบ Script File และ Model Simulation ทั้งนี้ ระบบที่นำมาศึกษามีความซับซ้อนสูง เนื่องจากการเชื่อมโยงโรงไฟฟ้าหลายแห่งที่มีค่าพารามิเตอร์แตกต่างกัน ส่งผลให้การออกแบบระบบควบคุมมีความยุ่งยาก และต้องใช้ความละเอียดรอบคอบ ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องมีความรู้และความเชี่ยวชาญในหลายด้าน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

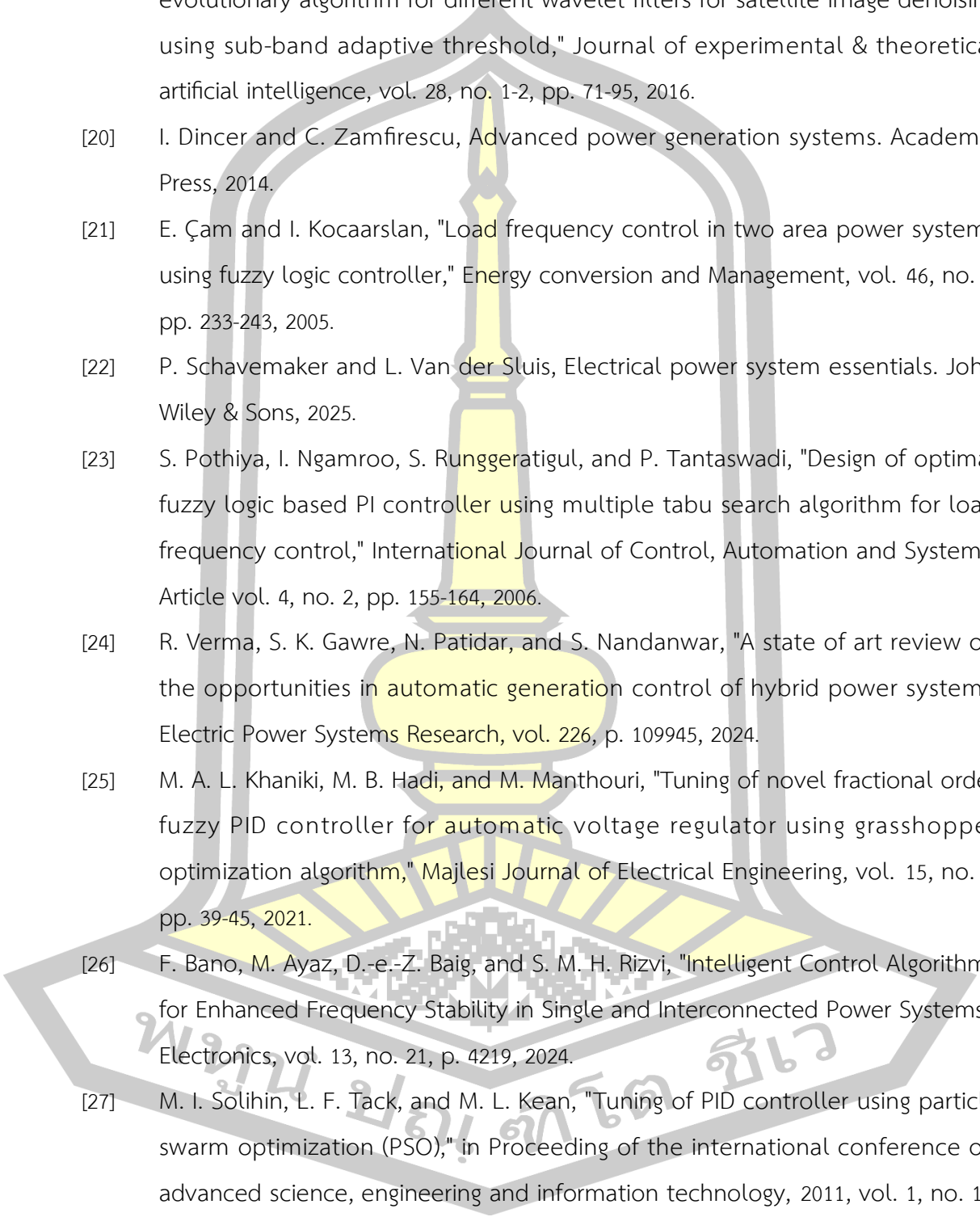


บรรณานุกรม

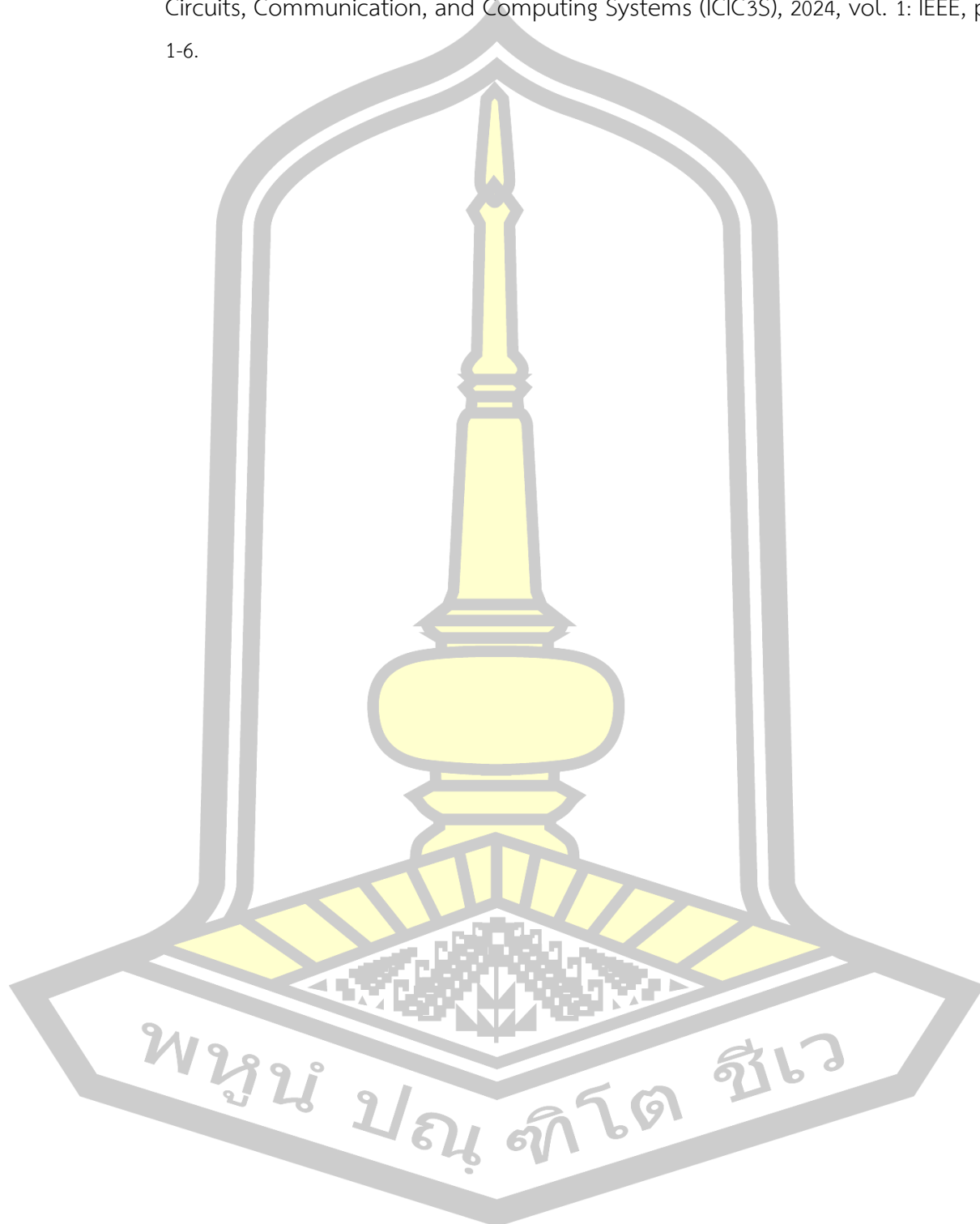
- [1] S. Audomsi et al., "The Development of PID Controller by Chess Algorithm," Engineering Access, vol. 10, no. 1, pp. 46-50, 2024.
- [2] B. Tan, J. Zhao, M. Netto, V. Krishnan, V. Terzija, and Y. Zhang, "Power system inertia estimation: Review of methods and the impacts of converter-interfaced generations," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 134, p. 107362, 2022/01/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107362>.
- [3] L. Fan, C. Zhao, G. Zhang, and Q. Huang, "Flexibility Management in Economic Dispatch with Dynamic Automatic Generation Control," IEEE Transactions on Power Systems, Article vol. 37, no. 2, pp. 876-886, 2022, doi: 10.1109/TPWRS.2021.3103128.
- [4] M. M. Sati, D. Kumar, A. Singh, M. Raparathi, F. Y. Alghayadh, and M. Soni, "Two-Area Power System with Automatic Generation Control Utilizing PID Control, FOPID, Particle Swarm Optimization, and Genetic Algorithms," in 2024 4th International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies, ICAECT 2024, 2024, doi: 10.1109/ICAECT60202.2024.10469671. [Online].
- [5] A. Moharam, M. A. El-Hosseini, and H. A. Ali, "Design of optimal PID controller using hybrid differential evolution and particle swarm optimization with an aging leader and challengers," Applied Soft Computing, vol. 38, pp. 727-737, 2016/01/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.10.041>.
- [6] M. C. Z. Zambou, A. S. T. Kammogne, M. S. Siewe, A. T. Azar, S. Ahmed, and I. A. Hameed, "Optimized Nonlinear PID Control for Maximum Power Point Tracking in PV Systems Using Particle Swarm Optimization," Mathematical and Computational Applications, Article vol. 29, no. 5, 2024, Art no. 88, doi: 10.3390/mca29050088.
- [7] S. K. Ojha and C. O. Maddela, "Load frequency control of a two-area power system with renewable energy sources using brown bear optimization technique," Electrical Engineering, Article vol. 106, no. 3, pp. 3589-3613, 2024, doi:

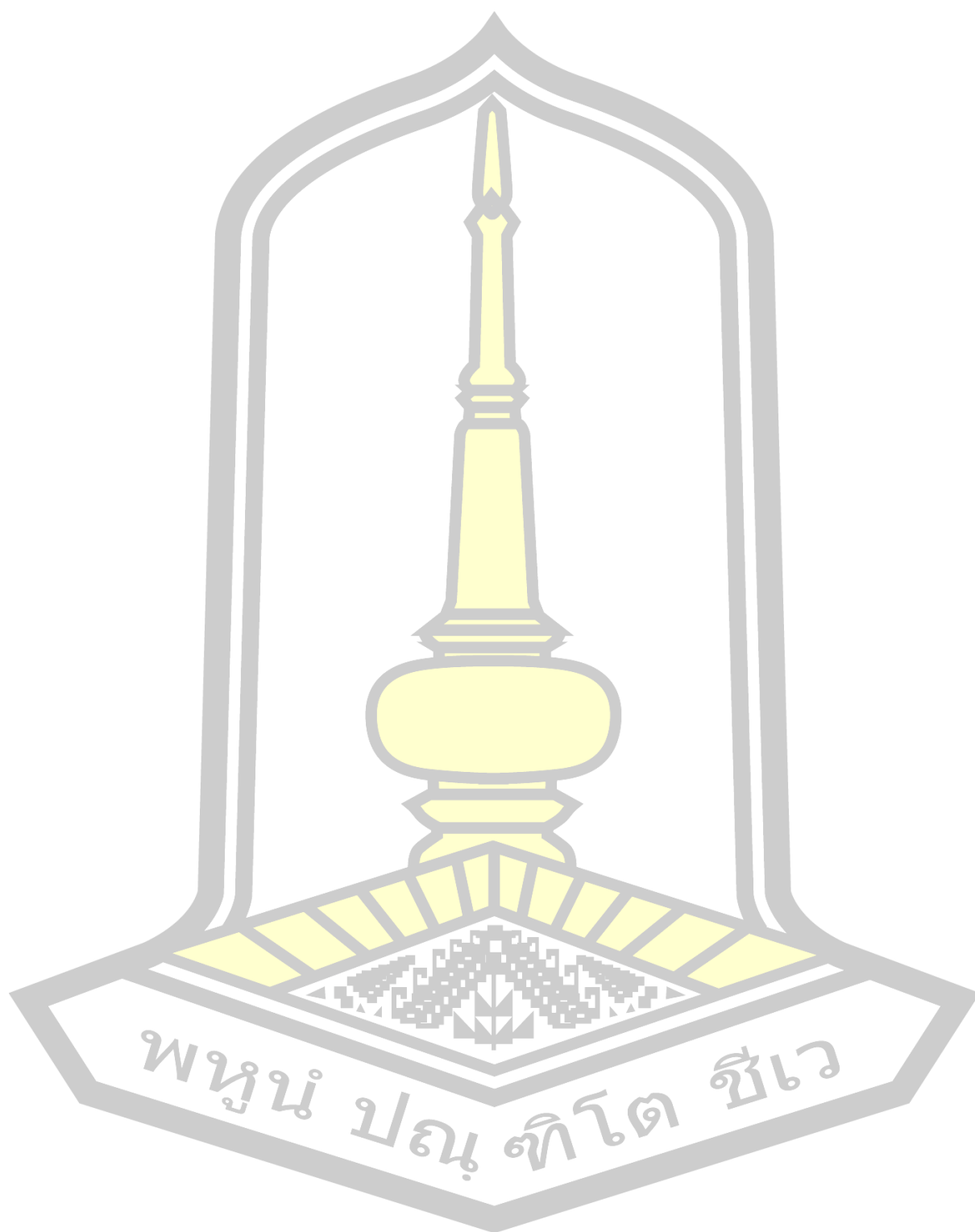
10.1007/s00202-023-02143-4.

- [8] T. Prakash, P. P. Singh, V. P. Singh, and S. N. Singh, "A novel brown-bear optimization algorithm for solving economic dispatch problem," in *Advanced control & optimization paradigms for energy system operation and management*: River Publishers, 2023, pp. 137-164.
- [9] M. M. Maghanki, B. Ghobadian, G. Najafi, and R. J. Galogah, "Micro combined heat and power (MCHP) technologies and applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 28, pp. 510-524, 2013.
- [10] Y.-G. Wang and H.-H. Shao, "Optimal tuning for PI controller," *Automatica*, vol. 36, no. 1, pp. 147-152, 2000.
- [11] D. Nangru, D. Bairwa, K. Singh, S. Nema, and P. Padhy, "Modified PSO based PID controller for stable processes," in *2013 international conference on control, automation, robotics and embedded systems (CARE)*, 2013: IEEE, pp. 1-5.
- [12] P. Sharma, D. K. Palwalia, and A. K. Sharma, "A REVIEW: CONTROL STRATEGIES IN BI-DIRECTIONAL DC-DC CONVERTER TOPOLOGIES."
- [13] M. A. Johnson and M. H. Moradi, *PID control*. Springer, 2005.
- [14] K. J. Åström and T. Hägglund, "Revisiting the Ziegler–Nichols step response method for PID control," *Journal of process control*, vol. 14, no. 6, pp. 635-650, 2004.
- [15] A. Abdulameer, M. Sulaiman, M. Aras, and D. Saleem, "GUI based control system analysis using PID controller for education," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 3, no. 1, pp. 91-101, 2016.
- [16] A. Žilinskas, "Practical mathematical optimization: An introduction to basic optimization theory and classical and new gradient-based algorithms," ed: JSTOR, 2006.
- [17] J. Shapiro, "Genetic algorithms in machine learning," in *Advanced Course on Artificial Intelligence*: Springer, 1999, pp. 146-168.
- [18] N. Ajlouni, A. Osyavas, F. Ajlouni, A. Almassri, F. Takaoglu, and M. Takaoglu, "Enhancing PID control robustness in CSTRs: a hybrid approach to tuning under external disturbances with GA, PSO, and machine learning," *Neural Computing and Applications*, pp. 1-25, 2025.

- 
- [19] A. K. Bhandari, A. Kumar, G. K. Singh, and V. Soni, "Performance study of evolutionary algorithm for different wavelet filters for satellite image denoising using sub-band adaptive threshold," *Journal of experimental & theoretical artificial intelligence*, vol. 28, no. 1-2, pp. 71-95, 2016.
 - [20] I. Dincer and C. Zamfirescu, *Advanced power generation systems*. Academic Press, 2014.
 - [21] E. Çam and I. Kocaarslan, "Load frequency control in two area power systems using fuzzy logic controller," *Energy conversion and Management*, vol. 46, no. 2, pp. 233-243, 2005.
 - [22] P. Schavemaker and L. Van der Sluis, *Electrical power system essentials*. John Wiley & Sons, 2025.
 - [23] S. Pothiya, I. Ngamroo, S. Runggeratigul, and P. Tantaswadi, "Design of optimal fuzzy logic based PI controller using multiple tabu search algorithm for load frequency control," *International Journal of Control, Automation and Systems*, Article vol. 4, no. 2, pp. 155-164, 2006.
 - [24] R. Verma, S. K. Gawre, N. Patidar, and S. Nandanwar, "A state of art review on the opportunities in automatic generation control of hybrid power system," *Electric Power Systems Research*, vol. 226, p. 109945, 2024.
 - [25] M. A. L. Khaniki, M. B. Hadi, and M. Manthouri, "Tuning of novel fractional order fuzzy PID controller for automatic voltage regulator using grasshopper optimization algorithm," *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, vol. 15, no. 2, pp. 39-45, 2021.
 - [26] F. Bano, M. Ayaz, D.-e.-Z. Baig, and S. M. H. Rizvi, "Intelligent Control Algorithms for Enhanced Frequency Stability in Single and Interconnected Power Systems," *Electronics*, vol. 13, no. 21, p. 4219, 2024.
 - [27] M. I. Solihin, L. F. Tack, and M. L. Kean, "Tuning of PID controller using particle swarm optimization (PSO)," in *Proceeding of the international conference on advanced science, engineering and information technology*, 2011, vol. 1, no. 11, pp. 458-461.
 - [28] A. K. Maurya, D. Singh, H. Khan, and P. Kumar, "Application of PID Controller Tuning Method for Load Frequency Control in Multi Area Power System at

Different Load Conditions," in 2024 International Conference on Integrated Circuits, Communication, and Computing Systems (ICIC3S), 2024, vol. 1: IEEE, pp. 1-6.





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	คุณากรณ์ ภักดีสุวรรณ
วันเกิด	15 พฤษภาคม พ.ศ. 2546
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 102 หมู่ 6 บ้านโคกกลาง ตำบลโพธิ์สัย อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดร้อยเอ็ด
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2564 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติฯ ร้อยเอ็ด แผน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ พ.ศ. 2567 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2567 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า และ คอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผลงานวิจัย	Pakdeesuan, K., Audomsi, S., Pothiya, S., Chaisawasd, A., Ratporn, J., Thanyacharoen, N., ... & Wattana, S. (2025, March). Improving Load Frequency Control in Power Systems by Optimizing PID Controllers with the Brown Bear Algorithm. In 2025 13th International Electrical Engineering Congress (IEEECON) (pp. 1-6). IEEE.

พูน ปณ ภัโต ชีเว