การปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีหมากรุก สำหรับการควบคุมความถี่โหลดของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ

วิทยานิพนธ์

ของ

โชติธนินท์ วรรณทัศนาทัศน์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

พฤษภาคม 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีหมากรุก สำหรับการควบคุมความถี่โหลดของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ

วิทยานิพนธ์

ของ

โชติธนินท์ วรรณทัศนาทัศน์

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

พฤษภาคม 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Optimal Tuning PID Controller Parameters using Chess Algorithm Optimization for Load Frequency Control of Combined Wind-Natural Gas Power System

Chodthanin Wanthatsanathat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

May 2025

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายโชติธนินท์ วรรณทัศนาทัศน์ แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. จักรพนธ์ อบมา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศ. ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. นวรัตน์ พิลาแดง)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. ชัยยงค์ เสริมผล)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....

(รศ. ดร. จักรมาส เลาหวณิช)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....

(ผศ. ดร. พลเดช เชาวรัตน์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีหมากรุก สำหรับการควบคุมความถี่โหลดของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ

ผู้วิจัย โชติธนินท์ วรรณทัศนาทัศน์

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2568

บทคัดย่อ

การออกแบบตัวควบคุมพีไอดี ต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้งสามตัวของตัวควบคุม นั่นคือ อัตราขยายสัดส่วน อัตราขยายอินทิกรัล และอัตราขยายอนุพันธ์ ซึ่งสมรรถนะของการควบคุมจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์เหล่านี้ ในวิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบใหม่ ได้แนวคิดมาจาก เกมส์หมากรุกสากล เราเรียกว่า วิธีหมากรุก (Chess Algorithm) ในการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ของตัวควบคุมพีไอดี การทดสอบได้ทำการออกแบบควบคุมสำหรับระบบควบคุมความถี่โหลด (Load Frequency Control; LFC) วิธีการที่นำเสนอนี้มีลักษณะเฉพาะที่ดีหลายประการ คือ ง่ายต่อการดำเนินการ คุณลักษณะการลู่เข้าสู่คำตอบที่คงตัว มีประสิทธิภาพการประมวลผลที่ดี และได้คำตอบที่มีคุณภาพสูง เพื่อที่จะประเมินคุณภาพของตัวควบคุมที่ออกแบบนี้ ได้ทำการทดสอบโดยใช้เกณฑ์ด้านสมรรถนะ (Performance Criteria) หลายแบบ ผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่า วิธีการที่นำเสนอนี้ มีประสิทธิภาพและคงทนในการปรับปรุงผลตอบสนองทางเวลาของระบบระบบควบคุมความถี่โหลด

คำสำคัญ : วิธีหมากรุก, ระบบควบคุมความถี่โหลด, ขบวนการฮิวรีสติก, ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด, ระบบไฟฟ้ากำลัง

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

TITLE Optimal Tuning PID Controller Parameters using Chess Algorithm Optimization for Load Frequency Control of Combined Wind-Natural Gas Power System

AUTHOR Chodthanin Wanthatsanathat

ADVISORS Professor Worawat Sa-Ngiamvibool , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Electrical and Computer Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2025

ABSTRACT

Designing of proportional-integral-derivative (PID) controller, the three parameters, i.e., proportional gain, integral gain, and derivative gain, are tuned. The performance of the controller directly relies on these parameters. This thesis presents a new optimization technique based on the Chess game, which we call “Chess Algorithm; CA) for optimal tuning the parameters of PID controller for Load Frequency Control of the Wind-Natural Gas Power System. The proposed approach had many good features such as easy implementation, stable convergence characteristics, good computational efficiency, and high-quality solutions. In order to assist in estimating the performance of the proposed CSO-PID controller, many time-domain performance criterion functions were also tested. The simulation results showed that the proposed technique was indeed more efficient and robust in improving the step response of an AVR system.

Keyword : Chess Algorithm, Load Frequency, Control Heuristic Algorithm, Optimization technique, Power systems problem

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความกรุณาของ ศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุกๆท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้และให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่เอกสารทางด้านวิชาการต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นภายในประเทศและต่างประเทศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกๆท่าน และขอขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ระดับปริญญาโท และ ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุกๆท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านเอกสารต่างๆ และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่น้องทุกๆท่าน ที่คอยให้การสนับสนุนและช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้าในทุกๆด้าน พร้อมทั้งเป็นกำลังใจสามารถทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี สำหรับคุณค่าและประโยชน์อันใด ที่ได้มาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีอุปการะคุณทุกท่าน

โชติธนินท์ วรรณทัศนาทัศน์

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพประกอบ ..... ญ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4

บทที่ 2 5

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 กล่าวนำ 5

2.2 ระบบไฟฟ้ากำลัง 5

2.3 การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง 10

2.4 ตัวควบคุม (Controller) 17

2.5 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm; GA) 20

2.6 วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization; PSO) 26

2.7. วิธีฝูงผึ้ง (Bee Algorithm; BA) 32

2.8 วิธีหมากรุก (Chess Algorithm; CA) 37

บทที่ 3 47
วิธีดำเนินการวิจัย 47
3.1 บทนำ.....47
3.2 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ศึกษา.....47
3.3 การออกแบบตัวควบคุม 50
3.3 การดำเนินการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมในการออกแบบระบบ.....50
3.4 ระเบียบวิธีการของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดี 51
3.4.1 วิธีพันธุกรรมยีนต์.....51
บทที่ 4 57
ผลการวิจัยและอภิปรายผล 57
4.1 กล่าวนำ 57
4.2 ตัวควบคุมที่เหมาะสม 58
4.3 การตอบสนองพลวัต 60
บทที่ 5 64
สรุปผล และข้อเสนอแนะ 64
5.1 สรุปผล.....64
5.2 ข้อเสนอแนะ 64
บรรณานุกรม 65
ประวัติผู้เขียน 68

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 สรุปข้อดีและข้อเสียของโรงไฟฟ้า 6

ตาราง 2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเบี่ยงเบนความถี่ กำลังทางกล และกำลังไฟฟ้า 16

ตาราง 3 ผลกระทบต่อผลตอบสนองทางเวลาของระบบ เมื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์อย่างอิสระ.....19

ตาราง 4 สรุปหลักการในการดำเนินงานของแต่ละวิธี.....41

ตาราง 5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับแบบจำลองระบบ 49

ตาราง 6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดี กรณีโหลดมีค่า 0.01 p.u.kW ด้านกังหันลม 58

ตาราง 7 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดี กรณีโหลดมีค่า 0.01 p.u.kW ด้านก๊าซ 59

ตาราง 8 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดี กรณีโหลดมีค่า 0.01 p.u.kW ด้านกังหันลม-ก๊าซ 59

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 1 โรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ 7

ภาพประกอบ 2 แบบจำลองของเครื่องยนต์ก๊าซและตัวบังคับ 8

ภาพประกอบ 3 แบบจำลองของโรงไฟฟ้ากังหันลม 9

ภาพประกอบ 4 แบบจำลองการทำงานโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ 10

ภาพประกอบ 5 ไดอะแกรมการควบคุมความถี่โหลด และการควบคุมแรงดันไฟฟ้า.....11

ภาพประกอบ 6 วงรอบการควบคุมในวงกว้าง 12

ภาพประกอบ 7 การทำงานของตัวปรับความเร็ว.....13

ภาพประกอบ 8 ระบบไฟฟ้ากำลังอย่างง่าย 15

ภาพประกอบ 9 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอดี.....18

ภาพประกอบ 10 ขั้นตอนการดำเนินงานของเชิงพันธุกรรม.....22

ภาพประกอบ 11 แสดงการสุ่มหาประชากรเริ่มต้น จำนวน 4 โครโมโซม 23

ภาพประกอบ 12 แสดงสัดส่วนของค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมในวงล้อรูเลต.....25

ภาพประกอบ 13 การข้ามสายพันธุ์.....25

ภาพประกอบ 14 การกลายพันธุ์.....26

ภาพประกอบ 15 ขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีกลุ่มอนุภาค.....31

ภาพประกอบ 16 ขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีฝูงผึ้ง.....36

ภาพประกอบ 17 การตั้งกระดานหมากรุกสากล 38

ภาพประกอบ 18 การเดินหมากแต่ละตัว 39

ภาพประกอบ 19 ผังงานของขั้นตอนการดำเนินงานของวิธียุทธวิธีหมากรุก 45

ภาพประกอบ 20การปักหมุดและการลดลำดับขั้น.....46

ภาพประกอบ 21 การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากำลังของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ.....48

ภาพประกอบ 22 แบบจำลองการทำงานของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ 48

ภาพประกอบ 23 แบบจำลองการทำงานของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ 57

ภาพประกอบ 24 ผลตอบสนองความถี่ระบบ ในกรณีที่ 1 (ด้านดีเซล) 60

ภาพประกอบ 25 ผลตอบสนองความถี่ระบบ ในกรณีที่ 2 (ด้านกังหันลม).....61

ภาพประกอบ 26 ผลตอบสนองความถี่ระบบ ในกรณีที่ 3 (ด้านกังหันลม-ก๊าซ).....62

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานไฟฟ้า มีสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และยังเป็นปัจจัยหลักต่อการพัฒนาประเทศ ทำให้ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเพื่อให้การผลิตกำลังไฟฟ้าเพียงพอต่อความต้องการ ระบบไฟฟ้ากำลังจำเป็นต้องแบ่งพื้นที่การควบคุมการผลิตกำลังไฟฟ้าออกเป็นพื้นที่ย่อยหลายพื้นที่ หรือแบ่งพื้นที่การเชื่อมต่อออกเป็นกลุ่มตามประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมีการต่อเชื่อมถึงกันด้วยสายส่งเชื่อมต่อ (Tie-Line) การเชื่อมโยงระบบกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ (Interconnected power system) ได้มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ด้วยเหตุผลที่ว่า ระบบจะช่วยกันจัดส่งกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของโหลดและยังเพิ่มความน่าเชื่อถือทางด้านเศรษฐศาสตร์อีกด้วย อย่างไรก็ตาม การเชื่อมโยงระบบไฟฟ้ากำลังทำให้ระบบมีขนาดใหญ่ขึ้นก่อให้เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ (Inter-area oscillation) ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านเสถียรภาพ (Stability) ของระบบหากเกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดอย่างทันทีทันใด หรือเกิดความผิดพร่อง (Fault) ทำให้ระบบสูญเสียเสถียรภาพ ส่งผลให้ไฟฟ้าดับได้ นอกจากนั้น วิกฤตการณ์ด้านพลังงานในการนำมาผลิตไฟฟ้า ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม หรือแม้กระทั่งการลงทุนติดตั้งระบบจำหน่ายไปยังหมู่เกาะ หรือชุมชนที่อยู่ห่างไกล จากระบบที่กล่าวมานั้น แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed generator) เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการนำมาใช้แก้ปัญหาดังกล่าว เนื่องจากสามารถลดปริมาณการสูญเสียพลังงานในการส่งกำลังไฟฟ้า โดยให้แหล่งผลิตไฟฟ้าอยู่ใกล้กับแหล่งที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้า นอกจากนั้นยังสามารถที่จะลดขนาด และจำนวนการสร้างสายส่งไฟฟ้าได้อีกด้วย โดยทั่วไปแล้วแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหลายๆ ชนิด เช่น กังหันลม (Wind turbine) กังหันก๊าซ (Gas turbine) กังหันขนาดเล็ก (Micro-turbine) การผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel generator) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก๊าซ (Gas Engine generator) เป็นต้น เพื่อช่วยกันจ่ายโหลดในระบบเล็กๆ ระบบไฟฟ้ากำลังแบบนี้เรียกว่า ระบบไมโครกริด

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา พลังงานทดแทน (Alternative Energy) ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในการใช้ผลิตกำลังไฟฟ้าอันเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น ลดมลพิษที่เกิดจากแหล่งพลังงานหลัก ลดการใช้พลังงานหลักซึ่งมีราคาสูง และมีแนวโน้มไม่เพียงพอ และเพิ่มการผลิตกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่พลังงานทดแทนนี้เป็นพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงาน

หมุนเวียน (Renewable Energy) เช่น พลังงานลม (Wind) พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar) และพลังงานไฮโดรเจน (Hydrogen) ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด และมีอยู่ในธรรมชาติ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม (Wind Power: WP) ก็เป็นกำลังไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งที่มีบทบาทในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันเนื่องจากลมเป็นพลังงานที่สะอาดและมีต้นทุนการผลิตต่ำ เหมาะสมที่จะใช้ในสถานที่ห่างไกลและมีลมแรง อย่างเช่น ตามหมู่เกาะหรือภูเขาสูง แต่อย่างไรก็ตาม กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมไม่มีความสม่ำเสมอ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนของลมในธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดผลเสียต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังได้ ทั้งในส่วนของการแกว่งของกำลังไฟฟ้า และความถี่ ดังนั้นจึงได้นิยมทำการชดเชยร่วมกับพลังงานอื่น เช่น พลังงานก๊าซ เป็นต้น เรียกโรงไฟฟ้าแบบนี้ว่า โรงไฟฟ้ากังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ (Wind-Natural Gas Power Plant) เพื่อทำให้การผลิตและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ และเกิดการแกว่งของความถี่น้อยที่สุดจึงจำเป็นต้องมีตัวควบคุมเพื่อทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีเสถียรภาพ คือ ความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังในการกลับคืนสู่จุดทำงานที่สมดุลหลังเกิดการรบกวนในระบบไฟฟ้ากำลัง การควบคุมการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังให้มีเสถียรภาพสูงจะใช้การการควบคุมการผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic Generation Control : AGC) เพื่อช่วยให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น การควบคุมการผลิตไฟฟ้ากำลังจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมความถี่-โหลด (Load-Frequency Control : LFC) การควบคุมนี้เป็นการควบคุมให้การจ่ายกำลังไฟฟ้ามีความเพียงพอต่อความต้องการโหลด พร้อมทั้งให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) และมีคุณภาพที่ดี คุณลักษณะของระบบไฟฟ้ากำลังนั้นอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น กรณีเกิดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของโหลด หรือมีสภาวะที่ผิดปกติอันเนื่องมาจากความล้มเหลวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของระบบไฟฟ้ากำลัง สิ่งเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังที่ยากจะคาดเดา ปัญหาเหล่านี้จะถูกดำเนินการแก้ไขโดยการควบคุมความถี่ด้วยการควบคุมกำลังไฟฟ้าด้านเอาท์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในพื้นที่ที่ถูกกำหนด วัตถุประสงค์หลักของการควบคุมการผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติก็เพื่อต้องการบรรลุผลตามที่ต้องการ ดังนี้ 1) ค่าความคาดเคลื่อนสถานะอยู่ตัว (Steady state error) ของระบบมีค่าเท่ากับศูนย์ในสายส่งเชื่อมต่อขณะที่ความถี่เบี่ยงเบน 2) มีการควบคุมพฤติกรรมของระบบชั่วครู่ (Transient) ให้เหมาะสม 3) ในสถานะอยู่ตัวระดับการดำเนินงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกกำหนดให้เหมาะสมตามเงื่อนไขของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

ในอดีตที่ผ่านมาตัวควบคุมที่นิยมนำมาใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพในระบบไฟฟ้ากำลัง ส่วนใหญ่จะเป็นแบบ ตัวควบคุมพีไอ (Proportional integral : PI) และตัวควบคุมพีไอดี (Proportional integral derivative : PID) เนื่องจากการออกแบบง่าย ราคาถูก อย่างไรก็ตาม ตัวควบคุมเหล่านี้ไม่เหมาะกับระบบที่มีอันดับสูงๆ (High-order) ระบบที่มีเวลา

หน่วง (Time-delay) ระบบที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงๆ (High-nonlinear system) และระบบที่มีความซับซ้อนมากๆ

ในระหว่างทศวรรษที่ผ่านมา ตัวควบคุมพีไอดี มีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในระบบการควบคุมต่างๆ เช่น ระบบการควบคุมความถี่โหลด (Load-Frequency Control : LFC) ระบบการควบคุมแรงดันสำหรับเครื่องจักรกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Voltage control for a synchronous generator) ระบบการควบคุมกังหันลม เป็นต้น แต่การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีดังเดิม ใช้วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม โดยใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and error) ทำให้ยากต่อการออกแบบ และได้ผลลัพท์ที่ไม่ดีเพียงพอ

ในปัจจุบันจึงได้นำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมอย่างชาญฉลาด (Intelligent Optimization Algorithm) หลายวิธีมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม อย่างเช่น วิธีพันธุกรรมยีนต์ (Genetic algorithm; GA) วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization; PSO) วิธีฝูงผึ้ง (Bee Algorithm; BA) วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential evolution algorithm; DEA) และ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network; ANN)

ในการออกแบบระบบควบคุมที่เหมาะสม (Optimal Control) โดยทั่วไปมักจะใช้ เกณฑ์ดัชนีสมรรถนะแบบปริพันธ์ (Integral performance index criteria) ในการประเมินสมรรถนะของตัวควบคุม อย่างเช่น ปริพันธ์ของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (Integral Absolute Error; IAE) ปริพันธ์ของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (Integral Time multiplied Absolute Error; ITAE) ปริพันธ์ของค่าผิดพลาดกำลังสอง (Integral Square Error; ISE) และ ปริพันธ์ของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (Integral Time multiplied Square Error; ITSE) ซึ่งแต่ละเกณฑ์ดัชนีสมรรถนะเหล่านี้มีข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกันออกไป

วัตถุประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบใหม่ ที่เรียกว่า วิธีหมากรุก (Chess Algorithm Optimization; CAO) ในการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ของตัวควบคุมพีไอดี สำหรับระบบรักษาระดับแรงดันอัตโนมัติ วิธีการที่นำเสนอนี้ ได้แรงบันดานใจมาจากเกมหมากรุกสากล รวมถึง วิธีการเดินของตัวหมากรุกแต่ละตัว และยุทธศาสตร์การเล่น เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีการหาค่าที่เหมาะสม ทำให้ได้ อัลกอริทึม (Algorithm) ที่มีลักษณะเฉพาะที่ดีหลายประการ คือ ง่ายต่อการดำเนินการ คุณลักษณะการลู่เข้าสู่คำตอบที่คงตัว มีประสิทธิภาพการประมวลผลที่ดี และได้คำตอบที่มีคุณภาพสูง เพื่อที่จะประเมินคุณภาพของตัวควบคุมที่ออกแบบนี้ ได้ทำการทดสอบโดยใช้เกณฑ์ดัชนีสมรรถนะหลายแบบ พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลกับวิธีการอื่น ๆ อีกทั้งยังได้ทำการวิเคราะห์ความคงทน (Robustness analysis) ในกรณีค่าพารามิเตอร์ของระบบเปลี่ยนแปลง (Parameters variation)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เรียนรู้การใช้และเขียนโปรแกรม MatLab® ในการหาค่าที่เหมาะสม

1.2.2 แก้ปัญหาการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบโรงไฟฟ้ากังหันลมร่วมก๊าซธรรมชาติ โดยใช้การหาค่าที่เหมาะสมแบบใหม่ เรียกว่า วิธีหมากรุก

1.2.3 ศึกษาผลสมรรถนะของการควบคุม เมื่อใช้เกณฑ์ดัชนีสมรรถนะ แบบต่าง ๆ มาทดสอบระบบ

1.2.4 ศึกษาวิธีการและผลลัพธ์ในการวิเคราะห์ความคงทนของระบบ ในกรณีค่าพารามิเตอร์ของระบบเปลี่ยนแปลง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 คิดค้นหลักการและลำดับขั้นตอนของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบใหม่ เรียกว่า วิธีหมากรุก และดำเนินการเขียนโปรแกรมภาษา MatLab® เพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอดี สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบโรงไฟฟ้ากังหันลมกับก๊าซธรรมชาติร่วมกัน

1.3.2 เปรียบเทียบผลสมรรถนะของการควบคุม เมื่อใช้เกณฑ์ดัชนีสมรรถนะหลายแบบ

1.3.3 ทำการวิเคราะห์ความคงทนของระบบ ในกรณีค่าพารามิเตอร์ของระบบเปลี่ยนแปลง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม

1.4.2 ได้พัฒนาวิธีการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีแบบใหม่ ที่มีสมรรถนะที่ดี และมีประสิทธิภาพ

1.4.3 ได้ความรู้เกี่ยวกับการใช้และเขียนโปรแกรม MatLab®

1.4.4 เป็นพื้นฐานในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมกับปัญหาอื่นๆ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

การปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดี สำหรับโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับหลายหัวข้อ ได้แก่ โรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ ตัวควบคุมและการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี วิธีการหาค่าที่เหมาะสมเชิงวิวัฒนาการ ได้แก่ วิธีเชิงพันธุกรรม วิธีกลุ่มอนุภาค วิธีฝูงผึ้ง และวิธีหมากรุก เป็นต้น ในบทนี้จะแสดงรายละเอียดทั้งหมดดังที่กล่าวมานี้ พร้อมทั้งรายละเอียดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2 ระบบไฟฟ้ากำลัง

ในปัจจุบันนี้ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศต่างๆ มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการมีระบบไฟฟ้าที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ จึงนับได้ว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมาก การได้มาซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังที่ดีนั้น ต้องผ่านกระบวนการอยู่หลายขั้นตอนไม่ว่าจะเป็นการวางแผนการวิเคราะห์ การดำเนินการ และการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้ากำลัง ในแต่ละขั้นตอนล้วนแล้วแต่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการทำงานของระบบไฟฟ้าเป็นอย่างยิ่ง การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังนับได้ว่าเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่จะบอกได้ว่าระบบไฟฟ้านั้นมีความสามารถในการผลิตส่งจ่ายและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด การวิเคราะห์จะพิจารณาตั้งแต่เรื่องความเพียงพอของพลังงานไฟฟ้าและความสูญเสียทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสภาวะการทำงานปกติ ตลอดจนการพิจารณาถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อระบบเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบ

พลังงานที่นำมาเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มีหลากหลาย ทั้งพลังงานที่เกิดจาก พลังงานฟอสซิล พลังงานลม พลังงานความร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ ซึ่งพลังงานแต่ละประเภทมีความยากง่าย ในการแปลงรูปพลังงานแตกต่างกัน รวมทั้งยังใช้เทคโนโลยีที่ต่างกันด้วย การผลิตไฟฟ้าจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้โรงผลิตไฟฟ้าก็คืออุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงาน ชนิดอื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแบ่งได้หลายประเภทตามเทคโนโลยีที่ใช้ผลิตไฟฟ้า แต่โรงไฟฟ้าที่ได้นำมาวิเคราะห์เพื่อทำการวิจัยมีดังนี้

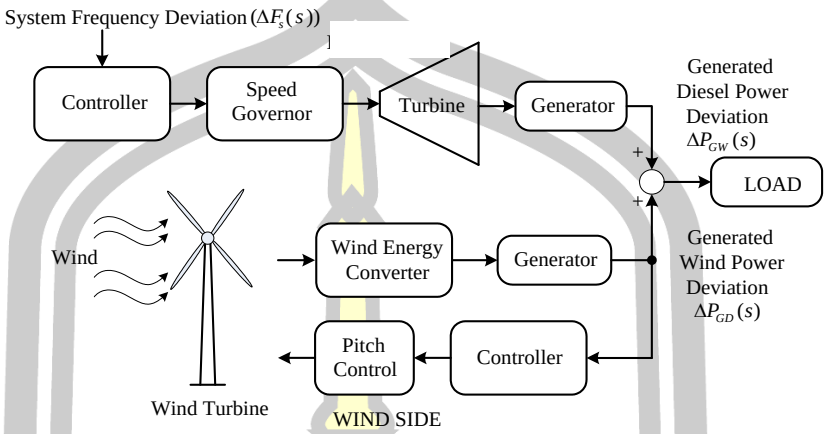
1. โรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ คือ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนอีกประเภทหนึ่ง ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงสันดาปภายในร่วมกับการอัดของอากาศเกิดความร้อนและจุดระเบิดต่อเนื่องกันทำให้เครื่องยนต์หมุนไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าออกมา

2. โรงไฟฟ้ากังหันลม หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้า คือ เมื่อกระแสลมพัดผ่านใบพัดของกังหันลม พลังงานจลน์ของลมจะทำให้ใบพัดหมุน ซึ่งการหมุนนี้จะสร้างพลังงานกลที่ถ่ายทอดมายังแกนหมุนของกังหัน พลังงานกลดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับแกนหมุน จากนั้นกระแสไฟฟ้าที่ได้จะผ่านเข้าสู่ระบบควบคุมไฟฟ้าก่อนส่งต่อเข้าสู่ระบบใช้งานต่อไป ทั้งนี้ ปริมาณไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเร็วลม ความยาวของใบพัด และตำแหน่งที่ติดตั้งกังหันลม

ตาราง 1 สรุปข้อดีและข้อเสียของโรงไฟฟ้า

แหล่งพลังงาน	ข้อดี	ข้อเสีย
ก๊าซธรรมชาติ	1. ต้นทุนในการเดินเครื่องต่ำ 2. กำลังผลิตสูง สามารถจ่ายเสริมเข้าระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ	1. มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใกล้เคียง
ลม	1. ราคาถูก 2. นำกลับมาใช้ใหม่ได้ 3. ไม่มีมลภาวะ 4. เหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยเฉพาะที่มีลมแรงตลอดเวลา (Wind farm)	1. สามารถใช้ได้ในบางพื้นที่เท่านั้น 2. ความเร็วลมต้องมากกว่า 21 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 3. มีความจำเป็นต้องจัดหาระบบสำรองไว้ด้วย 4. ทำให้เกิดการรบกวนในการส่งสัญญาณโทรทัศน์และไมโครเวฟ

2.2.1 โรงไฟฟ้ากังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ

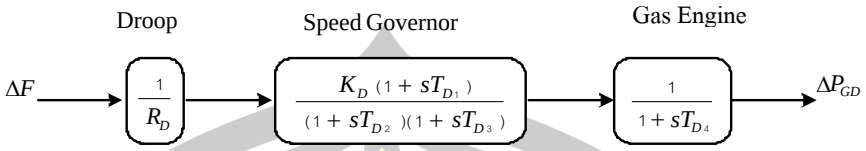


ภาพประกอบ 1 โรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ

โรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม- ก๊าซธรรมชาติ ดังแสดงภาพประกอบ 1 ประกอบด้วยโรงไฟฟ้าร่วมกังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ หลักการทำงานและแบบจำลองของระบบที่ใช้ในการทดสอบการดำเนินการทั้งในส่วนของโรงไฟฟ้ากังหันลมและโรงไฟฟ้าดีเซลสามารถอธิบายได้ดังนี้

โรงไฟฟ้าก๊าซ เป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้การเผาไหม้ หรือการสันดาปภายในโดยใช้ก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ นี้สามารถเดินเครื่องได้รวดเร็วมีประสิทธิภาพสูงในการใช้เป็นโรงไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าสำรองสำหรับจ่ายไฟฟ้าเข้าเสริมระบบในขณะที่มีการใช้โหลดจำนวนมาก (Peak load) หรือเป็นโรงไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าหลักในกรณีที่ศูนย์กลางโหลดห่างไกลจากแหล่งโรงไฟฟ้ากำลังชนิดอื่นๆ เช่น ตามหมู่เกาะหรือหมู่บ้านตามชนบท และในปัจจุบันได้มีการนำเอาโรงไฟฟ้าชนิดนี้มาผลิตไฟฟ้าร่วมกับการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เช่น ระบบไมโครกริด เนื่องจากสามารถช่วยลดปัญหาการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ไม่คงที่ในระบบได้ เครื่องยนต์ก๊าซ ใช้เป็นต้นกำลังในการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีหลักการทำงานเหมือนกับเครื่องยนต์ในรถยนต์ทั่วไป คือ ใช้วิธีการอัดอากาศภายในห้องสูบซึ่งจะเกิดการระเบิดจนมีความดันสูงทำให้สามารถดันลูกสูบ ก้านสูบ เพลาข้อเหวี่ยงให้หมุนเกิดพลังงานกลไปขับเคลื่อนกังหัน (Turbine) ที่ต่ออยู่กับเพลาโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าออกไปใช้งานต่อไป

แบบจำลองของโรงไฟฟ้าก๊าซและตัวบังคับความเร็ว ได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 2 แบบจำลองนี้ได้มีใช้กันอย่างแพร่หลาย และสามารถแสดงถึงพฤติกรรมทางพลวัตของโรงไฟฟ้าดีเซลเล็กๆ ได้ดี แบบจำลองเครื่องยนต์ก๊าซและตัวบังคับ ได้ทำการแทนด้วยสมการอันดับหนึ่งและสมการถ่ายโอนนำหน้า-ล้าหลัง (Lead-lag)



ภาพประกอบ 2 แบบจำลองของเครื่องยนต์ก๊าซและตัวบังคับ

เมื่อ

ΔF คือ การเปลี่ยนแปลงของความถี่ (Hz)

R_D คือ คุณลักษณะของดรูป (Droop)

K_D คือ อัตราขยายของตัวบังคับความเร็ว

T_{D1} ,T_{D2}, T_{D3} คือ ค่าคงตัวเวลาของตัวบังคับความเร็ว

T_{D4} คือ ค่าคงตัวเวลาของเครื่องยนต์ก๊าซ

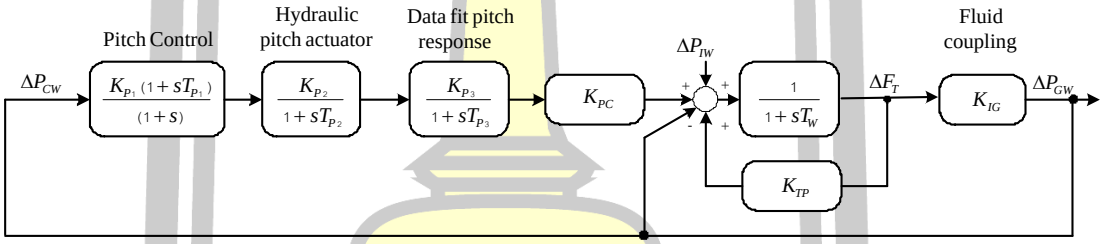
ΔP_{GD} คือ การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าด้านเครื่องยนต์ก๊าซ (pu kW)

โรงไฟฟ้ากังหันลม คือ เครื่องจักรกลที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ กังหันลมสามารถแบ่งออกตามลักษณะการจัดวางแกนของใบพัดได้ 2 รูปแบบ คือ 1) กังหันลมแกนตั้ง เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ กังหันลมประเภทนี้จะให้กำลังลมเท่ากันไม่ว่าลมจะมาทิศทางใด แต่หมุนช้ากว่ากังหันลมแกนนอน คือ มีความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลมสูงสุดไม่เกินสองเท่าของความเร็วลม ใบรับลมจะเป็นวัสดุแผ่นบางๆ ที่แบนหรือโค้งก็ได้ เช่น กังหันลมแดร์เรียส (Darrius) หรือกังหันลมซาโวเนียส (Savonius) ซึ่งออกแบบโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศส 2) กังหันลมแกนนอน เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ โดยมีใบพัดกังหันลมเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม กังหันลมประเภทนี้หมุนด้วยความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม ใบรับลมจะเป็นวัสดุแผ่นบางๆ ที่แบนหรือโค้งก็ได้ เช่น กังหันลมพรอเพลเลอร์ (Propeller) หรือกังหันลมใบเสื่อลำแพน เป็นต้น

ส่วนประกอบสำคัญๆ ของระบบกังหันลมทั่วไปประกอบด้วย ส่วนแรก ใบกังหัน (Blades) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดพลังงานกลที่เพลาของกังหัน จำนวนใบกังหันอาจมีตั้งแต่หนึ่งใบถึงหลายสิบใบ กังหันลมที่มีจำนวนใบมากส่วนใหญ่จะใช้กับงานที่ต้องการแรงบิด (Torque) สูง ในทางตรงข้ามกังหันลมที่มีใบพัดน้อยจะใช้กับงานที่ต้องการความเร็วรอบสูง แรงบิดต่ำ เช่น การผลิตไฟฟ้า ส่วนที่ 2 คือ ระบบควบคุม ซึ่งมีอยู่ 2 ประเภท คือ 1) ควบคุมทิศทางกังหันลม ทำหน้าที่ควบคุมกังหันลมให้หันหน้าเข้าหาทิศทางลมตลอดเวลาเมื่อความเร็วต่ำ หรือให้หันหน้าออก

จากกระแสลมโดยการหันไปข้างๆ หรือหันเงยหน้าขึ้น หรือทำให้ใบกังหันหุบตัวเมื่อมีพื้นที่ของกังหันที่รับกระแสลมน้อยลงเมื่อความเร็วสูงเกินกำหนด ซึ่งเรียกว่าการควบคุมการบิดของใบพัด (Pitch control) และ 2) ควบคุมความเร็วรอบของเพลา เป็นระบบควบคุมที่มีการทดรอบให้สอดคล้องกันระหว่างความเร็วรอบของแกนกังหันลมกับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเสียหายเนื่องจากความเร็วลมสูงๆ จะมีแรงกระทำกับใบกังหันอย่างมาก ดังนั้นจึงออกแบบระบบควบคุมให้ทำงานที่ความเร็วสูงสุดที่กังหันจะรับได้ค่าหนึ่ง การควบควบคุมจะมีลักษณะการทำงาน คือ ทำให้เกิดการหน่วงต่อการหมุนของกังหันลม ซึ่งอาจทำได้โดยการบิดมุมของใบกังหันให้เกิดการหน่วงมากกว่าการขับ หรือเพิ่มชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดแรงหน่วงขึ้นอย่างสูง เมื่อความเร็วถึงจุดที่กำหนดไว้

แบบจำลองของโรงไฟฟ้ากังหันลมได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 3 ประกอบไปด้วย ส่วนของตัวขับเร้าการบิดของใบพัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic pitch actuator) ผลตอบสนองของการบิดใบพัดที่เหมาะสมของข้อมูล (Data fit pitch response) และฟลูอิดคัปปลิ่ง (Fluid coupling)



ภาพประกอบ 3 แบบจำลองของโรงไฟฟ้ากังหันลม

เมื่อ

K_{P1}, T_{P1} คือ อัตราขยาย และค่าคงตัวเวลาของการควบคุมการบิดของใบพัด

K_{P2}, T_{P2} คือ อัตราขยาย และค่าคงตัวเวลาของตัวขับเร้าการบิดของใบพัดแบบไฮดรอลิก

K_{P3}, T_{P3} คือ อัตราขยาย และค่าคงตัวเวลาของผลการตอบสนองของการบิดของใบพัด

K_{PC} คือ อัตราขยายคุณลักษณะของใบพัด

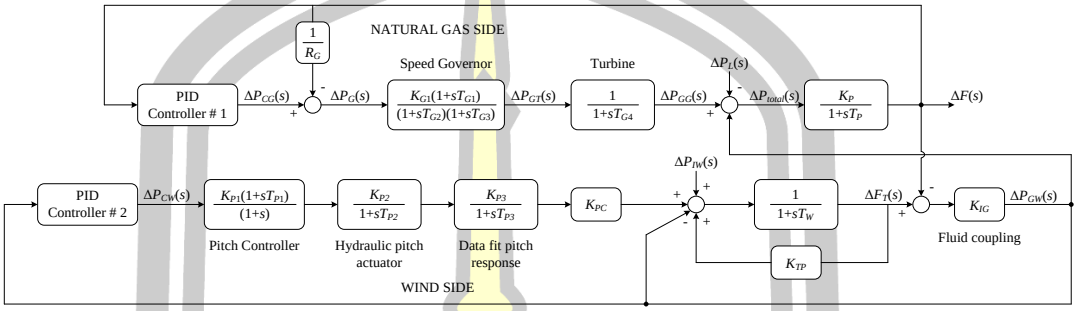
ΔP_{IW} คือ การเปลี่ยนแปลงของกำลังลมอินพุต

K_{TP}, T_W คือ อัตราขยาย และค่าคงตัวเวลาของระบบกังหันลม

K_{IG} คือ อัตราขยายของฟลูอิดคัปปลิ่ง

ΔP_{GW} คือ การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้ากังหันลม

จากภาพประกอบ 2 และ 3 แสดงแบบจำลองการทำงานร่วมกันระหว่างโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ พร้อมกับตัวควบคุมทั้งทางด้านของตัวบังคับความเร็วและตัวควบคุมด้านตัวขับเร้าการบิดของใบพัด ได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แบบจำลองการทำงานโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ

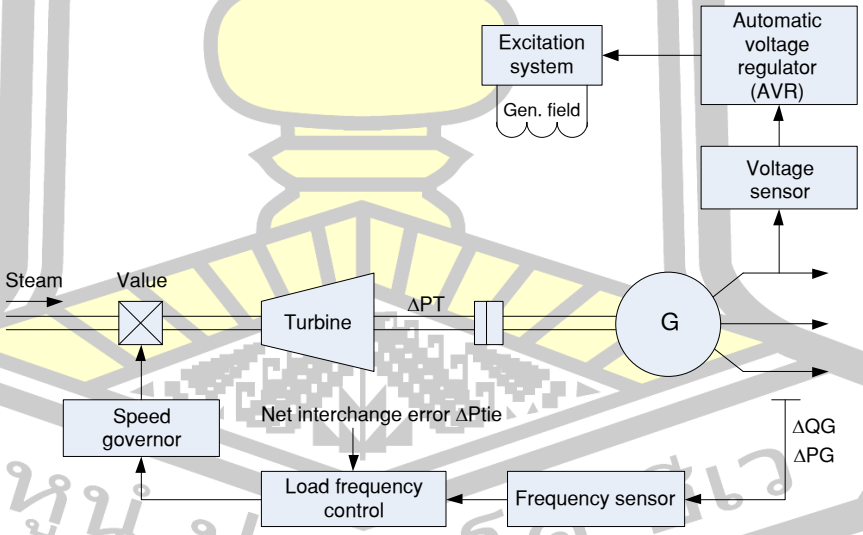
2.3 การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง

การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง คือ การควบคุมค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า ขนาดแรงดัน และความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยการควบคุมระบบไฟฟ้านั้นสามารถปฏิบัติได้ตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (Generation system) และการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Transmission system) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกสนใจการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าซึ่งมีผลโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive power) อีกส่วนหนึ่งสนใจการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง หรือการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าซึ่งมีผลโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าจริง (Real power) ในขณะที่กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟมีผลน้อยต่อค่าความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งเป็นผลให้มีการควบคุมแบบแยกส่วนกันระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ โดยการควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังทำได้จากการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง ส่วนการควบคุมแรงดันของระบบไฟฟ้ากำลังทำได้จากการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ การควบคุมความถี่มีความสำคัญมากต่อการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเครือข่ายขนาดใหญ่และมีการแลกเปลี่ยนโหลดทางไฟฟ้า หรือจ่ายโหลดทางไฟฟ้าทดแทนกัน ซึ่งการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าที่แลกเปลี่ยนกันระหว่างพื้นที่นั้นจะต้องมีค่าความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นเรื่องการควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง

วิธีการควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยการควบคุมระบบผลิตไฟฟ้า ถูกพัฒนาจากการควบคุมระบบผลิตไฟฟ้าหนึ่งหน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าเพียงพื้นที่เดียวไปเป็นการควบคุมระบบผลิต

ไฟฟ้าหลายหน่วยเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังพื้นที่หลายพื้นที่ โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าขนานร่วมกันทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าทดแทนกัน หรือแลกเปลี่ยนกันได้ กฎเกณฑ์ของการควบคุมระบบผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติในระบบไฟฟ้ากำลัง (Automatic generation control : AGC) เน้นที่การควบคุมค่าผิดพลาดในแต่ละพื้นที่ (Area control error : ACE) เข้ามีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุดโดยที่การควบคุมค่าความผิดพลาดในแต่ละพื้นที่มีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างระหว่างความถี่ที่วัดได้จริงในขณะนั้นและกำลังไฟฟ้าที่กำหนดขึ้น นั่นหมายความว่าการควบคุมระบบผลิตไฟฟ้าเป็นการควบคุมค่าความผิดพลาดในแต่ละพื้นที่ให้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด ซึ่งมีหลายวิธีการในควบคุมค่าความผิดพลาดในแต่ละพื้นที่ โดยขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบควบคุม

การควบคุมระบบผลิตไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว และการควบคุมความถี่ โดยพิจารณาการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส ดังภาพประกอบ 5 ประกอบด้วยชุดควบคุม 2 ชุด ชุดหนึ่งเป็นการปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic voltage regulator : AVR) พิจารณากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เช่น การกระตุ้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการป้อนไฟฟ้ากระแสตรงผ่านขดลวดฟิลด์ แล้วทำให้เกิดสนามแม่ที่คงที่ มีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีค่าคงที่ และอีกชุดหนึ่งเป็นการควบคุมความถี่โหลด (Load frequency control : LFC) โดยพิจารณากำลังไฟฟ้าจริง

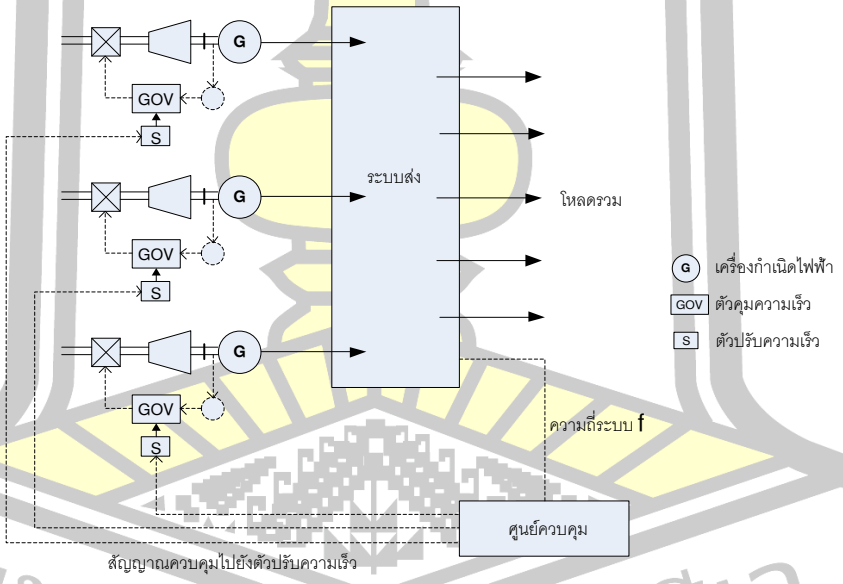


ภาพประกอบ 5 ไดอะแกรมการควบคุมความถี่โหลด และการควบคุมแรงดันไฟฟ้า

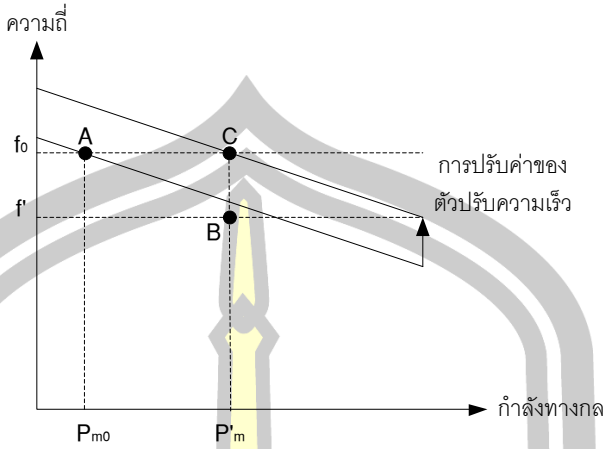
2.3.1 การควบคุมระบบผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic generation control : AGC)

การควบคุมระบบผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีเสถียรภาพมากขึ้นเป็นการทำงานที่มีการควบคุมความถี่โหลด ซึ่งเป็นการควบคุมที่สำคัญอย่างมากในการดำเนินการของระบบไฟฟ้ากำลังและการควบคุมสำหรับจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการ พร้อมทั้งยังต้องทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีความน่าเชื่อถือ และมีคุณภาพที่ดี

วงรอบของการควบคุมในวงกว้างเป็นการควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังจากศูนย์ควบคุม เรียกการควบคุมนี้ว่า การควบคุมความถี่โหลด การควบคุมความถี่อัตโนมัติ (Automatic frequency control : AFC) หรือการควบคุมการผลิตไฟฟ้าอัตโนมัติ ภาพประกอบ 6 แสดงวงรอบการควบคุมในวงกว้างของระบบไฟฟ้ากำลังแยกโดดซึ่งไม่ได้เชื่อมโยงกับระบบอื่นๆ หลักการทำงานคือ เริ่มจากการวัดความถี่ของระบบ f ออกมาที่ศูนย์ควบคุมเพื่อคำนวณหาการเบี่ยงเบนความถี่เมื่อเทียบกับความถี่ซิงโครนัส จากนั้นจึงคำนวณค่าสัญญาณควบคุมเพื่อปรับความสมดุลระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตและกำลังไฟฟ้าที่โหลดแล้วส่งสัญญาณนี้ไปยังตัวปรับความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อควบคุมกำลังการผลิตให้สมดุลกับโหลดและกำจัดการเบี่ยงเบนความถี่ให้หมดไป



ภาพประกอบ 6 วงรอบการควบคุมในวงกว้าง



ภาพประกอบ 7 การทำงานของตัวปรับความเร็ว

การทำงานของตัวปรับความเร็วสามารถอธิบายได้โดยใช้คุณลักษณะการควบคุมความเร็ว หรือดรูป (Droop) ของตัวควบคุมความเร็วดังแสดงในภาพประกอบ 7 เริ่มจากการให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานที่จุด A ที่ความถี่ f_0 และกำลังทางกลเริ่มต้น P_{m0} ต่อมาเกิดการเพิ่มขึ้นของโหลดแบบขั้นบันได ส่งผลให้ความถี่ของระบบลดลงเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องซิงโครไนซ์กันที่ความถี่ระบบทำให้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องลดลงมาตามความสัมพันธ์สมการ $P_m + P_e = M\frac{df}{dt}$ เป็นผลทำให้จุดการทำงานของระบบเริ่มเคลื่อนตัวลงมาตามคุณลักษณะของดรูปของตัวควบคุมความเร็วมาที่จุด B ถ้าไม่มีการทำงานของตัวปรับความเร็ว กำลังทางกลจะขึ้นมาเป็น P'_m เพื่อให้สมดุลกับโหลดที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ความถี่ของระบบลดลงมาเป็น f' ซึ่งต่ำกว่า f_0 ในกรณีปรับความเร็วรอบได้รับสัญญาณควบคุมในวงกว้างจากศูนย์ควบคุมจะทำให้กราฟเส้นตรงซึ่งแสดงคุณลักษณะของตัวควบคุมความเร็วเคลื่อนตัวขึ้นไปขนานกับกราฟเส้นตรงคุณลักษณะเดิมเป็นผลให้จุดทำงานเคลื่อนตัวมาที่จุด C ซึ่งนอกจากจะทำให้ความถี่ของระบบกลับมาเป็น f_0 แล้ว กำลังการผลิตยังสมดุลกับโหลดอีกด้วย

เมื่อพิจารณาผลการทำงานของตัวปรับความเร็ว สามารถแสดงสมการเบี่ยงเบนกำลังทางกลในสถานะอยู่ตัวได้ คือ

$$\Delta P_m = \Delta P_{ref} \frac{1}{R}\Delta f \qquad (2.1)$$

เมื่อ ΔP_{ref} เป็นสมการเบี่ยงเบนกำลังทางกลอ้างอิงจากตัวปรับความเร็ว ส่วนพจน์ $-\frac{1}{R}\Delta f$ เป็นผลการควบคุมจากตัวควบคุมความเร็ว สำหรับ ΔP_{ref} สามารถคำนวณได้จากผลของปริพันธ์ของ Δf ที่วัดได้จากศูนย์ควบคุม

$$P_{ref} = -K_i \int \Delta f dt \quad (2.2)$$

K_i เป็นอัตราการขยายของตัวควบคุมอินทิกรัล (Integral controller) เนื่องจากวงรอบการควบคุมในวงกว้างใช้ตัวควบคุมอินทิกรัลในการสร้างสัญญาณ ΔP_{ref} จึงทำให้ Δf ถูกกำจัดให้มีค่าเป็นศูนย์ที่สถานะอยู่ตัว ส่งผลให้ความถี่ระบบกลับมาที่ความถี่ซิงโครนัส

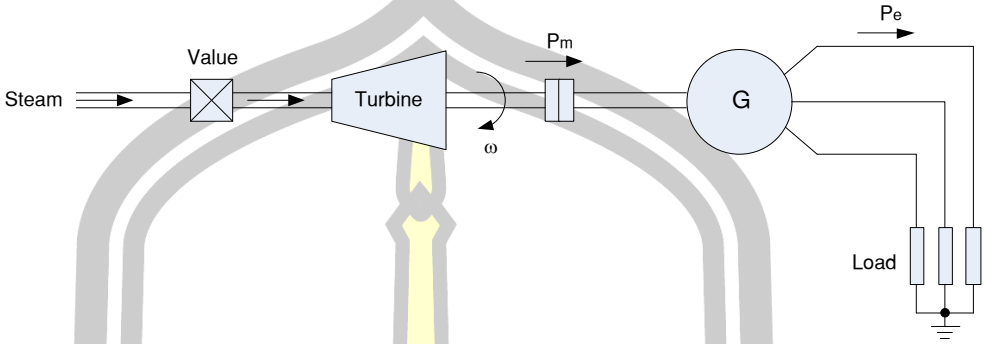
2.3.1.1 การควบคุมความถี่

วัตถุประสงค์ของการควบคุมความถี่ก็เพื่อรักษาระดับค่าความถี่ และค่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งไปในพื้นที่อื่นให้อยู่ในระดับที่กำหนดค่าไว้ การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ และการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าสามารถวัดได้จากเครื่องวัดที่ติดตั้งบริเวณขอบเขตของพื้นที่ควบคุม จากนั้นค่าสัญญาณผิดพลาด เช่น การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ และค่าการเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้าถูกนำมาทำกระบวนการการขยายสัญญาณ การรวมกันของสัญญาณ แล้วส่งสัญญาณไปยังเครื่องต้นกำลัง (Prime Mover) เพื่อควบคุมการเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตไฟฟ้าต่อไป

เครื่องต้นกำลัง เป็นตัวที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกำลังงานกลที่ป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในการเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าของความถี่ และการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุม คือ ต้องทราบฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ก่อน ต่อมาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ

เสถียรภาพความถี่ (Frequency stability) หมายถึง ความสามารถในการรักษาความถี่ซิงโครนัสของระบบไฟฟ้ากำลังให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เมื่อเกิดความไม่สมดุลระหว่างกำลังไฟฟ้าที่สร้างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความต้องการกำลังไฟฟ้าที่โหลด ความไม่สมดุลของกำลังไฟฟ้าจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความถี่ระบบและความถี่ซิงโครนัสหรือที่เรียกว่า การเบี่ยงเบนความถี่ (Frequency deviation) เมื่อการเบี่ยงเบนความถี่ที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าการเบี่ยงเบนความถี่ที่ยอมรับได้ จะทำให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพของกำลังไฟฟ้าและการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับในระบบได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมถี่ของระบบให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

2.3.1.2 หลักการควบคุมความถี่



ภาพประกอบ 8 ระบบไฟฟ้ากำลังอย่างง่าย

การควบคุมความถี่นั้นจะสัมพันธ์กับสมดุลระหว่างการผลิตไฟฟ้ากำลังและความต้องการกำลังไฟฟ้าในระบบ เมื่อเกิดความไม่สมดุลขึ้นระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตและโหลดจะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนความถี่ของระบบขึ้น เพื่อทำความเข้าใจในเรื่องนี้ พิจารณาระบบไฟฟ้ากำลังอย่างง่ายดังแสดงในภาพประกอบ 8 เครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า G ขับเคลื่อนด้วยกำลังทางกล P_m หน่วย MW และผลิตกำลังไฟฟ้า P_e หน่วย MW จ่ายให้กับโหลด P_L ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังทางกลและกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงด้วยสมการแกว่งในรูปความถี่ระบบ คือ

$$P_m - P_e = M\frac{df}{dt} \tag{2.3}$$

สมการนี้ยังแสดงถึงความสมดุลระหว่างการผลิตไฟฟ้า และความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดอีกด้วย เมื่อเกิดความไม่สมดุลระหว่างกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้าจะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนความถี่ (Δf) ขึ้นดังตาราง 2.2 เมื่อ $\Delta f = f - f_0$ คือ ผลต่างระหว่างความถี่ของระบบ f กับความถี่ซิงโครนัส f_0

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ตาราง 2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเบี่ยงเบนความถี่ กำลังทางกล และกำลังไฟฟ้า

ความแตกต่างระหว่างกำลังทางกลและไฟฟ้า	ความเร่งของโรเตอร์ $\frac{df}{dt}$	การเบี่ยงเบนความถี่ Δf
$P_m > P_e$ การผลิตกำลังไฟฟ้ามากเกินไป	บวก (เร่ง)	เพิ่ม
$P_m = P_e$ สมดุลระหว่างกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้า	ศูนย์ (ไม่มีความเร่ง)	คงที่
$P_m < P_e$ การผลิตกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอ	ลบ (หน่วง)	ลดลง

โดยทั่วไปสามารถนำสัญญาณการเบี่ยงเบนความถี่มาใช้แทนความไม่สมดุลของกำลังไฟฟ้าในระบบเพื่อควบคุมความถี่ระบบได้ หลักการควบคุมความถี่ คือ การสร้างความสมดุลระหว่างกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้า นั่นคือ $P_m = P_e$ เพื่อทำให้ความถี่ของระบบเท่ากับความถี่ซิงโครนัส สามารถอธิบายหลักการควบคุมได้ดังนี้

1) เมื่อความถี่ของระบบมากกว่าความถี่ซิงโครนัส เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตมากกว่าความต้องการกำลังไฟฟ้า $(P_m > P_e)$ ในการควบคุมความถี่ให้กับมาที่ความถี่ซิงโครนัส จำเป็นต้องลดกำลังทางกลลงมาโดยการลดปริมาณไอน้ำที่ไหลเข้ากังหันเพื่อให้กำลังทางกลด้านเข้าลดลงจนสมดุลกับกำลังไฟฟ้าด้านออก

2) เมื่อความถี่ของระบบน้อยกว่าความถี่ซิงโครนัส เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตไม่เพียงพอกับความต้องการกำลังไฟฟ้า $(P_m < P_e)$ ในการควบคุมความถี่ให้กับมาที่ความถี่ซิงโครนัส จึงจำเป็นต้องเพิ่มกำลังทางกลโดยการเพิ่มปริมาณไอน้ำที่ไหลเข้ากังหันเพื่อให้สมดุลกับกำลังไฟฟ้าด้านออก และทำให้ความถี่ของระบบกลับมาที่ความถี่ซิงโครนัส

2.4 ตัวควบคุม (Controller)

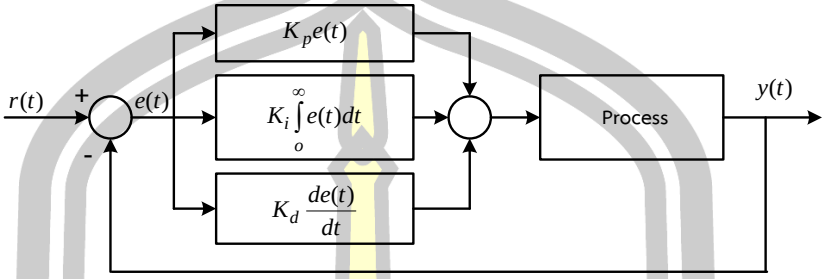
เมื่อนึกถึงคำว่า การควบคุม (Control) อาจกล่าวได้ว่า การควบคุมเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันก็ว่าได้ ตัวอย่างเช่น การขับขี่รถจักรยานยนต์ ผู้ขับขี่จะต้องทำให้รถจักรยานยนต์ทรงตัววิ่งไปตามเส้นทางให้ได้ นั่นคือ เราเป็นผู้ควบคุมรถจักรยานยนต์ รถจักรยานยนต์นั้นถือได้ว่าเป็นเครื่องกลไก ขณะที่ผู้ขับขี่เป็นมนุษย์ หากมองว่ามนุษย์ขับขี่รถจักรยานยนต์เป็นระบบ (Systems) เราเรียกระบบเช่นนี้ว่า ระบบที่มีการเชื่อมโยงระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร (Man-machine interface systems) กลไกที่เกิดขึ้นเรียกว่า การควบคุมด้วยมนุษย์ (Manual control) หากการควบคุมเกิดขึ้นด้วยกลไก และอุปกรณ์ที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น เมื่อการควบคุมดำเนินงานไปก็มิได้มีมนุษย์ไปเกี่ยวข้องเลยคงเป็นการดำเนินงานโดยอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์ของมนุษย์ล้วนๆ เราเรียกการควบคุมเช่นนี้ว่า การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic control) ตัวอย่างเช่น ตู้เย็น เมื่อตู้เย็นได้เสียบปลั๊กไฟ และปรับระดับความเย็นตามที่ต้องการแล้ว คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ก็จะทำงานไปโดยอัตโนมัติเพื่อรักษาระดับความเย็นภายในตู้เย็นอย่างคงที่ได้สม่ำเสมอ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการควบคุมเป็นกระบวนการที่กำกับหรือบังคับให้ระบบที่ต้องการควบคุมดำเนินงานตามที่ต้องการ ซึ่งระบบที่ควบคุมอยู่นั้นจะผลิตเอาท์พุต หรือการตอบสนอง (Response) ตามความประสงค์ของมนุษย์

2.4.1 ตัวควบคุมพีไอดี (Proportional integral derivative controller : PID)

ตัวควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ หรือ ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID controller) เป็นตัวควบคุมที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control system) โดยใช้ค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการ (Process Value; PV) และค่าที่ต้องการ (Set Point; SP) ตัวควบคุมจะพยายาม ลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ซึ่งค่าของตัวแปรของตัวควบคุมแบบพีไอดี ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามคุณลักษณะของระบบที่ต้องการควบคุม

การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอดี ขึ้นอยู่กับสามตัวแปร คือ อัตราขยายสัดส่วน (K_p) อัตราขยายปริพันธ์ (K_i) และ อัตราขยายอนุพันธ์ (K_d) ค่าอัตราขยายสัดส่วน กำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน ค่าอัตราขยายปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งพึ่งผ่านพ้นไป และค่าอัตราขยายอนุพันธ์ กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด ผลลัพธ์ที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามค่านี้ จะใช้ในการปรับกระบวนการ ในทางปฏิบัติบ่อยครั้งการปรับค่าพารามิเตอร์ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ ที่มีความชำนาญ มักจะใช้วิธีทดลองปรับ

ค่า (Trial and error) หรือใช้สูตรสำเร็จ บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอดี แสดงในภาพประกอบที่ 9



ภาพประกอบ 9 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอดี

โดยการปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุม สามารถปรับรูปแบบการควบคุม ให้เหมาะสมตามที่ต้องการได้ ซึ่งการตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของ ค่าความผิดพลาด (Error) ค่าโอเวอร์ชูต (Overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (Oscillation) การควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีนี้ ไม่รับประกันว่า จะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุด หรือสามารถทำให้กระบวนการมีความเสถียรภาพที่แน่นอน

การประยุกต์ใช้งานบางครั้งอาจใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบ ขึ้นอยู่กับกระบวนการเป็นสำคัญ ดังนั้น ตัวควบคุมแบบพีไอดีบางครั้ง จะถูกเรียกว่า ตัวควบคุมแบบ พี (P Controller) ไอ (I Controller) พีไอ (PI Controller) และ พีดี (PD Controller) ขึ้นอยู่กับว่าใช้รูปแบบใด

ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีไอดี ในรูปการแปลงลาปลาซ (Laplace Transform) แทนด้วย

$$G_{PID} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \tag{2.4}$$

สัญญาณขาออก (Output) ของตัวควบคุมแบบพีไอดี ในรูปโดเมนเวลา (Time domain) แทนด้วย

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{2.5}$$

เมื่อ $u(t)$ คือ สัญญาณควบคุม (Control signal)

$e(t)$ คือ สัญญาณความผิดพลาด (Error signal)

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูง ค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน แต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรภาพได้ ในทางตรงกันข้าม ผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการน้อยตามไปด้วย

ผลอัตราขยายปริพันธ์ (เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วน) จะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงอัตราขยายสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตามอัตราขยายปริพันธ์เป็นการตอบสนองต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ (ข้ามจุดที่ต้องการและเกิดการหันเหไปทางทิศทางอื่น)

อัตราขยายอนุพันธ์ จะชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของระบบควบคุม และด้วยผลนี้จะช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่จุดที่ต้องการ ดังนั้นอัตราขยายอนุพันธ์จะใช้ในการลดขนาดของโอเวอร์ชูต ที่เกิดจากอัตราขยายปริพันธ์ และทำให้เสถียรภาพของการรวมกันของระบบควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายในระบบควบคุมจะไวมากต่อการรบกวนในเทอมของความผิดพลาด และสามารถทำให้กระบวนการไม่เสถียรภาพได้ ถ้าสัญญาณรบกวนและอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่เพียงพอ

ผลกระทบต่อผลตอบสนองทางเวลาของระบบ เมื่อมีการปรับแต่งอัตราขยายทั้งสาม แสดงในตาราง 3

ตาราง 3 ผลกระทบต่อผลตอบสนองทางเวลาของระบบ เมื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์อย่างอิสระ

ตัวแปร	เวลารุ่ง (Rise time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล Settling time	ความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady state error)	เสถียรภาพ (Stability)
K_p	ลด	เพิ่ม	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลด	ลด
K_i	ลด	เพิ่ม	เพิ่ม	ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ	ลด
K_d	ลดลงเล็กน้อย	ลดลงเล็กน้อย	ลดลงเล็กน้อย	ตามทฤษฎีไม่มีผล	ดีขึ้น ถ้ามีค่าน้อย

2.5 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm; GA)

John Holland ได้นำเสนอแนวคิดของวิธีเชิงพันธุกรรม ในปี ค.ศ. 1975 ภายใต้สมมติฐานที่ว่าสิ่งมีชีวิตทั้งหลายมีทั้งคุณลักษณะที่ดีและไม่ดี ซึ่งคุณลักษณะที่ดีก็ย่อมมีโอกาสอยู่รอดและจะได้รับการสนับสนุนให้มีการถ่ายทอดพันธุกรรมไปยังรุ่นลูกหลานได้มากกว่า เพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตรุ่นใหม่มีคุณลักษณะที่ดีขึ้น สำหรับเชิงพันธุกรรม เมื่อนำมาใช้กับการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด (Optimization problem) อาศัยหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรม เพื่อให้ได้คำตอบในรุ่น (Generation) ต่อไป ให้ค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมที่ดีขึ้น

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับแล้วว่า เชิงพันธุกรรม เป็นวิธีที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งได้ประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาในสาขาต่างๆ มากมาย

2.5.1. หลักการพื้นฐานของเชิงพันธุกรรม

เชิงพันธุกรรมจะนำเสนอข้อมูลหรือคำตอบในรูปของ โครโมโซม (Chromosome) ในแต่ละโครโมโซม จะประกอบด้วยบิต (bit) เรียกว่า ยีนต์ (Gene) โดยจะทำการคัดเลือกโครโมโซมที่มีความเหมาะสมจากกลุ่มของโครโมโซมทั้งหมด และนำโครโมโซมเหล่านี้ไปผ่านกระบวนการคัดเลือกที่เลียนแบบกระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรม เพื่อหาโครโมโซมที่มีความเหมาะสมในการอยู่รอด โดยใช้ค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสม (Fitness Function) ที่สอดคล้องกับฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)

ระเบียบวิธีการดำเนินการของเชิงพันธุกรรม แสดงไว้ในภาพประกอบ 10 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างประชากรเริ่มต้นในรูปของโครโมโซม โดยการสุ่มเลือกจากประชากรต้นแบบ

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสม ของแต่ละโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 3 การคัดเลือก (Re-production) อ้างอิงจากค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสม โดยพิจารณาว่าโครโมโซมใดมีค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมที่ดี จะถูกกำหนดน้ำหนักความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกแต่ละครั้งสูง

ขั้นตอนที่ 4 การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) ทำโดยการกำหนดค่าสุ่มให้แก่โครโมโซมที่ถูกเลือกมาทั้งหมด โครโมโซมใดที่มีค่าสุ่มน้อยกว่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ จะถูกนำไปจับคู่เป็นโครโมโซมพ่อแม่ แล้วมีการแลกเปลี่ยนบางส่วนของโครโมโซมทั้งสองเพื่อสร้างโครโมโซมรุ่นลูก

ขั้นตอนที่ 5 การกลายพันธุ์ (Mutation) ทำโดยการเปลี่ยนค่าของโครโมโซมบางตำแหน่งเป็นค่าใหม่ในตำแหน่งที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 6 แทนที่ประชากร (Replacement) ประชากรรุ่นใหม่ เป็นชุดโครโมโซมลูกที่เกิดจากขั้นตอนวิวัฒนาการต่าง ๆ ข้างต้น จะถูกนำไปแทนที่ประชากรรุ่นก่อนหน้านี้ และถูกนำไปเข้ากระบวนการวิวัฒนาการใหม่ โดยกระบวนการต่างๆ จะถูกปฏิบัติซ้ำ ๆ จนกระทั่งถึงรุ่นที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 7 เพิ่มจำนวนของรุ่น (gen=gen+1) และตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าตรงตามเงื่อนไขการหยุดให้หยุด ถ้าไม่ย้อนกลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2

จากขั้นตอนการทำงานของวิธีพันธุกรรมยีนต์ สามารถเขียนเป็น Pseudo code ได้ ดังนี้

Initialization

Generate initial population

Set generation = 0

Define termination conditions

2. Evaluate fitness function

Find the fitness value of initial population

3. Re-production

Ranking the chromosomes base on fitness value

4. Crossover

Crossover between chromosomes

5. Mutation

Mutate the chromosomes

6. Replacement

Replace the new chromosome to the old chromosome

7. Termination

If generation < maximum generation

Then

Goto step 3

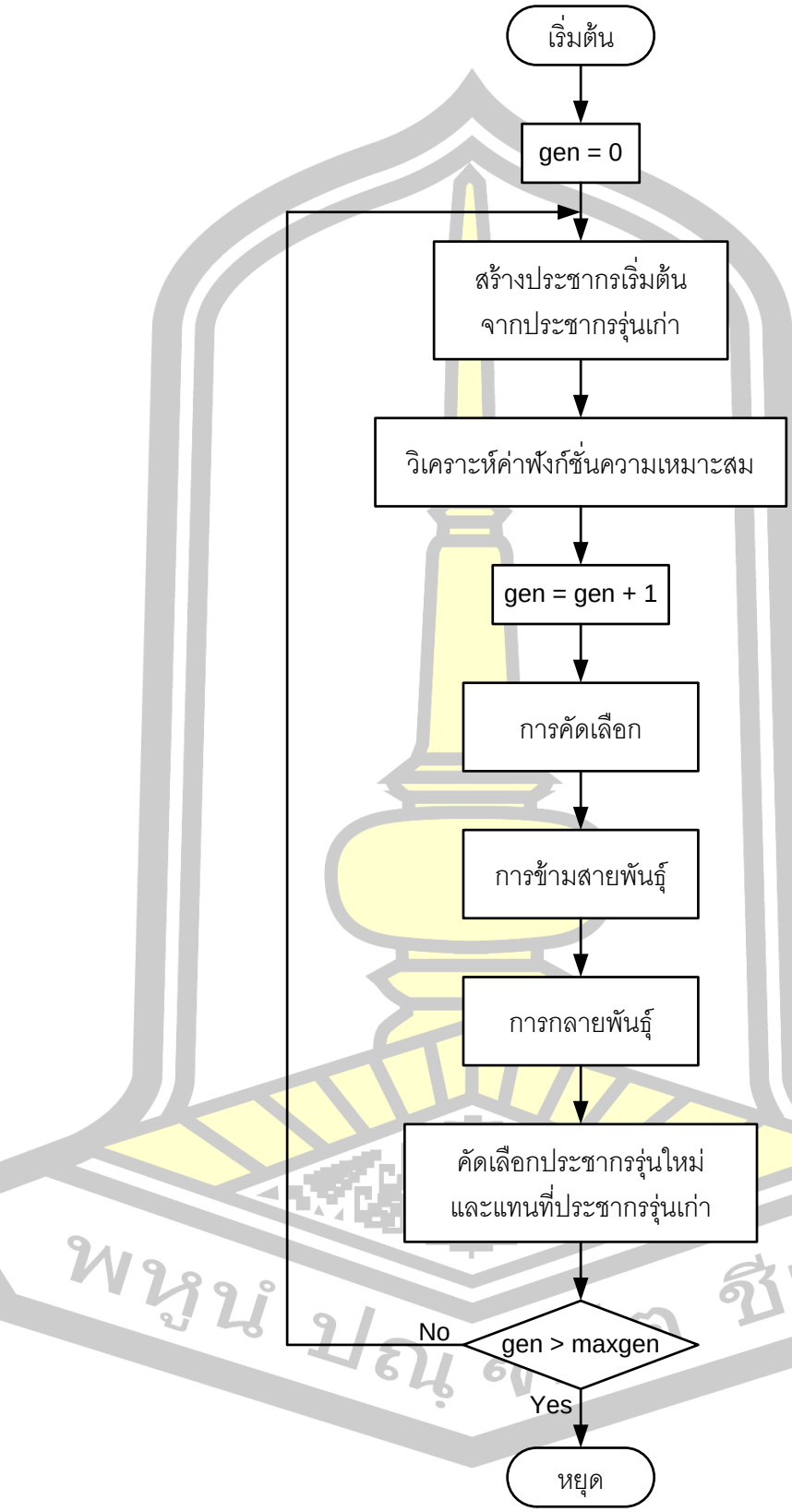
Else

generation = generation + 1

End

End

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 10 ขั้นตอนการดำเนินงานของเชิงพันธุกรรม

2.5.2 องค์ประกอบของเชิงพันธุกรรม

องค์ประกอบสำคัญของเชิงพันธุกรรม มีอยู่ด้วยกัน 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

1) รูปแบบโครโมโซม (Chromosome Encoding)

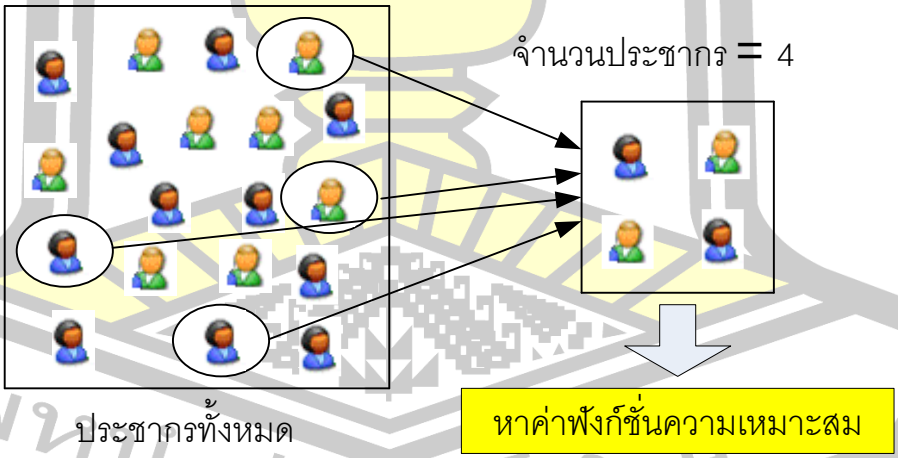
การถอดรหัส หรือการได้มาของโครโมโซม เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก ก่อนที่จะเริ่มแก้ปัญหาโดยใช้เชิงพันธุกรรม ในการถอดรหัสนั้นจะขึ้นอยู่กับปัญหานั้นๆ ดังนั้นรูปแบบของโครโมโซมจึงมีความแตกต่างกันออกไปตามแต่ปัญหานั้นๆ ที่นิยมใช้จะแสดงในรูปแบบเลขฐานสอง (Binary) โดยแต่ละตำแหน่งของยีนต์ในโครโมโซม จะเป็นค่าบิต มีค่า เป็น 0 หรือ 1 ตัวอย่าง เช่น

โครโมโซม A: 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0

โครโมโซม B: 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1

2) ประชากรเริ่มต้น (Initial Population)

เป็นการดำเนินการอันดับแรกก่อนที่จะเข้ากระบวนการของเชิงพันธุกรรม ประชากรเริ่มต้นนี้ได้มาจากการสุ่มเลือก (Random) จากประชากรทั้งหมด ดังภาพประกอบ 11 ในการสุ่มเลือกต้องให้ได้จำนวนประชากรเริ่มต้นตามที่กำหนดไว้ โดยที่ยังไม่มีการพิจารณาค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม



ภาพประกอบ 11 แสดงการสุ่มหาประชากรเริ่มต้น จำนวน 4 โครโมโซม

3) ค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสม (Fitness Function)

โครโมโซมทุกตัวจะต้องมีค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสม ที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาว่าสมควรนำไปสืบสายพันธุ์ในรุ่นต่อไปหรือไม่ ดังนั้น ค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสม เป็นตัวที่ใช้ในการประเมินโครโมโซมนั้น มีความเหมาะสม หรือสามารถใช้เป็นคำตอบของปัญหาได้ดีเพียงใด ตัวอย่างของฟังก์ชั่นความเหมาะสม เช่น

ค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสม = จำนวนของบิตที่มีค่าเป็น 1 ทั้งหมดในโครโมโซม

โครโมโซม A: 1 0 0 0 1 1 1 0 0 ค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสม ของโครโมโซม A คือ 4

โครโมโซม B: 1 1 0 1 1 1 0 0 1 ค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสม ของโครโมโซม B คือ 6

4) การดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operator)

การดำเนินการทางพันธุกรรม เป็นหัวใจสำคัญของวิธีพันธุกรรมยีนต์ ซึ่งมีกระบวนการพื้นฐานที่สำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

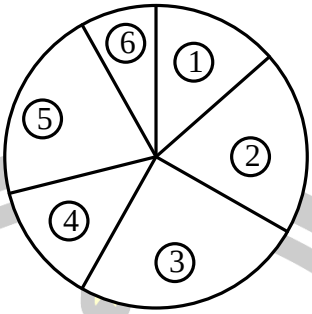
(1) การคัดเลือก (Selection)

ในการคัดเลือกโครโมโซม เพื่อที่จะนำมาเป็นพ่อแม่ (Parent) ในการสืบสายพันธุ์ ทำให้เกิดปัญหาว่าจะทำอย่างไรให้การคัดเลือกโครโมโซมเป็นที่น่าพอใจ เพื่อที่จะเกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต จึงทำให้เกิดรูปแบบมากมายในการคัดเลือกโครโมโซมที่น่าพอใจที่สุดเพื่อนำไปสืบสายพันธุ์ เช่น การคัดเลือกแบบวงล้อรูเลต (Roulette wheel) แบบจัดลำดับ (Ranking) และ แบบอีลิททีส (elitist) การคัดเลือกแต่ละวิธี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1.1) การคัดเลือกแบบวงล้อรูเลต

โครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมที่ดีย่อมมีโอกาสถูกคัดเลือกมากกว่า อธิบายได้จากภาพประกอบที่ 8 แสดงวงล้อเสี่ยงโชค โดยขนาดพื้นที่ของวงล้อเสี่ยงโชค คือสัดส่วนของค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม ค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมที่มีค่ามากจะมีขนาดพื้นที่มากตามไปด้วย จึงมีโอกาสมากที่จะถูกคัดเลือกมาก

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว



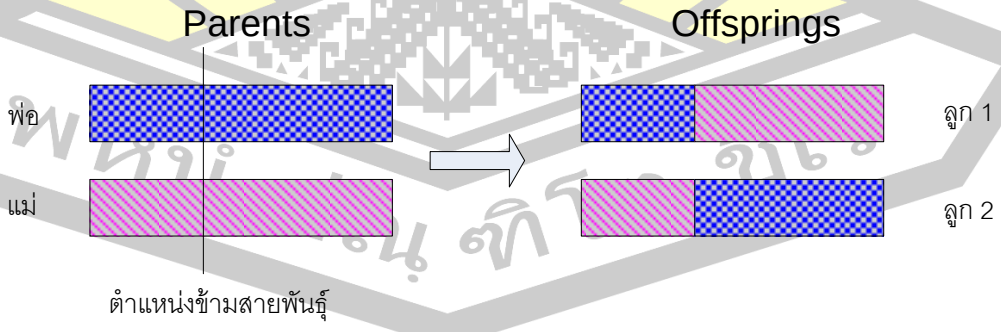
ภาพประกอบ 12 แสดงสัดส่วนของค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมในวงล้อรูเลต

(1.2) การคัดเลือกแบบจัดลำดับ เป็นการคัดเลือกโครโมโซมโดยเรียงลำดับจากค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมที่ดีที่สุดจากมากไปหาน้อย

(1.3) การคัดเลือกแบบอีลิททีส เป็นการคัดเลือกโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมที่ดีที่สุดไว้ก่อน ส่วนโครโมโซมที่เหลือจะใช้วิธีการคัดเลือกแบบอื่นๆ

(2) การข้ามสายพันธุ์ (Crossover)

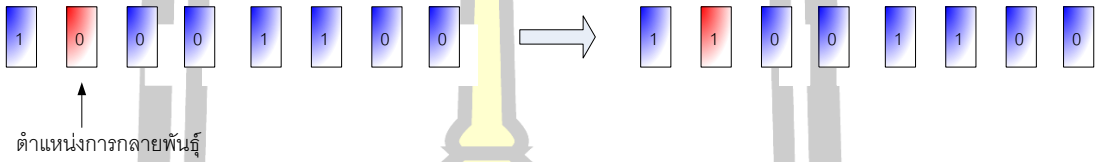
เป็นกระบวนการที่สำคัญของเชิงพันธุกรรม ซึ่งเมื่อเกิดการข้ามสายพันธุ์ขึ้น ในทางพันธุศาสตร์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนของสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายขึ้น ซึ่งการข้ามสายพันธุ์จะต้องอาศัยกระบวนการวิวัฒนาการที่เป็นเวลานาน ขั้นตอนในการข้ามสายพันธุ์ ทำได้โดยนำ 2 โครโมโซม (parent) มาผสมพันธุ์กัน เพื่อให้กำเนิดโครโมโซมใหม่ขึ้นมา วิธีการที่ง่ายที่สุดคือ การสุ่มตำแหน่งของการข้ามสายพันธุ์ และ ทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งของพ่อ และคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่งของแม่มารวมกันเป็นลูกตัวที่ 1 จากนั้น ทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งของแม่และคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่งของพ่อ มารวมกันเป็นลูกตัวที่ 2 ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 13 การข้ามสายพันธุ์

(3) การกลายพันธุ์ (Mutation)

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการข้ามสายพันธุ์เสร็จสิ้น นั่นหมายความว่าได้รุ่นลูกที่เกิดจากผสมพันธุ์จากรุ่นพ่อแม่แล้ว จึงนำรุ่นลูกมาดำเนินการกลายพันธุ์ ทำให้เกิดเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือทำให้เกิดลักษณะใหม่ ๆ เกิดขึ้น หรือเกิดการวิวัฒนาการ ขั้นตอนในการกลายพันธุ์ ทำได้โดยการสุ่มตำแหน่งของการกลายพันธุ์ แล้วเปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งที่สุ่มนั้น ถ้าโครโมโซมอยู่ในรูปแบบเลขฐานสอง จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าจาก 1 เป็น 0 หรือ จาก 0 เป็น 1 ดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 14 การกลายพันธุ์

2.6 วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization; PSO)

Kennedy และ Eberhart ได้นำเสนอแนวคิดของวิธีอนุภาคเป็นครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ. 1995 ได้แรงบันดาลใจมาจากพฤติกรรมการอยู่รวมกันเป็นกลุ่มของสัตว์ เช่น ฝูงปลา หรือ ฝูงนก ซึ่งวิธีกลุ่มอนุภาคนี้เป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสม อาศัยการค้นหาแบบกลุ่มประชากร (Population-based) แต่ละตัวดำเนินการ เรียกว่า “อนุภาค (Particle)” ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ อนุภาคนี้จะรวมตัวกันเป็นกลุ่ม อยู่ในขอบเขตที่ต้องการค้นหา ระหว่างแต่ละอนุภาคจะเคลื่อนย้ายตำแหน่งโดยอาศัยการอ้างอิงถึงตำแน่งของตัวเอง และตำแหน่งของอนุภาคใกล้เคียงที่เคลื่อนที่ผ่านมาแล้ว เพื่อใช้หาทิศทางการเคลื่อนที่ต่อไป จนกว่าจะค้นพบคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งอาจจะค้นพบด้วยตัวเอง หรือ อนุภาคใกล้เคียง

ระเบียบวิธีการดำเนินการของวิธีกลุ่มอนุภาค ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในภาพประกอบที่ 14 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดขอบเขต ต่ำสุด สูงสุด X_{Lower}, X_{Upper} ของพารามิเตอร์ทุกตัว และให้ทำการสุ่มหาค่าเริ่มต้นของอนุภาคแต่ละตัว (X^t), สุ่มหาแต่ละมิติ, สุ่มหาความเร็วเริ่มต้น (V^t), จากนั้นกำหนดให้เป็นค่าเริ่มต้นของตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ค้นหามาแล้วของอนุภาคแต่ละตัว $(pbest)$ และกำหนดอนุภาคที่ค้นหาคำตอบได้ดีที่สุดจากอนุภาคทั้งหมด $(gbest)$ ซึ่งคำตอบเหล่านั้นนี้ต้องเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ นั่นคืออยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดและสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่างๆ

ขั้นตอนที่ 2 หาฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของแต่ละอนุภาค

ขั้นตอนที่ 3 ทำการประเมินเปรียบเทียบค่าของอนุภาคแต่ละตัวแล้วกำหนดให้เป็น $pbest$ จากนั้นเลือกค่าที่ดีจากค่า $pbest$ โดยกำหนดให้เป็น $gbest$

ขั้นตอนที่ 4 ปรับเปลี่ยนความเร็วใหม่ของอนุภาคของแต่ละตัว โดยใช้สมการ (2.1)

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อได้ความเร็วใหม่จากขั้นตอนที่ 4 ให้ตรวจสอบคือ ถ้า $v_{id}^{t+1} > V_d^{\max}$, ให้ $v_{id}^{t+1} = V_d^{\max}$ และถ้า $v_{id}^{t+1} < V_d^{\min}$, ให้ $v_{id}^{t+1} = V_d^{\min}$

ขั้นตอนที่ 6 ปรับเปลี่ยนตำแหน่งใหม่ของอนุภาคของแต่ละตัว โดยใช้สมการ (2.11) จากนั้นให้ตรวจสอบคือ ถ้า $x_{id}^{t+1} > P_d^{\max}$, ให้ $x_{id}^{t+1} = P_d^{\max}$ และถ้า $x_{id}^{t+1} < P_d^{\min}$, ให้ $x_{id}^{t+1} = P_d^{\min}$

ขั้นตอนที่ 7 ตรวจสอบตำแหน่งใหม่ของอนุภาคจะต้องอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดและสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่างๆ แต่ถ้าไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับก็ให้อนุภาคนั้นอยู่ตำแหน่งเดิม

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าถึงค่าสูงสุดแล้วให้หยุดทำงาน ถ้ายังไม่ถึงค่าสูงสุดให้ย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่2

การเปลี่ยนความเร็ว และตำแหน่งของแต่ละอนุภาค สามารถคำนวณได้โดยใช้ความเร็วปัจจุบันและระยะทางระหว่าง $pbest_{id}$ ถึง $gbest_d$ ดังสมการที่ 2.6 และ 2.7

$$v_{id}^{t+1} = \omega \cdot v_{id}^{t} + c_1 * rand() * (pbest_{id} - x_{id}^{t}) + c_2 * rand() * (gbest_d - x_{id}^{t}) \quad (2.6)$$

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^{t} + v_{id}^{t+1} \quad (2.7)$$

องค์ประกอบที่สำคัญของวิธีอนุภาคและการกำหนดพารามิเตอร์ที่สำคัญของระเบียบวิธีอนุภาค คือ

d คือ มิติ (Dimension) ของขอบเขตที่ต้องการค้นหา

$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{id})$ แทน ตำแหน่งของอนุภาคที่ i

$v_i = (v_{i1}, v_{i2}, ..., v_{id})$ แทน อัตราความเร็วสำหรับอนุภาคที่ i

$pbest_i = (pbest_{i1}, pbest_{i2}, ..., pbest_{id})$ แทน ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ค้นหามาแล้วของอนุภาคที่ i

$gbest_d$ แทน อนุภาคที่ค้นหาคำตอบได้ดีที่สุดจากอนุภาคทั้งหมด

m คือ จำนวนอนุภาค

n คือ จำนวนอนุภาคในกลุ่ม

t คือ ครั้งที่ทำการค้นหา (Iteration)

ω คือ ตัวประกอบน้ำหนักความเฉื่อย (Inertial Weight Factor)

c_1, c_2 คือ ค่าคงที่ของอัตราเร่ง

$rand()$ คือ ค่าที่ได้จากการสุ่มในช่วง $[0,1]$

v_i^t คือ ความเร็วของอนุภาคที่ i ในรอบที่ t โดยที่ $V_d^{\min} \le v_{id}^t \le V_d^{\max}$

ค่า $V^{\max}$ ใช้ในการหาค่าความละเอียดของคำตอบ ถ้ามีค่ามากเกินไปจะทำให้อนุภาคบินผ่านคำตอบที่ดีที่สุดไป แต่ถ้ามีค่าน้อยเกินไปก็อาจจะค้นหาไม่ครอบคลุมทำให้ได้คำตอบที่ไม่ดี ดังนั้นจากการทดสอบมาแล้ว ควรจะกำหนดค่า $V^{\max}$ ประมาณ $10-20\ \%$ ของช่วงการเปลี่ยนแปลงในตัวแปรแต่ละตัว

ค่าคงที่ c_1 และ c_2 แทนน้ำหนักของความเร็วแบบสุ่มของแต่ละอนุภาคผ่านตำแหน่ง $pbest$ และ $gbest$ ถ้ามีค่าน้อยเกินไป ในกรณีที่อนุภาคอยู่ห่างจากตำแหน่งเป้าหมายก็อาจจะหมดแรงก่อนถึงเป้าหมาย แต่ถ้ามีค่ามากเกินไปก็อาจจะบินข้ามเป้าหมายไป ดังนั้นค่า c_1 และ c_2 จากการทดสอบมาแล้ว ควรอยู่ระหว่าง $1.4-2.0$ การเลือกค่า ω ที่เหมาะสมดังสมการที่ 2.8

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{iter_{\max}} \times iter \tag{2.8}$$

ค่าที่เหมาะสม คือ $\omega_{\max} = 0.9$ และ $\omega_{\min} = 0.4$

จากขั้นตอนการทำงานของวิธีกลุ่มอนุภาค สามารถเขียนเป็น Pseudo code ได้ ดังนี้

1. Initialization of positions of agents

Set Iter = 0 /* Iter: cycle counter */

For every combination (x) /*Best position/

Random generate initial solutions

End

Start time

2.Initialization of velocities of agents

For every combination (m,n) /* velocity*/

Calculate velocity (v_i)

End

3.Function to be minimized.

For i=1 to m

check_constraint(x(:,i,1))

If con = 1,

Calculate Cost (x(:,i,1))

Else

Set the function to high value

End

End

Evaluate objective function

4. Matrix composed of gbest vector

For p=1 to m

Calculate Gbest G(:,p,1) and Calculate Fbest

For i=1 to m

Calculate pbest(i+1)=x(:,i,1);

End

End

Calculate velocities (:,:,1)

While (iter < itmax)

Set iter = iter+1;

5. Calculation of new positions

For i=1 to m

check_constraint(x(:,i,1+1))

If con = New,

Calculate Cost (x(:,i,1+1))

Else

Set the function to high value

End

End

Evaluate objective function

6. Matrix composed of gbest+1 vector

For p=1 to m

Calculate Gbest G(:,p,1+1) and Calculate Fbest

For i=1 to m

Calculate pbest(i,1+1)=x(:,i,1+1)

End

End

7. Calculate velocities (:,:,1+1)

For t=1 to m,

check_constraint(x(:,t,j+1))

If con = 0

Set Contraint x(:,t,j)

End

End

Check error = 100*abs(cbest-Fmin)/Fmin;

If error <=0.05,

Set find_time = stop_time - start_time;

End

8. Termination

if count_time >=300 /*Set long time 300S/ and iter=itmax

Then

Go to step 3

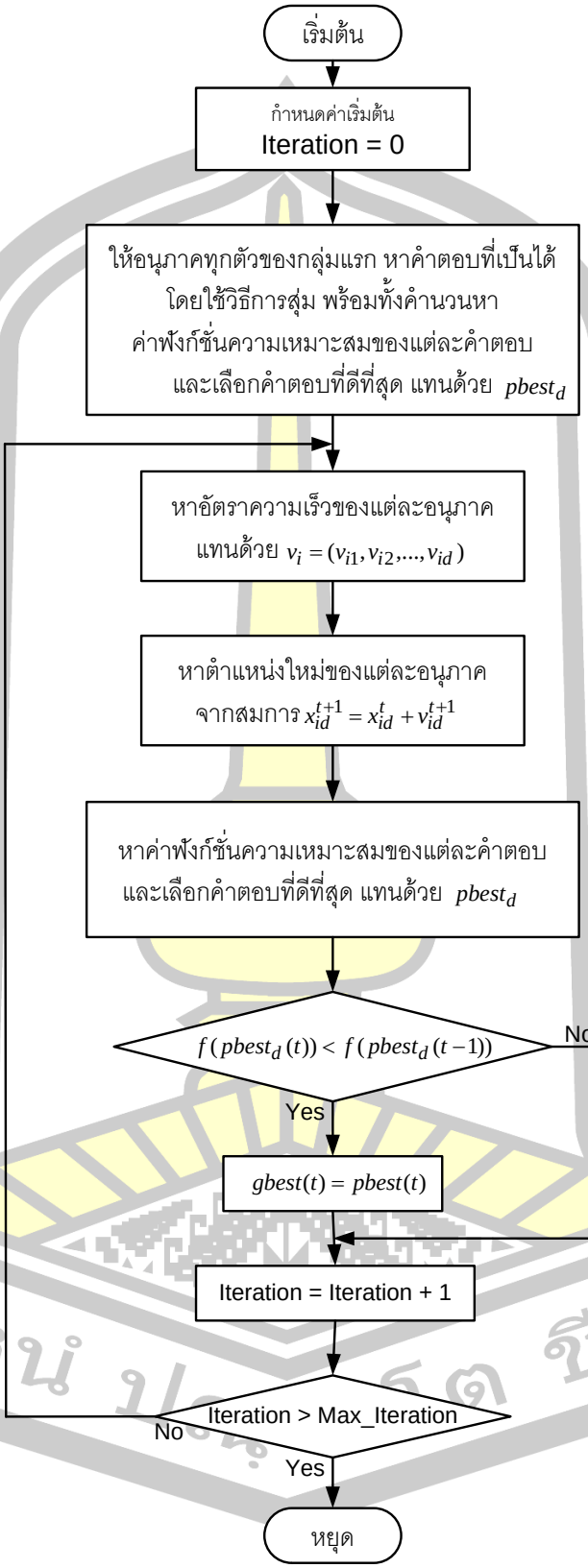
Else

Print the best solution stop

End

End

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 15 ขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีกลุ่มอนุภาค

2.7. วิธีฝูงผึ้ง (Bee Algorithm; BA)

วิธีฝูงผึ้ง เป็นวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่เลียนแบบพฤติกรรมการหาน้ำหวานของผึ้ง ดำเนินการผ่านตัวดำเนินการ คือ ผึ้ง โดยแบ่งชนิดของผึ้ง ออกเป็น 2 ประเภท คือ ผึ้งสอดแนม (Scout bee) และ ผึ้งงาน (Employee bee) เพื่อค้นหาคำตอบ โดยสมมุติว่าคำตอบคือ แหล่งน้ำหวาน หน้าที่ของผึ้งสอดแนม คือ ค้นหาแหล่งน้ำหวานแบบสุ่มในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ (Search space) เมื่อผึ้งสอดแนม ค้นหาคำตอบได้ ก็จะบินกลับมาที่รังผึ้ง เพื่อสื่อสารกับผึ้งตัวอื่น ๆ ภายในรังผึ้ง การสื่อสารของผึ้งจะใช้วิธีการเต้นลักษณะต่าง ๆ เพื่อบอกปริมาณน้ำหวาน ทิศทางของแหล่งน้ำหวาน จากนั้น ผึ้งงานก็จะไปทำหน้าที่ขนน้ำหวานในแหล่งน้ำหวาน โดยจำนวนผึ้งงานจะแปรตามปริมาณน้ำหวานและระยะทาง ขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีฝูงผึ้ง แสดงดังภาพประกอบ 15 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้ผึ้งสอดแนมจำนวน $n=10$ ตัว ค้นหาคำตอบเริ่มต้น ซึ่งคำตอบเหล่านี้ต้องเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ นั่นคือ อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดและสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่างๆ และกำหนดให้จำนวนรอบของการทำซ้ำ $NC=0$

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการค้นหาของผึ้งสอดแนม พร้อมทั้งจัดเรียงลำดับจากคำตอบดีมากที่สุดไปหาคำตอบดีน้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 เลือกคำตอบที่มีผลการประเมินที่ดี $m=5$ คำตอบ

ขั้นตอนที่ 4 คัดแยกคำตอบ $m=5$ คำตอบนี้ ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยที่กลุ่มแรกมีคำตอบที่ดีที่สุด $e=2$ คำตอบ และกลุ่มที่ 2 มีคำตอบที่ดีรองลงมา $m-e=3$ คำตอบ

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดขอบเขตในการค้นหาบริเวณรอบๆ $e=2$ คำตอบ และ $m-e=3$ คำตอบ

ขั้นตอนที่ 6 ให้ผึ้งงานจำนวน n_{ep} = 4 ตัว ค้นหาคำตอบรอบๆ e คำตอบ และ
ผึ้งงานจำนวน n_{sp} = 2 ตัว ค้นหาคำตอบรอบๆ $m-e$ คำตอบ

ขั้นตอนที่ 7 ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการค้นหาของผึ้งงานในแต่ละแหล่ง และเลือกคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละแหล่ง

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าตรงตามเงื่อนไข ให้หยุดการค้นหา ถ้าไม่ ให้เพิ่มจำนวนรอบของการทำซ้ำ

ขั้นตอนที่ 9 กำหนดให้ผึ้งสอดแนมจำนวน $n-m=5$ ตัว ค้นหาคำตอบใหม่ แล้วไปดำเนินในขั้นตอนที่ 2 ทำซ้ำไปเรื่อยจนได้คำตอบที่สูงที่สุด

จากขั้นตอนการทำงานของวิธีฝูงผึ้ง สามารถเขียนเป็น Pseudo code ได้ ดังนี้

1 Initialization of population of N scout bees

Set Iter = 0 /* Iter: cycle counter */

For every combination (x)

Random generate initial solutions

End

Start time

2 Evaluate the fitness function of the population

For i=1 to N

check_constraint(x(:,i))

If con = 1

Calculate F(i)= find_cost(x(:,i))

Else

Set the function to high value

End

End

3 Select M site for neighbourhood search

Set site neigbourhood (xr, Fr)

For k = 1 to M

Chose xr(:,k)=x(:,R(k))

Chose Fr(k)= Fb(k)

End

4 Determine the size of neighbourhood (Patch size,ngh)

Set boundary of neigbourhood

xep = xr(:,1:E);

xsp = xr(:,E+1:M)

5 Recruit bees for selected sites

Set step size of each neigbourhood

For i = 1 to E

Generate neigbourhood solutions

End

For j = 1:M-E

Generate neigbourhood solutions

End

6 Evaliate the fitness function of the neigbourhood

For i=1 to E

For j=1:nep+1;

Check constraint of(xnep(:,j,i))

If con = 1

find cost(xnep(:,j,i))

Else

Set Frn(j,i) to high value

End

End

End

7 Evaluate the fitness function of the neigbourhood

For i=1 to M-E,

For j=1:nsp+1

Check constraint of(xnsp(:,j,i))

If con = 1

find cost(xnsp(:,j,i));

Else

Set Frn(j,i) to high value

End

End

End

8 Termination

If generation < maximum generation

9 Assign the N-M remaining bee to random search

if X_Best = Fmin

Then

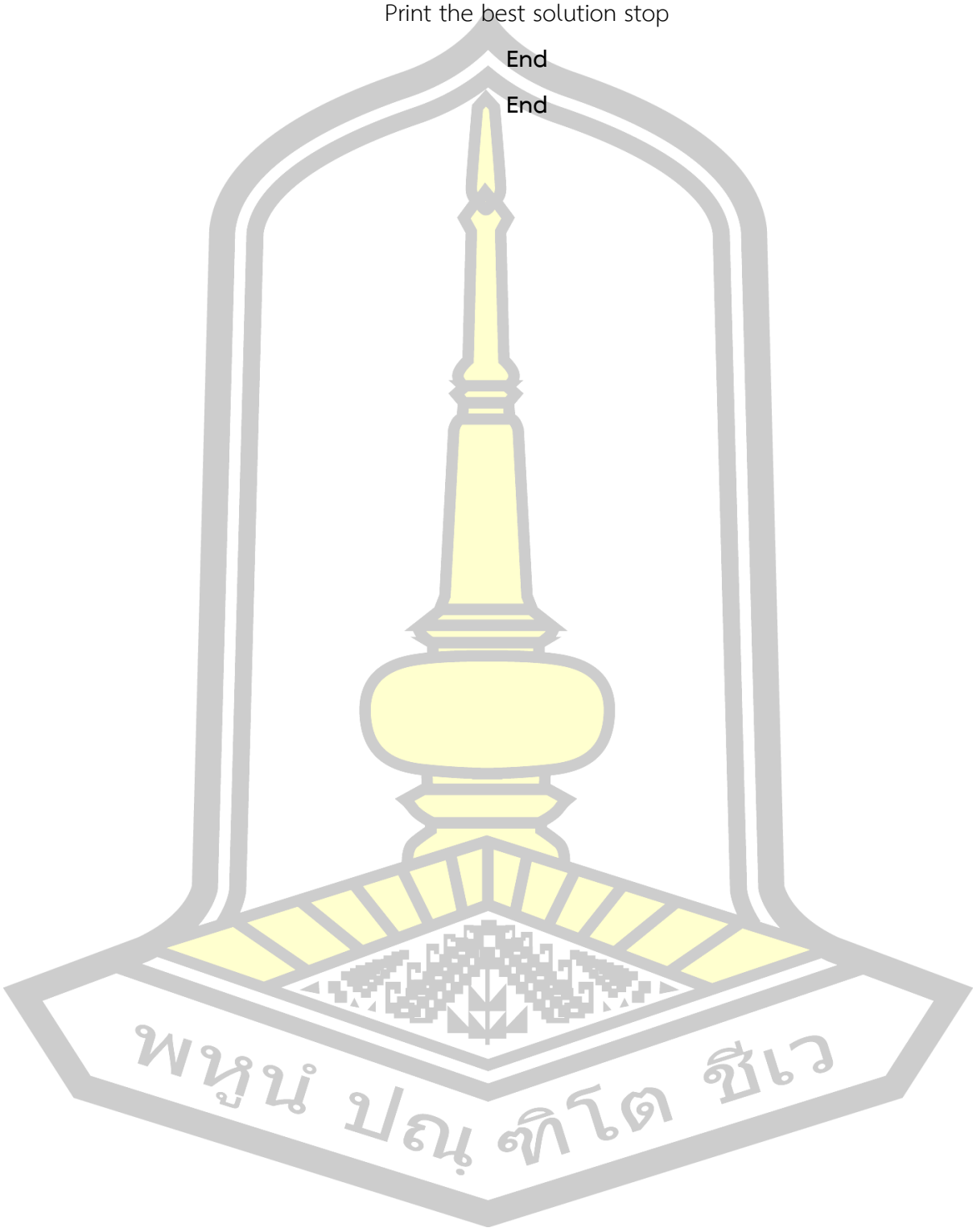
Go to step 2

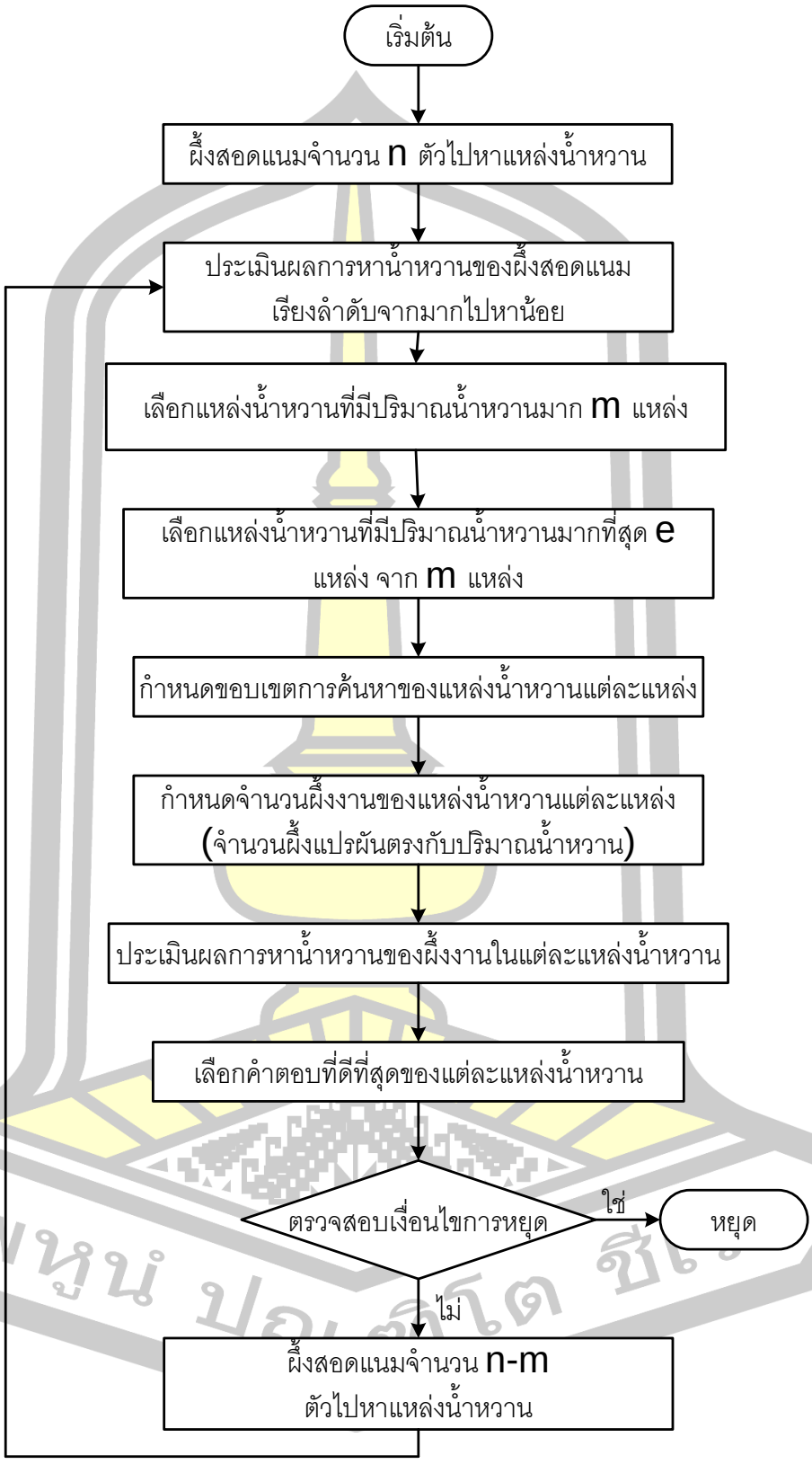
Else

Print the best solution stop

End

End





ภาพประกอบ 16 ขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีฝูงผึ้ง

2.8 วิธีหมากรุก (Chess Algorithm; CA)

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่นำเสนอนี้ ได้แรงบันดานใจมาจาก เกมส์หมากรุกสากล อย่างเช่น วิธีการเดินของตัวหมากรุกแต่ละตัว รวมถึงยุทธศาสตร์การเล่นเพื่อที่จะกินหมากของคู่ต่อสู้และการเอาชนะในเกมส์ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีการหาค่าที่เหมาะสม ทำให้ได้อัลกอริทึม (Algorithm) ที่มีลักษณะเฉพาะเด่นหลายประการ ดังจะได้นำเสนอต่อไป

2.8.1.หมากรุกสากล (Chess)

เป็นเกมกระดานแนววางแผนสองผู้เล่น เล่นกันบนกระดานหมากรุก ซึ่งเป็นกระดานสลับสีซึ่งมีจัตุรัส 64 ช่อง จัดเรียงแบบ 8×8 หมากรุกสากลเป็นเกมที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลกเกมหนึ่ง โดยมีผู้เล่นหลายล้านคนในบ้าน สวนสาธารณะ สโมสร ออนไลน์ ทางจดหมายและในการแข่งขัน

ผู้เล่นแต่ละคนเริ่มต้นด้วยตัวหมากรุก 16 ตัว ได้แก่ ราชา (King) 1 ตัว ราชินี (Queen) 1 ตัว เรือ (Rook) 2 ตัว อัศวิน (Knight) 2 ตัว บาทหลวง (Bishop) 2 ตัว และเบี้ย (Pawn) 8 ตัว ตัวหมากรุกทั้ง 6 ประเภท มีการเดินแตกต่างกัน ตัวหมากรุกใช้โจมตี และยึดตัวหมากรุกฝ่ายตรงข้าม โดยมีเป้าหมายเพื่อ "รุกจน" (checkmate) ตัวราชาของฝ่ายตรงข้าม โดยทำให้ตัวราชานั้นเสี่ยงต่อการถูกยึด และเดินหนีไม่ได้ (inescapable threat of capture) นอกเหนือไปจากการรุกจนแล้ว หมากรุกสากลยังชนะได้หากฝ่ายตรงข้ามสมัครใจถอนตัว ซึ่งมักเกิดขึ้นเมื่อเสียตัวหมากรุกมากเกินไป หรือหากการรุกจนดูเหมือนจะเกิดขึ้นแน่นอน หมากรุกสากลยังอาจจบลงด้วยการเสมอในหลายวิธี โดยไม่มีผู้เล่นฝ่ายใดชนะ

หมากรุกสากล เล่นกันบนกระดานสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งมีจัตุรัสแปดแถวแนวนอน (เรียกว่า แรงค์ (Rank) และแสดงด้วยหมายเลข 1 ถึง 8) และแปดแถวแนวตั้ง (เรียกว่า ไฟล์ (File) และแสดงด้วยตัวอักษร a ถึง h) สีของจัตุรัสทั้ง 64 สลับกัน และเรียกว่าเป็นจัตุรัส "อ่อน" (Light) และ "เข้ม" (Dark) จัตุรัสสีอ่อนจะอยู่ปลายขวามือของแรงค์ที่อยู่ติดกับผู้เล่น และตัวหมากรุกจะตั้ง ดังแสดงในแผนภาพประกอบ 2.13 โดยราชินีจะอยู่ในจัตุรัสสีเหมือนกับตัวมัน

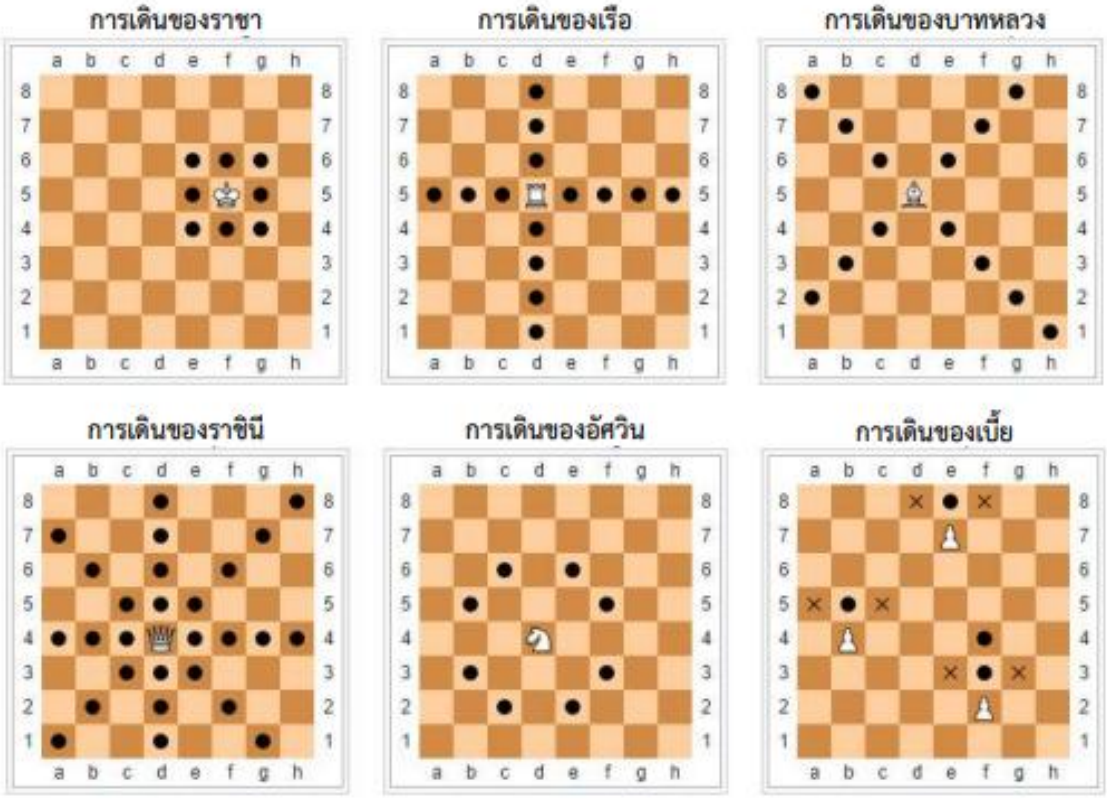
ตัวหมากแบ่งเป็นชุดขาวและดำ ผู้เล่นก็จะถูกเรียกว่า "ฝ่ายขาว" และ "ฝ่ายดำ" และแต่ละคนเริ่มเกมโดยมีตัวหมากรุกสีที่ระบุ 16 ตัว ประกอบด้วย ราชา 1 ตัว ราชินี 1 ตัว เรือ 2 ตัว อัศวิน 2 ตัว บาทหลวง 2 ตัว และเบี้ย 8 ตัว

ภาพประกอบ 17 การตั้งกระดานหมากรุกสากล

การเดินหมาก ฝ่ายขาวเดินก่อนเสมอ หลังการเดินครั้งแรก ผู้เล่นสลับกันเดินหมากหนึ่งตัวต่อตาเดิน (ยกเว้นการเข้าป้อม (castling) ซึ่งมีการเดินหมากสองตัว) ตัวหมากสามารถเดินไปยังจัตุรัสที่ยังไม่มีตัวหมากอยู่ หรือจัตุรัสที่มีตัวหมากของฝั่งตรงข้ามอยู่แล้วก็ได้ ซึ่งเมื่อเดินไปยังจัตุรัสนั้น ตัวหมากฝ่ายตรงข้ามจะถูกยึดและนำออกจากการเล่น ตัวหมากทุกตัวยึดตัวหมากของฝ่ายตรงข้ามโดยเดินมายังจัตุรัสซึ่งมีตัวหมากฝ่ายตรงข้ามอยู่ โดยมีข้อยกเว้นเดียว คือ การกินผ่าน (En passant) ผู้เล่นไม่สามารถเดินตาที่ทำให้ตัวราชาถูกโจมตีได้ หากเมื่อถึงตาผู้เล่นแล้วผู้เล่นนั้นไม่สามารถเดินได้ เกมจะจบลง ซึ่งอาจเป็นการรุกจน (การแพ้สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีตาเดินตามกฎ) หากตัวราชาถูกโจมตี หรือเสมอ หากตัวราชาไม่ถูกโจมตี

ตัวหมากแต่ละตัวมีรูปแบบการเดินของตัวเอง ในแผนภาพประกอบ 17 มีการจุดทำเครื่องหมายจัตุรัสที่ตัวหมากนั้นสามารถเดินได้หากไม่มีตัวหมากอื่น (รวมทั้งตัวหมากฝั่งตนเอง) อยู่ในจัตุรัสระหว่างตำแหน่งเริ่มต้นและจุดหมายของตัวหมากนั้น

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 18 การเดินหมากแต่ละตัว

- ตัวราชาเดินได้หนึ่งช่องในทุกทิศทาง และยังมีการเดินพิเศษเรียกว่า การเข้าป้อม ซึ่งเกี่ยวกับการเดินเรือด้วย
- ตัวเรือสามารถเดินกี่ช่องก็ได้ในแรงค์และไฟล์เดียวกัน แต่ไม่สามารถกระโดดข้ามตัวหมากอื่นได้ เรือเข้ามาเกี่ยวข้องในการเดินเข้าป้อมของตัวราชา
- ตัวบาทหลวงสามารถเดินกี่ช่องก็ได้ในแนวทแยง แต่ไม่สามารถกระโดดข้ามตัวหมากอื่น
- ตัวราชินีเป็นการรวมการเดินของตัวเรือและตัวบาทหลวงเข้าด้วยกัน และสามารถเดินกี่ช่องก็ได้ทั้งในแรงค์และไฟล์เดียวกัน หรือในแนวทแยง แต่ไม่สามารถกระโดดข้ามตัวหมากอื่นได้
- ตัวอัศวินเดินไปยังช่องใกล้ที่สุดที่มิได้อยู่ในแรงค์และไฟล์เดียวกัน หรือในแนวทแยง ฉะนั้นตาเดินจึงเป็นรูปตัว L คือ เดินสองช่องในแนวตั้งและหนึ่งช่องในแนวนอน หรือสองช่องในแนวนอนและหนึ่งช่องในแนวตั้ง ตัวอัศวินเป็นหมากตัวเดียวที่สามารถกระโดดข้ามหมากอื่นได้

- ตัวเบี้ยสามารถเดินหน้าไปยังจัตุรัสที่อยู่หน้ามันในไฟล์เดียวกัน หรือในตาเดินแรกอาจเดินสองช่องในไฟล์เดียวกันได้ หากทั้งสองช่องที่อยู่หน้ามันไม่มีตัวหมากอื่นอยู่ ("●" ดำในแผนภาพ) หรือเบี้ยสามารถยึดหมากฝ่ายตรงข้ามในจัตุรัสที่อยู่แนวทแยงหน้ามันในไฟล์ติดกันโดยการเดินไปยังจัตุรัสนั้น ("x" ดำ) เบี้ยมีการเดินพิเศษสองแบบ คือ การยึดกินผ่านและการเลื่อนขั้น (promotion)

ตัวราชาสามารถเดินแบบพิเศษ เรียกว่า การเข้าป้อม (Castling) ได้หนึ่งครั้งต่อเกม การเข้าป้อมประกอบด้วยการเดินตัวราชาสองช่องไปหาเรือ (ซึ่งอยู่ในแรงค์ที่ 1) และวางเรือไว้จัตุรัสสุดท้ายที่ตัวราชาเพิ่งข้ามมา การเข้าป้อมสามารถทำได้เฉพาะเมื่อเข้าเงื่อนไขต่อไปนี้

- ตัวราชาและตัวเรือที่เข้าป้อมนั้นต้องยังไม่ได้เดินในกระดานนั้น
- ต้องไม่มีตัวหมากขวางระหว่างตัวราชาและตัวเรือ
- ต้องไม่เข้าป้อมแล้วทำให้ตัวราชาถูกรุก หรือเพื่อให้ตัวราชาพ้นจากรุก หรือผ่านรุก (into check, out of check, or through check)

การกินผ่าน (En passant) เมื่อเบี้ยเดินหน้าสองช่องจากตำแหน่งเริ่มต้นและมีเบี้ยฝ่ายตรงข้ามในไฟล์ติดกันที่อยู่ประชิดจัตุรัสปลายทาง แล้วเบี้ยฝ่ายตรงข้ามสามารถยึดเบี้ยนั้นได้ขณะผ่านแล้วเดินไปยังจัตุรัสที่เบี้ยนั้นเดินเลยมา อย่างไรก็ดี การเดินแบบนี้สามารถทำได้ในตาถัดไปเท่านั้น ตัวอย่างเช่น หากเบี้ยดำเพิ่งเดินหน้าสองช่องจาก g7 (ตำแหน่งเริ่มต้น) ไปยัง g5 แล้วเบี้ยขาวที่อยู่ในช่อง f5 สามารถยึดเบี้ยดำนี้ได้ขณะผ่านไปยัง g6 (แต่เฉพาะในตาถัดไปของขาวเท่านั้น)

การเลื่อนขั้น (Promotion) เมื่อเบี้ยเดินหน้าไปถึงแรงค์ที่ 8 เบี้ยนั้นจะได้ "เลื่อนขั้น" ในการเดินนั้น และต้องแลกเป็นตัวหมากที่ผู้เล่นเลือก ไม่ว่าจะเป็นตัวราชินี ตัวเรือ ตัวบาทหลวง หรือตัวอัศวินสีเดียวกัน ปกติเบี้ยถูกเลือกให้เลื่อนขั้นเป็นตัวราชินี แต่บางกรณีก็มีการเลือกเปลี่ยนเป็นหมากตัวอื่น ซึ่งเรียกกรณีนี้ว่า under promotion

เมื่อตัวราชาถูกโจมตีโดยหมากฝ่ายตรงข้ามหนึ่งหรือสองตัวจะเรียกว่า ตัวราชาถูกรุก ฝ่ายถูกรุกต้องสนองตอบการรุกด้วยการเดินตามกฎ (legal move) เพื่อทำให้ตำแหน่งที่ ตัวราชาอยู่ไม่ถูกโจมตีโดยตรง (คือ ไม่ถูกรุก) ซึ่งมีตั้งแต่การยึดหมากที่กำลังรุกอยู่, หรือการเดินหมากมาคั่นกลางระหว่างหมากที่กำลังรุกตัวราชา (ซึ่งเป็นไปได้เฉพาะกรณีหมากที่รุกเป็นตัวราชินี ตัวเรือ หรือตัวบาทหลวง และมีช่องระหว่างหมากนั้นกับตัวราชา), หรือการเดินตัวราชาหนีไปยังช่องที่ทำให้ไม่ถูกโจมตี ส่วนการเข้าป้อมไม่สามารถใช้ในขณะถูกรุกได้ ส่วนกรณีที่ฝ่ายรุกทำการรุกตัวราชาฝ่ายตรงข้ามพร้อมกับเตรียมกินหมากอื่นได้ด้วยหลังจากที่ตัวราชาเดินหนี จะเรียกว่า รุกฆาต แต่เป้าหมายของการ

ชนะเกมคือ **รุกจน** ฝ่ายตรงข้าม (checkmate) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อตัวราชาฝ่ายตรงข้ามถูกรุกแล้วไม่สามารถเดินตามกฎเพื่อให้ตัวราชานั้นไม่ถูกโจมตีได้

แม้เป้าหมายของเกม คือเพื่อรุกจนฝ่ายตรงข้าม แต่เกมหมากรุกไม่จำเป็นต้องจบลงด้วยการรุกจน ผู้เล่นอาจถอนตัวซึ่งผู้เล่นอีกคนหนึ่งจะเป็นฝ่ายชนะ หากเป็นเกมที่มีการควบคุมเวลา ผู้เล่นอาจเล่นจนหมดเวลาแล้วแพ้ได้ แม้จะอยู่ในสภาพที่เหนือกว่ามากก็ตาม เกมยังอาจจบลงด้วยการเสมอ การเสมอสามารถเกิดขึ้นในหลายสถานการณ์ รวมถึงการเสมอด้วยการตกลง การเสมอเพราะไม่มีการเดินตามกฎ (stalemate) การเดินซ้ำไปมาสามครั้ง (threefold repetition of a position) กฎการเดินห้าสิบ (fifty-move rule) หรือการเสมอเพราะไม่สามารถรุกจนได้ ซึ่งมักเกิดเพราะไม่มีหมากเหลือมากพอที่จะรุกจน

2.8.2 หลักการและระเบียบวิธีการดำเนินการของวิธีหมากรุก

วัตถุประสงค์ของการคิดค้นวิธียุทธวิธีหมากรุก เพื่อต้องการพัฒนาวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization techniques) ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากการศึกษาวิธีการค่าที่เหมาะสมที่สุด ต่างๆ อาทิเช่น วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) วิธีกลุ่มอนุภาค (PSO) และ วิธีฝูงผึ้ง (BA) ได้ทราบถึงหลักการและขั้นตอนการดำเนินงาน ตลอดจนข้อดีข้อด้อยของแต่ละวิธี วิธีการดังกล่าวเหล่านี้มีความคล้ายคลึงกันบ้างประการ จึงจัดให้อยู่ในกลุ่มการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเดียวกัน เรียกว่า **ความฉลาดแบบกลุ่ม (Swarm Intelligence)** ซึ่งมีกระบวนการค้นหาที่มีประสิทธิภาพหลายกระบวนการ อาทิเช่น การค้นหาแบบกลุ่ม (Population Search) การปรับตัว (Adaptive) การค้นหาบริเวณใกล้เคียง (Neighborhood search) การใช้ข้อมูลร่วมกัน (Information sharing) มีหน่วยความจำระยะสั้น (Short term memory) และการเริ่มต้นค้นหาใหม่ (Re-starting) ทำให้วิธีการเหล่านี้มีประสิทธิภาพมากในการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

วิธีหมากรุก ก็จัดอยู่ในกลุ่มของความฉลาดแบบกลุ่ม เหมือนกัน เพราะมีกระบวนการในการดำเนินงานในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดคล้ายคลึงกัน เพียงแต่มีแนวคิด ชื่อเรียกและขั้นตอนอาจจะแตกต่างกันออกไป สามารถสรุปได้ในตาราง 2.3

ตาราง 4 สรุปหลักการในการดำเนินงานของแต่ละวิธี

ตัวแปร	**วิธีเชิงพันธุกรรม (GA)**	**วิธีกลุ่มอนุภาค (PSO)**	**วิธีฝูงผึ้ง (BA)**	**วิธีหมากรุก (CA)**
ตัวดำเนินการ	โครโมโซม (Chromosome)	อนุภาค (Particle)	ผึ้ง (Bee)	ตัวหมาก (Chess)

ตัวแปร	วิธีเชิงพันธุกรรม (GA)	วิธีกลุ่มอนุภาค (PSO)	วิธีฝูงผึ้ง (BA)	วิธีหมากรุก (CA)
การค้นหาแบบกลุ่ม	ใช้กลุ่มโครโมโซม	ใช้กลุ่มอนุภาค	ใช้ฝูงผึ้ง	ตัวหมากแบบต่างๆ
ชนิดของตัวดำเนินการ	เป็นชนิดเดียวกัน	เป็นชนิดเดียวกัน	มี 2 ชนิดที่แตกต่างกัน (ผึ้งงาน และผึ้งสอดแนม)	มี 6 ชนิดที่แตกต่างกัน ราชา ราชินี เรือ อัศวิน บาทหลวง และเบี้ย
การหาคำตอบเริ่มต้น	ใช้การสุ่มเลือกกลุ่มประชากรในรูปของกลุ่มโครโมโซม	ใช้การสุ่มเลือกตำแหน่งของกลุ่มอนุภาค	ใช้กลุ่มของผึ้งสอดแหนม สุ่มหาแหล่งน้ำหวาน	ใช้ตัวเบี้ยสุ่มเดิน
การค้นหาบริเวณใกล้เคียง	การคัดเลือก (Re-production) การข้ามสายพันธ์ (Crossover) การกลายพันธ์ (Mutation) การแทนที่ (Replacement)	หาอัตราความเร็วและตำแหน่งใหม่ของแต่ละอนุภาค (Velocity and Position)	ใช้ผึ้งงานหาปริมาณน้ำหวานจากแหล่งน้ำหวาน	ใช้ตัวหมากราชา ราชินี เรือ อัศวิน และบาทหลวง ตามรูปแบบการเดินที่แตกต่างกัน
การปรับตัว	แบบสุ่ม ผ่านการข้ามสายพันธ์และการกลายพันธ์	แบบสุ่ม และขึ้นอยู่กับ ความเร็วปัจจุบัน ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่เคยหามาได้ และตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่ม	แบบสุ่ม และขึ้นอยู่กับจำนวนผึ้งงานของแต่ละแหล่งน้ำหวาน	แบบสุ่ม ขอบเขต ส่วนจำนวนและทิศทางขึ้นอยู่กับชนิดของตัวหมาก

ตัวแปร	วิธีเชิงพันธุกรรม (GA)	วิธีกลุ่มอนุภาค (PSO)	วิธีผึ้ง (BA)	วิธีหมากรุก (CA)
การใช้ข้อมูลร่วมกัน	ไม่มีการใช้ข้อมูลร่วมกันระหว่างโครโมโซม	มีการใช้ข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดร่วมกัน	มีการใช้ข้อมูลปริมาณน้ำหวานแต่ละแหล่ง ผ่านตัวจัดการส่วนกลาง	มีการใช้ข้อมูลคำตอบที่ดีที่สุด และคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละตัวหมาก ผ่านตัวจัดการส่วนกลาง
มีหน่วยความจำระยะสั้น	เก็บคำตอบที่ดีที่สุด และโครโมโซมปัจจุบัน	-เก็บคำตอบที่ดีที่สุด ของกลุ่มและแต่ละอนุภาค -ความเร็วและตำแหน่งของแต่ละอนุภาค	เก็บคำตอบที่ดีที่สุด และคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละแหล่งน้ำหวาน	เก็บคำตอบที่ดีที่สุด และคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละตัวหมาก
การเริ่มค้นหาใหม่	ไม่มีขั้นตอนการหาคำตอบเริ่มต้นใหม่	ไม่มีขั้นตอนการหาคำตอบเริ่มต้นใหม่	มีการหาคำตอบเริ่มต้นใหม่โดยใช้ผึ้งสอดแนม	มีการหาคำตอบเริ่มต้นใหม่โดยใช้ตัวเบี้ย
ขบวนการหลุดจากโลคอล	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	มี

ขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีหมากรุก แสดงดังผังงาน (Flow chart) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 18 :ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้ตัวเบี้ยจำนวน $n_p = 8$ ตัว สุ่มคำตอบเริ่มต้น ซึ่งคำตอบเหล่านี้ต้องเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ นั่นคือ อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด และสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่างๆ และกำหนดให้จำนวนรอบของการทำซ้ำ $Iteration = 1$

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากสุ่มของตัวเบี้ย โดยการหาค่าฟังก์ชั่นของแต่ละคำตอบ พร้อมทั้งจัดเรียงลำดับ จากคำตอบที่มีค่าฟังก์ชั่นดีที่สุดไปหาคำตอบที่ดีแย่ที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 แทนคำตอบที่จัดเรียงลำดับแล้ว ด้วยตัวหมากต่างๆ เริ่มจาก (1) ราชา 1 ตัว (2) ราชินี 1 ตัว (3) เรือ 2 ตัว (4) อัศวิน 2 ตัว และ (5) บาทหลวง 2 ตัว

ขั้นตอนที่ 4 ให้ตัวหมากแต่ละตัว ค้นหาคำตอบบริเวณรอบๆ ตามลักษณะการเดินของตัวหมากแต่ละชนิด

ขั้นตอนที่ 5 ประเมินผลของคำตอบบริเวณรอบๆ โดยการหาค่าฟังก์ชั่นของแต่ละคำตอบ และหาคำตอบที่ดีที่สุดในบริเวณรอบๆ ตัวหมากแต่ละตัว

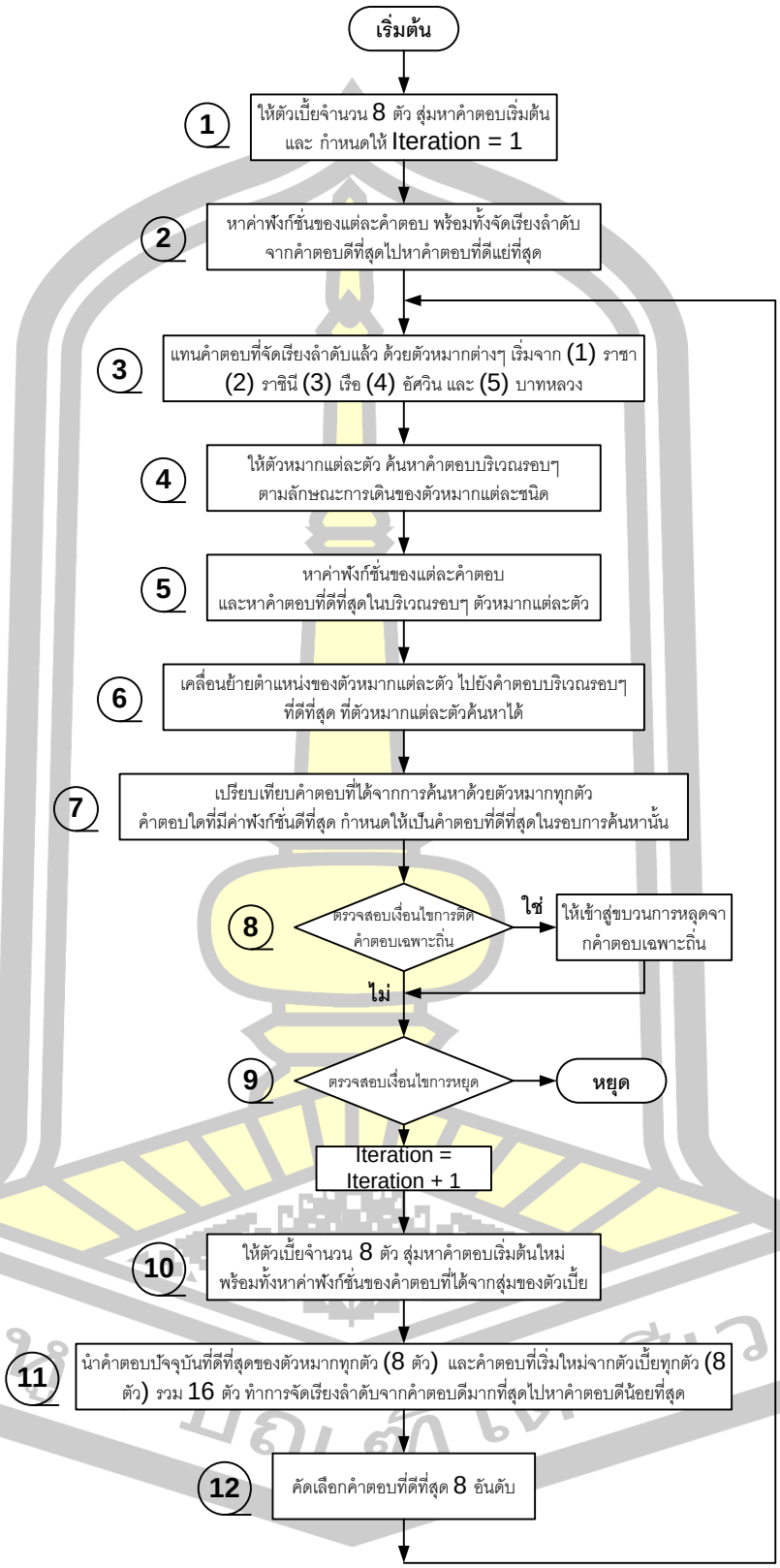
ขั้นตอนที่ 6 เคลื่อนย้ายตำแหน่งของตัวหมากแต่ละตัว ไปยังคำตอบบริเวณรอบๆ ที่ดีที่สุด ที่ตัวหมากแต่ละตัวค้นหาได้

ขั้นตอนที่ 7 เปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากการค้นหาด้วยตัวหมากทุกตัว คำตอบใดที่มีค่าฟังก์ชั่นดีที่สุด กำหนดให้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดในรอบการค้นหานั้น

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบเงื่อนไขติดคำตอบเฉพาะถิ่น (Local) ถ้าตรงตามเงื่อนไข ให้เข้าสู่ขบวนการหลุดจากคำตอบเฉพาะถิ่น

ขั้นตอนที่ 9 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าตรงตามเงื่อนไข ให้หยุดการค้นหา ถ้าไม่ ให้เพิ่มจำนวนรอบของการทำซ้ำ $Iteration = Iteration + 1$

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 19 ผังงานของขั้นตอนการดำเนินงานของวิธียุทธวิธีหมากรุก

ขั้นตอนที่ 10 ให้ตัวเบี้ยจำนวน $n_p = 8$ ตัว สุ่มคำตอบเริ่มต้นใหม่ พร้อมทั้งหาค่าฟังก์ชั่นของคำตอบที่ได้จากสุ่มของตัวเบี้ย

ขั้นตอนที่ 11 นำคำตอบปัจจุบันที่ดีที่สุดของตัวหมากทุกตัว (ราชา 1 ตัว ราชินี 1 ตัว เรือ 2 ตัว อัศวิน 2 ตัว และ บาทหลวง 2 ตัว) และคำตอบที่เริ่มใหม่จากตัวเบี้ยทุกตัว (8 ตัว) รวมคำตอบทั้งหมด 16 ตัว ทำการจัดเรียงลำดับจากคำตอบดีมากที่สุดไปหาคำตอบดีน้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 12 คัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุด 8 อันดับ แล้ววนไปดำเนินการในขั้นตอนที่ 3 และขั้นตอนอื่นๆ ต่อไปเรื่อย ๆ จนตรงตามเงื่อนไขการหยุด

คำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะถิ่น (Local minimum) คือ เป็นคำตอบที่ดีที่สุดภายในขอบเขตที่กำหนดเท่านั้น ในการตรวจสอบว่า ตัวหมากติดคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะถิ่น หรือไม่ อาจจะใช้เงื่อนไขที่ว่าตัวหมากตัวนั้น ค้นหาคำตอบบริเวณรอบๆ แล้วได้คำตอบบริเวณรอบๆ ไม่ดีว่าคำตอบปัจจุบันเป็นเวลานาน (กำหนดจากจำนวนการทำซ้ำ) ถือได้ว่าติดคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะถิ่น ดังนั้นขบวนการหลุดออกจากคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะถิ่น ทำได้โดย **ปักหมุด (Sticky)** เป็นการระบุพื้นที่หรือคำตอบนั้นแล้วทำการให้ตัวหมากตัวนั้น หลุดออกจากพื้นที่นั้น โดยการลดลำดับขั้น (De-promotion) 1 ลำดับขั้น ผลจากการปักหมุดและการลดลำดับขั้น จะทำให้คำตอบที่ดีที่สุดลำดับที่หนึ่ง มักจะเป็นตำแหน่งของตัวราชา จะถูกปักหมุด คำตอบที่ดีลำดับที่สองที่แต่เดิมเป็นตำแหน่งของราชินีจะแทนด้วยตัวหมากราชา และจะเลื่อนตัวหมากราชินีไปอยู่คำตอบลำดับที่สามแทน พร้อมทั้งลดลำดับขั้นลงไปเรื่อยๆ จนครบตัวหมากทุกตัว ส่วนตัวสุดท้ายลดขั้นแล้วไม่มีตำแหน่ง ให้เปรียบเสมือนเป็นตัวเบี้ย ซึ่งต้องสุ่มคำตอบใหม่ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 20

ภาพประกอบ 20การปักหมุดและการลดลำดับขั้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

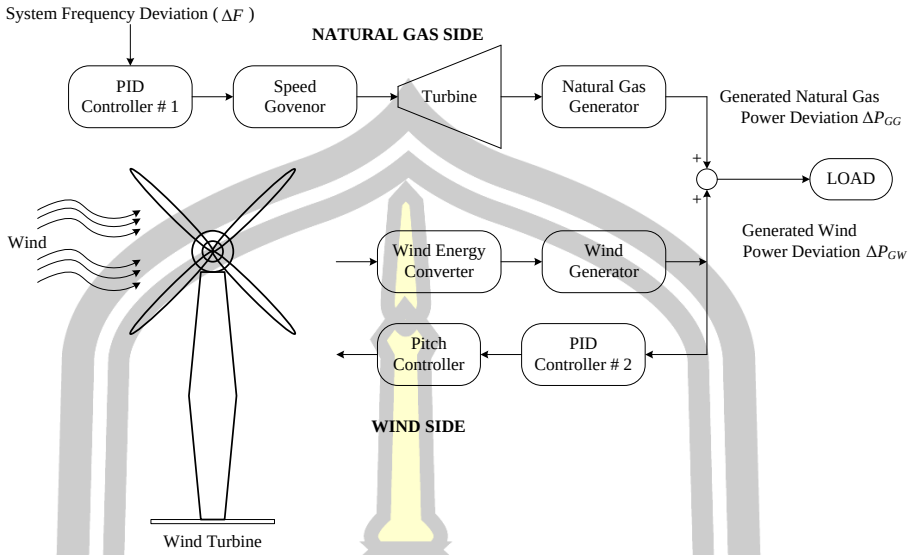
3.1 บทนำ

จากบทที่ 2 ได้กล่าวถึง หลักการและขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบต่างๆ เช่น วิธีเชิงพันธุกรรม วิธีกลุ่มอนุภาค วิธีฝูงผึ้ง และ วิธียุทธวิธีหมากรุก ส่วนในบทนี้จะได้กล่าวถึง การนำวิธีการเหล่านี้มาประยุกต์ใช้กับการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี สำหรับการควบคุมความถี่โหลดของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ โดยการพัฒนาโปรแกรมของวิธีการเหล่านี้ด้วยโปรแกรม MatLab®R2013 และ Simulink® ของบริษัท MathWorks® ใช้คอมพิวเตอร์ DELL, CPU: Intel Core (TM) i5 2.0 GHz, 4 Gbytes RAM ปฏิบัติการ Windows 7

3.2 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ศึกษา

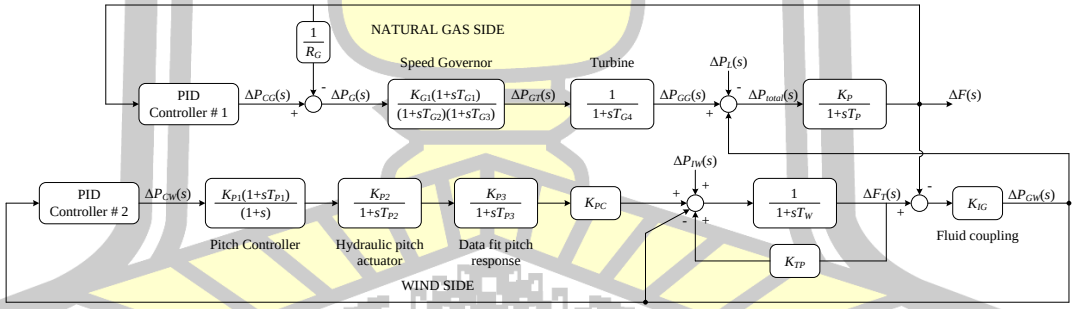
การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากำลังของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ ได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 3.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผล มีการสมมติให้ระบบไฟฟ้ากำลังที่พิจารณามีการเปลี่ยนแปลงของลมหรือการเปลี่ยนแปลงของโหลดอย่างทันทีทันใด โดยการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีสำหรับควบคุมการบิดของใบพัด (Blade pitch control) ในด้านกังหันลม และสำหรับตัวบังคับความเร็ว (Speed governor) ในด้านก๊าซ เพื่อให้ระบบอยู่ในสถานะอยู่ตัว (Steady state) และคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ในระบบได้

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 21 การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากำลังของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ

จากภาพประกอบ 22 แสดงแบบจำลองการทำงานร่วมกันระหว่างโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ พร้อมกับตัวควบคุมทั้งทางด้านของตัวบังคับความเร็วและตัวควบคุมด้านตัวขับเร้าการบิดของใบพัด และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบได้แสดงไว้ในตาราง 5



ภาพประกอบ 22 แบบจำลองการทำงานของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ

เมื่อ

ΔP_{total} คือ การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเอาท์พุทรวม

ΔP_{GG} คือ การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของด้านก๊าซธรรมชาติ

ΔP_{GW} คือ การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของด้านกังหันลม

ΔP_L คือ การเปลี่ยนแปลงโหลด

K_{IG} คือ อัตราขยายของฟลูอิดคัปปลิ่ง

K_{PC} คือ อัตราขยายคุณลักษณะของใบพัด

K_{P1} คือ อัตราขยายของการควบคุมการบิดของใบพัด

K_{P2} คือ อัตราขยายของตัวขับเร้าการบิดของใบพัดแบบไฮ ดรอลิก

K_{P3} คือ อัตราขยายของผลการตอบสนองของการบิดของใบพัด

T_{P1} คือ ค่าคงตัวเวลาของการควบคุมการบิดของใบพัด

T_{P2} คือ ค่าคงตัวเวลาของตัวขับเร้าการบิดของใบพัดแบบไฮ ดรอลิก

T_{P3} คือ ค่าคงตัวเวลาของผลการตอบสนองของการบิดของใบพัด

K_{G1} คือ อัตราขยายของตัวควบคุมความถี่

T_{G1}, T_{G2}, T_{G3} คือ ค่าคงตัวเวลาของตัวควบคุมความถี่

T_{G4} คือ ค่าคงตัวเวลาของใบพัด

e คือ สัญญาณความผิดพลาด

u คือ สัญญาณควบคุม

k_p คือ อัตราขยายสัดส่วน

k_i คือ อัตราขยายปริพันธ์

k_d คือ อัตราขยายอนุพันธ์

ตาราง 5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับแบบจำลองระบบ

พารามิเตอร์ด้านดีเซล	พารามิเตอร์ด้านกังหันลม
K_G = 0.4 pu kW/Hz	K_{P1} = 1.25
T_{G1} = 1.0 sec	K_{P2} = 1.0
T_{G2} = 2.0 sec	K_{P3} = 1.4
T_{G3} = 0.025 sec	K_{PC} = 0.080 pu kW/deg
T_{G4} = 3.0 sec	K_{TP} = 0.004 pu kW/Hz
R_G = 5.0 Hz/pu kW	K_{IG} =1.494 pu kW/Hz
	T_{P1} = 0.6 sec
พารามิเตอร์ระบบ	T_{P2} = 0.041 sec
K_p = 72 Hz/pu kW	T_{P3} = 1.0 sec
T_P = 1.44 sec	T_W = 4.0 sec

3.3 การออกแบบตัวควบคุม

ตัวควบคุมแบบพีไอดี พร้อมทั้งแบบจำลองของตัวควบคุม ดังนั้น เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีมาใช้ควบคุมระบบ สามารถจำลองระบบควบคุม เมื่อมีการแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ ดังแสดงในสมการ (3.1)

$$u = \left(k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s\right) e \tag{3.1}$$

สมการ 3.1 ระบบรักษาระดับแรงดันอัตโนมัติ ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี

3.3 การดำเนินการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมในการออกแบบระบบ

การออกแบบควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีสำหรับควบคุมระบบรักษาระดับแรงดันอัตโนมัติ โดยการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด แสดงดังภาพประกอบ 3.6 ซึ่งอัตราขยายของตัวควบคุมแบบพีไอดี คือ อัตราขยายสัดส่วน (K_p) อัตราขยายปริพันธ์ (K_i) และ อัตราขยายอนุพันธ์ (K_d) หาค่าโดยใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ถ้าอัตราขยายสัดส่วน มีค่าสูง ระบบอาจจะไม่มีเสถียรภาพได้ แต่ถ้ามีค่าน้อย ผลตอบสนองก็จะช้าและมีค่าความผิดพลาดสูง ถ้าอัตราขยายปริพันธ์ มีค่าสูง ทำให้เกิดค่าโอเวอร์ชูตสูงขึ้น แต่ถ้ามีค่าน้อย จะทำให้ระบบช้า ส่วนอัตราขยายอนุพันธ์ ถ้ามีค่าสูงพอ ก็จะทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพได้ อีกทั้งค่าอัตราขยายเหล่านี้ยังขึ้นอยู่ระบบที่จะควบคุมด้วย

เพื่อที่จะหาค่าอัตราขยายที่เหมาะสมที่สุดของตัวควบคุมแบบพีไอดี ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้เกณฑ์ดัชนีสมรรถนะหลายแบบ เป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ดังนี้

ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Integral Absolute Error; IAE) ดังสมการ

$$IAE = \int_0^t \left|V_{ref} - V_t\right| dt \tag{3.2}$$

1. ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (Integral Time multiplied Absolute Error; ITAE) ดังสมการ

$$ITAE = \int_0^t t\left|V_{ref} - V_t\right| dt \tag{3.3}$$

2. ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดกำลังสอง (Integral Square Error; ISE) ดังสมการ

$$ISE = \int_0^t (V_{ref} - V_t)^2 dt \tag{3.4}$$

3.ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (Integral Time multiplied Square Error; ITSE) ดังสมการ

$$ITSE = \int_0^t t(V_{ref} - V_t)^2 dt \tag{3.5}$$

เมื่อ V_{ref} คือ แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง V_t คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว และ t คือ ช่วงเวลาในการคำนวณ

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วย วิธีสโตแคสติก (Stochastic) จะขึ้นอยู่กับการสุ่มคำตอบเริ่มต้น ในแต่ละครั้งของการรันโปรแกรม ค่าคำตอบเริ่มต้นที่แตกต่างกัน ก็จะทำให้การวิวัฒนาการของคำตอบ และการเข้าสู่คำตอบสุดท้ายที่แตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นการทดสอบเพียงครั้งเดียวจึงไม่สามารถสรุปผลที่ถูกต้องได้ ด้วยเหตุผลนี้ ในวิทยานิพนธ์นี้ จึงได้ทำการทดสอบการหาค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบพีไอดี วิธีละ 30 ครั้ง

3.4 ระเบียบวิธีการของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดี

3.4.1 วิธีพันธุกรรมยีนต์

ระเบียบวิธีการดำเนินการของวิธีพันธุกรรมยีนต์ ในการหาค่าที่เหมาะสมของอัตราขยายต่างๆ ของตัวควบคุมแบบพีไอดี พร้อมทั้งตัวอย่างตามลำดับขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนเริ่มต้น กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น

จำนวนตัวแปรที่ต้องการค้นหา $n = 3$

ขอบเขตของตัวแปรแต่ละตัว

$$K_{\min} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad K_{\max} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

- จำนวนของโครโมโซม $N_{ind} = 10$
- จำนวนบิตของโครโมโซม (Precision of chromosome) $P_{bit} = 8$
- จำนวนรอบในการค้นหาสูงสุด (Maximum generation) $Gen_{\max} = 100$

ขั้นตอนที่ 1 สุ่มเลือกประชากรเริ่มต้นในรูปของโครโมโซม (ในรูปของเลขฐานสอง และเลขจำนวนจริง)

Chrom1 = [0101 1001 0010 1101 1111 1000]

Chrom2 = [0011 1100 0101 1101 0011 0100]

Chrom3 = [0001 0100 1001 1110 1010 0110]

Chrom4 = [0100 1111 1111 1010 0010 0110]

Chrom5 = [0001 1110 1011 0001 0000 0101]

Chrom6 = [0100 1110 1000 0000 0011 0111]

Chrom7 = [0011 0011 1011 0001 0011 0010]

Chrom8 = [1011 1011 1011 0101 0001 0011]

Chrom9 = [0110 1010 0101 1001 0100 0100]

Chrom10 = [1110 0100 1101 0100 1001 0010]

$$Chr_i = \begin{bmatrix} 0.6471 & 0.2353 & 0.1412 & 0.6882 & 0.1176 & 0.6823 & 0.2000 & 1.2353 & 0.4471 & 1.0824 \\ 0.2118 & 0.4118 & 0.9216 & 0.6745 & 0.8706 & 1.0000 & 0.8706 & 0.8510 & 0.4314 & 0.5961 \\ 0.6863 & 0.1529 & 0.7686 & 0.2314 & 0.0235 & 0.1451 & 0.1372 & 0.1137 & 0.4706 & 0.8902 \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสม ของแต่ละโครโมโซม

แทนค่าโครโมโซมแต่ละตัว ซึ่งเป็นค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอดี K_p, K_i และ K_d จากนั้นใช้ค่าเหล่านี้ป้อนเป็นอินพุทในโปรแกรม Simulink แล้วทำการคำนวณ เอาท์พุตที่ได้ของผลตอบสนองทางเวลา จะถูกส่งมาเพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสม โดยใช้เกณฑ์ดัชนีสมรรถนะแบบปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE)

$$F = [0.3868 \quad 0.4927 \quad 0.3096 \quad 0.0967 \quad 3.5714 \quad 0.2025 \quad 0.8809 \quad 0.3794 \quad 0.1850 \quad 0.1356]$$

$$F_{best} = [0.0967]$$

$$Chromosom_{best} = \begin{bmatrix} 0.6882 \\ 0.6745 \\ 0.2314 \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 3 การคัดเลือก (Re-production) อ้างอิงจากค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสม โดยพิจารณาว่าโครโมโซมใดมีค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมที่ดี จะถูกกำหนดน้ำหนักความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกแต่ละครั้งสูง

$$F = [0.3868 \quad 0.4927 \quad 0.3096 \quad 0.0967 \quad 3.5714 \quad 0.2025 \quad 0.8809 \quad 0.3794 \quad 0.1850 \quad 0.1356]$$

$$F_{nv} = [0.6618 \quad 0.5503 \quad 0.9567 \quad 2 \quad 0.3807 \quad 1.1504 \quad 0.4577 \quad 0.7957 \quad 1.3833 \quad 1.6633]$$

ขั้นตอนที่ 4 การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) ทำโดยการกำหนดค่าสุ่มให้แก่โครโมโซมที่ถูกเลือกมาทั้งหมด โครโมโซมใดที่มีค่าสุ่มน้อยกว่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ จะถูกนำไปจับคู่เป็นโครโมโซมพ่อแม่ แล้วมีการแลกเปลี่ยนบางส่วนของโครโมโซมทั้งสองเพื่อสร้างโครโมโซมรุ่นลูก

ขั้นตอนที่ 5 การกลายพันธุ์ (Mutation) ทำโดยการเปลี่ยนค่าของโครโมโซมบางตำแหน่งเป็นค่าใหม่ในตำแหน่งที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 6 แทนที่ประชากร (Replacement) ประชากรรุ่นใหม่ เป็นชุดโครโมโซมลูกที่เกิดจากขั้นตอนวิวัฒนาการต่าง ๆ ข้างต้น จะถูกนำไปแทนที่ประชากรรุ่นก่อนหน้านี้ และถูกนำไปเข้ากระบวนการวิวัฒนาการใหม่ โดยกระบวนการต่างๆ จะถูกปฏิบัติซ้ำ ๆ จนกระทั่งถึงรุ่นที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 7 เพิ่มจำนวนของรุ่น (gen=gen+1) และตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าตรงตามเงื่อนไขการหยุดให้หยุด ถ้าไม่ย้อนกลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2

3.4.2 วิธีกลุ่มอนุภาค

ระเบียบวิธีการดำเนินการของวิธีกลุ่มอนุภาค ในการหาค่าที่เหมาะสมของอัตราขยายต่างๆ ของตัวควบคุมแบบพีไอดี มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนเริ่มต้น กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น

- จำนวนตัวแปรที่ต้องการค้นหา $n=3$
- ขอบเขตของตัวแปรแต่ละตัว
- จำนวนของอนุภาค
- น้ำหนักความเฉื่อย (Inertial Weight Factor; ω)
- ค่าคงที่ของอัตราเร่ง c_1, c_2

จำนวนรอบในการค้นหาสูงสุด (Maximum generation)

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดขอบเขต ต่ำสุด สูงสุด X_{Lower}, X_{Upper} ของพารามิเตอร์ทุกตัว และให้ทำการสุ่มหาค่าเริ่มต้นของอนุภาคแต่ละตัว (X^t), สุ่มหาแต่ละมิติ, สุ่มหาความเร็วเริ่มต้น (V^t), จากนั้นกำหนดให้เป็นค่าเริ่มต้นของตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ค้นหามาแล้วของอนุภาคแต่ละตัว $(pbest)$ และกำหนดอนุภาคที่ค้นหาคำตอบได้ดีที่สุดจากอนุภาคทั้งหมด $(gbest)$ ซึ่งคำตอบเหล่านั้นนี้ต้องเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ นั่นคืออยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดและสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่างๆ

ขั้นตอนที่ 2 หาฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของแต่ละอนุภาค

ขั้นตอนที่ 3 ทำการประเมินเปรียบเทียบค่าของอนุภาคแต่ละตัวแล้วกำหนดให้เป็น $pbest$ จากนั้นเลือกค่าที่ดีจากค่า $pbest$ โดยกำหนดให้เป็น $gbest$

ขั้นตอนที่ 4 ปรับเปลี่ยนความเร็วใหม่ของอนุภาคของแต่ละตัว

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อได้ความเร็วใหม่จากขั้นตอนที่ 4 ให้ตรวจสอบคือ ถ้า $v_{id}^{t+1} > V_d^{\max}$, ให้ $v_{id}^{t+1} = V_d^{\max}$ และถ้า $v_{id}^{t+1} < V_d^{\min}$, ให้ $v_{id}^{t+1} = V_d^{\min}$

ขั้นตอนที่ 6 ปรับเปลี่ยนตำแหน่งใหม่ของอนุภาคของแต่ละตัว จากนั้นให้ตรวจสอบคือ ถ้า $x_{id}^{t+1} > P_d^{\max}$, ให้ $x_{id}^{t+1} = P_d^{\max}$ และถ้า $x_{id}^{t+1} < P_d^{\min}$, ให้ $x_{id}^{t+1} = P_d^{\min}$

ขั้นตอนที่ 7 ตรวจสอบตำแหน่งใหม่ของอนุภาคจะต้องอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดและสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่างๆ แต่ถ้าไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับก็ให้อนุภาคนั้นอยู่ตำแหน่งเดิม

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าถึงค่าสูงสุดแล้วให้หยุดทำงาน ถ้ายังไม่ถึงค่าสูงสุดให้ย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 2

3.4.3 วิธีฝูงผึ้ง

ระเบียบวิธีการดำเนินการของวิธีฝูงผึ้ง ในการหาค่าที่เหมาะสมของอัตราขยายต่างๆ ของตัวควบคุมแบบพีไอดี มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนเริ่มต้น กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น

- จำนวนตัวแปรที่ต้องการค้นหา $n = 3$
- ขอบเขตของตัวแปรแต่ละตัว
- จำนวนของผึ้งสอดแนม
- จำนวนคำตอบที่ดี และจำนวนคำตอบที่ดีที่สุด
- ขอบเขตการหาคำตอบบริเวณใกล้เคียง
- จำนวนผึ้งงานของแต่ละแหล่งน้ำหวาน
- จำนวนรอบในการค้นหาสูงสุด (Maximum generation)

ขั้นตอนที่ 1 ให้ผึ้งสอดแนมจำนวน n ตัว ค้นหาคำตอบเริ่มต้น ซึ่งคำตอบเหล่านี้ต้องเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ นั่นคือ อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดและสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่างๆ และกำหนดให้จำนวนรอบของการทำซ้ำ $NC = 0$

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการค้นหาของผึ้งสอดแนม พร้อมทั้งจัดเรียงลำดับจากคำตอบดีมากที่สุดไปหาคำตอบดีน้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 เลือกคำตอบที่มีผลการประเมินที่ดี m คำตอบ

ขั้นตอนที่ 4 คัดแยกคำตอบ m คำตอบนี้ ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยที่กลุ่มแรกมีคำตอบที่ดีที่สุด e คำตอบ และกลุ่มที่ 2 มีคำตอบที่ดีรองลงมา $m-e$ คำตอบ

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดขอบเขตในการค้นหาบริเวณรอบๆ e คำตอบ และ $m-e$ คำตอบ

ขั้นตอนที่ 6 ให้ผึ้งงานจำนวน n_{ep} ตัว ค้นหาคำตอบรอบๆ e คำตอบ และ
ผึ้งงานจำนวน n_{sp} ตัว ค้นหาคำตอบรอบๆ $m-e$ คำตอบ

ขั้นตอนที่ 7 ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการค้นหาของผึ้งงานในแต่ละแหล่ง และเลือกคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละแหล่ง

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าตรงตามเงื่อนไข ให้หยุดการค้นหา ถ้าไม่ ให้เพิ่มจำนวนรอบของการทำซ้ำ

ขั้นตอนที่ 9 กำหนดให้ผึ้งสอดแนมจำนวน $n-m$ ตัว ค้นหาคำตอบใหม่ แล้วไปดำเนินในขั้นตอนที่ 2 ทำซ้ำไปเรื่อยจนได้คำตอบที่สูงที่สุด

3.4.4 วิธียุทธวิธีหมากรุก

ระเบียบวิธีการดำเนินการของวิธียุทธวิธีหมากรุกในการหาค่าที่เหมาะสมของอัตราขยายต่างๆ ของตัวควบคุมแบบพีไอดี มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนเริ่มต้น กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น

- จำนวนตัวแปรที่ต้องการค้นหา $n=3$
- ขอบเขตของตัวแปรแต่ละตัว
- ขอบเขตการหาคำตอบบริเวณใกล้เคียง
- จำนวนรอบในการค้นหาสูงสุด (Maximum generation)

ขั้นตอนที่ 1 ให้ตัวเบี้ยจำนวน $n_p=8$ ตัว สุ่มคำตอบเริ่มต้น ซึ่งคำตอบเหล่านี้ต้องเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ นั่นคือ อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด และสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่างๆ และกำหนดให้จำนวนรอบของการทำซ้ำ $Iteration=1$

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากสุ่มของตัวเบี้ย โดยการหาค่าฟังก์ชั่นของแต่ละคำตอบ พร้อมทั้งจัดเรียงลำดับ จากคำตอบที่มีค่าฟังก์ชั่นดีที่สุดไปหาคำตอบที่ดีแย่ที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 แทนคำตอบที่จัดเรียงลำดับแล้ว ด้วยตัวหมากต่างๆ เริ่มจาก (1) ราชา 1 ตัว (2) ราชินี 1 ตัว (3) เรือ 2 ตัว (4) อัศวิน 2 ตัว และ (5) บาทหลวง 2 ตัว

ขั้นตอนที่ 4 ให้ตัวหมากแต่ละตัว ค้นหาคำตอบบริเวณรอบๆ ตามลักษณะการเดินของตัวหมากแต่ละชนิด

ขั้นตอนที่ 5 ประเมินผลของคำตอบบริเวณรอบๆ โดยการหาค่าฟังก์ชั่นของแต่ละคำตอบ และหาคำตอบที่ดีที่สุดในบริเวณรอบๆ ตัวหมากแต่ละตัว

ขั้นตอนที่ 6 เคลื่อนย้ายตำแหน่งของตัวหมากแต่ละตัว ไปยังคำตอบบริเวณรอบๆ ที่ดีที่สุด ที่ตัวหมากแต่ละตัวค้นหาได้

ขั้นตอนที่ 7 เปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากการค้นหาด้วยตัวหมากทุกตัว คำตอบใดที่มีค่าฟังก์ชั่นดีที่สุด กำหนดให้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดในรอบการค้นหานั้น

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบเงื่อนไขติดคำตอบเฉพาะถิ่น (Local) ถ้าตรงตามเงื่อนไข ให้เข้าสู่ขบวนการหลุดจากคำตอบเฉพาะถิ่น

ขั้นตอนที่ 9 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าตรงตามเงื่อนไข ให้หยุดการค้นหา ถ้าไม่ ให้เพิ่มจำนวนรอบของการทำซ้ำ $Iteration = Iteration + 1$

ขั้นตอนที่ 10 ให้ตัวเบี้ยจำนวน $n_p = 8$ ตัว สุ่มคำตอบเริ่มต้นใหม่ พร้อมทั้งหาค่าฟังก์ชั่นของคำตอบที่ได้จากสุ่มของตัวเบี้ย

ขั้นตอนที่ 11 นำคำตอบปัจจุบันที่ดีที่สุดของตัวหมากทุกตัว (ราชา 1 ตัว ราชินี 1 ตัว เรือ 2 ตัว อัศวิน 2 ตัว และ บาทหลวง 2 ตัว) และคำตอบที่เริ่มใหม่จากตัวเบี้ยทุกตัว (8 ตัว) รวมคำตอบทั้งหมด 16 ตัว ทำการจัดเรียงลำดับจากคำตอบดีมากที่สุดไปหาคำตอบดีน้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 12 คัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุด 8 อันดับ แล้ววนไปดำเนินการในขั้นตอนที่ 3 และขั้นตอนอื่นๆ ต่อไปเรื่อย ๆ จนตรงตามเงื่อนไขการหยุด

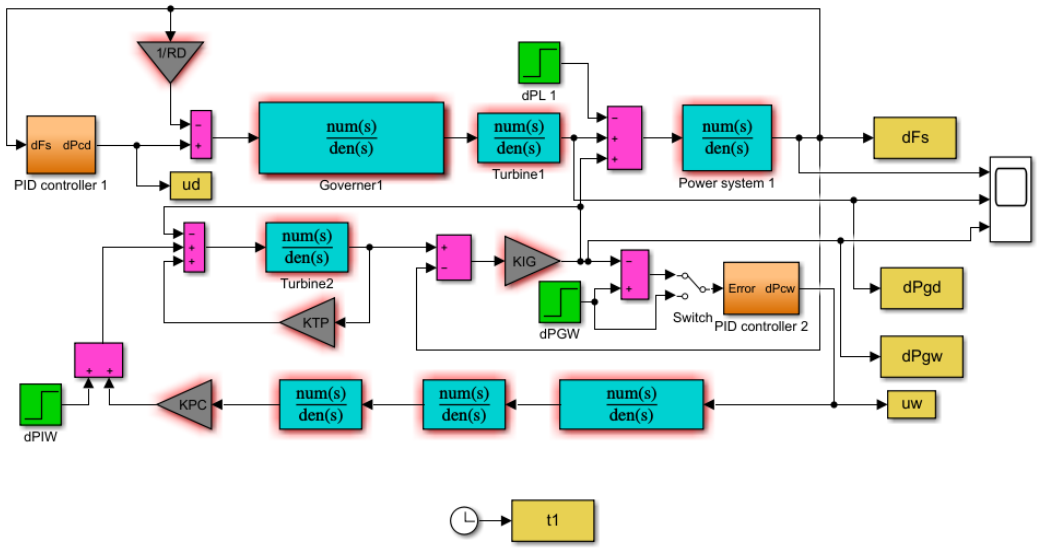
พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 กล่าวนำ

จากการประยุกต์ใช้วิธีต่างๆเพื่อช่วยในการออกแบบตัวควบคุม สำหรับการควบคุมความถี่โหลดของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ ในการจำลองแบบดำเนินงานดำเนินงานของวิธีการหาค่าที่เหมาะสม แบบต่างๆ เช่น วิธีเชิงพันธุกรรม วิธีการหาค่าที่เหมาะสมเชาวน์ปัญญาเชิงกลุ่ม วิธีฝูงผึ้ง และ วิธียุทธวิธีหมากรุก เพื่อควบคุมความถี่โหลดของระบบโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ เปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมที่มีผลต่อระบบไฟฟ้ากำลัง โดยได้วิเคราะห์ผลการตอบสนองพลวัตที่มีค่าช่วงเวลาเข้าที่ ค่าการพุ่งเกิน และค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา เป็นหลัก



ภาพประกอบ 23 แบบจำลองการทำงานของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ

กรณีใช้ตัวควบคุมพีไอดี ต้องดำเนินการเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของอัตราการขยายสัดส่วน อัตราการขยายปริพันธ์ และอัตราการขยายอนุพันธ์ กรณีใช้ตัวควบคุมพีไอดี ต้องดำเนินการเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของอัตราการขยายสัดส่วน อัตราการขยายปริพันธ์ อัตราการขยายอนุพันธ์ ค่าฟังก์ชัน

ความเป็นสมาชิก และค่ากฎการควบคุม เพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดำเนินงานของตัวควบคุมแบบต่างๆ อย่างชัดเจน จึงได้มีการทดสอบความคงทน (Robustness) ของระบบไฟฟ้ากำลังภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์และภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลด การจำลองแบบการดำเนินงานของตัวควบคุมทั้ง 2 แบบ ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมความถี่โหลดของระบบโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ โดยผลลัพธ์ของการจำลองแบบการดำเนินงานมีดังนี้

4.2 ตัวควบคุมที่เหมาะสม

4.2.1 กรณีโหลดมีค่า 0.01 p.u.kW ด้านกังหันลม

การจำลองการหาค่าที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดี โดยใช้ทั้งสี่วิธี เพื่อช่วยในการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสม ใช้แบบจำลองดังภาพประกอบ 23 ได้ผลลัพธ์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังตารางที่ 6

ตาราง 6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดี กรณีโหลดมีค่า 0.01 p.u.kW ด้านกังหันลม

System Side	Parameters	PID Controller			
		CA	*BA*	*PSO*	*GA*
Natural Gas	$k_{p\text{-}g}$	330.98	208.31	355.29	384.47
	$k_{i\text{-}g}$	39.88	27.30	60.39	66.04
	$k_{d\text{-}g}$	21.52	23.73	19.60	17.23
Wind	$k_{p\text{-}w}$	17.37	9.03	15.29	17.84
	$k_{i\text{-}w}$	-18.99	-12.17	-8.82	-45.16
	$k_{d\text{-}w}$	-40.40	-34.52	-42.74	-34.33

4.2.2 กรณีโหลดมีค่า 0.01 p.u.kW ด้านก๊าซ

การจำลองการหาค่าที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดี โดยใช้ทั้งสี่วิธี เพื่อช่วยในการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสม ใช้แบบจำลองดังภาพประกอบ 23 ได้ผลลัพธ์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังตารางที่ 7

ตาราง 7 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดี กรณีโหลดมีค่า 0.01 p.u.kW ด้านก๊าซ

System Side	Parameters	PID Controller			
		CA	*BA*	*PSO*	*GA*
Natural Gas	$k_{p\text{-}g}$	330.56	301.09	332.41	290.20
	$k_{i\text{-}g}$	8.84	36.60	0.45	23.33
	$k_{d\text{-}g}$	37.51	27.80	38.01	59.21
Wind	$k_{p\text{-}w}$	32.55	27.42	33.88	34.118
	$k_{i\text{-}w}$	7.23	3.32	8.80	4.11
	$k_{d\text{-}w}$	40.16	40.16	40.28	38.82

4.2.3 กรณีโหลดมีค่า 0.01 p.u.kW ด้านกังหันลม-ก๊าซ

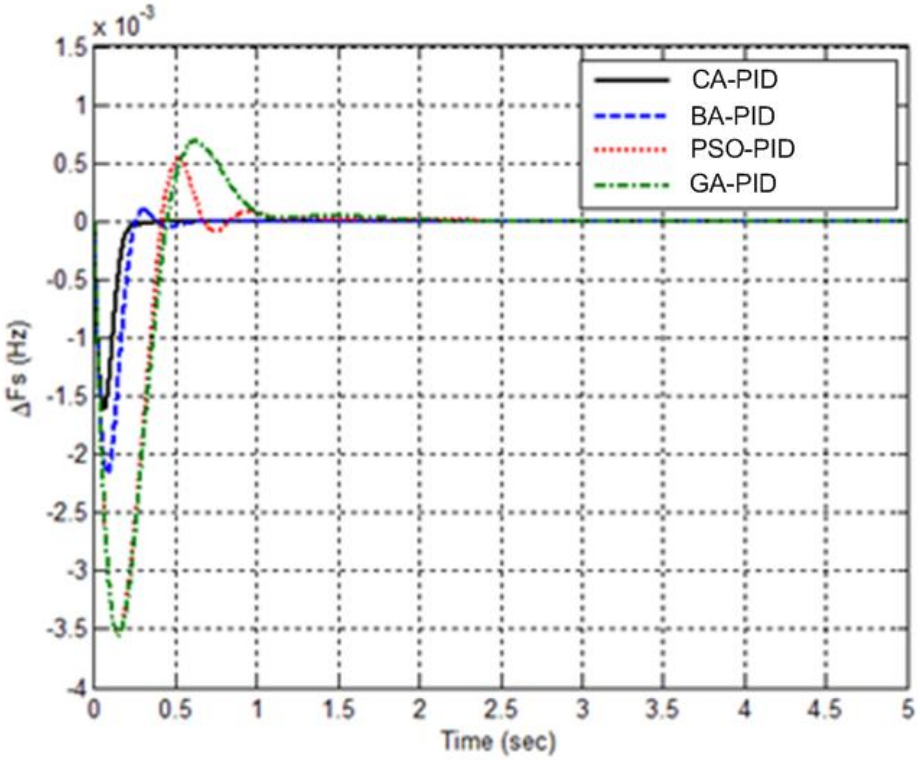
การจำลองการหาค่าที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดี โดยใช้ทั้งสี่วิธี เพื่อช่วยในการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสม ใช้แบบจำลองดังภาพประกอบ 23 ได้ผลลัพธ์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังตารางที่ 8

ตาราง 8 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดี กรณีโหลดมีค่า 0.01 p.u.kW ด้านกังหันลม-ก๊าซ

System Side	Parameters	PID Controller			
		CA	*BA*	*PSO*	*GA*
Natural Gas	$k_{p\text{-}g}$	313.72	307.84	301.96	311.76
	$k_{i\text{-}g}$	28.03	27.25	35.09	32.74
	$k_{d\text{-}g}$	31.37	50.58	54.90	44.31
Wind	$k_{p\text{-}w}$	33.72	33.10	29.01	41.17
	$k_{i\text{-}w}$	15.09	3.72	2.94	2.54
	$k_{d\text{-}w}$	37.25	36.47	35.78	39.60

4.3 การตอบสนองพลวัต

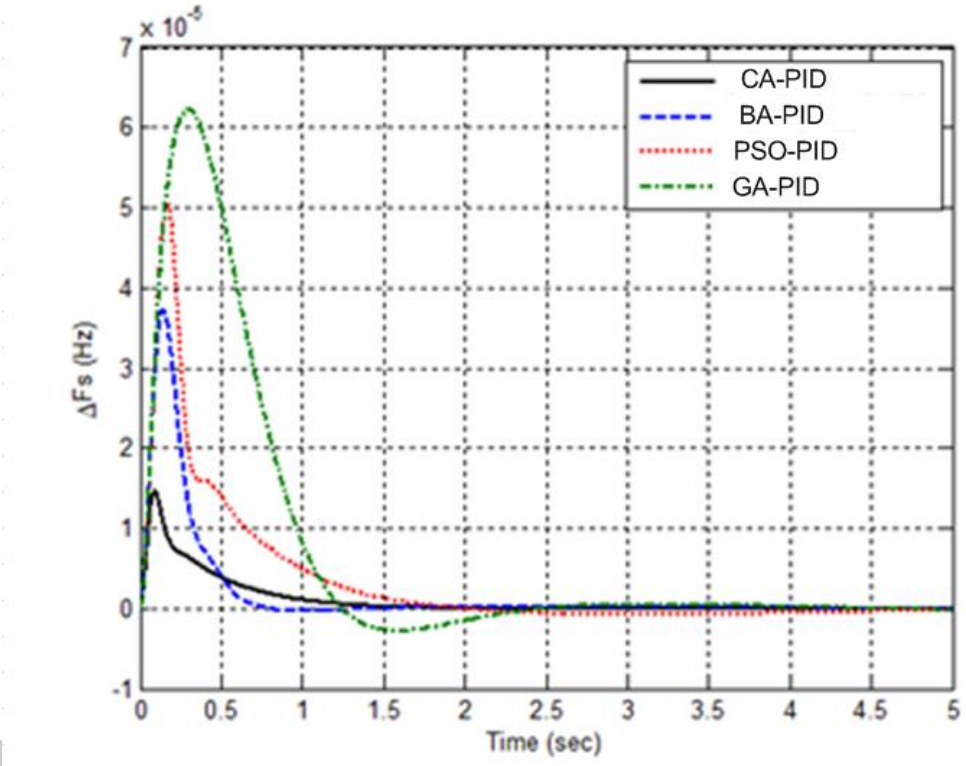
ในการจำลองในกรณีที่ 1 ถึง 3 สมมติว่ามีการเพิ่มขึ้นของโหลดเป็นแบบขั้นบันได (Step) มีขนาดเป็นΔP_L = 0.01 p.u.kW ที่เวลา t = 0 sec โดยเปรียบเทียบกับตัวควบคุมต่างๆ ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 4.2 ถึง 4.4 จะเห็นว่า ผลตอบสนองของการแกว่งของความถี่ที่ควบคุมพีไอดีของวิธีหมากรุก มีสมรรถนะที่ดีกว่าตัวควบคุมพีไอดีของวิธีการอื่นๆ ทั้งในด้านของค่าพุ่งเกิน (Overshoot : OS) ที่ต่ำกว่า และค่าเวลาคงตัว (Setting time) ที่สั้นกว่า



ภาพประกอบ 24 ผลตอบสนองความถี่ระบบ ในกรณีที่ 1 (ด้านดีเซล)

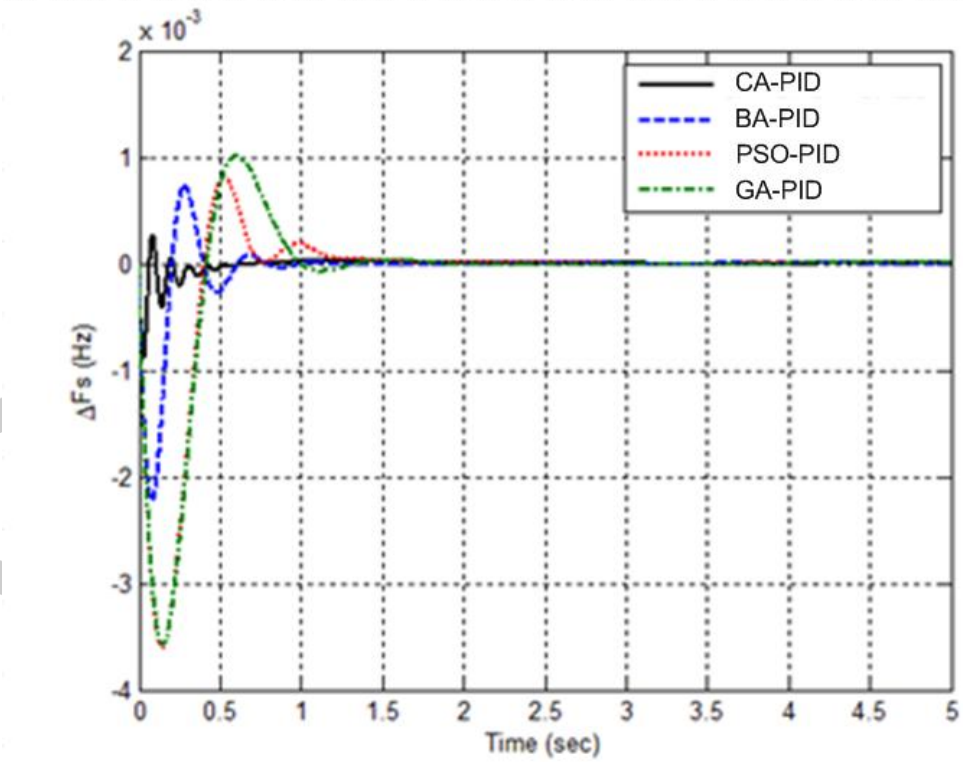
พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

PID Controllers	Performance values				
	T_s *(sec)*	E_{ss} $(\times 10^{-6})$	O_{sh} $(\times 10^{-3})$	U_{sh} $(\times 10^{-3})$	ITAE $(\times 10^{3})$
GA	1.0069	-2.4484	0.6855	-3.5524	0.4027
PSO	1.0138	-4.3311	0.5483	-3.5255	0.2774
BA	0.5080	-3.3241	0.1009	-2.1559	0.0574
CA	0.2360	-0.3285	0.0002	-1.6193	0.0171



ภาพประกอบ 25 ผลตอบสนองความถี่ระบบ ในกรณีที่ 2 (ด้านกังหันลม)

PID Controllers	Performance values				
	T_s (sec)	E_{ss} ($\times 10^{-6}$)	O_{sh} ($\times 10^{-5}$)	U_{sh} ($\times 10^{-5}$)	ITAE ($\times 10^{3}$)
GA	2.0806	-0.2157	6.2299	-0.2807	0.0022
PSO	1.5543	-0.2498	5.0567	-0.0803	0.0138
BA	0.6663	-0.0332	3.7221	-0.0369	0.0034
CA	1.4078	-0.0065	1.4792	-0.0022	0.0020



ภาพประกอบ 26 ผลตอบสนองความถี่ระบบ ในกรณีที่ 3 (ด้านกังหันลม-ก๊าซ)

PID Controllers	Performance values				
	T_s (sec)	E_{ss} ($\times 10^{-6}$)	Osh ($\times 10^{-3}$)	U_{sh} ($\times 10^{-3}$)	ITAE ($\times 10^{3}$)
GA	0.9510	11.4190	1.0104	-3.5635	0.4687
PSO	1.1539	1.6202	0.8015	-3.6032	0.3295
BA	0.7415	-0.1979	0.7253	-2.2227	0.0822
CA	0.6537	-0.0724	0.2723	-0.8924	0.0566

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ในการแก้ปัญหาการหาที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดีสำหรับการควบคุมความถี่โหลดของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติโดยใช้วิธีหมากรุก วิธีฝูงผึ้ง วิธีกลุ่มอนุภาค และวิธีเชิงพันธุกรรม สามารถสรุปสมรรถนะในการหาคำตอบและประสิทธิภาพในการคำนวณได้ดังนี้

1) คุณภาพของคำตอบ จะเห็นว่าคำตอบที่ได้จากวิธีหมากรุก มีค่าเฉลี่ยของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ที่ต่ำที่สุด ในการทำซ้ำ 30 ครั้ง ดังนั้นวิธีหมากรุกได้มีสมรรถนะในการหาคำตอบที่ดีกว่าทั้ง วิธีเชิงพันธุ์กรรม วิธีกลุ่มอนุภาค และวิธีฝูงผึ้ง

2) ประสิทธิภาพในการคำนวณ โดยการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการหาฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ต่ำที่สุดและเปอร์เซ็นต์การได้คำตอบในการทำซ้ำ 30 ครั้ง สามารถกล่าวได้ว่าวิธีหมากรุกมีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบได้เร็วกว่า ทั้ง วิธีเชิงพันธุ์กรรม วิธีกลุ่มอนุภาค และวิธีฝูงผึ้ง

3) ความน่าเชื่อถือ โดยการเปรียบเทียบการเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อทำซ้ำ 30 ครั้ง โดยวิธีหมากรุก มีเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุดที่ สามารถกล่าวได้ว่าวิธีหมากรุก มีความน่าเชื่อถือที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเชิงพันธุ์กรรม วิธีกลุ่มอนุภาค และวิธีฝูงผึ้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการแก้ปัญหาการหาที่เหมาะสมแก้ปัญหาการหาที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดีสำหรับการควบคุมความถี่โหลดของโรงไฟฟ้าร่วม กังหันลม-ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำวิธีการหมากรุกไปประยุกต์ใช้กับปัญหาอื่นๆ ได้

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

[1] Haupt, R.L., Haupt, S.E., “Practical Genetic Algorithm (2nd edition)”. Hoboken : Wiley, 2004.

[2] Simon, D., “Evolutionary Optimization Algorithms: Biologically-Inspired and Population-Based Approaches to Computer Intelligence” Hoboken : Wiley, 2013.

[3] Zhang, Y., “A Comprehensive Survey on Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Application”, Mathematical Problems in Engineering, 2015.

[4] บุญเสริม กิจศิริกุล. “ปัญญาประดิษฐ์”. เอกสารคำสอนวิชา 2110654. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2548.

[5] ธีรวุฒิ ไชยธรรม, อิสระชัย งามหรู และศราวุธ โพธิยา. “การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่โลจิกพีไอดี ที่เหมาะสมด้วยวิธีผูงผึ้งในระบบไมโครกริด”. การประชุมวิชาการทางทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31(EECON-31), 29-31 ตุลาคม 2551, นครนายก, ประเทศไทย. นครนายก: ม.ป.พ.; 2551. หน้า.77-80.

[6] ศราวุธ โพธิยา. “เอกสารการสอน Optimization”. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; ม.ป.ป.

[7] Spears, W.M., Green, D.T. and Spears, D.F, “Biases in Particle Swarm”, International Journal of Swarm Intelligence Research, 2010, 1(2), 34-57.

[8] G. Zhu, S. Kwong, “Gbest-guided artificial bee colony algorithm for numerical function optimization”, Applied Mathematics and Computation, 2010, 217: 3166–3173.

[9] D. Karaboga, B. Basturk, “Artificial Bee Colony (ABC) optimization algorithm for solving constrained optimization problems”, LNCS: Advances in Soft Computing- Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing, Springer-Verlag, 2007, 4529 : 789–798.

[10] Ali W. M, Hegazy Z.S. and Motaz K., “An Alternative Differential Evolution Algorithm for Global Optimization”, Journal of Advanced Research, 2012, 3(2): 149-165.

[11] Wang Y.J. and Zhang J.S. “Global Optimization by an improved Differential Evolutionary Algorithm”, Apply Mathematical Computing, 2007, 188(1):669-680.

[12] Zhiming C., Shaorui Z., and Jieting L., “A robust ant colony optimization for continuous functions”, Expert Systems with Applications, 2017, 81:309-320.

[13] Martens D, Backer M. D., Haesen R., Vanthienen M.S., and Baesens B., “Classification with Ant Colony Optimization”, IEEE Transaction on Evolutionary Computation, 2007, 11(5):651-665.

[14] J.G.Ziegler and N.B. Nichols., “Optimum Settings for Automatic Controller”, Trans. ASME, 1942, 64: 759-768.

[15] ธนัญชัย ลีภักดิ์ปรีดา “การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด: หลักการพื้นฐานและขั้นตอนวิธีการ” ศูนย์หนังสือ ม.ธรรมศาสตร์, 2543.

[16] อาทิตย์ ศรีแก้ว “ปัญญาเชิงคำนวณ”, มหาวิทยาลัยสุรนารี, 2552.

[17] Saravuth Pothiya, “Application of Multiple Tabu Search Algorithm to the Load Frequency Control and Economic Dispatch Problem in Power System”, Ph.D. Thesis, SIIT, 2009.

[18] ศราวุธ โพธิยา “เอกสารการสอน การหาค่าที่เหมาะสม”, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2558.

[19] G. Zwe-Lee, “A particle swarm optimization approach for optimum design of PID controller in AVR system”, IEEE Trans. Energy Convers. 2004, 19 (2): 384-391.

[20] S. Panda, B.K. Sahu, P.K. Mohanty, “Design and performance analysis of PID controller for an automatic voltage regulator system using simplified particle swarm optimization, J. Franklin Inst. 2012, 349 (8): 2609-2625.

[21] H. Zhu, et al., “CAS algorithm-based optimum design of PID controller in AVR system”, Chaos Solitons Fractals, 2009, 42 (2): 792-800.

[22] อดิศร สินธุโคตร, วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล, นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์ และศราวุธ โพธิยา. “ขั้นตอนวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธีการทิ้งระเบิดสำหรับการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เมื่อพิจารณาเงื่อนไขบังคับการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า”. วารสารปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้า 2555; 4(1): 15-25.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายโชติธนินท์ วรรณทัศนาทัศน์
วันเกิด	วันที่ 22 กรกฎาคม 2539
สถานที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 87/2 หมู่ 8 ตำบลแดงใหญ่ อำเภอเมืองของแก่น จังหวัดของแก่น 40000
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	E&I Operator
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	170/7 Moo 5 ตำบลสำนักท้อน อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง 21130
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2553-2555 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดอขอนแก่น พ.ศ. 2556-2558 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดอขอนแก่น พ.ศ. 2558-2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พ.ศ. 2566 - ปัจจุบัน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว