

ฉบับนี้พิมพ์แล้ว



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประยุกต์ใช้การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคสำหรับหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ตัวควบคุมในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เตมีย์  
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน : 1 ส.ค. 2562
เลขทะเบียน 1023089
เลขเรียกหนังสือ 9 TK 2851

ก 7685  
2562

สนับสนุนโดยกองทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยอนุมัติให้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 สัญญาเลขที่ R2560C181 เรื่อง การประยุกต์ใช้การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคสำหรับหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ตัวควบคุมในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด ในวงเงิน 220,000.00 บาท (สองแสนสองหมื่นบาทถ้วน)

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ รวมถึงสถานที่ในการทำวิจัย

ประโยชน์อันพึงมีจากรายงานวิจัยฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่าน หากรายงานฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใดผู้จัดทำขออภัยไว้เพียงผู้เดียว

เกรียงศักดิ์ เตมีย์



## บทนำ

ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดที่เชื่อมต่อกับฟาร์มกังหันลม ปัญหาการเบี่ยงเบนความถี่อาจจะเกิดขึ้นได้ในระบบ เนื่องจากการผลิตกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงอย่างไม่สม่ำเสมอตามธรรมชาติจากฟาร์มกังหันลม เพื่อลดการเบี่ยงเบนความถี่ของระบบจึงประยุกต์ใช้รถไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) เพื่อช่วยลดการเบี่ยงเบนความถี่ โดยใช้หลักการอัดประจุกำลังไฟฟ้าของ PHEV แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมการเปลี่ยนแปลงกำลังการอัดประจุของ PHEV อย่างไม่เหมาะสม อาจส่งผลให้ไม่สามารถชดเชยการเบี่ยงเบนความถี่ได้ดุลของกำลังไฟฟ้าจริง และอาจส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการควบคุมการเปลี่ยนแปลงกำลังการอัดประจุของ PHEV อย่างไม่เหมาะสม ได้มีการประยุกต์ใช้หลักการทางานวิธีกลุ่มอนุภาค เพื่อออกแบบตัวควบคุมของ PHEV ด้วยการค้นหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมของ PHEV โครงสร้างของตัวควบคุมของ PHEV คือแบบพีไอ ในผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดังกล่าวสามารถควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดได้อย่างมีประสิทธิภาพ



## สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
แผนการดำเนินการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย.....	3
2 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด.....	4
ตัวควบคุมพีไอ.....	6
วิธีกลุ่มอนุภาค.....	10
3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค.....	15
ขั้นตอนการทำงานของวิธีกลุ่มอนุภาค.....	16
ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอของ PHEV ด้วยวิธี PSO-PHEV.....	32
กราฟเปรียบเทียบค่าการเบี่ยงเบนความถี่ กับวิธี PSO-PHEV.....	33
กราฟเปรียบเทียบค่าการเบี่ยงเบนความถี่ได้ดูลของกำลังไฟฟ้าจริงกับวิธี PSO PHEV.....	34
4 บทสรุป.....	37
บรรณานุกรม.....	

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ เป็นสิ่งที่จำเป็นที่สุดสำหรับการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ เพราะอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงาน แต่ทั้งนี้ก็มีพื้นที่หลายแห่งที่ยังไม่ได้ติดตั้งสายส่งไฟฟ้าเนื่องจากเป็นพื้นที่ห่างไกลและการติดตั้งสายส่งไฟฟ้าต้องใช้งบประมาณการติดตั้งสูง ดังนั้นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด (Isolated Small Power System) จึงได้รับความสนใจในการผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับโหลดในสถานที่ซึ่งไม่สามารถต่อเข้าถึงระบบสายส่งไฟฟ้ากำลังหลักได้ (Milosevic & Andersson, 2005) ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด ประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งจ่ายกำลังไฟฟ้าวร่วมกับแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานก๊าซชีวมวล เป็นต้น (Patel, 2005) และระบบไฟฟ้าดังกล่าวสามารถช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) สดภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย (Baba, 2014; Miyauchi & Takakura, 2014)

ปัญหาของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานธรรมชาติ คือกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจะไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดปัญหาการเบี่ยงเบนความถี่ขึ้นในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด (Mercier, Cherkaoui, & Oudalov, 2009) ซึ่งการเบี่ยงเบนความถี่ส่งผลกระทบต่อและสร้างความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบได้ (Yokoyama, 2010a) ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาผลกระทบจากการเบี่ยงเบนความถี่ โดยวิธีการติดตั้งรถไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in hybrid electric vehicle: PHEV) เข้ากับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI) เพื่อช่วยลดการเบี่ยงเบนความถี่ในระบบไฟฟ้าลงได้ ซึ่ง PHEV มีคุณสมบัติสามารถชดเชยความไม่สมดุลของกำลังจริง และสามารถควบคุมระบบให้มีการเบี่ยงเบนความถี่น้อยลง (Yokoyama, 2010b) โดย PHEV สามารถอัดประจุกำลังไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ได้ด้วยการต่อปลั๊กไฟเข้าเต้ารับไฟฟ้า (Kinjyo, Miyagi, Senjyu, Yona, & Funabashi, 2012) ดังนั้นการประยุกต์ใช้ PHEV จึงสามารถช่วยชดเชยความไม่สมดุลของกำลังจริงเพื่อใช้ในการลดการเบี่ยงเบนความถี่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด อีกทั้งยังสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (Ahmad, Musirin, Othman, & Rahmat, 2014)

วิธีการควบคุมการเบี่ยงเบนความถี่โดยใช้ตัวควบคุมพีไอ ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดติดตั้ง PHEV แบบเต็ม (Senjyu, Tokudome, Yona, & Funabashi, 2009) ใช้วิธีหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอด้วยการทำให้ค่าผลต่างระหว่างค่าคำสั่งของการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\Delta f^*$ ) และค่าการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\Delta f$ ) กับค่าผลต่างระหว่างค่าคำสั่งของค่าอัตราการอัดไฟ ( $C_{EV}^*$ ) และค่าอัตราการอัดไฟ ( $C_{EV}$ ) ให้มีค่าเป็นศูนย์ โดยตัวควบคุมพีไอของ PHEV นี้สามารถที่จะช่วยลดการเบี่ยงเบนความถี่ของระบบได้ แต่อย่างไรก็ตามตัวควบคุมพีไอของ PHEV นี้ก็ยังไม่สามารถลดค่า  $\Delta f^*$  กับ  $\Delta f$  และค่า  $C_{EV}^*$  กับ  $C_{EV}$  ให้มีค่าต่ำที่สุดได้ จึงส่งผลให้ไม่สามารถที่จะลดค่าการเบี่ยงเบนความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยการประยุกต์ใช้การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวควบคุมพีไอให้สามารถควบคุมความการเบี่ยงเบนถี่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### วัตถุประสงค์ของการศึกษา

พัฒนาโมเดลต้นแบบโดยประยุกต์ใช้การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมแบบพีไอ เพื่อช่วยลดการเบี่ยงเบนความถี่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

ทำการศึกษาการทำงานของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI) โดยตัวควบคุมพีไอจำเป็นต้องมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการลดค่าการเบี่ยงเบนความถี่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด ดังนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค และใช้โปรแกรม MATLAB สร้างแบบจำลองเชิงเส้นของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดเพื่อแสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้นั้นลดการเบี่ยงเบนความถี่ลง

#### แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	เดือนที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ศึกษาปัญหา ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←→												
2. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด ตัวควบคุมแบบพีไอ และวิธีกลุ่มอนุภาค		←→											
3. ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมแบบพีไอโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค					←→								
4. สร้างแบบจำลองเชิงเส้นของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด							←→						
5. เขียนรายงานวิจัยนำเสนอวารสารและเขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์								←→					

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (ระบุ ผู้ใช้ประโยชน์ หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์)

แบบจำลองเชิงเส้นของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้วแสดงให้เห็นว่าเบี่ยงเบนความถี่ลดลง สามารถนำไปสร้างระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดให้มีประสิทธิภาพได้จริง

แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในรูปแบบวารสารทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อเป็นที่รับทราบใน  
กลุ่มวิศวกรรมศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแบบโดด



## บทที่ 2

### ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัย ได้ค้นคว้าจากข้อมูลการวิจัย เอกสารวิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

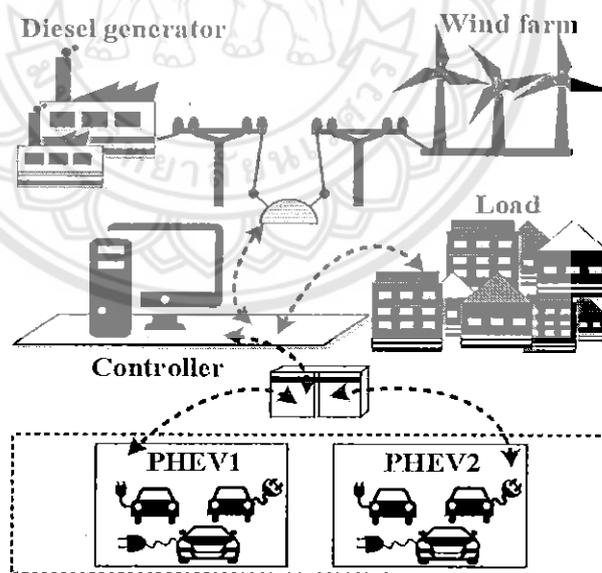
- ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด (Isolated small power system)
- ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI Controller)
- วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization)

#### ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด (Isolated small power system)

ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด คือระบบที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับโหลดในสถานที่ซึ่งไม่สามารถต่อเข้าถึงระบบสายส่งไฟฟ้ากำลังหลักได้

#### 1. องค์ประกอบระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด

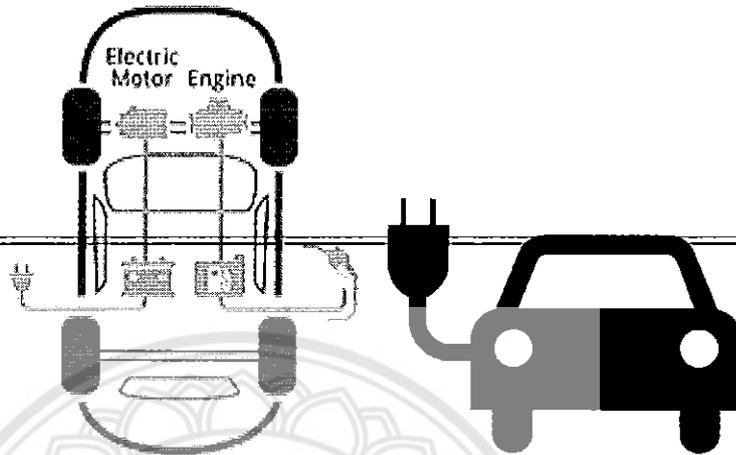
ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดกับฟาร์มกังหันลม (Senju et al., 2009) ที่ใช้ศึกษาซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel generator) ขนาด 20 MW, ฟาร์มกังหันลมขนาด 6 MW, กลุ่มโหลดขนาด 17 MW และ PHEV ขนาด 5 MW โดยแสดงดังภาพ 1



ภาพ 1 ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด

โครงสร้างของรถไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) ซึ่งสามารถอัดประจุกำลังไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ได้ด้วยการต่อปลั๊กไฟเข้าเต้ารับไฟฟ้า แนวคิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือเมื่อพิจารณาจากกลุ่มของ PHEV จำนวนมากซึ่งติดตั้งอยู่ในด้านผู้ใช้ไฟ โดยการควบคุมการอัดประจุกำลังไฟฟ้าที่เข้าแบตเตอรี่ของ PHEV ทุกคันอย่าง

เหมาะสม ทำให้สามารถใช้ PHEV ไปช่วยควบคุมความถี่ของระบบได้ (ชโลธร รัตนพรชัย, อิศระชัย งามหุ, วีรวุฒิ ไชยธรรม, & สิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล, 2553) โดยแสดงดังภาพ 2



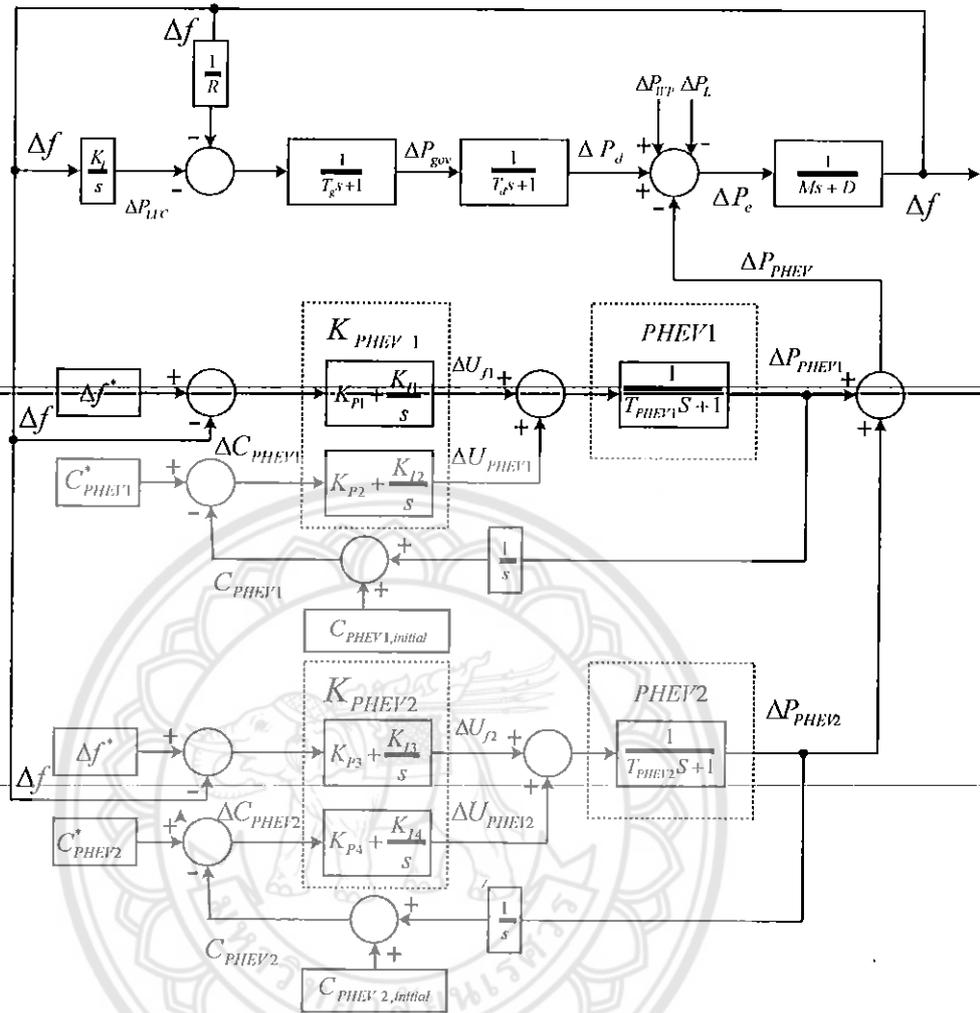
ภาพ 2 รถไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด

## 2. แบบจำลองเชิงเส้นของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด

แบบจำลองเชิงเส้นของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด สำหรับการควบคุมความถี่ซึ่งติดตั้งรถไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด ซึ่งแบบจำลอง โดยแสดงดังภาพ 3 โดยแบบจำลองเชิงเส้นของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด สำหรับการควบคุมความถี่ซึ่งติดตั้ง PHEV 2 ชุด โดยแทนแบบจำลอง PHEV ด้วยฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับหนึ่งที่มีค่าคงตัวทางเวลา ( $T_{PHEV} = 0.2s$ ) ในที่นี้กำหนดโครงสร้างของตัวควบคุมของ PHEV เป็นแบบพีไอ (Senjyu et al., 2009) โดยแสดงดังสมการ 1-2

$$K_{PHEV1}(s) = K_{p1} + \frac{K_{I1}}{s}, K_{p2} + \frac{K_{I2}}{s} \quad (1)$$

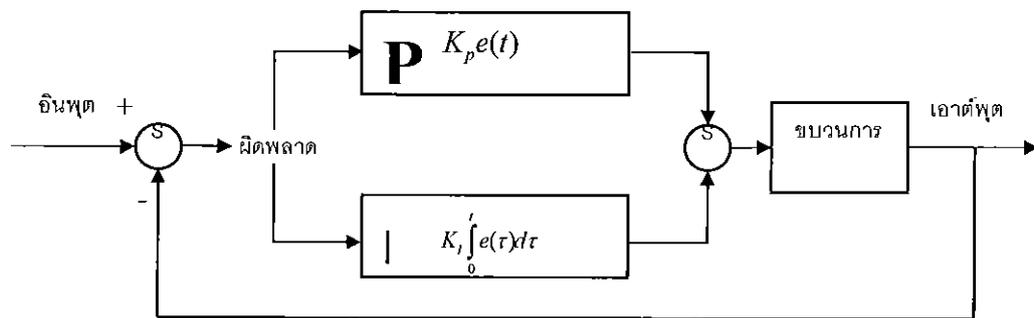
$$K_{PHEV2}(s) = K_{p3} + \frac{K_{I3}}{s}, K_{p4} + \frac{K_{I4}}{s} \quad (2)$$



ภาพ 3 แบบจำลองเชิงเส้นของระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก

#### ตัวควบคุมพีไอ (PI Controller)

ระบบควบคุมแบบ PI หรือเรียกว่า สัดส่วน-ปริพันธ์ (Proportional Integral Controller : PI Controller) เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้เป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในระบบและค่าที่ต้องการตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุด โดยแสดงดังภาพ 4



ภาพ 4 ฝั่งงานของการควบคุม PI

โดยการควบคุมแบบ PI ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสอง โดยแสดงดังสมการที่ 3

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} \quad (3)$$

$MV(t)$  คือ Manipulated Variable เป็นตัวแปรเอาต์พุตที่ถูกควบคุมเพื่อลดค่าความผิดพลาด (Error) ให้ได้ต่ำที่สุด

$P_{out}, I_{out}$  เป็นผลของสัญญาณเอาต์พุตจากระบบควบคุม PI จากแต่ละเทอมซึ่งนิยามตามรายละเอียด โดยแสดงดังสมการที่ 4

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (4)$$

โดยที่

$MV(t)$  คือ ตัวแปรเอาต์พุตที่ถูกควบคุม

$e(t)$  คือ อินพุตของตัวควบคุม

$K_p$  คือ อัตราขยายสัดส่วน (Proportional gain)

$K_i$  คือ อัตราขยายปริพันธ์ (Integral gain)

#### 1. ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional: P)

เทอมของสัดส่วน (บางครั้งเรียก อัตราขยาย) เป็นส่วนปฏิกิริยาต่อค่าความผิดพลาด ณ ขณะนั้น (Current Error) โดยจะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่  $K_p$  หรือที่เรียกว่าอัตราขยายสัดส่วน เทอมของสัดส่วนจะเป็นไป โดยแสดงดังสมการ 5

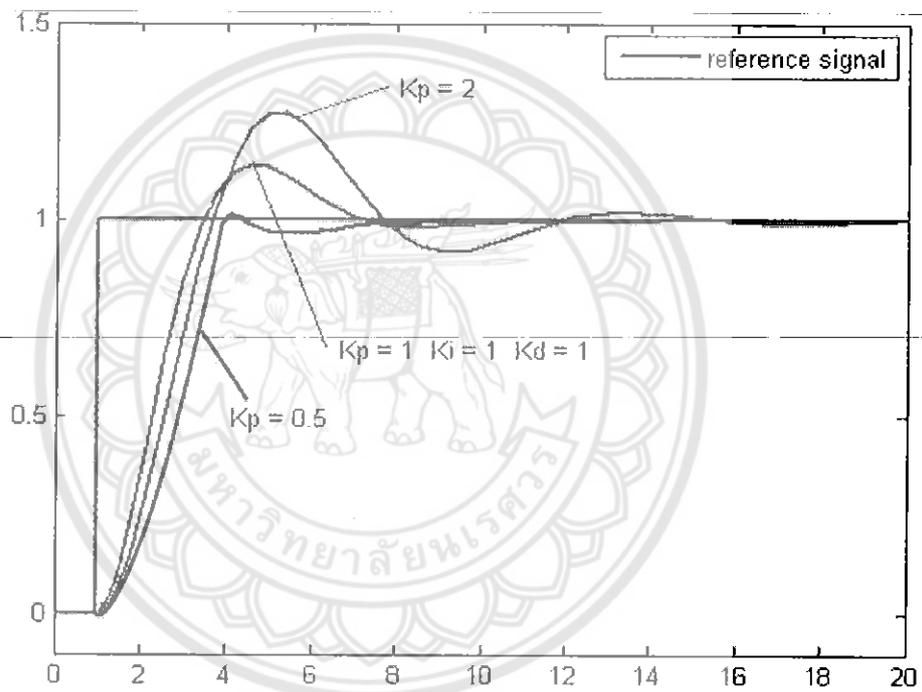
$$P_{out} = K_p e(t) \quad (5)$$

โดยที่

$P_{out}$  คือ สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

$K_p$	คือ อัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้
$e$	คือ ค่าความผิดพลาด = SP - PV
SP	คือ เซ็ตพอยน์ต หรือค่าที่ต้องการ
PV	คือ ตัวแปรกระบวนการหรือค่าจริงที่เกิดจากผลการทำงานจากระบบ
$t$	คือ เวลา

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูงค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน แต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้าม ผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการน้อยตามไปด้วย โดยแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของการกำหนดพารามิเตอร์แบบสัดส่วนที่แตกต่างกันที่  $K_p=0.5$ ,  $K_p=1$  และ  $K_p=2$  โดยแสดงดังภาพ 5



ภาพ 5 กราฟ PV ต่อเวลา,  $K_p$  กำหนดเป็น 3 ค่า

## 2. ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral: I)

ผลจากเทอมปริพันธ์ (บางครั้งเรียก reset) เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์  $K_i$  เทอมปริพันธ์จะเป็นไป โดยแสดงดังสมการ 6

$$I_{out} = K_I \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (6)$$

$I_{out}$  คือ สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

$K_I$  คือ อัตราขยายปริพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

$e$  คือ ค่าความผิดพลาด = SP - PV

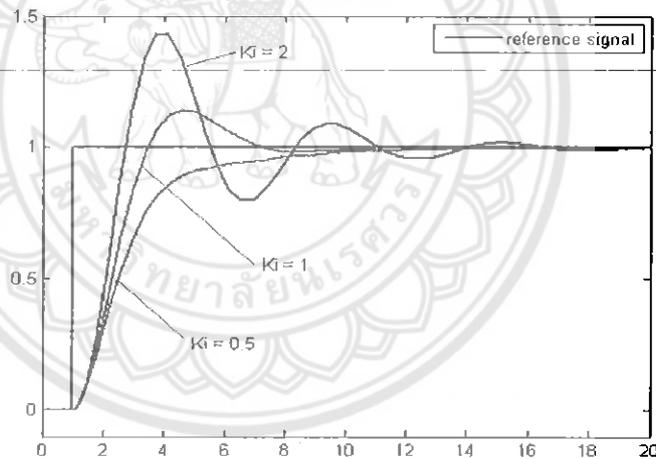
SP คือ เซ็ตพอยน์ต หรือค่าที่ต้องการ

PV คือ ตัวแปรกระบวนการหรือค่าจริงที่เกิดจากผลการทำงานของระบบ

$t$  คือ เวลา

$\tau$  คือ ตัวแปรปริพันธ์หุ่น

เทอมปริพันธ์ (เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วน) จะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตาม เทอมปริพันธ์เป็นการตอบสนองต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ (ข้ามจุดที่ต้องการและเกิดการหันเหไปทางทิศทางอื่น) โดยแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของการกำหนดพารามิเตอร์แบบปริพันธ์ที่แตกต่างกันที่  $K_I=0.5$ ,  $K_I=1$  และ  $K_I=2$  โดยแสดงดังภาพ 6



ภาพ 6 กราฟ PV ต่อเวลา,  $K_I$  กำหนดเป็น 3 ค่า

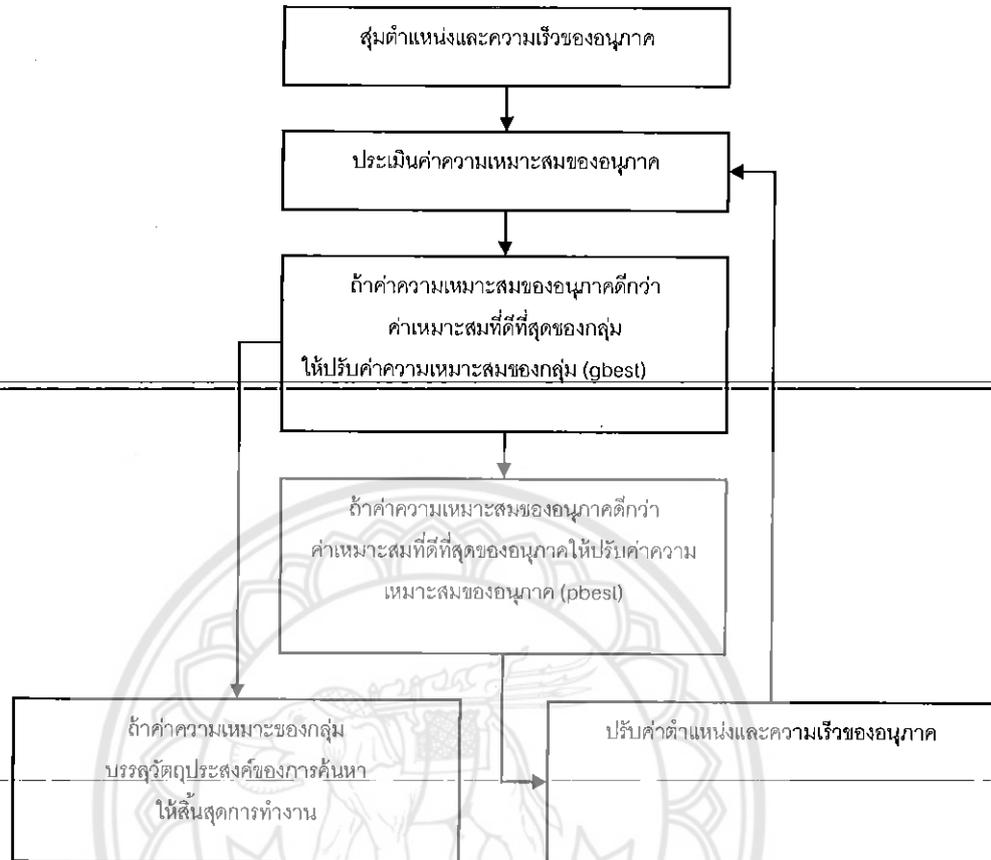
### วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO)

วิธีกลุ่มอนุภาค หรือพาทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน (PSO) เป็นขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ถูกคิดค้นขึ้นมาโดย Eberhart และ Kennedy (Eberhart & Kennedy, 1995) ซึ่งได้แนวคิดจากการสังเกตการเคลื่อนไหวของฝูงนก หรือ ฝูงปลา ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่สอดคล้องกันในเวลาออกหาอาหาร ซึ่งต้องอาศัยการเคลื่อนที่กันเป็นกลุ่มพาทิเคิล (Particle) หลังจากนั้น Shi และ Eberhart (Shi & Eberhart, 1998) ได้มีการปรับปรุงเพิ่มเติมตัวพารามิเตอร์น้ำหนักแรงเฉื่อย W ลงในสมการ หลังจากนั้นวิธีการ PSO กลายเป็นวิธีที่ใช้เปรียบเทียบตำแหน่งของตัวพาทิเคิลแต่ละตัวกับตำแหน่งที่ดีที่สุด ฝูงสัตว์ (Swarm) ใน PSO แท้จริงแล้ว คือ กลุ่มของอนุภาคในพื้นที่หลายมิติ

ซึ่งแต่ละอนุภาคจะต้องเก็บข้อมูลเวกเตอร์สองเวกเตอร์ คือ เวกเตอร์ระบุตำแหน่ง และเวกเตอร์ระบุความเร็วในการบิน โดยสมมติให้ฝูงอนุภาคบินอยู่ในพื้นที่ค้นหาหลายมิติ ตัวอนุภาคแต่ละตัวในฝูงจะต้องจำตำแหน่งที่ดีที่สุดของตัวเอง และตำแหน่งที่ดีที่สุดของเพื่อนร่วมฝูง ความหมายของคำว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดในที่นี้ หมายถึง ตำแหน่งที่มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดนั่นเอง สมาชิกในฝูงจะทำ การสื่อสารข้อมูลของตำแหน่งกับสมาชิกตัวอื่น และทำการเปลี่ยนความเร็ว แล้วเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่เพื่อให้เข้าใกล้ตำแหน่งที่ดีที่สุดมากยิ่งขึ้น Swarm ประกอบด้วยเซตของอนุภาค และแต่ละอนุภาคแทนคำตอบที่เป็นไปได้ อนุภาคจะเคลื่อนที่ไปในปริภูมิไฮเพอร์ (hyperspace) โดยที่ตำแหน่งของอนุภาคจะเปลี่ยนตามประสบการณ์ของอนุภาคและของเพื่อนบ้าน ให้  $\vec{p}_i(t)$  แทนตำแหน่งของอนุภาค  $p_i$  ในปริภูมิไฮเพอร์ที่เวลา  $t$  ตำแหน่งของ  $p_i$  จะเปลี่ยนโดยใช้ความเร็ว  $\vec{v}_i(t)$  ดังแสดงสมการ 7

$$\vec{p}_i(t) = \vec{p}_i(t-1) + \vec{v}_i(t) \quad (7)$$

เวกเตอร์ความเร็วเป็นสิ่งที่ผลักดันกระบวนการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สะท้อนถึงการแลกเปลี่ยนข้อมูลทางสังคม อัลกอริทึม PSO อัลกอริทึมที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ PSO เป็นอัลกอริทึมเชิงประชากร โดยใช้หลักการทำงานร่วมมือกันในการแก้ปัญหาของอนุภาค สิ่งที่น่าสนใจใน PSO คือความเรียบง่ายของอัลกอริทึม และกระบวนการคิด ทำให้นำไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยขั้นตอนพื้นฐานการทำงานของ PSO โดยแสดงดังภาพ 7



ภาพ 7 ขั้นตอนการทำงานอัลกอริทึมวิธีกลุ่มอนุภาค

#### ขั้นตอนที่ 1

ทำการสุ่มเวกเตอร์ตำแหน่งและความเร็วของแต่ละอนุภาคในกลุ่มประชากร เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคมีมิติเท่ากับ  $N$  ซึ่งเป็นขนาดของตัวแปรในปัญหาที่ต้องการค้นหา ดังนั้นสามารถมองตำแหน่งของอนุภาคในรูปเวกเตอร์  $\vec{p}_i(t)$  ขนาด  $N$  และค่าสุ่มความเร็วของแต่ละอนุภาคจะมีขนาดเท่ากับ  $N$  ด้วย โดยเรียกว่า เวกเตอร์ความเร็ว (Velocity vector) กำหนดให้เป็น  $\vec{v}_i$  ซึ่งแต่ละองค์ประกอบของเวกเตอร์ความเร็วจะเป็นค่าความเร็วของแต่ละตัวแปรในอนุภาคนั้นเอง ดังนั้นตำแหน่งของอนุภาค  $p_i$  จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยการบวกเวกเตอร์ตำแหน่งเข้ากับความเร็ว โดยแสดงดังสมการ 8

$$\vec{p}_i(t) = \vec{p}_i(t-1) + \vec{v}_i(t)$$

(8)

โดยที่

$\bar{p}_i(t)$  คือ เวกเตอร์ตำแหน่งปัจจุบัน

$\bar{p}_i(t-1)$  คือ เวกเตอร์ตำแหน่งที่ผ่านมา

$\vec{v}_i(t)$  คือ ความเร็วของแต่ละอนุภาค

### ขั้นตอนที่ 2

ทำการประเมินค่าความเหมาะสมของฟังก์ชัน  $F$  ของแต่ละอนุภาค ซึ่งการประเมินค่าดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหา ค่าความเหมาะสมที่ได้จากการประเมินจะถูกพิจารณาในสองขั้นตอนดังนี้

ถ้าความเหมาะสมของอนุภาค  $p_i$  มีค่าดีกว่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดของทั้งกลุ่มอนุภาค ให้ทำการบันทึกเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคนี้ไว้ โดยเรียกค่าความเหมาะสมนี้ว่า ค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดแบบวงกว้าง (global best fitness) หรือ  $gbest$  กล่าวคือ ถ้า  $F(\bar{p}_i(t)) < gbest$  ในกรณีที่ทำค่าน้อยที่สุด ให้ทำการบันทึกค่าความเหมาะสมของระบบและเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคนั้น ๆ โดยแสดงดังสมการ 9-10

$$gbest = F(\bar{p}_i(t)) \quad (9)$$

$$\bar{gbest} = \bar{p}_i(t) \quad (10)$$

ถ้าค่าความเหมาะสมของอนุภาค  $p_i$  มีค่าดีกว่าค่าความเหมาะสมของอนุภาคนั้น ๆ ซึ่งเรียกว่า  $pbest_i$  กล่าวคือ ถ้า  $F(\bar{p}_i(t)) < pbest_i$  ให้ทำการบันทึกค่าความเหมาะสมของระบบและเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคนั้นไว้โดย  $pbest_i$  โดยแสดงดังสมการ 11-12

$$pbest = F(\bar{p}_i(t)) \quad (11)$$

$$\bar{pbest} = \bar{p}_i(t) \quad (12)$$

### ขั้นตอนที่ 3

ทำการปรับความเร็วของอนุภาค  $p_i$  โดยแสดงดังสมการ 13

$$\vec{v}_i(t) = w \cdot \vec{v}_i(t-1) + c_1 \cdot rand_1 \cdot [\bar{p}_{pbest_i} - \bar{p}_i(t)] + c_2 \cdot rand_2 \cdot [\bar{p}_{gbest_i} - \bar{p}_i(t)] \quad (13)$$

โดยเทอมของสมการ  $(c_1 \cdot rand_1 \cdot [\bar{p}_{best_i} - \bar{p}_i(t)])$  เรียกว่าองค์ประกอบเชิงปริชาน (cognitive component) และเทอมของสมการ  $(c_2 \cdot rand_2 \cdot [\bar{p}_{gbest_i} - \bar{p}_i(t)])$  เรียกว่าองค์ประกอบทางสังคม (social component)

โดยที่

$w$  คือ ค่าน้ำหนักความเฉื่อย (inertia) จะควบคุมผลความเร็วครั้งก่อนต่อความเร็วใหม่ และโดยปกติแล้วค่าน้ำหนักความเฉื่อยจะลดค่าลงไปตามเวลา

$v_{i(t-1)}$  คือ ความเร็วของอนุภาคที่เวลา  $t-1$  ที่ผ่านมากที่สุดของแต่ละอนุภาค

$c_1, c_2$  คือ ค่าคงที่ความเร่ง (acceleration constant) หรือแฟคเตอร์การเรียนรู้โดยมีค่าเป็นบวกทั้งคู่ และ  $(c_1 + c_2 \leq 4)$

$rand_1, rand_2$  คือ ค่าตัวเลขสุ่ม (random number) ที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

#### ขั้นตอนที่ 4

ทำการปรับค่าเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค  $\bar{p}_i$  โดยแสดงดังสมการ 14

$$\bar{p}_i(t) = \bar{p}_i(t-1) + v_i(t) \quad (14)$$

#### ขั้นตอนที่ 5

ทำการปรับค่าตัวแปรเวลา  $t = t + 1$  และดำเนินขั้นตอนทั้งหมดกับอนุภาคถัดไปในกลุ่มประชากร จนครบทุกอนุภาค

#### ขั้นตอนสุดท้าย

วนรอบการทำงานจนกว่าจะมีการเข้าสู่ค่าตอบของอนุภาคที่ดีที่สุดในกลุ่ม หรือตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ โดยรูปแบบการค้นหาและลักษณะการเข้าสู่หาคำตอบที่ดีที่สุด

### การทบทวนวรรณกรรม

การเบี่ยงเบนความถี่ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด ที่มีค่าสูงจะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบได้ ซึ่งต่อมาทีมงานวิจัยของ Yokoyama (2010a) ได้ทำการศึกษากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานลม กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจะไม่สม่ำเสมออาจทำให้เกิดปัญหาการเบี่ยงเบนความถี่ขึ้นในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด ซึ่งการเบี่ยงเบนความถี่จะส่งผลกระทบต่อและสร้างความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบ และ Yokoyama (2010b) ได้ศึกษาถึงระบบรถไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in hybrid electric vehicle: PHEV) ที่ได้ต่อเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อช่วยลดการเบี่ยงเบนความถี่ในระบบ ซึ่ง PHEV มีคุณสมบัติสามารถ

ชดเชยความไม่ได้ดุลของกำลังจริงได้ และสามารถควบคุมระบบให้มีการเบี่ยงเบนความถี่น้อยลง แต่ทั้งนี้การที่จะทำให้การเบี่ยงเบนความถี่ของระบบให้มีค่าต่ำสุดได้ จะต้องขึ้นอยู่กับการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม หรือ Controller เพื่อให้ทั้งด้านของการผลิตกระแสไฟฟ้าและแหล่งโหลดการใช้งานให้มีความสมดุลกัน ดังนั้นจึงมีงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อพยากรณ์หาค่าพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมระบบให้มีความการเบี่ยงเบนความถี่น้อยที่สุด ทำให้เสถียรภาพของสถานะของระบบมีข้อผิดพลาดน้อยที่สุด ดังต่อไปนี้

Elbeltaji, Hegazy, and Grierson (2005) ได้ศึกษาและทำการวิจารณ์ เปรียบเทียบ 5 อัลกอริธึมทางด้านวิวัฒนาการ โดยมี Genetic Algorithm, Memetic Algorithm, Ant-Colony

Optimization, Shuffled Frog Leaping และ Particle Swarm Optimization และการศึกษาพบว่าวิธีการกลุ่มอนุภาคหรือ PSO มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในด้านของคุณภาพของค่าคำตอบและอัตราความสำเร็จ และมีการประยุกต์ใช้ PSO เพื่อช่วยหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมเพื่อให้ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด สามารถที่จะลดค่าการเบี่ยงเบนความถี่ลงได้ เช่น การวิจัยของ Vachirasricirikul and Ngamroo (2011) ได้ศึกษาวิธีการกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมของ HP และ PHEV เพื่อควบคุมความถี่ในระบบไมโครกริด เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวควบคุมเพื่อควบคุมการเบี่ยงเบนความถี่ในระบบไมโครกริดได้



### บทที่ 3

#### การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค

ที่ผ่านมาทีมงานวิจัยได้ศึกษาการหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอของ PHEV ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด โดยค่าพารามิเตอร์ที่ทำได้นั้นมีความเหมาะสมในการควบคุมการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\Delta f$ ) ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดให้มีค่าต่ำที่สุด โดยทีมงานวิจัยของ Senjyu, et al. (2009) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอของ PHEV ด้วยการทำให้ค่าผลต่างระหว่างค่าคำสั่งของการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\Delta f^*$ ) และค่าการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\Delta f$ ) กับค่าผลต่างระหว่างค่าคำสั่งของค่าอัตราการอัดไฟ ( $C_{EV}^*$ ) และค่าอัตราการอัดไฟ ( $C_{EV}$ ) ให้มีค่าเป็นศูนย์หรือน้อยที่สุด เพื่อช่วยลดการเบี่ยงเบนความถี่ของระบบได้ แต่ทั้งนี้ตัวควบคุมพีโอของ PHEV ก็ยังไม่สามารถลดค่าผลต่างระหว่าง  $\Delta f^*$  กับ  $\Delta f$  และค่าผลต่างระหว่าง  $C_{EV}^*$  กับ  $C_{EV}$  ให้มีค่าต่ำที่สุดได้ จึงส่งผลให้ไม่สามารถที่จะลดค่าการเบี่ยงเบนความถี่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีความต้องการที่จะหาวิธีการเพื่อช่วยในการลดค่าเบี่ยงเบนความถี่ในระบบให้ลดลงเพื่อช่วยป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องทำการต่อเชื่อมกับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด ดังนั้นในการวิจัยที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำเสนอแนวคิดการประยุกต์ใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการปัญญาเชิงกลุ่ม (Swarm Intelligence) โดยใช้วิธีการกลุ่มอนุภาคเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอของ PHEV ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด ทำให้ค่าการเบี่ยงเบนความถี่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดที่เชื่อมต่อกับฟาร์มกังหันลมมีค่าลดต่ำลงให้มากที่สุด โดยในบทที่ 3 มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการทำงานของวิธีกลุ่มอนุภาค
2. ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอของ PHEV ที่หาด้วยวิธี PSO-PHEV
3. กราฟเปรียบเทียบค่าการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\Delta f$ ) กับวิธี PSO-PHEV
4. กราฟเปรียบเทียบค่าการเบี่ยงเบนความถี่ที่ได้ดุลของกำลังไฟฟ้าจริง ( $\Delta P_e$ ) กับวิธี PSO-PHEV

#### ขั้นตอนการทำงานของวิธีกลุ่มอนุภาค

ขั้นตอนวิธีกลุ่มอนุภาคในการแก้ปัญหาการหาค่าต่ำสุดของการเบี่ยงเบนความถี่ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด บนแบบจำลองเชิงเส้นของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด โดยแสดงดังภาพ 5 สำหรับการควบคุมความถี่ของ PHEV ซึ่ง PHEV1 และ PHEV2 กำหนดโครงสร้างของตัวควบคุมของ PHEV เป็นแบบตัวควบคุมพีโอ (Senjyu, et al., 2009) ซึ่งค่าของพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอของ PHEV1 คือ  $K_{p1}, K_{i1}, K_{p2}, K_{i2}$  และ PHEV2 คือ  $K_{p3}, K_{i3}, K_{p4}, K_{i4}$

ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอ ของ PHEV จะหาโดยวิธีการกลุ่มอนุภาค โดยแสดงดังสมการ 15-16

$$K_{PSO\_PHEV1}(s) = K_{p1} + \frac{K_{I1}}{s}, K_{p2} + \frac{K_{I2}}{s} \quad (15)$$

$$K_{PSO\_PHEV2}(s) = K_{p3} + \frac{K_{I3}}{s}, K_{p4} + \frac{K_{I4}}{s} \quad (16)$$

### 1. ขั้นตอนการสุ่มตำแหน่งและความเร็วของอนุภาค

ทำการสุ่มตำแหน่งปัจจุบันเริ่มต้นของอนุภาคจำนวน 50 อนุภาค โดยพื้นที่การค้นหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอ  $K_{p1-4} \in [0.0001 - 5.0000]$  และ  $K_{I1-4} \in [0.0001 - 5.0000]$  และความเร็วเริ่มต้นของอนุภาค รอบที่ 1 มีค่าเป็นศูนย์ (เนื่องจากการเคลื่อนที่ในรอบที่ 1) พร้อมทั้งกำหนดให้มีการคำนวณที่ 100 รอบ โดยค่าของกลุ่มอนุภาคมีการแสดงดังต่อไปนี้

$$\vec{p}_1 = [K_{p1} \quad K_{I1} \quad K_{p2} \quad K_{I2} \quad K_{p3} \quad K_{I3} \quad K_{p4} \quad K_{I4}]$$

$$\vec{p}_2 = [K_{p1} \quad K_{I1} \quad K_{p2} \quad K_{I2} \quad K_{p3} \quad K_{I3} \quad K_{p4} \quad K_{I4}]$$

$$\vec{p}_3 = [K_{p1} \quad K_{I1} \quad K_{p2} \quad K_{I2} \quad K_{p3} \quad K_{I3} \quad K_{p4} \quad K_{I4}]$$

$$\vec{p}_4 = [K_{p1} \quad K_{I1} \quad K_{p2} \quad K_{I2} \quad K_{p3} \quad K_{I3} \quad K_{p4} \quad K_{I4}]$$

$\vdots$

$$\vec{p}_{50} = [K_{p1} \quad K_{I1} \quad K_{p2} \quad K_{I2} \quad K_{p3} \quad K_{I3} \quad K_{p4} \quad K_{I4}]$$

### 2. ประเมินค่า Objective function ความเหมาะสมของอนุภาค

ประเมินค่าความเหมาะสมของ Objective function ของแต่ละอนุภาคเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอที่ทำให้การเบี่ยงเบนความถี่ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดมีค่าต่ำสุด โดยแสดงดังสมการ 17

$$\text{Minimize} \int_0^{\infty} |\Delta f(t)| dt + \int_0^{\infty} |\Delta P_e(t)| dt \quad (17)$$

จากสมการ 17 แสดงถึงการประเมินสมการ Objective function ผลรวมของค่า  $\int_0^{\infty} |\Delta f(t)| dt$  และ  $\int_0^{\infty} |\Delta P_e(t)| dt$  ที่มีค่าต่ำ

### 3. ปรับค่าความเหมาะสม Pbest แล Gbest

ถ้าค่าความเหมาะสมของอนุภาค  $\vec{p}_i$  มีค่าดีกว่าค่าความเหมาะสมของอนุภาคนั้นๆ จะทำการบันทึกค่าความเหมาะสมของเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคนั้นไว้เป็นค่า pbest

ถ้าความเหมาะสมของอนุภาค  $\vec{p}_i$  มีค่าดีกว่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดของทั้งกลุ่มอนุภาค จะทำการบันทึกค่าความเหมาะสมของเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคนั้นไว้เป็น gbest

4. การตรวจสอบเงื่อนไขค่าคำตอบที่ดีที่สุดและปรับค่าความเร็วของอนุภาค ทำการตรวจสอบกระบวนการเงื่อนไขและทำการปรับความเร็ว  $\vec{v}_i(t)$  และตำแหน่งของอนุภาค  $\vec{p}_i$  โดยมีการกำหนดค่าตัวแปรตามสมการการปรับความเร็วและตำแหน่งของอนุภาค วิธีการปรับค่าความเร็วของวิถีกลุ่มอนุภาค โดยอนุภาคจะมีค่าความเร็วปรับตามค่าตำแหน่ง Pbest โดยเทอมของสมการ  $(c_1 \cdot rand_1 \cdot [\vec{p}_{pbest_i} - \vec{p}_i(t)])$  เรียกว่าองค์ประกอบเชิงปริชาณ (cognitive component) และค่าตำแหน่ง Gbest โดยเทอมของสมการ  $(c_2 \cdot rand_2 \cdot [\vec{p}_{gbest_i} - \vec{p}_i(t)])$  เรียกว่าองค์ประกอบทางสังคม (social component) โดยแสดงดังสมการ 18

$$\vec{v}_i(t) = w \cdot \vec{v}_i(t-1) + c_1 \cdot rand_1 \cdot [\vec{p}_{pbest_i} - \vec{p}_i(t)] + c_2 \cdot rand_2 \cdot [\vec{p}_{gbest_i} - \vec{p}_i(t)] \quad (18)$$

โดยที่

ความเร็วอนุภาคเริ่มต้นมีค่าเท่ากับศูนย์  $\vec{v}_i=0$

ค่าความเฉื่อยโดยกำหนดให้  $w_{min}=0.4$  และ  $w_{max}=0.9$

ค่าคงที่ความเร่งของ  $C_1=2$  และ  $C_2=2$

ค่าเลขสุ่มซึ่งอยู่ในช่วง (0-1) กำหนดให้เลขสุ่มมีค่า  $rand_1=[0$  ถึง  $1]$  และ  $rand_2=[0$  ถึง  $1]$

5. ปรับตำแหน่ง  $\vec{p}_i(t) = \vec{p}_i + \vec{v}_i$

เมื่อได้ค่าความเร็วของตำแหน่งอนุภาคแล้ว นำค่าความเร็วรวมกับค่าตำแหน่งปัจจุบันจะได้ค่าตำแหน่งใหม่ของอนุภาค เพื่อไปประเมิน Objective function ในรอบต่อไป จนกว่าจะมีการเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสม

6. ตัวอย่างวิธีการคำนวณด้วยวิถีกลุ่มอนุภาค

6.1 การทำงานรอบที่ 1

ค่าตำแหน่งอนุภาคในตัวอย่างการคำนวณจะนำเสนอ  $\vec{p}_1, \vec{p}_2, \vec{p}_3, \vec{p}_4$  และ  $\vec{p}_{50}$  เท่านั้นเพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนค่าตำแหน่งและค่าความเร็ว โดยแสดงดังตาราง 3

ตาราง 1 แสดงการสุ่มค่าตำแหน่งเริ่มต้นของอนุภาครอบที่ 1

$\vec{p}$	$K_{p1}$	$K_{I1}$	$K_{p2}$	$K_{I2}$	$K_{p3}$	$K_{I3}$	$K_{p4}$	$K_{I4}$
$\vec{p}_1 =$	[ 0.3051	4.2311	4.8140	1.5056	1.1661	4.6755	4.2108	3.8990 ]
$\vec{p}_2 =$	[ 1.8295	4.3066	0.2232	4.8102	0.0879	2.4394	1.9099	3.4328 ]
$\vec{p}_3 =$	[ 3.9228	4.8531	4.8912	3.0164	0.0747	1.2847	1.5503	1.1365 ]

$$\begin{aligned} \bar{p}_1 &= [ 0.4122 \quad 4.5667 \quad 0.3048 \quad 4.1291 \quad 0.8614 \quad 4.9807 \quad 0.3128 \quad 2.2134 ] \\ &\vdots \\ \bar{p}_{50} &= [ 0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735 ] \end{aligned}$$

จากตาราง 3 แสดงตัวอย่างการกำหนดค่าตำแหน่งของอนุภาคแต่ละตัว ของรอบที่ 1 โดยค่าตำแหน่งของอนุภาคมีทั้งหมด 50 ค่าเพื่อนำไปประเมิน Objective function ต่อไป

ตาราง 2 แสดงค่าตำแหน่ง Pbest และ Gbest ของอนุภาค รอบที่ 1

อนุภาค	รอบที่ 1	ค่าตำแหน่งอนุภาคเริ่มต้น
$\bar{p}_1 =$	20.6985	Pbest = 20.6985 (รอบที่ 1)
$\bar{p}_2 =$	19.3525	Pbest = 19.3525 (รอบที่ 1)
$\bar{p}_3 =$	17.4708	Pbest = 17.4708 (รอบที่ 1)
$\bar{p}_4 =$	22.3539	Pbest = 22.3539 (รอบที่ 1)
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\bar{p}_{50} =$	10.4126	Pbest = 10.4126 (รอบที่ 1)
		Gbest = 10.4126 (รอบที่ 1)

จากตาราง 2 แสดงถึงการทำงานรอบที่ 1 ของอนุภาค เพื่อเคลื่อนตำแหน่งของ Pbest และ Gbest โดยค่าคำตอบที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคทั้งหมดคือตำแหน่ง Gbest ในอนุภาคที่ 50

เมื่อได้ค่าตำแหน่ง Pbest และ Gbest แล้วต่อไปดำเนินการปรับค่าความเร็วของอนุภาค  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3, \vec{v}_4, \dots, \vec{v}_{50}$  รอบที่ 1 โดยแสดงดังต่อไปนี้

$$\vec{v}_i = \left( \begin{aligned} &1 * [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0] + \\ &2 * 0.5 * \left( \begin{aligned} &[0.3051 \quad 4.2311 \quad 4.8140 \quad 1.5056 \quad 1.1661 \quad 4.6755 \quad 4.2108 \quad 3.8990] - \\ &[0.3051 \quad 4.2311 \quad 4.8140 \quad 1.5056 \quad 1.1661 \quad 4.6755 \quad 4.2108 \quad 3.8990] \end{aligned} \right) + \\ &2 * 0.01 * \left( \begin{aligned} &[0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] - \\ &[0.3051 \quad 4.2311 \quad 4.8140 \quad 1.5056 \quad 1.1661 \quad 4.6755 \quad 4.2108 \quad 3.8990] \end{aligned} \right) \end{aligned} \right)$$

$$\vec{v}_2 = \left( \begin{array}{l} 1*[0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0] + \\ 2*0.02* \left( \begin{array}{l} [1.8295 \quad 4.3066 \quad 0.2232 \quad 4.8102 \quad 0.0879 \quad 2.4394 \quad 1.9099 \quad 3.4328] - \\ [1.8295 \quad 4.3066 \quad 0.2232 \quad 4.8102 \quad 0.0879 \quad 2.4394 \quad 1.9099 \quad 3.4328] \end{array} \right) + \\ 2*0.05* \left( \begin{array}{l} [0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] - \\ [1.8295 \quad 4.3066 \quad 0.2232 \quad 4.8102 \quad 0.0879 \quad 2.4394 \quad 1.9099 \quad 3.4328] \end{array} \right) \end{array} \right)$$

$$\vec{v}_3 = \left( \begin{array}{l} 1*[0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0] + \\ 2*0.05* \left( \begin{array}{l} [3.9228 \quad 4.8531 \quad 4.8912 \quad 3.0164 \quad 0.0747 \quad 1.2847 \quad 1.5503 \quad 1.1365] - \\ [3.9228 \quad 4.8531 \quad 4.8912 \quad 3.0164 \quad 0.0747 \quad 1.2847 \quad 1.5503 \quad 1.1365] \end{array} \right) + \\ 2*0.04* \left( \begin{array}{l} [0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] - \\ [3.9228 \quad 4.8531 \quad 4.8912 \quad 3.0164 \quad 0.0747 \quad 1.2847 \quad 1.5503 \quad 1.1365] \end{array} \right) \end{array} \right)$$

$$\vec{v}_4 = \left( \begin{array}{l} 1*[0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0] + \\ 2*0.55* \left( \begin{array}{l} [0.4122 \quad 4.5667 \quad 0.3048 \quad 4.1291 \quad 0.8614 \quad 4.9807 \quad 0.3128 \quad 2.2134] - \\ [0.4122 \quad 4.5667 \quad 0.3048 \quad 4.1291 \quad 0.8614 \quad 4.9807 \quad 0.3128 \quad 2.2134] \end{array} \right) + \\ 2*0.03* \left( \begin{array}{l} [0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] - \\ [0.4122 \quad 4.5667 \quad 0.3048 \quad 4.1291 \quad 0.8614 \quad 4.9807 \quad 0.3128 \quad 2.2134] \end{array} \right) \end{array} \right)$$

ดำเนินการจนถึงอนุภาคที่ 50

$$\vec{v}_{50} = \left( \begin{array}{l} 1*[0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0] + \\ 2*0.55* \left( \begin{array}{l} [0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] - \\ [0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] \end{array} \right) + \\ 2*0.50* \left( \begin{array}{l} [0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] - \\ [0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] \end{array} \right) \end{array} \right)$$

เมื่อดำเนินการปรับค่าความเร็วของอนุภาคทั้ง 50 อนุภาคเสร็จสิ้นแล้ว เพราะฉะนั้นค่าความเร็วของ  $\vec{v}_i$  แต่ละอนุภาคจะแสดงดังตาราง 5

ตาราง 3 แสดงค่าความเร็วของอนุภาครอบที่ 1

$\vec{v}$	$K_{p1}$	$K_{I1}$	$K_{p2}$	$K_{I2}$	$K_{p3}$	$K_{I3}$	$K_{p4}$	$K_{I4}$
$\vec{v}_1 =$	[ 0.0036	-0.0314	-0.0825	0.0466	-0.0187	-0.0923	-0.0017	0.0055 ]

$$\begin{aligned}
 \vec{v}_2 &= [ -0.1346 \quad -0.1648 \quad 0.0465 \quad -0.0974 \quad 0.0144 \quad -0.2378 \quad 0.2214 \quad 0.0741 ] \\
 \vec{v}_3 &= [ -0.2751 \quad -0.1755 \quad -0.3362 \quad 0.0656 \quad 0.0126 \quad -0.0978 \quad 0.2059 \quad 0.2430 ] \\
 \vec{v}_4 &= [ 0.0043 \quad -0.1145 \quad 0.0230 \quad -0.0176 \quad -0.0378 \quad -0.2951 \quad 0.2287 \quad 0.1176 ] \\
 &\vdots \\
 \vec{v}_{50} &= [ 0 \quad 0 ]
 \end{aligned}$$

จากตาราง 3 แสดงถึงค่าความเร็วของกลุ่มอนุภาคในรอบที่ 1 โดยค่าความเร็วของอนุภาคที่ 50 มีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากเป็นตำแหน่งค่า Gbest ไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่งการเคลื่อนที่ต่อไปนำค่าความเร็วไปทำการปรับตำแหน่งอนุภาค ด้วยสมการ  $\vec{p}_i(t) = \vec{p}_i + \vec{v}_i$  เพื่อกำหนดเป็นตำแหน่งของอนุภาคในรอบที่ 2 ต่อไป โดยแสดงดังต่อไปนี้

## 6.2 การทำงานรอบที่ 2

ค่าตำแหน่งอนุภาค  $\vec{p}_1, \vec{p}_2, \vec{p}_3, \vec{p}_4$  และ  $\vec{p}_{50}$  มาจากการคำนวณเปลี่ยนตำแหน่งในรอบที่ 1 ของอนุภาคที่เคลื่อนหาค่าต่ำสุดของรอบที่ผ่าน และจะดำเนินการต่อไปในรอบที่ 2 โดยมีค่าตำแหน่ง โดยแสดงดังตาราง 6

ตาราง 4 แสดงค่าตำแหน่งของอนุภาคในรอบที่ 2

$\vec{p}$	$K_{p1}$	$K_{I1}$	$K_{p2}$	$K_{I2}$	$K_{p3}$	$K_{I3}$	$K_{p4}$	$K_{I4}$
$\vec{p}_1 =$	[ 0.3087	4.1997	4.7315	1.5522	1.1474	4.5832	4.2091	3.9045 ]
$\vec{p}_2 =$	[ 1.6950	4.1419	0.2697	4.7128	0.1023	2.2017	2.1313	3.5069 ]
$\vec{p}_3 =$	[ 3.6477	4.6776	4.5550	3.0820	0.0873	1.1869	1.7562	1.3795 ]
$\vec{p}_4 =$	[ 0.4165	4.4522	0.3278	4.1115	0.8236	4.6856	0.5415	2.3310 ]
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\vec{p}_{50} =$	[ 0.4840	2.6591	0.6883	3.8365	0.2320	0.0619	4.1241	4.1735 ]

จากตาราง 4 แสดงตัวอย่างการกำหนดค่าตำแหน่งของอนุภาคแต่ละตัว ของรอบที่ 2 โดยค่าตำแหน่งของอนุภาคมีทั้งหมด 50 ค่าได้มาจากการเปลี่ยนตำแหน่งของกลุ่มอนุภาคในรอบที่ 1 เพื่อนำไปประเมิน Objective function ต่อไป

ตาราง 5 แสดงค่าตำแหน่ง Pbest และ Gbest ของอนุภาค รอบที่ 2

อนุภาค	รอบที่ 1	รอบที่ 2	ค่าตำแหน่งอนุภาค
$\bar{p}_1 =$	20.6985	19.2627	Pbest = 19.2627 (รอบที่ 2)
$\bar{p}_2 =$	19.3525	21.0459	Pbest = 19.3525 (รอบที่ 1)
$\bar{p}_3 =$	17.4708	17.8876	Pbest = 17.4708 (รอบที่ 1)
$\bar{p}_4 =$	22.3539	31.0767	Pbest = 22.3539 (รอบที่ 1)
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\bar{p}_{50} =$	10.4126	<b>10.4126</b>	Pbest = 10.4126 (รอบที่ 2)
			<b>Gbest = 10.4126 (รอบที่ 2)</b>

จากตาราง 5 แสดงถึงการทำงานรอบที่ 2 ของอนุภาค เพื่อเคลื่อนตำแหน่งไปยังค่า Pbest และ Gbest โดยค่าคำตอบที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคทั้งหมด ตำแหน่ง Gbest คืออนุภาค  $\bar{p}_{50}$  เพราะมีค่าคำตอบที่ต่ำที่สุด และค่า Pbest ของ  $\bar{p}_1$  อยู่รอบที่ 2,  $\bar{p}_2$  อยู่รอบที่ 2,  $\bar{p}_3$  อยู่รอบที่ 1,  $\bar{p}_4$  อยู่รอบที่ 2 และ  $\bar{p}_{50}$  อยู่รอบที่ 2

เมื่อได้ค่าตำแหน่ง Pbest และ Gbest แล้วต่อไปดำเนินการปรับค่าความเร็วของอนุภาค  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3, \vec{v}_4, \dots, \vec{v}_{50}$  รอบที่ 2 โดยแสดงดังต่อไปนี้

$$\vec{v}_1 = \left( \begin{array}{l} 1 * \left[ \begin{array}{cccccccc} 0.0036 & -0.0314 & -0.0825 & 0.0466 & -0.0187 & -0.0923 & -0.0017 & 0.0055 \end{array} \right] + \\ 2 * 0.5 * \left( \begin{array}{l} \left[ \begin{array}{cccccccc} 0.3087 & 4.1997 & 4.7315 & 1.5522 & 1.1474 & 4.5832 & 4.2091 & 3.9045 \end{array} \right] - \\ \left[ \begin{array}{cccccccc} 0.3087 & 4.1997 & 4.7315 & 1.5522 & 1.1474 & 4.5832 & 4.2091 & 3.9045 \end{array} \right] \end{array} \right) + \\ 2 * 0.01 * \left( \begin{array}{l} \left[ \begin{array}{cccccccc} 0.4840 & 2.6591 & 0.6883 & 3.8365 & -0.2320 & 0.0619 & 4.1241 & 4.1735 \end{array} \right] - \\ \left[ \begin{array}{cccccccc} 0.3087 & 4.1997 & 4.7315 & 1.5522 & 1.1474 & 4.5832 & 4.2091 & 3.9045 \end{array} \right] \end{array} \right) \end{array} \right)$$

$$\vec{v}_2 = \left( \begin{array}{l} 1 * \left[ \begin{array}{cccccccc} -0.1346 & -0.1648 & 0.0465 & -0.0974 & 0.0144 & -0.2378 & 0.2214 & 0.0741 \end{array} \right] + \\ 2 * 0.02 * \left( \begin{array}{l} \left[ \begin{array}{cccccccc} 1.8295 & 4.3066 & 0.2232 & 4.8102 & 0.0879 & 2.4394 & 1.9099 & 3.4328 \end{array} \right] - \\ \left[ \begin{array}{cccccccc} 1.6950 & 4.1419 & 0.2697 & 4.7128 & 0.1023 & 2.2017 & 2.1313 & 3.5069 \end{array} \right] \end{array} \right) + \\ 2 * 0.05 * \left( \begin{array}{l} \left[ \begin{array}{cccccccc} 0.4840 & 2.6591 & 0.6883 & 3.8365 & -0.2320 & 0.0619 & 4.1241 & 4.1735 \end{array} \right] - \\ \left[ \begin{array}{cccccccc} 1.6950 & 4.1419 & 0.2697 & 4.7128 & 0.1023 & 2.2017 & 2.1313 & 3.5069 \end{array} \right] \end{array} \right) \end{array} \right)$$

$$\vec{v}_3 = \left( \begin{array}{l} 1 * [3.6477 \quad 4.6776 \quad 4.5550 \quad 3.0820 \quad 0.0873 \quad 1.1869 \quad 1.7562 \quad 1.3795] + \\ 2 * 0.05 * \left( \begin{array}{l} [3.9228 \quad 4.8531 \quad 4.8912 \quad 3.0164 \quad 0.0747 \quad 1.2847 \quad 1.5503 \quad 1.1365] - \\ [3.6477 \quad 4.6776 \quad 4.5550 \quad 3.0820 \quad 0.0873 \quad 1.1869 \quad 1.7562 \quad 1.3795] \end{array} \right) + \\ 2 * 0.04 * \left( \begin{array}{l} [0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] - \\ [3.6477 \quad 4.6776 \quad 4.5550 \quad 3.0820 \quad 0.0873 \quad 1.1869 \quad 1.7562 \quad 1.3795] \end{array} \right) \end{array} \right)$$

$$\vec{v}_4 = \left( \begin{array}{l} 1 * [0.0043 \quad -0.1145 \quad 0.0230 \quad -0.0176 \quad -0.0378 \quad -0.2951 \quad 0.2287 \quad 0.1176] + \\ 2 * 0.55 * \left( \begin{array}{l} [0.4122 \quad 4.5667 \quad 0.3048 \quad 4.1291 \quad 0.8614 \quad 4.9807 \quad 0.3128 \quad 2.2134] - \\ [0.4165 \quad 4.4522 \quad 0.3278 \quad 4.1115 \quad 0.8236 \quad 4.6856 \quad 0.5415 \quad 2.3310] \end{array} \right) + \\ 2 * 0.03 * \left( \begin{array}{l} [0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] - \\ [0.4165 \quad 4.4522 \quad 0.3278 \quad 4.1115 \quad 0.8236 \quad 4.6856 \quad 0.5415 \quad 2.3310] \end{array} \right) \end{array} \right)$$

ดำเนินการจนถึงอนุภาคที่ 50

$$\vec{v}_{50} = \left( \begin{array}{l} 1 * [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0] + \\ 2 * 0.55 * \left( \begin{array}{l} [0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] - \\ [0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] \end{array} \right) + \\ 2 * 0.50 * \left( \begin{array}{l} [0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] - \\ [0.4840 \quad 2.6591 \quad 0.6883 \quad 3.8365 \quad 0.2320 \quad 0.0619 \quad 4.1241 \quad 4.1735] \end{array} \right) \end{array} \right)$$

เมื่อดำเนินการปรับค่าความเร็วของอนุภาคทั้ง 50 อนุภาคเสร็จสิ้นแล้ว เพราะฉะนั้นค่าความเร็วของ  $\vec{v}_i$  แต่ละอนุภาคในรอบที่ 2 จะได้ดังตาราง 8

ตาราง 6 แสดงค่าความเร็วของอนุภาครอบที่ 2

$\vec{v}_i$	$K_{p1}$	$K_{i1}$	$K_{p2}$	$K_{i2}$	$K_{p3}$	$K_{i3}$	$K_{p4}$	$K_{i4}$
$\vec{v}_1 =$	[ 0.0071	-0.0622	-0.1634	0.0923	-0.0370	-0.1827	-0.0034	0.0109 ]
$\vec{v}_2 =$	[ -0.1454	-0.1780	0.0502	-0.1052	0.0156	-0.2568	0.2391	0.0800 ]
$\vec{v}_3 =$	[ -0.4539	-0.2896	-0.5548	0.1082	0.0208	-0.1614	0.3397	0.4009 ]
$\vec{v}_4 =$	[ 0.0052	-0.1389	0.0279	-0.0213	-0.0459	-0.3581	0.2775	0.1427 ]

$$\vec{v}_{50} = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

จากตาราง 6 แสดงถึงค่าความเร็วของกลุ่มอนุภาคในรอบที่ 2 โดยค่าความเร็วของอนุภาคที่ 50 มีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากเป็นตำแหน่งค่า Gbest ไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่งการเคลื่อนที่

ขั้นตอนต่อไปนำค่าความเร็วไปทำการปรับตำแหน่งอนุภาค ด้วยสมการ  $\vec{p}_i(t) = \vec{p}_i + \vec{v}_i$  โดยแสดงดังตาราง 7

ตาราง 7 แสดงการปรับค่าตำแหน่งของอนุภาคในรอบที่ 3

$\vec{p}$	$K_{p1}$	$K_{I1}$	$K_{p2}$	$K_{I2}$	$K_{p3}$	$K_{I3}$	$K_{p4}$	$K_{I4}$
$\vec{p}_1 =$	0.3158	4.1374	4.5681	1.6445	1.1104	4.4005	4.2057	3.9154
$\vec{p}_2 =$	1.5496	3.9639	0.3199	4.6076	0.1179	1.9448	2.3704	3.5869
$\vec{p}_3 =$	3.1938	4.3880	4.0002	3.1903	0.1081	1.0255	2.0959	1.7804
$\vec{p}_4 =$	0.4217	4.3133	0.3557	4.0902	0.7778	4.3275	0.8190	2.4737
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\vec{p}_{50} =$	0.4840	2.6591	0.6883	3.8365	0.2320	0.0619	4.1241	4.1735

จากตาราง 7 แสดงตัวอย่างการกำหนดค่าตำแหน่งของอนุภาคแต่ละตัว ของรอบที่ 3 โดยค่าตำแหน่งของอนุภาคมีทั้งหมด 50 ค่าได้มาจากการเปลี่ยนตำแหน่งของกลุ่มอนุภาคในรอบที่ 2 เพื่อนำไปประเมิน Objective function ต่อไป และการทำงานจนถึงรอบที่ 49 เพื่อเข้าสู่ค่าคำตอบ

### 6.3 การทำงานรอบที่ 49

ค่าตำแหน่งอนุภาคของ  $\vec{p}_1, \vec{p}_2, \vec{p}_3, \vec{p}_4$  และ  $\vec{p}_{50}$  มาจากการคำนวณเปลี่ยนตำแหน่งในรอบที่ 48 ของอนุภาคที่เคลื่อนหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดของรอบที่ผ่าน และจะดำเนินการต่อไปในรอบที่ 49 โดยมีค่าตำแหน่ง โดยแสดงดังตาราง 8

ตาราง 8 แสดงการปรับค่าตำแหน่งของอนุภาคในรอบที่ 49

$\vec{p}$	$K_{p1}$	$K_{I1}$	$K_{p2}$	$K_{I2}$	$K_{p3}$	$K_{I3}$	$K_{p4}$	$K_{I4}$
-----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

$\vec{p}_1 =$	[	1.0027	0.0062	2.9879	1.9067	0.0229	0.0142	2.8298	1.1256	]
$\vec{p}_2 =$	[	1.0027	0.0062	2.9879	1.9067	0.0229	0.0142	2.8298	1.1256	]
$\vec{p}_3 =$	[	1.0027	0.0062	2.9879	1.9067	0.0229	0.0142	2.8298	1.1256	]
$\vec{p}_4 =$	[	1.0027	0.0062	2.9879	1.9067	0.0229	0.0142	2.8298	1.1256	]
$\vdots$		$\vdots$								
$\vec{p}_{50} =$	[	1.0027	0.0062	2.9879	1.9067	0.0229	0.0142	2.8298	1.1256	]

หมายเหตุ: ทำการวนซ้ำรอบ 3 จนถึง 49 รอบ และค่าตำแหน่งของอนุภาคจะเริ่มถูกรู้เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมตั้งแต่รอบที่ 49 เป็นต้นไป

จากตาราง 10 แสดงถึงการรู้เข้าสู่ค่าตำแหน่งของอนุภาคที่มีค่า Objective function ที่ได้ค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์ทุกค่า ซึ่งแสดงถึงการรู้เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสม

ต่อไปกลุ่มอนุภาคจะทำการประเมินค่าความเหมาะสมของ Objective function เพื่อหาค่าตำแหน่ง Gbest โดยแสดงดังตาราง 9

ตาราง 9 แสดงค่าตำแหน่งของอนุภาคจะเริ่มถูกรู้เข้าสู่คำตอบตั้งแต่รอบที่ 49 เป็นต้นไป

อนุภาค	รอบที่ 1	รอบที่ 2	...	รอบที่ 49	ค่าตำแหน่งอนุภาค
$\vec{p}_1$	20.1311	18.5967	...	8.1829	Gbest = 8.1829 (รอบที่ 49)
$\vec{p}_2$	18.9917	12.6113	...	8.1829	Gbest = 8.1829 (รอบที่ 49)
$\vec{p}_3$	11.7800	12.8752	...	8.1829	Gbest = 8.1829 (รอบที่ 49)
$\vec{p}_4$	22.1612	16.9540	...	8.1829	Gbest = 8.1829 (รอบที่ 49)
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	$\vdots$
$\vec{p}_{50}$	10.4126	10.4126	...	8.1829	Gbest = 8.1829 (รอบที่ 49)

จากตาราง 9 แสดงถึงการทำงานรอบที่ 49 ของวิธีกลุ่มอนุภาค โดยทุกๆ อนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาค่าคำตอบที่เหมาะสม Gbest โดยค่าคำตอบของ Gbest คือ 8.1829

การหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอ โดยวิธีกลุ่มอนุภาคได้วนรอบการทำงานจนมีการรู้เข้าสู่คำตอบของอนุภาคที่ดีที่สุดในกลุ่ม gbest หรือตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ โดยการทำการปรับค่าเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค  $\vec{p}_i$  ทั้งหมดกับอนุภาคถัดไปในกลุ่มประชากร จนครบทุกอนุภาค และทำงานครบจำนวน 100 รอบ

1023029



โดยวิธีการกลุ่มอนุภาค จะให้คำตอบของการประเมินค่าความเหมาะสมของ Objective function ที่มีค่าต่ำสุดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการทำงานดังกล่าวเป็นกระบวนการทำงานของวิธีกกลุ่มอนุภาคเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอของ PHEV ทำให้ระบบไฟฟ้าขนาด 502 กิโลวัตต์มีการทำงานที่มีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งค่าดังกล่าวสามารถทำให้ค่าเบี่ยงเบนความถี่และค่าเบี่ยงเบนความไม่ดุลของกำลังไฟฟ้าจริงมีค่าลดต่ำลง โดยผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ตั้งแต่รอบที่ 1 จนถึงรอบที่ 100 แสดงดังตาราง 10

TK  
2857  
ก7688  
2562

ตาราง 10 แสดงค่าความเหมาะสมของ Objective function แต่ละรอบด้วยวิธีกกลุ่มอนุภาค

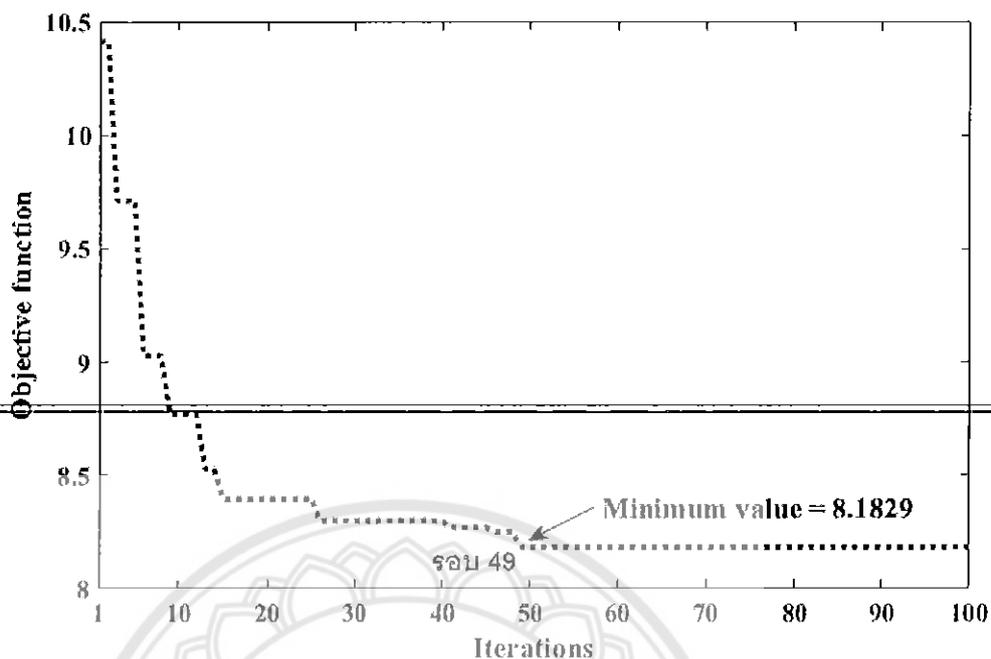
ผลการประเมินค่า Minimize $\int_0^{\infty}  \Delta f(t)  dt + \int_0^{\infty}  \Delta P_e(t)  dt$				
รอบ 1	รอบ 2	รอบ 3	รอบ 4	รอบ 5
10.4126	10.4126	9.7112	9.7112	9.7112
รอบ 6	รอบ 7	รอบ 8	รอบ 9	รอบ 10
9.0291	9.0291	9.0291	8.7720	8.7720
รอบ 11	รอบ 12	รอบ 13	รอบ 14	รอบ 15
8.7720	8.7720	8.5286	8.5286	8.3948
รอบ 16	รอบ 17	รอบ 18	รอบ 19	รอบ 20
8.3948	8.3948	8.3948	8.3948	8.3948
รอบ 21	รอบ 22	รอบ 23	รอบ 24	รอบ 25
8.3948	8.3948	8.3948	8.3948	8.3948
รอบ 26	รอบ 27	รอบ 28	รอบ 29	รอบ 30
8.2988	8.2988	8.2988	8.2988	8.2988
รอบ 31	รอบ 32	รอบ 33	รอบ 34	รอบ 35
8.2988	8.2988	8.2988	8.2988	8.2988
รอบ 36	รอบ 37	รอบ 38	รอบ 39	รอบ 40
8.2988	8.2988	8.2988	8.2988	8.2988
รอบ 41	รอบ 42	รอบ 43	รอบ 44	รอบ 45
8.2688	8.2688	8.2688	8.2688	8.2688
รอบ 46	รอบ 47	รอบ 48	รอบ 49	รอบ 50
8.2488	8.2488	8.2488	8.1829	8.1829
รอบ 51	รอบ 52	รอบ 53	รอบ 54	รอบ 55
8.1829	8.1829	8.1829	8.1829	8.1829
รอบ 56	รอบ 57	รอบ 58	รอบ 59	รอบ 60
8.1829	8.1829	8.1829	8.1829	8.1829

ตาราง 10 (ต่อ)

ผลการประเมินค่า $Minimize \int_0^{\infty}  \Delta f(t)  dt + \int_0^{\infty}  \Delta P_c(t)  dt$				
รอบ 61	รอบ 62	รอบ 63	รอบ 64	รอบ 65
8.1829	8.1829	8.1829	8.1829	8.1829
รอบ 66	รอบ 67	รอบ 68	รอบ 69	รอบ 70
8.1829	8.1829	8.1829	8.1829	8.1829
รอบ 71	รอบ 72	รอบ 73	รอบ 74	รอบ 75
8.1829	8.1829	8.1829	8.1829	8.1829
รอบ 76	รอบ 77	รอบ 78	รอบ 79	รอบ 80
8.1829	8.1829	8.1829	8.1829	8.1829
รอบ 81	รอบ 82	รอบ 83	รอบ 84	รอบ 85
8.1829	8.1829	8.1829	8.1829	8.1829
รอบ 86	รอบ 87	รอบ 88	รอบ 89	รอบ 90
8.1829	8.1829	8.1829	8.1829	8.1829
รอบ 91	รอบ 92	รอบ 93	รอบ 94	รอบ 95
8.1829	8.1829	8.1829	8.1829	8.1829
รอบ 96	รอบ 97	รอบ 98	รอบ 99	รอบ 100
8.1829	8.1829	8.1829	8.1829	8.1829

จากตาราง 10 แสดงให้เห็นถึงค่าคำตอบของการประเมินค่าความเหมาะสมของ Objective function แต่ละรอบของการค้นหาด้วยวิธีการกลุ่มอนุภาค โดยตั้งแต่รอบที่ 49 เป็นต้นไปจะเป็นการรู้เข้าสู่คำตอบของการค้นหา

กราฟการรู้เข้าสู่คำตอบของการประเมินค่าความเหมาะสมของ Objective function ของสมการที่ 44 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค ของระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก แยกโดดซึ่งทำให้ค่าการเบี่ยงเบนความถี่และค่าเบี่ยงเบนความไม่สมดุลของกำลังไฟฟ้าจริงมีค่าลดต่ำลง โดยผลการทดลองแสดงดังภาพ 8



ภาพ 8 กราฟการลู่เข้าสู่ค่าคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค

จากภาพ 8 แสดงถึงผลการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคที่ค่า Objective function มีค่าต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 8.1829 ตั้งแต่การค้นหารอบที่ 49 เป็นต้นไป

เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองของการหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอของ PHEV ที่ให้ค่า Objective function ต่ำสุด 8.1829 ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง 50 ครั้ง ดังแสดงในตาราง 11

ตาราง 1 แสดงการทดลอง 50 ครั้ง ด้วยวิธี PSO-PHEV

ครั้ง	$(\int_0^{\infty}  \Delta f(t)  dt)$	$(\int_0^{\infty}  \Delta P_e(t)  dt)$	Minimize	$\int_0^{\infty}  \Delta f(t)  dt + \int_0^{\infty}  \Delta P_e(t)  dt$
1	6.5518	1.7130		8.2648
2	6.6231	1.7316		8.3547
3	6.6296	1.7333		8.3629
4	6.8288	1.7854		8.6142

ตาราง 11 (ต่อ)

ครั้งที่	$(\int_0^{\infty}  \Delta f(t)  dt)$	$(\int_0^{\infty}  \Delta P_e(t)  dt)$	Minimize	$\int_0^{\infty}  \Delta f(t)  dt + \int_0^{\infty}  \Delta P_e(t)  dt$
5	6.6244	1.7320		8.3564
6	6.5583	1.7147		8.2730
7	6.6260	1.7324		8.3584
8	6.7535	1.7657		8.5192
9	6.6274	1.7327		8.3601
10	6.6282	1.7330		8.3612
11	6.5737	1.7187		8.2924
12	6.5692	1.7175		8.2867
13	6.6296	1.7333		8.3629
14	6.6246	1.7320		8.3566
15	6.5706	1.7179		8.2885
16	6.6309	1.7337		8.3646
17	6.9410	1.8147		8.7557
18	6.8761	1.7978		8.6739
19	6.5609	1.7153		8.2762
20	6.5673	1.7170		8.2843
21	6.5660	1.7167		8.2827
22	6.5820	1.7209		8.3029
23	6.5677	1.7171		8.2848
24	6.5681	1.7172		8.2853
25	6.5695	1.7176		8.2871
26	7.0059	1.8317		8.8376
27	6.9799	1.8249		8.8048
28	7.0707	1.8486		8.9193
29	6.6815	1.7469		8.4284

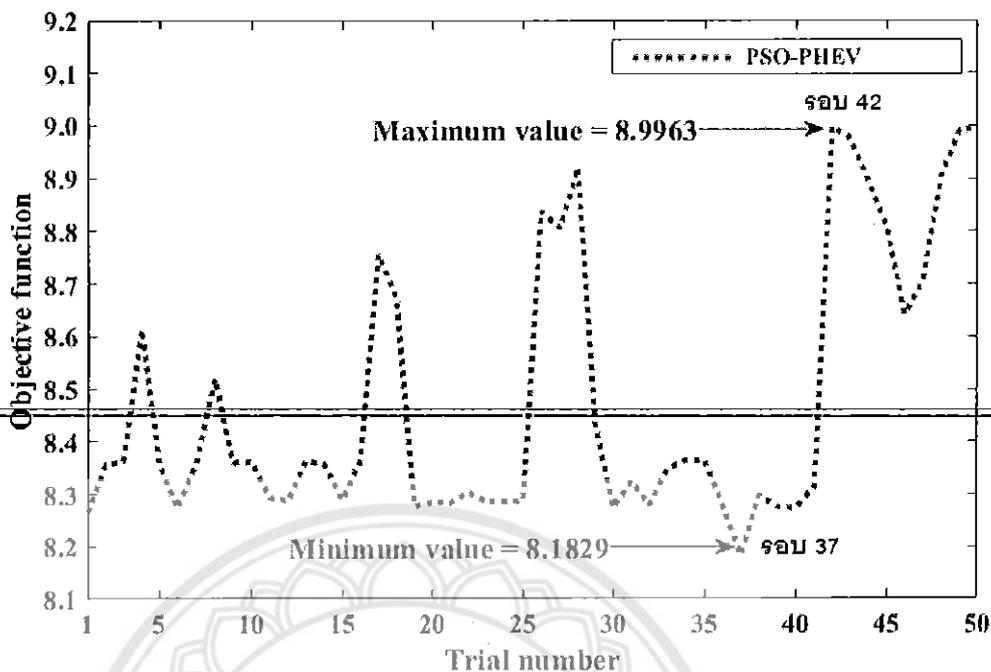
ตาราง 11 (ต่อ)

ครั้งที่	$(\int_0^{\infty}  \Delta f(t)  dt)$	$(\int_0^{\infty}  \Delta P_e(t)  dt)$	Minimize	$\int_0^{\infty}  \Delta f(t)  dt + \int_0^{\infty}  \Delta P_e(t)  dt$
30	6.5589	1.7148		8.2737
31	6.5985	1.7252		8.3237
32	6.5628	1.7158		8.2786

33	6.6166	1.7299	8.3465	
34	6.6303	1.7335	8.3638	
35	6.6308	1.7336	8.3644	
36	6.5610	1.7154	8.2764	
37	<b>6.4868</b>	<b>1.6944</b>	<b>8.1829</b>	(Min)
38	6.5777	1.7197	8.2974	
39	6.5601	1.7151	8.2752	
40	6.5583	1.7147	8.2730	
41	6.5907	1.7231	8.3138	
42	<b>7.1317</b>	<b>1.8646</b>	<b>8.9963</b>	(Max)
43	7.1161	1.8605	8.9766	
44	7.0513	1.8436	8.8949	
45	6.9838	1.8259	8.8097	
46	6.8502	1.7910	8.6412	
47	6.9021	1.8045	8.7066	
48	7.0590	1.8456	8.9046	
49	7.1278	1.8636	8.9914	
50	7.1304	1.8642	8.9946	

จากตาราง 13 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองจำนวน 50 ครั้ง เพื่อหาครั้งที่ให้การประเมินค่าความเหมาะสม Objective function ที่ดีที่สุด โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกการทดลองครั้งที่ 37 ซึ่งให้ค่าของ Objective function ต่ำที่สุด

กราฟแสดงค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของผลการทดลองจำนวน 50 ครั้ง ด้วยการประเมินค่าความเหมาะสม Objective function ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟิวของ PHEV ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด โดยแสดงดังภาพ 9



ภาพ 9 ผลการทดลองจำนวน 50 ครั้ง ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค

จากภาพ 9 แสดงถึงของผลการประเมินค่าความเหมาะสม Objective function ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค โดยค่าสูงสุดที่ 8.9963 ที่การทดลองครั้งที่ 42 และค่าผลการประเมินค่าความเหมาะสม Objective function ที่ให้คำตอบเหมาะสมที่สุด โดยมีค่าต่ำสุดที่ 8.1829 ที่การทดลองครั้งที่ 37

โดยผลการทดลอง พบว่าวิธีการกลุ่มอนุภาคสามารถให้คำตอบผลการประเมินความเหมาะสม Objective function ที่ต่ำที่สุดที่ 8.1829 โดยวิธีกลุ่มอนุภาคไม่ได้มีการลดพื้นที่การค้นหา ซึ่งความกว้างของการค้นหาค่าพารามิเตอร์อยู่ที่ความกว้าง 0.0001 ถึง 5.0000 ซึ่งจากข้อสังเกตพบว่า ช่วงการคำนวณค่าของค่าต่ำสุดและสูงสุดมีค่าที่แตกต่างกันมาก แสดงถึงความจำเป็นที่ต้องมีการลดพื้นที่การค้นหาด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค โดยการทดลองจะอยู่ในส่วนถัดไปเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการความเร็วในการเข้าสู่คำตอบ

ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟิโของ PHEV ด้วยวิธี PSO-PHEV

ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟิโ  $K_{p1}$ ,  $K_{I1}$ ,  $K_{p2}$ ,  $K_{I2}$ ,  $K_{p3}$ ,  $K_{I3}$ ,  $K_{p4}$  และ  $K_{I4}$  ของ PHEV ซึ่งหาค่าโดยวิธีกลุ่มอนุภาคที่ช่วงความกว้าง 0.0001-5.0000 ได้ดังตาราง 12

ตาราง 12 แสดงผลการหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟิโของ PHEV ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค

พารามิเตอร์ตัวควบคุมฟิโ	ค่าพารามิเตอร์
กลุ่ม PHEV1 $K_{p1}$	1.0027

	$K_{I1}$	0.0062
	$K_{P2}$	2.9879
	$K_{I2}$	1.9067
กลุ่ม PHEV2	$K_{P3}$	0.0229
	$K_{I3}$	0.0142
	$K_{P4}$	2.8298
	$K_{I4}$	1.1256

จากตาราง 12 แสดงถึงค่าของพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอ ซึ่งหาโดยวิธีกลุ่มอนุภาค เพื่อควบคุมความถี่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด (Senjyu, et al., 2009) โดยค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถทำให้การทำงานของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด มีค่าการเบี่ยงเบนความถี่ที่ต่ำกว่าค่าระบบเดิม และการทำงานของระบบมีประสิทธิภาพที่ดี

นำค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอของ PHEV จากตาราง 14 แทนค่าสมการที่ 1-2 เข้าสู่ระบบแบบจำลองเชิงเส้นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด เพื่อค่าการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\Delta f$ ) และค่าการเบี่ยงเบนความถี่ไม่ได้ดุลของกำลังไฟฟ้าจริง ( $\Delta P_r$ ) ได้ดังสมการ 42-43

$$K_{PSO\_PHEV1}(s) = 1.0027 + \frac{0.0062}{s}, 2.9879 + \frac{1.9067}{s} \quad (7)$$

$$K_{PSO\_PHEV2}(s) = 0.0229 + \frac{0.0142}{s}, 2.8298 + \frac{1.1256}{s} \quad (8)$$

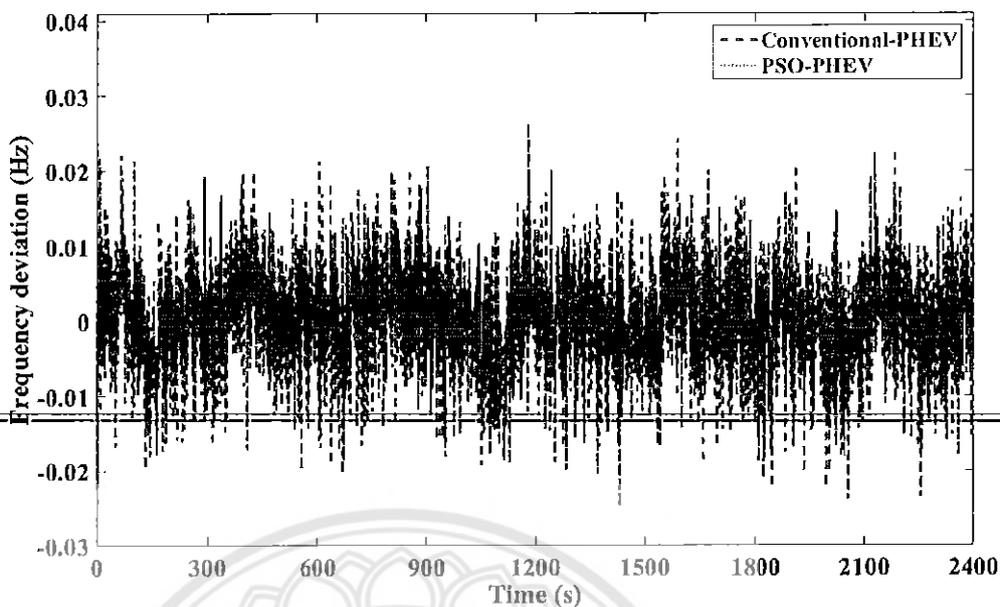
โดยที่

Conventional-PHEV คือ ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอของ PHEV ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ มาจากค่าระบบเดิม (Senjyu, et al., 2009)

PSO-PHEV คือ ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอของ PHEV ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอของ PHEV มาจากวิธีการหาของวิธีกลุ่มอนุภาค หรือ PSO

กราฟเปรียบเทียบค่าการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\Delta f$ ) กับวิธี PSO-PHEV

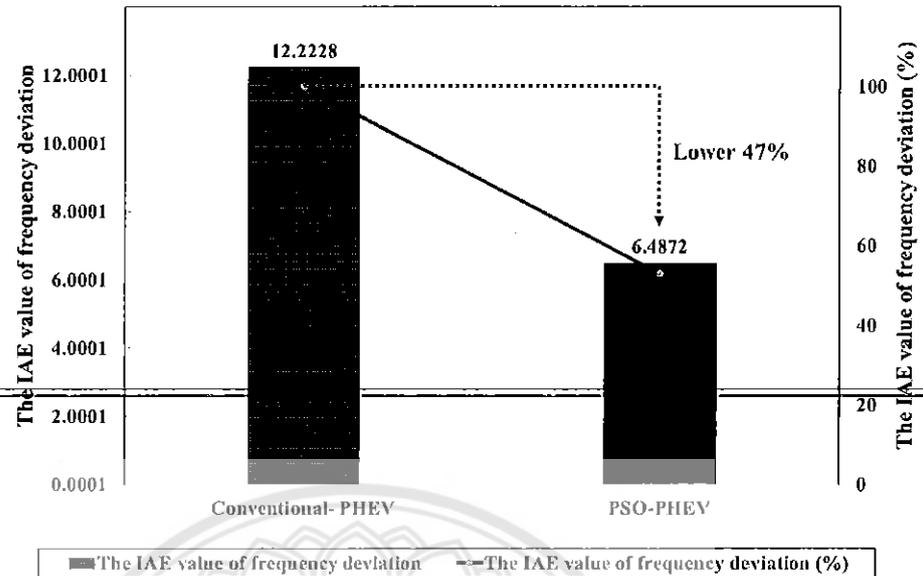
เมื่อแทนค่าสมการ 42-43 ลงในแบบจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด จะได้ผลค่าการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\Delta f$ ) โดยแสดงดังภาพ 10



ภาพ 10 กราฟเปรียบเทียบค่าการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\Delta f$ ) กับวิธี PSO-PHEV

จากภาพ 10 แสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟิวส์ของ PHEV ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดซึ่งหาโดยวิธีกลุ่มอนุภาคให้ผลค่ากราฟเส้นสีแดง (PSO-PHEV) มีค่าการเบี่ยงเบนความถี่ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด ( $\Delta f$ ) ที่มีค่าต่ำกว่ากราฟสีเขียว (Conventional-PHEV) ระบบเดิม (Senjyu, et al., 2009) ซึ่งค่าที่ต่ำกว่าของการเบี่ยงเบนความถี่ทำให้ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดมีการทำงานที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

โดยค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัลของการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\int_0^{\infty} |\Delta f(t)| dt$ ) เท่ากับ 6.4872 ซึ่งลดลง 47% จากระบบเดิม Conventional- PHEV โดยแสดงดังภาพ 11

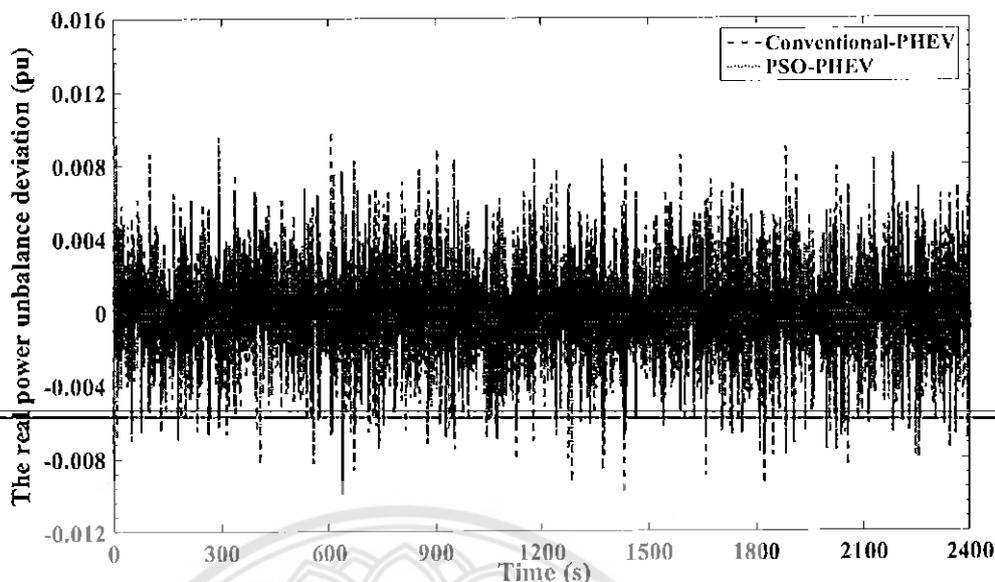


ภาพ 11 เปรียบเทียบการลดลงค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัลของการเบี่ยงเบนความถี่  $(\int_0^{\infty} |\Delta f(t)| dt)$  โดยวิธี PSO-PHEV

จากภาพ 11 เส้นกราฟแท่งสีแดงแสดงจุดแสดงถึงวิธี PSO-PHEV สามารถหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอของ PHEV ทำให้ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัลของการเบี่ยงเบนความถี่  $(\int_0^{\infty} |\Delta f(t)| dt)$  มีค่าเท่ากับ 12.2228 ซึ่งค่าดังกล่าวทำให้ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัลของการเบี่ยงเบนความถี่  $(\int_0^{\infty} |\Delta f(t)| dt)$  ลดลง 47% จากระบบเดิม Conventional- PHEV ทำให้การทำงานของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

กราฟเปรียบเทียบค่าการเบี่ยงเบนความถี่ไม่ได้ดุลของกำลังไฟฟ้าจริง  $(\Delta P_e)$  กับวิธี PSO-PHEV

เมื่อแทนค่าสมการ 42-43 ลงในแบบจำลองระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด จะได้ผลค่าการเบี่ยงเบนความถี่ไม่ได้ดุลของกำลังไฟฟ้าจริง  $(\Delta P_e)$  โดยแสดงดังภาพ 28

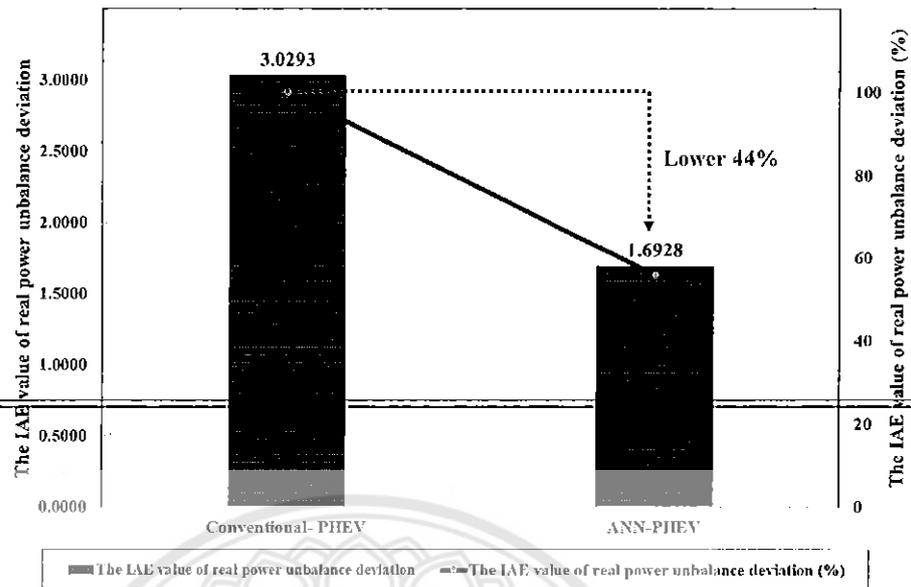


ภาพ 12 กราฟเปรียบเทียบค่าการเบี่ยงเบนความไม่ได้ดุล  
ของกำลังไฟฟ้าจริง ( $\Delta P_e$ ) กับวิธี PSO-PHEV

จากภาพ 12 แสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอของ PHEV ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดซึ่งหาโดยวิธีกลุ่มอนุภาคให้ผลค่ากราฟเส้นสีแดง (PSO-PHEV) มีการเบี่ยงเบนความไม่ได้ดุลของกำลังไฟฟ้าจริง ( $\Delta P_e$ ) มีค่าต่ำกว่ากราฟสีเขียว (Conventional-PHEV) ของระบบเดิม (Senjyu, et al., 2009) การที่เส้นกราฟสีแดงมีค่าเส้นกราฟที่ต่ำกว่าแสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดที่มีการทำงานที่ดีกว่า

การที่เส้นกราฟสีแดงมีค่าการเบี่ยงเบนความไม่ได้ดุลของกำลังไฟฟ้าจริง ( $\Delta P_e$ ) มีค่าต่ำแสดงถึงประสิทธิภาพของ PHEV ที่สามารถช่วยลดการเบี่ยงเบนความถี่ในระบบไฟฟ้าลงได้ ซึ่ง PHEV มีคุณสมบัติสามารถชดเชยความไม่ได้ดุลของกำลังจริง และสามารถควบคุมระบบให้มีการเบี่ยงเบนความถี่น้อยลงซึ่ง PHEV อัดประจุกำลังไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ได้ด้วยการต่อลิ้งค์ไฟเข้าตัวรับไฟฟ้าสามารถช่วยชดเชยความไม่ได้ดุลของกำลังจริงเพื่อใช้ในการลดการเบี่ยงเบนความถี่ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด

ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัลของการเบี่ยงเบนความไม่ได้ดุลของกำลังไฟฟ้าจริง ( $\int_0^{\infty} |\Delta P_e(t)| dt$ ) เท่ากับ 1.6928 โดยลดลง 44% จากระบบเดิม Conventional-PHEV โดยแสดงดังภาพ 29



ภาพ 7 เปรียบเทียบการลดลงของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัลของการเบี่ยงเบนความไม่ได้ดุลของกำลังไฟฟ้าจริง ( $\int_0^{\infty} |\Delta P_e(t)| dt$ ) โดยวิธี PSO-PHEV

จากภาพ 13 เส้นกราฟแท่งสีแดงลายจุดแสดงถึงวิธี PSO-PHEV สามารถหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่โอของ PHEV ทำให้ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัลของการเบี่ยงเบนความไม่ได้ดุลของกำลังไฟฟ้าจริง ( $\int_0^{\infty} |\Delta P_e(t)| dt$ ) มีค่าลดลง 44% จากระบบเดิม Conventional-PHEV

บทที่ 5

บทสรุป

ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอของ PHEV ที่ทำให้ค่าการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\Delta f$ ) ในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดด และค่าเบี่ยงเบนความไม่ได้ดุลของกำลังไฟฟ้าจริง ( $\Delta P_e$ ) มีค่าต่ำที่สุด โดยการดำเนินวิจัยวิธีการทำงานของวิธีการกลุ่มอนุภาค โดยหาค่าพารามิเตอร์ (PSO-PHEV) ที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตพื้นที่การค้นหาพารามิเตอร์ โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

การหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอของ PHEV ด้วยวิธีการ PSO-PHEV ได้กำหนดค่าเริ่มการค้นหาอนุภาค  $\vec{p}_i = [K_{p1} \ K_{I1} \ K_{p2} \ K_{I2} \ K_{p3} \ K_{I3} \ K_{p4} \ K_{I4}]$  จำนวน 50 อนุภาค และอยู่ในช่วงความกว้างที่  $[0.0001-5.0000]$  สำหรับการประเมินค่าความเหมาะสมของ Objective function สมการที่ 40 ให้ได้มาซึ่งค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัลของการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\int_0^\infty |\Delta f(t)| dt$ ) และค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัลของการเบี่ยงเบนความไม่ได้ดุลของกำลังไฟฟ้าจริง ( $\int_0^\infty |\Delta P_e(t)| dt$ ) ที่มีค่าต่ำ

ผลการวิจัยพบว่าวิธีการของ PSO-PHEV สามารถหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอของ PHEV คือ  $K_{p1} = 1.0027$ ,  $K_{I1} = -0.0062$ ,  $K_{p2} = 2.9879$ ,  $K_{I2} = 1.9067$ ,  $K_{p3} = 0.0229$ ,  $K_{I3} = 0.0142$ ,  $K_{p4} = 2.8298$  และ  $K_{I4} = 1.1256$  เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอของ PHEV แทนค่าลงในสมการ และนำเข้าไปในระบบแบบจำลองเชิงเส้นไฟฟ้าขนาดเล็กแยกโดดผ่านโปรแกรม MATLAB โดยให้ผลการทดลองพบว่าค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัลของการเบี่ยงเบนความถี่ ( $\int_0^\infty |\Delta f(t)| dt$ ) เท่ากับ 6.4870 และค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัลของการเบี่ยงเบนความไม่ได้ดุลของกำลังไฟฟ้าจริง ( $\int_0^\infty |\Delta P_e(t)| dt$ ) เท่ากับ 1.6928

## บรรณานุกรม

- Ahmad, M. R., Musirin, I., Othman, M. M., & Rahmat, N. A. (2014). PHEV charging strategy via user preferences and its impacts on power system network. In *Energy Conversion (CENCON 2014)* (pp.19-24). Johor Bahru, Malaysia: KSL resort.
- Baba, J. (2014). Stabilizing small island power system with renewables by use of power conditioning systems-Japanese island system case. In *International Power Electronics Conference (IPEC 2014)* (pp.1849-1854). Hiroshima, Japan: Hiroshima National Peace Memorial Hall.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. In *Micro Machine and Human Science (MHS'95)* (pp. 39-43). Nagoya, Japan: Hoonji.
- Elbeltagi, E., Hegazy, T., & Grierson, D. (2005). Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms. *Advanced engineering informatics*, 19(1), 43-53.
- Kinjo, Y., Miyagi, M., Senju, T., Yona, A., & Funabashi, T. (2012). Decentralized controllable loads control in small power system. In *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA 2012)* (pp.1-6). Nagasaki, Japan: The Best Western Premier Hotel.
- Mercier, P., Cherkaoui, R., & Oudalov, A. (2009). Optimizing a Battery Energy Storage System for Frequency Control Application in an Isolated Power System. *IEEE Transactions on Power Systems*, 24(3), 1469-1477.
- Milosevic, M., & Andersson, G. (2005). Generation control in small isolated power systems. *Power Symposium Proceedings of the 37th Annual North American*, 524-529.
- Miyauchi, H., & Takakura, E. (2014). Reliability assessment of small power system with dispersed generators in isolated island. In *Electrical Engineering and Informatics (MICEEI 2014)* (pp. 189-193). Makassar, Indonesia: Makassar Golden Hotel.
- Patel, M. R. (2005). *Wind and solar power systems: design, analysis, and operation*. USA: CRC press.

Senjyu, T., Tokudome, M., Yona, A., & Funabashi, T. (2009). A frequency control approach by decentralized controllable loads in small power systems. *IEEE Transactions on Power and Energy*, 129, 1074-1080.

Yokoyama, A. (2010). Smarter grid II. *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 30, 22-33.

ชโลธร รัตนพรชัย, อิศระชัย งามหรุ, อีรุฒิ ไชยธรรม, และสิทธิเดช วชิราศรีศรีกุล. (2553).

การควบคุมความถี่อย่างทนทานในระบบสมาร์ตไมโครกริดโดยใช้ปั๊มความร้อนและ  
รถไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด. ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 33  
(หน้า 9-12). เชียงใหม่: โรงแรมเซ็นทาราดวงตะวัน.

