



รายงานวิจัย

ระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกสำหรับ
เครื่องบำบัดน้ำทุ่นลอยพลังงานแสงอาทิตย์

Maximum Power Point Tracking System using Metaheuristic Methods for
Wastewater Treatment Buoyancy via Solar Power

มนัญญ์ บุญประมุข

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ 2560
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
บทคัดย่อ	(2)
ABSTRACT	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญรูป	(6)
สารบัญตาราง	(9)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์	4
2.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย	7
2.3 การติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดพลังงานแสงอาทิตย์	15
2.4 เมตาฮีริสติก	17
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย	24
3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำทึนลอยพลังงานแสงอาทิตย์	24
3.2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า	28
3.3 วิธีการเมตาฮีริสติกเพื่อหาค่าที่เหมาะสม	37
บทที่ 4 ผลการทดลอง	46
4.1 การจำลองและผลการจำลอง	46
4.2 การทดลองระบบติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดเซลล์แสงอาทิตย์	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลการวิจัย	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	54

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	5
รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์	5
รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	6
รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง	7
รูปที่ 2.6 ระบบน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร	8
รูปที่ 2.7 ระบบบึงประดิษฐ์ แบบ Free Water Surface Wetland (FWS)	9
รูปที่ 2.8 ระบบบึงประดิษฐ์แบบ Vegetated Submerged Bed System (VSB)	10
รูปที่ 2.9 ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์	11

รูปที่ 2.10	ระบบแอกทิวิตีเด็คสลับแบบปรับเสถียรสัมผัส	11
รูปที่ 2.11	ระบบแบบคลองเวียนวน	12
รูปที่ 2.12	ระบบบำแบบเอสปีอาร์	12
รูปที่ 2.13	รูปแสดงผังระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน	13
รูปที่ 2.14	ลักษณะทั่วไปของระบบแผ่นหมุนชีวภาพ	14
รูปที่ 2.15	กราฟคุณลักษณะจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์	15
รูปที่ 2.16	วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์	15
รูปที่ 2.17	รูปแบบของเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมดูล	16
รูปที่ 2.18	ผลของโหลดต่อเซลล์แสงอาทิตย์	16
รูปที่ 2.19	การแบ่งกลุ่มของการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงฮิสทอรี	18
รูปที่ 2.20	อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่	19
รูปที่ 2.21	วัฏจักรของเจนเนติกอัลกอริทึม	20
รูปที่ 2.22	ขั้นตอนการทำงานของ PSO	21
รูปที่ 2.23	การเดินทางของมดเพื่อไปยังแหล่งอาหาร	22
รูปที่ 3.1	ลักษณะแบบโครงสร้างเหล็กฐานสำหรับวางเครื่องบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์	24
รูปที่ 3.2	ลักษณะแบบโครงสร้างเหล็กเพื่อยึดรับกังหันตีน้ำ	25
รูปที่ 3.3	ลักษณะโครงสร้างเหล็กฐานรองเครื่องบำบัดน้ำเสีย	25
รูปที่ 3.4	ลักษณะกังหันตีน้ำ	26
รูปที่ 3.5	ลักษณะการติดตั้งกังหันตีน้ำบนแท่นเหล็ก	26
รูปที่ 3.6	ลักษณะการติดตั้งปั้มน้ำ	27
รูปที่ 3.7	ลักษณะการติดตั้งท่อนลอยน้ำ	27

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.8	ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	28
รูปที่ 3.9	ลักษณะระบบบำบัดน้ำเสียท่อนลอยต้นแบบ	28
รูปที่ 3.10	จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์	29
รูปที่ 3.11	วงจรตัวแปลงผันแบบทบระดับ	29
รูปที่ 3.12	รูปคลื่นการทำงานของวงจรแปลงผันแบบทบระดับ	29
รูปที่ 3.13	รูปวงจรสมมูลของตัวแปลงผันแบบทบระดับขณะสวิตซ์ทำงาน	30
รูปที่ 3.14	รูปวงจรสมมูลของตัวแปลงผันแบบทบระดับขณะสวิตซ์เปิดวงจร	30
รูปที่ 3.15	วงจรแปลงผันทบระดับ	31
รูปที่ 3.16	วงจรขับมอสเฟต TLP250	33
รูปที่ 3.17	การวัดกระแสและแรงดัน	33
รูปที่ 3.18	ลักษณะของตัวตรวจจับกระแสจากบริษัท Allegro	34
รูปที่ 3.19	วงจรปรับระดับสัญญาณ	34
รูปที่ 3.20	DSPIC30F4011	35
รูปที่ 3.21	การต่อสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต	36

รูปที่ 3.22	รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการตั้งค่า PWM	36
รูปที่ 3.23	ตัวอย่างคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่นและแบบวงกว้าง	37
รูปที่ 3.24	กระบวนการค้นหาแบบตาบู่	38
รูปที่ 3.25	ลักษณะการต่อแบบขนาน	41
รูปที่ 3.26	ลักษณะการทำงานของ CS	42
รูปที่ 3.27	ลักษณะกระบวนการทำงานของ CS	44
รูปที่ 4.1	ลักษณะการเขียน M-file ด้วยโปรแกรม MATLAB	46
รูปที่ 4.2	การลู่เข้าหาคำตอบของการค้นหาแบบตาบู่	47
รูปที่ 4.3	การลู่เข้าหาคำตอบของการค้นหาแบบกระแสน้ำ	47
รูปที่ 4.4	ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบู่	48
รูปที่ 4.5	ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแสน้ำ	48
รูปที่ 4.6	ค่าความเข้มแสงช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 17.00 น.	49
รูปที่ 4.7	ค่าความเข้มแสงกับค่ากำลังงานไฟฟ้าของตัวควบคุมการประจุ	50
รูปที่ 4.8	ค่าความเข้มแสงกับค่ากำลังงานไฟฟ้าด้วยระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแสน้ำ	50
สารบัญรูป (ต่อ)		
รูปที่ 4.9	ค่าความเข้มแสงกับค่ากำลังงานไฟฟ้าด้วยระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบู่	หน้า 51

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
 มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์เซลล์แสงอาทิตย์	47
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด	49
ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการถ่ายกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ	52
ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการประจุแบตเตอรี่แบบต่างๆ	52

สำนักงานวิจัยการและเทคโคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำที่ปล่อยพลังงานแสงอาทิตย์โดยวิธีการเมตาฮิวริสติกที่นำเสนอนี้ได้ทำการเปรียบเทียบด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ วิธีการค้นหาแบบกระแสและการค้นหาแบบตาบู่ ในผลการทดลองใช้โปรแกรม MATLAB จำลองการทำงานพบว่าวิธีการเมตาฮิวริสติกด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแสนั้นสามารถให้ผลของกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดีกว่าวิธีการค้นหาแบบตาบู่ เมื่อประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการชาร์จประจุแบตเตอรี่นั้นระบบติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกสามารถประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ได้เร็วกว่าระบบชาร์จทั่วไป

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ABSTRACT

This research proposes the maximum power point tracking systems with methaheuristic optimization method for application to wastewater treatment buoyancy via solar power systems. The methaheuristic optimization method presented in this research

have been compared by various methods such as current search and tabu search. The experiment is simulated using matlab, it be found that the metaheuristic method by current search method was able to produce better power output than the tabu search method. Applying to solar water treatment systems for charging batteries, it is found that the maximum power point tracking systems using the metaheuristic method can charge the battery faster than conventional charging systems.

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการวิจัยเรื่องระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกสำหรับเครื่องบำบัดน้ำที่สูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถดำเนินการได้เนื่องจากความอนุเคราะห์ในการทำวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาและสถานที่ทำการดำเนินการโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรมทุกๆ คน ที่ให้กำลังใจด้วยดีมาโดยตลอด

มนัญญ บูลย์ประมุข

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด โดยเฉพาะการดำเนินชีวิตในปัจจุบันของมนุษย์ที่ต้องใช้น้ำทางด้านอุปโภคและบริโภคในชีวิตประจำวัน ซึ่งหากขาดน้ำแล้วสิ่งมีชีวิตทุกชีวิตก็ไม่สามารถที่จะดำรงชีวิตอยู่ได้ ปัจจุบันจากสถานการณ์ของภาวะมลพิษที่ส่งผลต่อการเน่าเสียของน้ำมีแต่จะเพิ่มอัตราและปริมาณที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับอุปโภคและบริโภคมีอยู่อย่างจำกัดอีกทั้งปริมาณการเพิ่มขึ้นของประชากร หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนต่างหาวิธีการที่จะช่วยฟื้นฟูสภาพของน้ำเสียให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกจึงมีการคิดค้นวิธีการต่างๆ มากมายหลายวิธีเพื่อช่วยบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียเป็นการกำจัดหรือทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไปน้อยที่สุดเพื่อให้ได้มาตรฐานที่กำหนดและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม วิธีการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันจึงมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีเช่น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร, ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ, ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์, ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์, ระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน, ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ เป็นต้นสำหรับในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศซึ่งระบบนี้ไม่จำกัดการใช้งานในแต่ละบ่อน้ำโดยไม่ต้องปรับสภาพบ่อบำบัด สำหรับข้อจำกัดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศต้องใช้กระแสไฟฟ้าตลอดเวลาเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อเติมอากาศซึ่งหากนำไปใช้นอกสถานที่ที่ไม่มีพลังงานไฟฟ้าจึงเป็นเรื่องยากที่จะนำไปใช้งานและยังเป็นระบบที่ต้องติดตั้งอยู่กับที่ ดังนั้นการนำเอาระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นสิ่งที่ควรนำมาประยุกต์ใช้งานเข้ากับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในบ่อบำบัดใดๆ ก็ได้โดยไม่จำกัดการใช้งานอีกต่อไป แต่ทั้งนี้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดในเรื่องของแสงแดดที่แปรเปลี่ยนไปตามเวลาและสภาพอากาศซึ่งเมื่อนำมาใช้งานจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างจำกัด แนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีการนำเอาระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบวัดรังสีแสงอาทิตย์ (พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล, 2552) ซึ่งวิธีการนี้จะวัดความเข้มของแสงอาทิตย์โดยวิธีการประมาณค่าและมีข้อจำกัดคือเมื่อไม่มีแสงระบบติดตามแสงจะหยุดทำงานลงทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์มีข้อจำกัด ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดข้อด้อยในจุดนี้คือการใช้ระบบติดตามกำลังงานสูงสุดของกำลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แต่เนื่องจากลักษณะของความไม่เป็นลักษณะเชิงเส้น (A. Al-Amoudi, 2000) จึงทำให้การหาจุดติดตามกำลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการประมาณค่าทำให้ได้ค่ากำลังงานสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุด แนวทางหนึ่งที่จะสามารถทำให้ได้ค่ากำลังงานสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นนี้โดยใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าวซึ่งจะทำให้ได้ค่าติดตามกำลังงานสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดส่งผลให้พลังงานที่จ่ายยังแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดเพื่อออกแบบและสร้างระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกสำหรับเครื่องบำบัดน้ำแบบฟูลออยพลังงานแสงอาทิตย์ ให้สามารถเติมอากาศที่เหมาะสมกับบ่อกลางแจ้งและสามารถนำเอาพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ออกมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจะให้ประโยชน์ในการนำมาใช้กับเครื่องบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้แนวคิดทางด้านเมตาฮิวริสติกสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่นๆ ที่เหมาะสมได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮีริสติกสำหรับเครื่องบำบัดน้ำที่สูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮีริสติกสำหรับเครื่องบำบัดน้ำที่สูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์สามารถดึงพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีขอบเขตของการวิจัยตามวัตถุประสงค์ดังนี้

1.4.1 เพื่อออกแบบและสร้างระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮีริสติกสำหรับเครื่องบำบัดน้ำที่สูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์

1.4.1.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ศึกษารูปแบบของการทำงานระบบบำบัดน้ำเสีย, ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์, ระบบติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดพลังงานแสงอาทิตย์, วิธีการเมตาฮีริสติก

1.4.1.2 ขอบเขตด้านแหล่งข้อมูล

แหล่งข้อมูลด้านเนื้อหา ได้แก่ บทความวิจัย วารสารวิชาการและรายงานการวิจัยเกี่ยวกับระบบติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุด, วิธีการเมตาฮีริสติก, ระบบบำบัดน้ำเสีย

1.4.1.3 ขอบเขตด้านตัวแปร

ระบบติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการเมตาฮีริสติก, เครื่องบำบัดน้ำที่สูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 เมตาฮีริสติก หมายถึง ระเบียบวิธีหรือเทคนิคสำหรับแก้ปัญหาหาค่าเหมาะสมที่สุด

1.5.2 พลังงานแสงอาทิตย์ หมายถึง พลังงานที่เกิดจากแสงและพลังงานที่เกิดจากความร้อน

1.5.3 เครื่องบำบัดน้ำ หมายถึง เครื่องกำจัดหรือทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไปหรือเหลือน้อยที่สุด เพื่อให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนดและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

1.5.4 ระบบติดตามกำลังงานสูงสุด หมายถึง ระบบที่สามารถดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.6.1 สามารถบำบัดน้ำเสียได้โดยใช้พลังงานทดแทนประสิทธิภาพสูง

1.6.2 ได้ระบบติดตามกำลังงานสูงสุดจากแสงอาทิตย์รูปแบบใหม่โดยวิธีการเมตาฮีริสติกที่สามารถนำไปประยุกต์ในงานด้านอื่นๆได้

1.6.3 ได้เครื่องบำบัดน้ำเสียต้นแบบที่สามารถนำไปใช้ได้ในพื้นที่ เพื่อใช้ประโยชน์ในหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนหรือประชาชนที่สนใจ

1.6.4 เสริมนโยบายการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของสำนักนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน ซึ่งอาจเป็นมาตรการหนึ่งที่ทำให้ประชาชนตระหนักถึงการประหยัดพลังงานไฟฟ้าอย่างเป็นรูปธรรม

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษา ค้นคว้าเอกสาร แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ ระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกสำหรับเครื่องบำบัดน้ำฟุนลอยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วย หัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

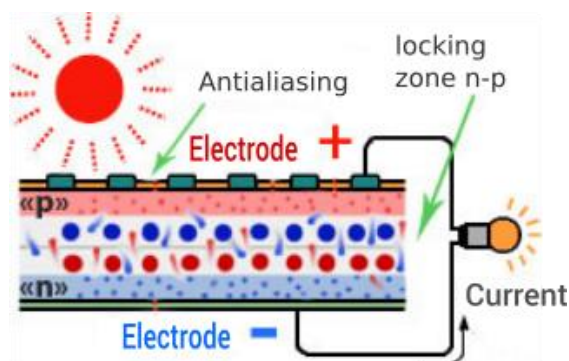
- 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์
- 2.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย
- 2.3 ระบบติดตามกำลังงานสูงสุดพลังงานแสงอาทิตย์
- 2.4 เมตาฮิวริสติก
- 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยสร้างจากสารกึ่งตัวนำเช่น ซิลิคอน ดังรูปที่ 2.1 แล้วนำมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ ซึ่งมีลักษณะภายในเป็นโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำโดยโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นนี้จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบ เซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ (เรียกว่าอิเล็กตรอน) และประจุบวก (เรียกว่า โฮล) ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง หากทำการต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟฟ้า, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หรือภาระทางไฟฟ้าต่างๆ เป็นต้น กระแสไฟฟ้าก็จะไหลในวงจร ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน
ที่มา: www.siliconsolar.com

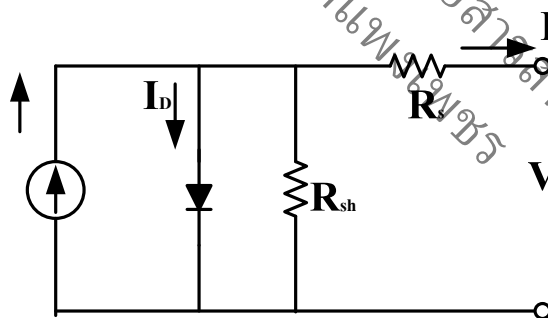


รูปที่ 2.2 โครงสร้างการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา: www.radiofishka.in.ua

เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งได้ตามวัสดุที่ใช้ผลิตส่วนมากจะเป็นซิลิกอน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

- ซิลิกอนแบบหลายผลึก (Polycrystalline Si Cells) จะตอบสนองต่อแสงในแถบความยาวคลื่นกว้างและมีประสิทธิภาพการทำงาน 10-17 เปอร์เซ็นต์
- ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Si Cells) สามารถตอบสนองต่อแสงในแถบความยาวคลื่นกว้าง โดยมีประสิทธิภาพที่ดีในช่วงความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์และมีประสิทธิภาพการทำงาน 15-24 เปอร์เซ็นต์
- ซิลิกอนแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous Si Cells) ตอบสนองต่อแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่นสั้นของแสงอาทิตย์และมีประสิทธิภาพการทำงาน 8-13 เปอร์เซ็นต์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำมาเขียนเป็นวงจรสมมูลในรูปที่ 2.3 จะมีแหล่งจ่ายกระแสต่อขนานกับไดโอด, ความต้านทานขนานเซลล์แสงอาทิตย์ R_{sh} และอนุกรมกับค่าความต้านทาน R_s



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) ดังนี้

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] - \frac{qV}{R_{sh}} \quad (1)$$

เมื่อ

I, V คือ กระแสและแรงดันเซลล์แสงอาทิตย์

I_{ph} คือ กระแสโฟตรอน

I_0 คือ กระแสอิ่มตัวไดโอดย้อนกลับ

R_s คือ ความต้านทานอนุกรมเซลล์แสงอาทิตย์

R_{sh} คือ ความต้านทานขนานเซลล์แสงอาทิตย์

a คือ ค่าปัจจัยอุดมคติของไดโอด

V_T คือ ค่าแรงดันอุณหภูมิได้มาจากสมการที่ (2)

$$I_0 = \frac{I_{sc} I_{ph}}{I_{sc}} \quad (2)$$

k คือ ค่าคงที่ Boltzmann มีค่า 1.380×10^{-23} J/K

q คือ ประจุอิเล็กตรอนมีค่า 1.9×10^{-19} ev

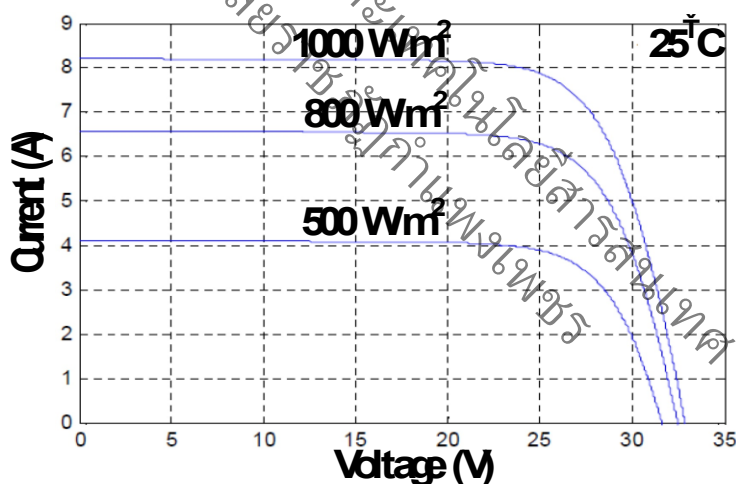
T คือ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์

N_s คือ จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อบนอนุกรม

ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเช่น อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์, ความเข้มแสง เป็นต้น คุณสมบัติทางไฟฟ้าจากผลกระทบของปัจจัยดังกล่าวมีดังนี้

2.1.1 ผลกระทบจากความเข้มแสง

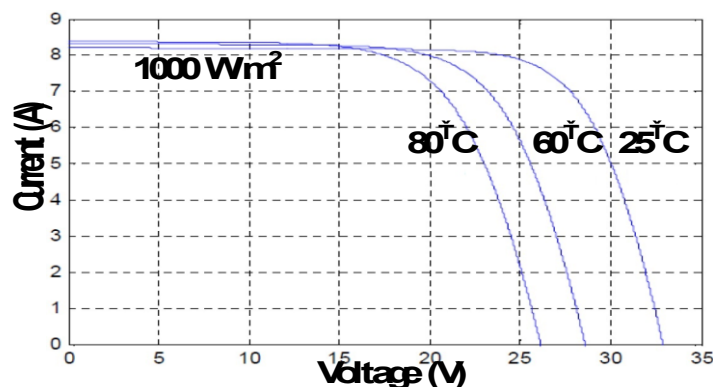
เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น (500-1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร) จะส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าทำให้กระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.2 ผลกระทบจากอุณหภูมิ

อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจะเป็นผลให้กระแสลัดวงจรเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่จะมีผลให้แรงดันเปิดวงจรลดลงอย่างเห็นได้ชัดซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนแรงดันเปิดวงจรจะลดลง 2.3 มิลลิโวลต์ต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันที่มีการใช้งานสามารถ แบ่งการใช้งานออกเป็น 6 แบบด้วยกัน ได้แก่

- 2.2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)
- 2.2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon หรือ AL)
- 2.2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland)
- 2.2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอคทีฟเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge Process)
- 2.2.5 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch ; OD)
- 2.2.6 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor; RBC)

2.2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

เป็นระบบแบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการบำบัดด้วยสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ บ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond) บ่อแฟคคัลเททีฟ (Facultative Pond) บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond) เป็นต้น หากมีบ่อหลายบ่อในการบำบัดน้ำเสียต่อเนื่องกัน ในบ่อสุดท้ายจะทำหน้าที่เป็นบ่อบ่ม (Maturation Pond) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 2.6 รายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรแบบต่างๆ มีดังนี้



ตัวอย่างการวางบ่อของระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

รูปที่ 2.6 ระบบน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร

ที่มา: www.pcd.go.th

2.2.1.1 บ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond) บ่อแอนแอโรบิกเป็นระบบที่ใช้กำจัดน้ำเสีย โดยไม่ใช้ออกซิเจนและใช้สารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงแทนซึ่งจะมีปริมาณที่สูงจนสาหร่ายและการเติมออกซิเจนที่ผิวหน้าไม่สามารถผลิตและป้อนออกซิเจนได้ทัน ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนละลายน้ำภายในบ่อ

จึงเหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และปริมาณของแข็งสูงซึ่งจะตกลงสู่ก้นบ่อ จากนั้นจะถูกย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก น้ำเสียส่วนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อนี้จะระบายต่อไปยังบ่อแฟคคัลเททีฟ (Facultative Pond) เพื่อบำบัดน้ำเสียต่อไป

2.2.1.2 บ่อแฟคคัลเททีฟ (Facultative Pond) บ่อแฟคคัลเททีฟเป็นบ่อที่มีลักษณะการทำงานแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบนของบ่อเป็นแบบแอโรบิกและส่วนล่างของบ่ออยู่ในสภาพแอนแอโรบิก โดยบ่อแฟคคัลเททีฟนี้จะรับน้ำเสียจากที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาก่อนซึ่งจะเป็นกระบวนการที่เรียกว่า การทำความสะอาดตัวเอง บ่อส่วนบนจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเพื่อเป็นอาหารและสำหรับการสร้างเซลล์ใหม่และเป็นพลังงาน โดยใช้ออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย สำหรับบ่อส่วนล่างจนถึงก้นบ่อซึ่งแสงแดดส่องไม่ถึงจะมีปริมาณออกซิเจนต่ำ จนเกิดสภาวะไร้ออกซิเจนจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจนนี้จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และแปรสภาพเป็นก๊าซเช่นเดียวกับบ่อแอนแอโรบิก แต่ก๊าซที่ลอยขึ้นมาจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนที่อยู่ช่วงบนของบ่อทำให้ไม่เกิดกลิ่นเหม็น

2.2.1.3 บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond) บ่อแอโรบิกเป็นบ่อที่ไม่ลึกมากนักเพื่อให้มีออกซิเจนกระจายทั่วทั้งบ่อโดยในบ่อนี้จะมีทั้งสาหร่ายแขวนลอยและแบคทีเรียซึ่งกระบวนการนี้จะใช้ออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและการเติมอากาศที่ผิวหน้าทำให้สามารถฆ่าเชื้อโรคได้โดยอาศัยแสงแดด

2.2.1.4 บ่อบ่ม (Maturation Pond) บ่อบ่มจะมีสภาพความลึกไม่มากและแสงแดดส่องถึงก้นบ่อใช้รองรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยลักษณะหลักคือมีสภาพเป็นแอโรบิกตลอดทั้งบ่อเพื่อพอกน้ำทิ้งให้มีความปลอดภัยและอาศัยแสงแดดทำลายเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม

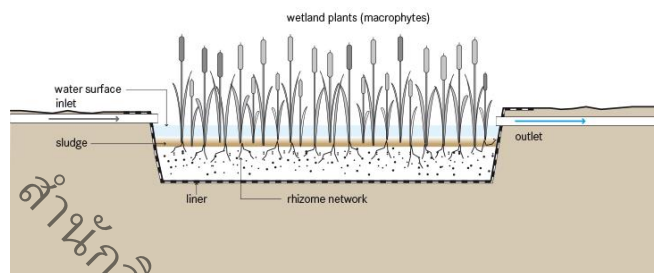
2.2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon หรือ AL)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียลักษณะนี้จะใช้หลักการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศที่ติดตั้งแบบฟุ่นลอยหรือยึดติดกับแท่นบนผิวน้ำ เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำสำหรับจุลินทรีย์ให้มีปริมาณเพียงพอในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เร็วขึ้นทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียในรูปของค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ได้ร้อยละ 80-95 โดยอาศัยหลักการย่อยสลายของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนโดยมีเครื่องเติมอากาศซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เพิ่มออกซิเจนในน้ำแล้วยังทำให้เกิดการกวนผสมของน้ำในบ่อด้วยทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงภายในบ่อ สามารถบำบัดน้ำเสียได้ทั้งน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่มีความสกปรกค่อนข้างมากและน้ำเสียจากอุตสาหกรรม ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (Detention Time) ภายในบ่อเติมอากาศประมาณ 3-10 วัน บ่อบำบัดชนิดนี้จะออกแบบให้บ่อมีความลึกประมาณ 2-6 เมตรและต้องมีบ่อบ่มเพื่อรับน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศในการตกตะกอนและปรับสภาพน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนประกอบของระบบบ่อเติมอากาศส่วนใหญ่จะประกอบด้วยหน่วยบำบัดต่างๆ ดังนี้คือ บ่อเติมอากาศ, บ่อบ่มเพื่อปรับสภาพน้ำทิ้ง และบ่อเติมคลอรีนสำหรับฆ่าเชื้อโรค 1 บ่อ โดยอุปกรณ์ที่สำคัญของระบบบ่อเติมอากาศ ได้แก่ เครื่องเติมอากาศ ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ออกซิเจนแก่น้ำเสีย เครื่องเติมอากาศแบ่งออกได้ 4 แบบใหญ่ ๆ คือ เครื่องเติมอากาศที่ผิวหน้า (Surface Aerator), เครื่องเติมอากาศเทอร์ไบน์ (Turbine Aerator), เครื่องเติมอากาศใต้น้ำ (Submersible Aerator) และเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด (Jet Aerator)

2.2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland)

ระบบแบบบึงประดิษฐ์มี 2 ประเภทได้แก่ แบบ Free Water Surface Wetland (FWS) และแบบ Vegetated Submerged Bed System (VSB) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.3.1 ระบบบึงประดิษฐ์แบบ Free Water Surface Wetland (FWS) จะมีลักษณะเป็นบ่อดินที่มีพื้นดินบดอัดแน่นหรือปูพื้นด้วยแผ่นพลาสติก HDPE ซึ่งจะใช้บำบัดน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียร เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ใช้กระบวนการตามธรรมชาติ แสดงดังรูปที่ 2.7

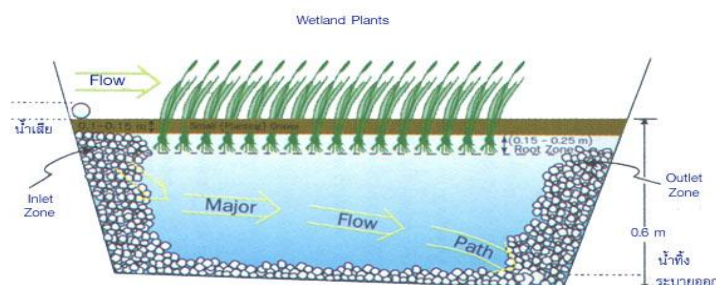


รูปที่ 2.7 ระบบบึงประดิษฐ์ แบบ Free Water Surface Wetland (FWS)

ที่มา: <https://sswm.info>

จากรูปที่ 2.7 ระบบบึงประดิษฐ์ แบบ Free Water Surface Wetland (FWS) จะมีลักษณะการปลูกพืชสูงโผล่พ้นน้ำและรากเกาะดินปลูกไว้เพื่อช่วยในการกรองและตกตะกอนของสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้ ทำให้กำจัดสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ได้บางส่วนเป็นการลดสารแขวนลอยและค่าบีโอดีได้ส่วนหนึ่ง

2.2.3.2 ระบบบึงประดิษฐ์แบบ Vegetated Submerged Bed System (VSB) เป็นระบบบึงที่แยกน้ำเสียออกมาเพื่อไม่ให้ถูกรบกวนจากแมลงหรือสัตว์และป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดโรคมาปนเปื้อนกับคนได้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นข้อที่ดีกว่าแบบ Free Water Surface Wetland โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้จะปลูกพืชดังรูปที่ 2.8 เพื่อใช้ในการถ่ายเทก๊าซออกซิเจนจากอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่ น้ำเสียซึ่งจะช่วยส่งเสริมให้เกิดก๊าซในระบบ เช่น ก๊าซมีเทน (Methane) จากการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic) สามารถระบายออกจากระบบได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้โดยการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืชตัวกลาง (Media) ช่วยในการกระจายของน้ำเสียที่เข้าระบบและช่วยรวบรวมน้ำทิ้งก่อนระบายออก สำหรับระบบน้ำทิ้งการใช้พืชจะสามารถให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนได้มากกว่าร้อยละ 80 และถ้าใช้ในระบบน้ำไหลผ่านตลอดเวลาจะได้มากกว่าร้อยละ 90 โดยพืชที่มีการนำไปใช้สำหรับระบบบำบัด คือ กกกลม, ฤๅษี และหญ้าแฝก เป็นต้น



รูปที่ 2.8 ระบบบึงประดิษฐ์แบบ Vegetated Submerged Bed System (VSB)

ที่มา: www.pcd.go.th

2.2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge Process)

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวในการย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งเป็นเทคนิควิธีการทางชีวภาพ สามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์มีการพัฒนาใช้งานหลายรูปแบบ เช่น ระบบแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix) กระบวนการปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Process) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) หรือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เป็นต้น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ถังตกตะกอน และถังเติมอากาศ น้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศซึ่งมีสลัดจ์อยู่เป็นจำนวนมากตามที่ยกแบบไว้ในถังเติมอากาศจะมีสภาพที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้เพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในที่สุด จากนั้นน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วส่งต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกสลัดจ์ออกจากน้ำใส การรักษาความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศให้ได้ตามที่กำหนดโดยจะทำการสูบลัดจ์ที่แยกตัวอยู่ที่ก้นถังตกตะกอนเข้าไปในถังเติมอากาศและสลัดจ์ส่วนเกินก็จะถูกกำจัดทิ้งไปจากนั้นน้ำใสส่วนบนจะสามารถระบายออกสู่ธรรมชาติได้ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบ่งออกเป็น 4 แบบ ได้แก่

2.2.4.1 ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge: CMAS) จะมีกระบวนการผสมสลัดจ์ในถังให้เป็นเนื้อเดียวกันและต้องมีถังสำหรับเติมอากาศที่สามารถกวนน้ำได้ดังรูปที่ 2.9 ระบบแบบนี้จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ จะได้รับอากาศที่มีความเหมาะสมเพื่อใช้สำหรับย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างทั่วถึง



รูปที่ 2.9 ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์

ที่มา: www.pcd.go.th

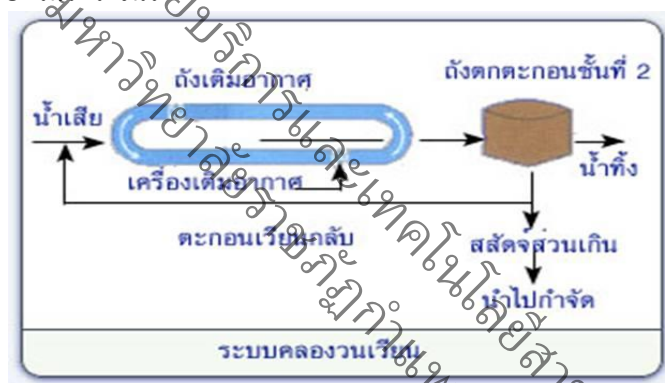
2.2.4.2 ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Activated Sludge; CSAS) ระบบแบบนี้จะแบ่งถังเติมอากาศออกเป็น 2 ถังอิสระจากกัน ได้แก่ ถังสัมผัสและถังย่อยสลายดังรูปที่ 2.10 ในถังสัมผัสตะกอนจะถูกส่งมาจากถังย่อยสลายเพื่อให้มาสัมผัสกับน้ำทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียและความเข้มข้นของสลัดจ์จะลดลงตามปริมาณน้ำเสียที่ผสมเข้ามาใหม่จากนั้นน้ำที่ถูกบำบัดจะทำให้ตกตะกอนเพื่อแยกเอาส่วนน้ำใสออกในถังตกตะกอนขั้นที่ 2 ซึ่งจะถูกระบายออกจากระบบส่วนตะกอนที่ก้นถังส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับไปเข้าถังย่อยสลายและอีกส่วนหนึ่งจะนำไปทิ้ง



รูปที่ 2.10 ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบปรับเสถียรสัมผัส

ที่มา:www.pcd.go.th

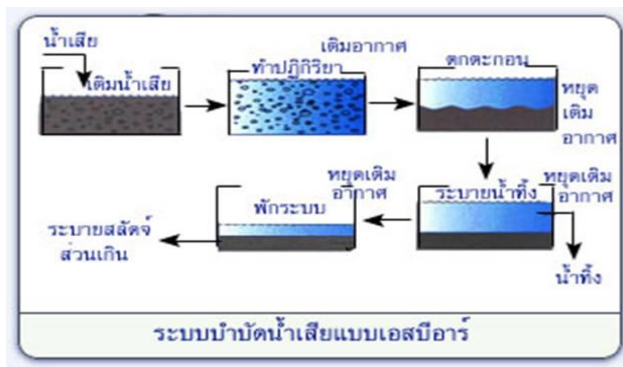
2.2.4.3 ระบบแบบคลองเวียนวน (Oxidation Ditch; OD) จะมีลักษณะรูปแบบของถังเติมอากาศเป็นวงรีหรือวงกลมเพื่อให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาวของถังเติมอากาศดังรูปที่ 2.11 และใช้เครื่องกลเติมอากาศตีน้ำในแนวนอนเพื่อวนน้ำโดยรูปแบบของถังเติมอากาศลักษณะนี้จะทำให้เกิดสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนละลายในน้ำทำให้ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยแบคทีเรียจำพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรียจะสามารถบำบัดไนโตรเจนได้



รูปที่ 2.11 ระบบแบบคลองเวียนวน

ที่มา: www.pcd.go.th

2.2.4.4 ระบบแบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียชนิดหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Irvine และ Davis ในปี 1971 จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมเข้าและถ่ายออก (fill and draw system) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาที่มีประสิทธิภาพสูง มีขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแตกต่างจากระบบตกตะกอนเร่งแบบอื่น ๆ คือ การเติมอากาศ (Aeration) และการตกตะกอน (Sedimentation) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์จะมี 5 ช่วงดังนี้คือ ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) นำน้ำเสียเข้าระบบ, ช่วงทำปฏิกิริยา (React) เป็นการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (BOD), ช่วงตกตะกอน (Settle) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกลงก้นถังถึงปฏิกิริยา, ช่วงระบายน้ำทิ้ง (Draw) เป็นการระบายน้ำที่ผ่านการบำบัด, ช่วงพักระบบ (Idle) ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอสปีอาร์

ที่มา: www.pcd.go.th

2.2.5 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch ; OD)

เป็นระบบที่ใช้แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียและเพื่อเพิ่มจำนวนการเจริญเติบโตจากนั้นจะถูกแยกออกด้วยวิธีการตกตะกอนจนได้น้ำใสซึ่งมีคุณภาพน้ำดีขึ้น สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ระบบคลองวนเวียนจะมีลักษณะแตกต่างจากระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบอื่น คือ ถังเติมอากาศจะมีลักษณะเป็นวงกลมหรือวงรี ทำให้ระบบคลองวนเวียนใช้พื้นที่มากกว่าระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบอื่น โดยรูปแบบของถังเติมอากาศแบบวงกลมหรือวงรี ทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว (Plug Flow) ของถังเติมอากาศ และการกวนจะใช้เครื่องกลเติมอากาศ ซึ่งตีน้ำในแนวนอน (Horizontal Surface Aerator) จากลักษณะการไหลแบบตามแนวยาวทำให้สภาวะในถังเติมอากาศแตกต่างไปจากระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge) โดยค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ ในถังเติมอากาศจะลดลงเรื่อย ๆ ตามความยาวของถัง จนกระทั่งมีค่าเป็นศูนย์ เรียกว่าเขตแอน็อกซิก (Anoxic Zone) ซึ่งจะมีระยะเวลาไม่ชั่งนี้ไม่เกิน 10 นาที การที่ถังเติมอากาศมีสภาวะเช่นนี้ทำให้เกิดไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ขึ้นในถังเดียวกัน ทำให้ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ดีขึ้นด้วยระบบคลองวนเวียนส่วนใหญ่จะประกอบด้วยหน่วยบำบัด ดังนี้คือ รางดักกรวดทราย (Grit Chamber), บ่อปรับสภาพการไหล (Equalizing Tank), บ่อเติมอากาศแบบคลองวนเวียน, ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank), บ่อสูบตะกอนหมุน ระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียนแสดงดังรูปที่ 2.13

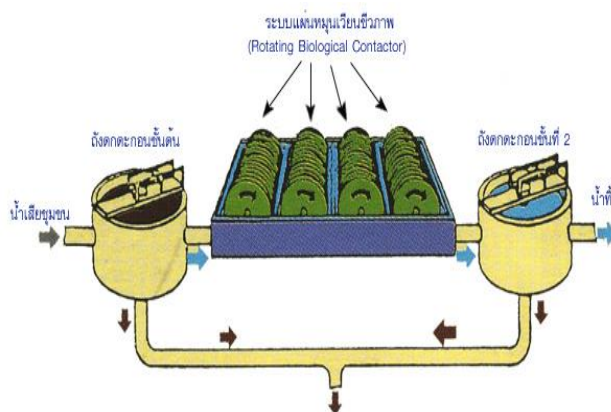


รูปที่ 2.13 รูปแสดงผังระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน

ที่มา: www.pcd.go.th

2.2.6 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor; RBC)

ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางลักษณะทรงกระบอกซึ่งวางจุ่มอยู่ในถังบำบัด ตัวกลางทรงกระบอกนี้จะหมุนอย่างช้า ๆ เมื่อหมุนขึ้นพื้นน้ำและสัมผัสอากาศ จุลินทรีย์ที่อาศัยติดอยู่กับตัวกลางจะใช้ออกซิเจนจากอากาศย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่สัมผัสติดตัวกลางขึ้นมา และเมื่อหมุนจมลงก็จะนำน้ำเสียขึ้นมาบำบัดใหม่สลับกันเช่นนี้ตลอดเวลาการทำงานของระบบในการบำบัดน้ำเสียจะอาศัยจุลินทรีย์แบบใช้อากาศจำนวนมากที่ยึดเกาะติดบนแผ่นจานหมุนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยการหมุนแผ่นจานผ่านน้ำเสียซึ่งเมื่อแผ่นจานหมุนขึ้นมาสัมผัสกับอากาศก็จะพาเอาฟิล์มน้ำเสียขึ้นสู่อากาศด้วย ทำให้จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนจากอากาศ เพื่อใช้ในการย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์เหล่านั้นให้เป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเซลล์จุลินทรีย์ ต่อจากนั้นแผ่นจานจะหมุนลงไปสัมผัสกับน้ำเสียในถังปฏิบัติการอีกครั้ง ทำให้ออกซิเจนส่วนที่เหลือผสมกับน้ำเสีย ซึ่งเป็นการเติมออกซิเจนให้กับน้ำเสียอีกส่วนหนึ่งสลับกันเช่นนี้ตลอดไปเป็นวัฏจักร แต่เมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์ยึดเกาะแผ่นจานหมุนหนามากขึ้นจะทำให้มีตะกอนจุลินทรีย์บางส่วน หลุดลอกจากแผ่นจานเนื่องจากแรงเฉือนของการหมุน ซึ่งจะรักษาความหนาของแผ่นฟิล์มให้ค่อนข้างคงที่โดยอัตโนมัติ ทั้งนี้ตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยที่ไหลออกจากถังปฏิบัติการนี้ จะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์และน้ำทิ้ง ทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบนี้มีคุณภาพดีขึ้นระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพเป็นระบบบำบัดน้ำเสียอีกรูปแบบหนึ่งของระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) ซึ่งองค์ประกอบหลักของระบบประกอบด้วย 1) ถังตกตะกอนขั้นต้น (Primary Sedimentation Tank) ทำหน้าที่ในการแยกของแข็งที่มากับน้ำเสีย 2) ถังปฏิบัติการทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียและ 3) ถังตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Sedimentation Tank) ทำหน้าที่ในการแยกตะกอนจุลินทรีย์และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยในส่วนของถังปฏิบัติการประกอบด้วย แผ่นจานพลาสติกจำนวนมากที่ทำจาก polyethylene (PE) หรือ high density polyethylene (HDPE) วางเรียงขนานซ้อนกัน โดยติดตั้งฉากกับเพลานวนตรงจุดศูนย์กลางแผ่น ซึ่งจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจะยึดเกาะติดบนแผ่นจานนี้เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ หนาประมาณ 1-4 มิลลิเมตรหรือที่เรียกระบบนี้อีกอย่างว่าเป็นระบบ fixed film ทั้งนี้ชุดแผ่นจานหมุนทั้งหมดวางติดตั้งในถังคอนกรีตเสริมเหล็ก ระดับของเพลางจะอยู่เหนือผิวน้ำเล็กน้อย ทำให้พื้นที่ผิวของแผ่นจานจมอยู่ในน้ำประมาณร้อยละ 35 - 40 ของพื้นที่แผ่นทั้งหมด และในการหมุนของแผ่นจานหมุนชีวภาพอาศัยชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนเพลาลงและเฟืองทดรอบ เพื่อหมุนแผ่นจานในอัตราประมาณ 1 - 3 รอบต่อนาที ระบบแผ่นหมุนชีวภาพจะประกอบด้วยหน่วยบำบัดดังนี้คือ บ่อปรับสภาพการไหล (Equalizing Tank), ถังตกตะกอนขั้นต้น (Primary Sedimentation Tank), ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ, ถังตกตะกอนขั้นที่ 2 (Secondary Sedimentation Tank) และบ่อเติมคลอรีนดังรูปที่ 2.14

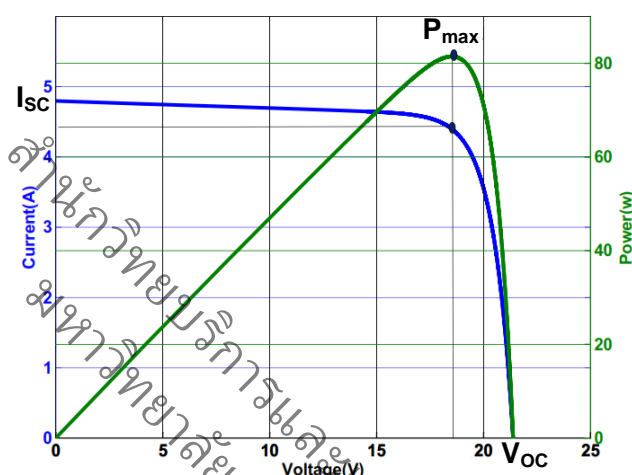


รูปที่ 2.14 ลักษณะทั่วไปของระบบแผ่นหมุนชีวภาพ

ที่มา: www.pcd.go.th

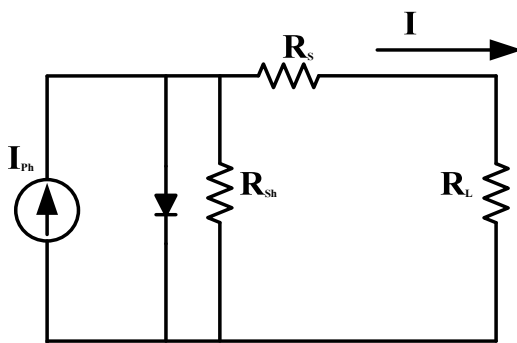
2.3 การติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดพลังงานแสงอาทิตย์

คุณลักษณะกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จะพบว่า เซลล์จะจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมามากที่สุดเมื่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) ส่วนค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะมีค่าเป็นศูนย์และเซลล์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อเซลล์ถูกเปิดวงจร (V_{oc}) ซึ่งทำให้กระแสเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าจะมีจุดจุดหนึ่งที่ค่าผลคูณของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงสุด ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งจุดนี้จะเรียกว่าจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้สูงสุด



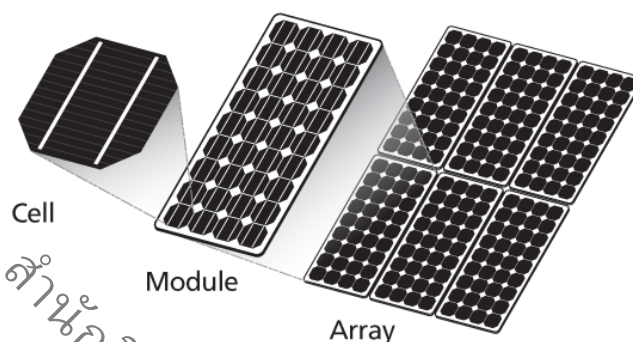
รูปที่ 2.15 กราฟคุณลักษณะจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ จะพิจารณาจากวงจรสมมูล(Equivalent Circuit) ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจำลองได้เป็นลักษณะต่างๆ โดยมีกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากแสง (I_{ph}), ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ (R_s), ความต้านทานขนาน (R_{sh}), และรอยต่อพี-เอ็นของไดโอด กระแส I_{ph} ที่เกิดเนื่องจากแสงนี้จะถูกแบ่งไหลผ่านไดโอด และ R_{sh} แล้วจึงไหลมายังโหลด (R_L) และกระแสที่ไหลผ่าน R_s และ R_L ให้มีค่าเป็น I_o



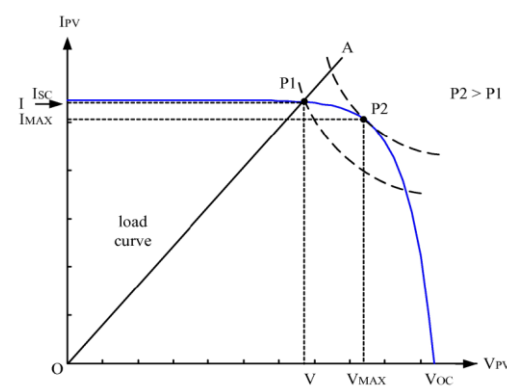
รูปที่ 2.16 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีแรงดันขณะเปิดวงจรประมาณ 0.6-0.7 โวลต์ และกระแสลัดวงจร 20 – 40 มิลลิแอมป์ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการเมื่อใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นสำหรับใช้งาน ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มากขึ้นนั้นก็ทำได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่ออนุกรมกันและถ้าต้องการเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าเพื่อจ่ายโหลดมากขึ้นก็ทำได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อขนานกัน โดยวิธีการนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อรวมกันให้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะเรียกว่าพีวีโมดูลดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 รูปแบบของเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมดูล
ที่มา: www.samlexsolar.com

คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและปริมาณแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ ผลของความเข้มแสงจะแปรผันตรงต่อปริมาณกระแสมากกว่าแรงดันและส่งผลกระทบต่อกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความร้อนก็มีผลต่อกระแสและแรงดันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เช่นเดียวกันเพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องใช้วิธีการติดตามกำลังงานสูงสุดโดยจะมีการพิจารณากราฟคุณลักษณะของโหลดที่ต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์ (Load line) จะต้องเหมาะสมกับเส้นกราฟระหว่างแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.18 พบว่าจากเส้นกราฟคุณลักษณะของโหลดที่แสดงด้วยเส้น OA เซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายกำลังเป็น P1 ซึ่งมีค่าน้อยกว่ากำลังที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้สูงสุดคือ P2



รูปที่ 2.18 ผลของโหลดต่อเซลล์แสงอาทิตย์

2.4 เมตาฮีริสติก

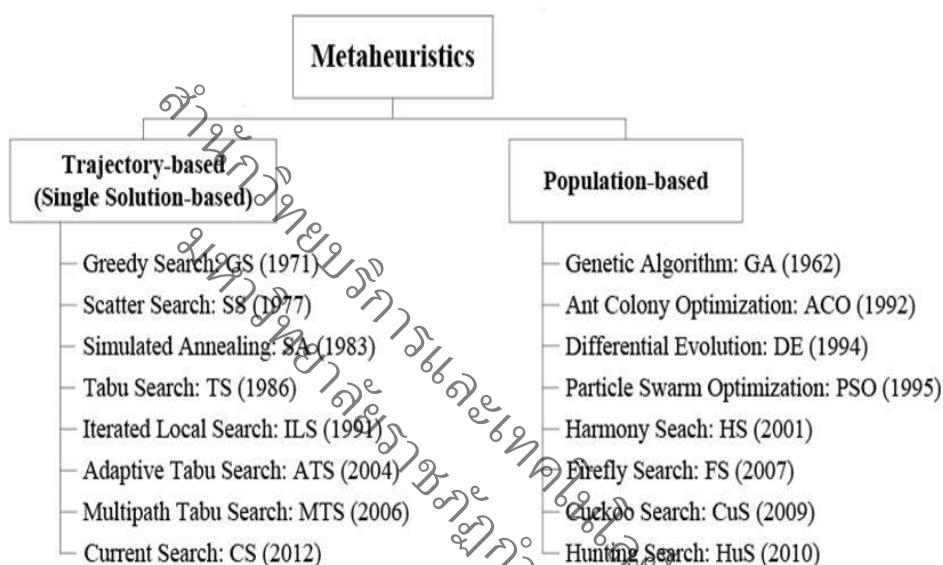
ระเบียบวิธีหรือเทคนิคสำหรับแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด (optimization problem) สามารถแบ่งได้หลายประเภท พิจารณาได้จากลักษณะของอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งจะมีความเหมาะสมกับ

ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปสามารถจำแนกประเภทของอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดออกเป็นสองประเภท คือ อัลกอริทึมการหาค่าเหมาะที่สุดแบบแผนเดิม (classical optimization algorithm) และอัลกอริทึมการหาค่าเหมาะที่สุดแบบใหม่ (modern optimization algorithm) อัลกอริทึมการหาค่าเหมาะที่สุดแบบแผนเดิมส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นอัลกอริทึมเชิงกำหนด (deterministic algorithm) ซึ่งจะมีขั้นตอนวิธีการคำนวณให้ค่าแน่นอน ด้วยขั้นตอนวิธีดังกล่าวจะทำให้วิธีการค้นหาค่าเหมาะที่สุด ค่าของตัวแปรตัดสินใจ และค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ มีความซ้ำเดิมทุกครั้งที่ดำเนินการคำนวณ ในขณะที่อัลกอริทึมการหาค่าเหมาะที่สุดแบบใหม่ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นอัลกอริทึมแบบสุ่ม (stochastic algorithm) ซึ่งจะมีขั้นตอนวิธีที่พึ่งพาการสุ่ม (random) ดังนั้นการคำนวณในแต่ละครั้งจะทำให้วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดของตัวแปรตัดสินใจ และค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีความไม่ซ้ำเดิม อย่างไรก็ตามผลเฉลยสุดท้ายที่ได้จากอัลกอริทึมแบบสุ่มจะไม่แตกต่างกันมากนัก

อัลกอริทึมการหาค่าเหมาะที่สุดแบบใหม่ซึ่งเป็นอัลกอริทึมแบบสุ่มอาจแบ่งได้เป็นสองประเภท คือ ศึกษาสำนึก (heuristics) และอภิศึกษาสำนึก (metaheuristics) คำว่า “ศึกษาสำนึก” ตรงกับคำในภาษาอังกฤษว่า “heuristic” มีรากศัพท์มาจากคำในภาษากรีกโบราณว่า “heuriskein” หมายถึง การค้นพบระเบียบวิธีหรือกลยุทธ์ใหม่จากการทดลองเมื่อผิดก็ทดลองใหม่ (trial and error) ผสมผสานกับประสบการณ์เดิมที่มีอยู่ก่อนแล้วสำหรับถารแก้ปัญหา ส่วนคำอุปสรรค (prefix) หรือคำเติมหน้า “อภิศึกษา” ตรงกับคำในภาษาอังกฤษว่า “meta” ซึ่งเป็นคำในภาษากรีกโบราณเช่นเดียวกันมีความหมายว่าระเบียบวิธีขั้นสูง ดังนั้น “อภิศึกษาสำนึก” หรือ “metaheuristic” จึงหมายถึงระเบียบวิธีหรือกลยุทธ์ขั้นสูงที่พัฒนาขึ้นมาจากประสบการณ์เดิมผนวกเข้ากับการทดลองเมื่อผิดก็ทดลองใหม่สำหรับการค้นหาค่าเหมาะที่สุดของปัญหาต่างๆ ผู้ที่นำเสนอคำว่า “metaheuristics” เพื่อใช้ในบริบทของการหาค่าเหมาะที่สุดแบบใหม่เป็นครั้งแรกคือ โกลเวอร์ (Glover) โดยทั่วไป ศึกษาสำนึกและอภิศึกษาสำนึก จะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย กล่าวคือ ในระยะเริ่มต้นของการพัฒนาอัลกอริทึมจะใช้คำว่า “ศึกษาสำนึก” สำหรับอัลกอริทึมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะ แต่เมื่ออัลกอริทึมดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้แก้ปัญหาต่างๆ ที่มีความหลากหลายและพบว่าสามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงใช้คำว่า “อภิศึกษาสำนึก” แทนอัลกอริทึมนั้น

อภิศึกษาสำนึก (metaheuristics) คือกลยุทธ์ของการค้นหาคำตอบหรือผลเฉลยที่ยอมรับได้โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของวิธีทดลองเมื่อผิดก็ทดลองใหม่ สำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนมากในระยะเวลาการค้นหามีจำกัด ความซับซ้อนของปัญหาทำให้ไม่สามารถค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดภายในระยะเวลาที่กำหนด และเป็นคำตอบที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยไม่รับประกันว่าคำตอบที่พบนั้นเป็นคำตอบที่ดีที่สุด อีกทั้งไม่ทราบว่าจะใช้อัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะให้ผลออกมาดีพอหรืออัลกอริทึมที่ใช้ไม่สามารถค้นหาคำตอบที่ดีได้ กลยุทธ์การค้นหาค่าเหมาะที่สุดเชิงอภิศึกษาสำนึก (metaheuristics optimization search) เป็นการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยอาศัยวิธีการหาผลเฉลยแบบการประมาณสามารถแบ่งได้เป็นแบบอิงประชากร (population-based) และแบบอิงผลเฉลยเดียว (single solution-based) หรือแบบอิงวิถี (trajectory based) มีความรวดเร็วในการประมวลผลแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงๆ ตัวอย่างเช่น ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (traveling salesman problem) ปัญหาการวางแผนการผลิต (product planning) สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดจากการค้นหาแบบตาบู่ (Tabu search หรือ TS) ที่ใช้หลักการค้นหาแบบป้อนเข้าในการค้นหาค่าเหมาะที่สุด การอบอ่อนจำลอง (simulated annealing หรือ SA) ที่ใช้หลักการให้ความร้อนกับโลหะจนถึงในระดับหนึ่งจากนั้นจะปล่อยให้โลหะเย็นตัวลงตามธรรมชาติ จินเนติกอัลกอริทึม (GA) ที่อาศัยหลักการกลายพันธุ์และการแลกเปลี่ยนข้ามยีนส์ (crossover) เพื่อให้กำเนิดลูกหลานในแต่ละรุ่นของสายพันธุ์ การหาค่าเหมาะที่สุดแบบอาณานิคมมด (ant colony optimization หรือ ACO) ที่ใช้หลักการค้นหาเหยื่อ

ของฝูงมดที่พึ่งพาการเคลื่อนที่แบบสังคมรวมกลุ่มผ่านการสื่อสารโดยอาศัยฟีโรโมน (pheromone) การหาค่าเหมาะที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO) ที่ตั้งอยู่บนการเคลื่อนที่ของอนุภาคตามเวกเตอร์ที่เหมาะสม ผู้ออกแบบอัลกอริทึมมักได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติและพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตโดยมีความเชื่อว่าธรรมชาตินั้นมีวิวัฒนาการต่อเนืองยาวนานวิธีทดลองทำเมื่อผิดก็ทดลองใหม่จนกระทั่งได้ผลลัพธ์ที่ดี ในปัจจุบันผู้คิดค้นอัลกอริทึมการค้นหาค่าเหมาะที่สุดเชิงอภิศึกษาสำนึกมีเป้าหมายที่ต้องการจะให้การค้นหา มีความสามารถในคุณสมบัติหลักคือ คุณสมบัติเชิงเสาะแสวงหรือคุณสมบัติความเข้มข้นสำหรับการค้นหาเฉพาะที่ และคุณสมบัติเชิงสำรวจหรือคุณสมบัติความหลากหลายสำหรับการค้นหาวางกว้างที่โดดเด่น เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมด้านต่างๆ ปัจจุบันสามารถแสดงกลุ่มของการค้นหาค่าเหมาะที่สุดเชิงอภิศึกษาสำนึกได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การแบ่งกลุ่มของการค้นหาค่าเหมาะที่สุดเชิงอภิศึกษาสำนึก

2.4.1 การค้นหาแบบตาบอด

การค้นหาแบบตาบอดหรือ tabu search (TS) เป็นขั้นตอนวิธีการคิดที่ใช้หลักการค้นหาแบบป้อนเข้าในการค้นหาค่าเหมาะที่สุดได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในระบบที่เรียกว่าปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงผสมผสานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (R. Chelouah, 2000) TS สามารถหลีกเลี่ยงคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่น (local optimum) เพื่อค้นหาคำตอบต่อไปจนกระทั่งพบคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวงกว้าง (near global optimum) TS สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับหลายๆระบบได้นี้อาจมาจากหลักการและกลไกการทำงานของอัลกอริทึมที่ไม่ซับซ้อนดังรูปที่ 2.20 ซึ่งสะดวกในการใช้งานมากกว่าวิธีอื่นๆ เช่น จีแนติกอัลกอริทึม (genetic algorithm), วิธีการอบอ่อนจำลอง (simulated annealing), เครือข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) เป็นต้น จึงเป็นที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายและกลายเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดในงานหลายๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านวิทยาศาสตร์ประยุกต์ทางธุรกิจหรือทางวิศวกรรม

```

The TS Algorithm
Input: Instance  $G=(I, J, \text{travelling times, Costs, ...})$ 
Output: the best solution found ( $s^*$ ), Objective function value
Begin
 $s_0 := \text{InitSol}(G)$ 
 $s := s_0$ 
 $\text{MaxIteration} = 10 \cdot |I| \cdot \text{SerNum}$ ;  $\text{SelNbrCnt} = (|I| \cdot \text{SerNum}) / 3$ 
 $\text{MaxUI} = \text{MaxIteration} / 5$ 
 $l := 0$ 
While  $l < \text{MaxIteration}$  OR Unimproved trials' number not equals to  $\text{MaxUI}$  DO
  For  $j = 1$  to  $\text{SelNbrCnt}$ 
    Choose randomly one of the neighbourhood structures (1-Add, 2-Drop, 3-Interchange)
    Randomly choose  $s_j \in N(s)$ 
     $s_j \rightarrow \text{SelNbrSet}$ 
  Next for
     $\text{SrtNbrSet} := \text{SortDes}(\text{SelNbrSet}, f(\cdot))$ 
     $k := 1$ 
  SelectLabel:
     $s' := \text{SrtNbrSet}(k)$ 
    If  $s' \text{ IsNot Tabu OR } (s' \text{ Is Tabu AND } f(s') > f(s^*))$ 
       $s := s'$ 
    Else
       $k := k + 1$ 
      GOTO SelectLabel
    Endif
     $l := l + 1$ 
    Introduce the attribute of  $s$  in the Tabu list for  $l$  iterations
    If  $f(s) > f(s^*)$ 
       $s^* := s$ 
  Loop
End

```

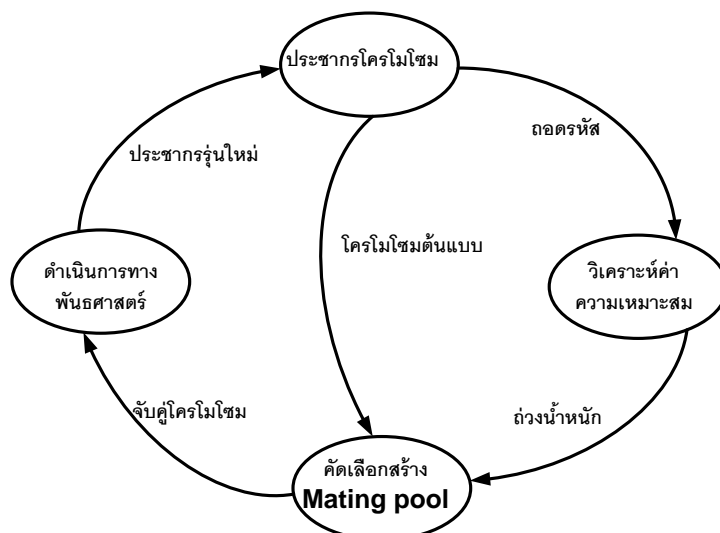
รูปที่ 2.20 อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู

2.4.2 เจเนติกส์อัลกอริทึม

เจเนติกส์อัลกอริทึมเป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยมีแนวทางมาจากกระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติ และกระบวนการคัดเลือกทางพันธุศาสตร์โดยการคัดเลือกสตริง (String) ที่มีความเหมาะสมของกลุ่มสตริงทั้งหมดด้วยวิธีการสุ่ม เมื่อนำสตริงเหล่านี้ไปผ่านกระบวนการคัดเลือกสตริงที่มีความเหมาะสมก็จะได้คำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด วิธีการสุ่มของเจเนติกส์อัลกอริทึมจะใช้ข้อมูลในรูปแบบดีเอ็นเอเพื่อนำมาพิจารณาจุดที่ต้องการค้นหาใหม่โดยคาดหวังว่าสมรรถนะของการค้นพบคำตอบจะดีขึ้น เจเนติกส์อัลกอริทึมได้พัฒนาขึ้นมา โดยมีเป้าหมาย 2 อย่างคือ เพื่อสรุปและตัดแปลงการใช้กระบวนการทางธรรมชาติให้ถูกต้องมากที่สุดและเพื่อออกแบบและสร้างซอฟต์แวร์ที่รักษากลไกที่สำคัญของธรรมชาติ ซึ่งเจเนติกส์อัลกอริทึมจะแตกต่างกับวิธีการค้นหาและการทำออปติไมเซชันแบบอื่นๆ คือ ทำงานโดยเข้ารหัสสตริงเป็นชุดพารามิเตอร์, ค้นหาจากประชากรไม่ใช่การค้นหาจากเพียงตำแหน่งๆเดียว, ใช้ข่าวสารที่เป็นผลลัพธ์ (ฟังก์ชันเป้าหมาย) โดยไม่ใช้การอนุพันธ์หรือความรู้อื่นๆ, เป็นวิธี probabilistic ไม่ใช่ Deterministic เป็นต้น การทำงานของเจเนติกส์อัลกอริทึมมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- สร้างประชากรต้นกำเนิดจากการสุ่มสร้างค่าแต่ละบิตของแต่ละโครโมโซม
- วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมโดยถอดรหัสค่าตัวแปรพารามิเตอร์ต่างๆของแต่ละบิตในโครโมโซมและคำนวณค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันความเหมาะสมที่กำหนดไว้
- สร้างชุดโครโมโซมต้นแบบหรือชุดโครโมโซมพ่อแม่ที่สามารถอยู่รอดเป็นต้นแบบโดยใช้วิธีการคัดเลือกทางธรรมชาติที่พิจารณาจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม ถ้าโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบมาก
- สุ่มจับคู่โครโมโซมต้นแบบเพื่อสร้างประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งกระบวนการทำงานดังกล่าวแสดง

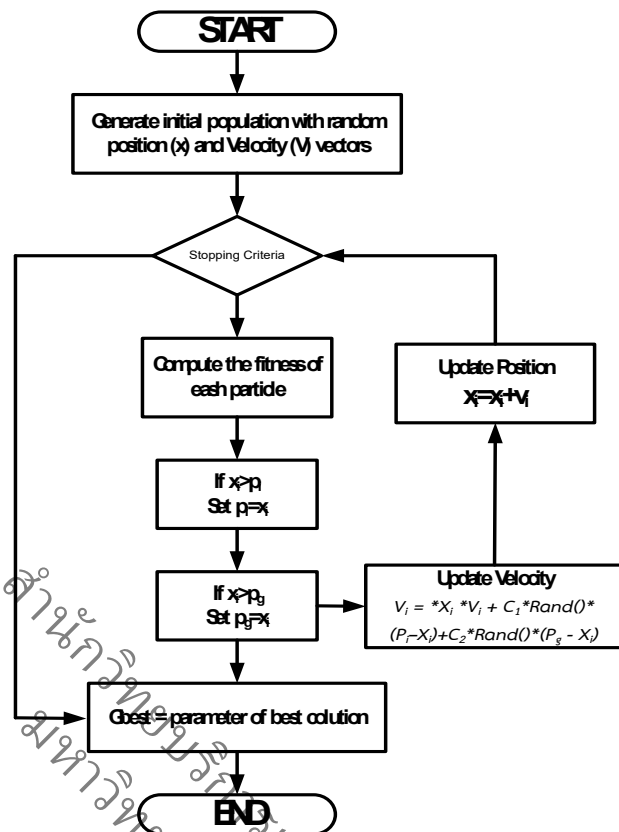
ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 วัฏจักรของเจเนติกอัลกอริทึม

2.4.3 พาร์ติเคิลสวอร์มออปติไมเซชัน

พาร์ติเคิลสวอร์มออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimization: PSO) เป็นแขนงหนึ่งของการเลียนแบบการดำรงชีวิต (Artificial life) ที่อยู่รวมกันเป็นฝูงที่เป็นการทำงานแบบอิงประชากร (Population based) ร่วมกับเทคนิคการหาค่าตอบแบบสุ่ม (Stochastic Optimization Technique) โดยอัลกอริทึม PSO ถูกดัดแปลงมาจากพฤติกรรมการบินเป็นกลุ่มของฝูงนกหรือฝูงปลา (J. Kennedy , 1995) ซึ่งสามารถปรับตัวได้ด้วยตนเอง การทำงานของ PSO จะประกอบด้วยตัวดำเนินการความเร็ว (Velocity) และตำแหน่ง (Position) ระหว่างที่ทุกการค้นหาค่าจะเคลื่อนเข้าสู่ตำแหน่งที่ดีที่สุดก่อนหน้านี้ (Previous Best Position) และตำแหน่งที่ดีที่สุด (Global Best Position) เป็นวิวัฒนาการการคำนวณบนพื้นฐานของความฉลาดแบบกลุ่ม (Swarm Intelligence) ซึ่งแนวคิดพื้นฐานของ PSO นั้นเลียนแบบ พฤติกรรมของฝูงนกในการค้นหาอาหาร นกจะทำการหาตำแหน่งที่ดีที่สุดโดยตัวของมันเองฝูงนกจะบินวนซ้ำ ดังนั้นจะได้คำตอบที่เร็วแต่อาจจะมีข้อผิดพลาดได้ในกรณีที่คำตอบที่ได้เป็นเพียงจุดที่ดีที่สุดภายในพื้นที่นั้นๆ (Local Point) ซึ่งไม่ใช่จุดที่ดีที่สุดของคำตอบทั้งหมด การควบคุมค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ไม่สามารถทำได้โดยง่ายและค่าความเร็วใหม่ (New Velocity) ในการวนซ้ำในแต่ละครั้งของอนุภาค จะถูกคำนวณจากพื้นฐานของค่าความเร็วปัจจุบัน (Current Velocity) โดยการวัดระยะห่างระหว่างอนุภาคกับตำแหน่งที่ดีที่สุดก่อนหน้านี้ (Previous Best Position) และระยะห่างระหว่างอนุภาคกับตำแหน่งที่ดีที่สุด (Global Best Position) โดยค่าความเร็วใหม่จะถูกใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งใหม่ของอนุภาคในพื้นที่ในการค้นหา (Search Space) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะถูกทำซ้ำไปเรื่อยๆ หลายครั้งจนกว่าจะตรงกับเงื่อนไขการหยุด ขั้นตอนการทำงานของ PSO มีดังต่อไปนี้

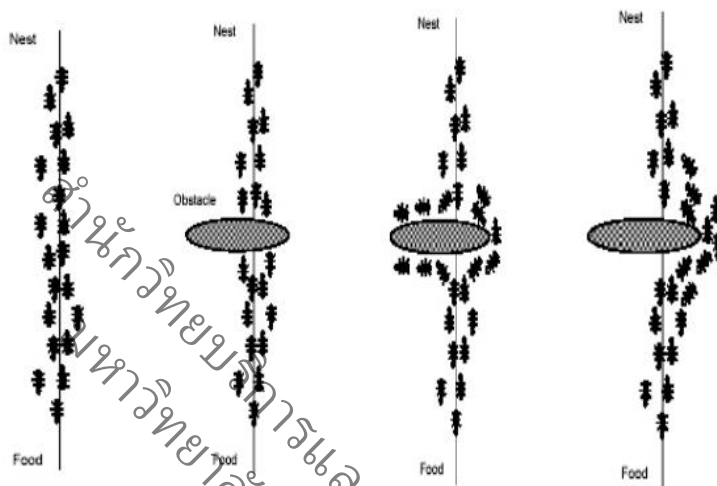


รูปที่ 2.22 ขั้นตอนการทำงานของ PSO

- ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าเริ่มต้นให้แก่แต่ละอนุภาค (Particle) ด้วยการสุ่มค่า จำนวน S อนุภาคและกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ ได้แก่ ค่าของตำแหน่ง (Position) ค่าของอัตราเร็ว (Velocity) ค่าคงที่ C_1 , C_2 และค่าถ่วงน้ำหนัก (Inertia Weight) โดยในที่นี้กำหนดให้ Position ปัจจุบัน $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{is})$ Best Position $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, p_{i3}, \dots, p_{is})$ Velocity $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, \dots, v_{is})$
 - ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าความเหมาะสมของแต่ละอนุภาคด้วยสมการฟังก์ชันเป้าหมาย (Fitness Function)
 - ขั้นตอนที่ 3 เปรียบเทียบแต่ละอนุภาคในรอบเดียวกันแล้วเลือกตัวที่ดีที่สุดเก็บไว้ เรียกวิธีการนี้ว่าคัดสรรเฉพาะพื้นที่
 - ขั้นตอนที่ 4 ปรับปรุงค่าตำแหน่ง (Update Position) โดยนำตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุด ของอนุภาค ในรอบเดียวกัน ไปเปรียบเทียบกับคำตอบในรอบอื่นๆ เพื่อหาคำตอบที่เป็น P_g (Best So Far)
 - ขั้นตอนที่ 5 ปรับปรุงค่าอัตราความเร็ว (Update Velocity) โดยคำนวณหาค่า Velocity จากสมการ (3) และนำ Velocity ที่ได้ไปปรับค่า Position ด้วยสมการ (4)
- $$V_i = \omega * X_i * V_i + C_1 * Rand() * (P_i - X_i) + C_2 * Rand() * (P_g - X_i) \tag{3}$$
- $$X_i = X_i + V_i \tag{4}$$
- ขั้นตอนที่ 6 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1-5 จนพบเงื่อนไขการหยุดคำตอบที่ดีที่สุดของการค้นหาจะจัดเก็บไว้ที่ P_g

2.4.4 วิธีอาณานิคมมด

วิธีอณานิคมมดเป็นการเลียนแบบพฤติกรรมของมดในการหาอาหารโดยค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังกับแหล่งอาหาร (M. Dorigo, 2004) โดยมดจะปล่อยฟีโรโมนบนทางเดินเพื่อสื่อสารกับมดตัวอื่นๆ ในฝูงให้เดินตามกันมา วิธีการในการหาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังกับแหล่งอาหารของมดนั้นเริ่มแรกมดจะทำการสุ่มเลือกเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งโดยในแต่ละเส้นทางฝูงมดจะเดินเป็นจำนวนที่เท่ากันและเดินทางด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน ฟีโรโมนของมดจะมีคุณสมบัติที่สามารถระเหยไปได้เมื่อระยะเวลาผ่านไปดังนั้นเมื่อมดหาเส้นทางในการเดินทางที่สั้นกว่าก็จะใช้เวลาเวลาน้อยกว่ามดที่เดินทางไกลกว่า ฟีโรโมนของมดจึงมีความเข้มข้นมากกว่ามดก็จะเลือกเส้นทางนั้นเพื่อไปยังแหล่งอาหารดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การเดินทางของมดเพื่อไปยังแหล่งอาหาร

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุชนม์ แก้วมาตย์ (2555) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้าด้วยกระบวนการเฟ้นต้นแบบฉายแสงโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟ้นต้น โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมผ้า ซึ่งมีค่าซีไอดี อยู่ในช่วง 1,997 – 2,195 มก./ล. ทดลองเป็นเวลา 2 ชั่วโมงภายใต้สภาวะแสงที่ต่างกัน 3 ช่วงเวลา คือ 09.00 – 11.00 น., 12.00 – 14.00 น., และ 15.00 – 17.00 น. ในถึงปฏิกรณ์ 2 ชนิดคือ ท่อพีวีซี และ ท่อแก้ว ระดับความลึกของน้ำเสีย 2, 4 และ 6 นิ้ว และควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส บำบัดน้ำเสียโดยการเติมสาร 30% H_2O_2 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร และสาร $FeSO_4$ 1.08 โมล ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร แล้วเก็บข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์, อุณหภูมิของน้ำเสีย ระหว่างการบำบัดน้ำเสีย และค่าซีไอดีก่อนและหลังจากการบำบัดที่เวลา 2 ชั่วโมง

สุภัทระ สุวรรณไตร (2554) ได้ศึกษาการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการเพิ่มค่าความนำสำหรับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ชนิดเต็มบริดจ์ที่มีการทำงานแบบเหลื่อมเฟสของสวิตช์ วงจรแปลงผันแรงดันไฟตรง-ไฟตรง ชนิดเต็มบริดจ์ที่มีหม้อแปลงความถี่สูง ทำหน้าที่แยกโดดทางไฟฟ้าระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และด้านแรงดันเอาต์พุตเพื่อความปลอดภัยของระบบซึ่งมีการทำงานแบบเหลื่อมเฟสของสวิตช์ ในวงจรแปลงผันแรงดันไฟตรง-ไฟตรง ชนิดเต็มบริดจ์ โดยจะเกิดขึ้นระหว่างกิ่งแรกทางด้านอินพุตและด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ซึ่งในการควบคุมแบบเหลื่อมเฟสของสวิตช์นั้นจะทำให้เกิดสภาวะแรงดันศูนย์

ที่สวิตช์ในขณะที่สวิตช์ทำงาน ควบคุมระบบสามารถติดตามหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการเพิ่มความนำของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้สามารถจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ในสภาพการเปลี่ยนแปลงของแสงและอุณหภูมิ โดยจะนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการรบกวนและการสังเกต ซึ่งวิธีที่นำเสนอจะสามารถหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รวดเร็วและแม่นยำในสภาวะการเปลี่ยนแปลงไปพร้อมกันได้แนวทางการวิเคราะห์ที่ยืนยันด้วยผลการจำลองด้วยโปรแกรมและใช้งานจริงในทางปฏิบัติ

วิชญ จิตวิริยะ.(2554).ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้การควบคุมการติดตามค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการเพิ่มความนำกับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบทบแรงดันร่วมกลับทิศทางเพื่อให้ได้มาซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีในการติดตามหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดร่วมกับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็น วิเคราะห์ถึงการทำงานร่วมกันของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กับวงจรแปลงผันตรง-ไฟตรงแบบทบแรงดันไฟฟ้าร่วมกลับทิศทางที่มีการนำองค์ประกอบแผงร่วมพิจารณาด้วย โดยมีการควบคุมการทำงานให้สามารถติดตามหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการเพิ่มความนำ แบบปรับเปลี่ยนระดับค่าได้เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้ตลอดเวลา ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานของระบบด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบระบบต้นแบบเพื่อแสดงให้เห็นว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

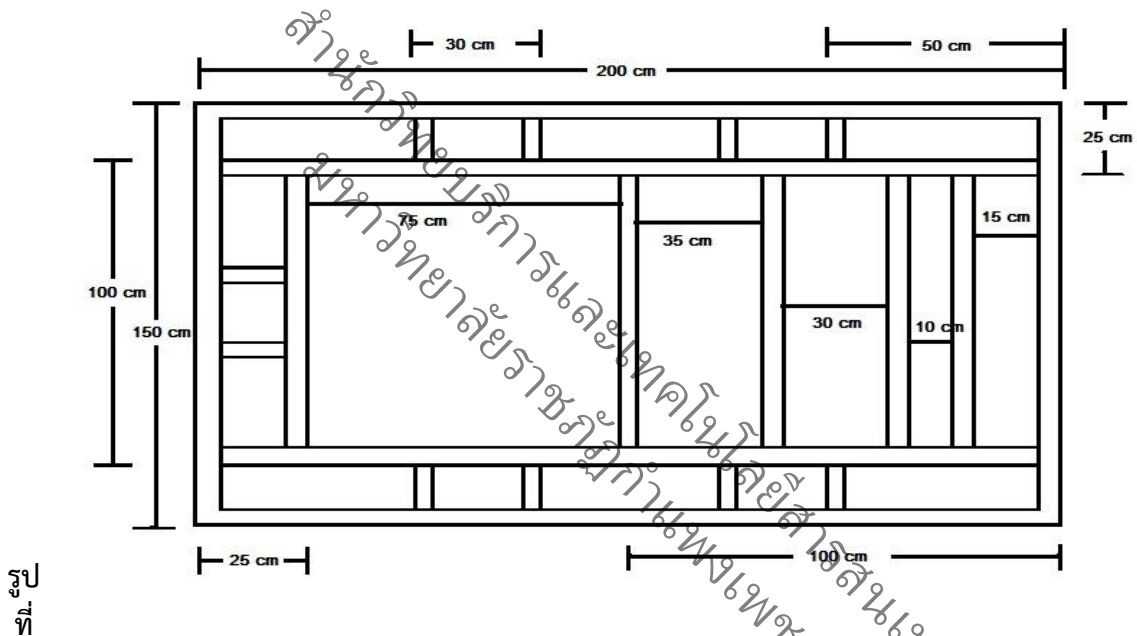
ศูนย์บริการและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์สารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย

การวิจัยเรื่องระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกสำหรับเครื่องบำบัดน้ำฟูลอยพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้คือ

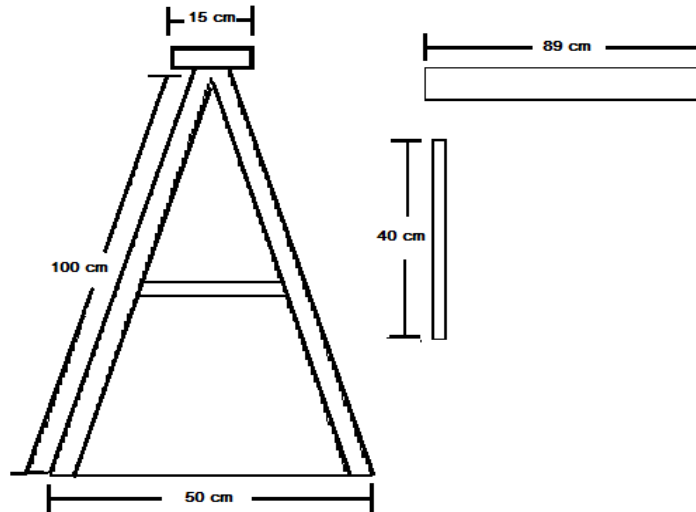
3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำฟูลอยพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำฟูลอยพลังงานแสงอาทิตย์นั้นใช้โครงสร้างหลักในการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดเช่น เซลล์แสงอาทิตย์, มอเตอร์ปั้มน้ำ, แบตเตอรี่, ชุดตู้ควบคุมอุปกรณ์, ฟูลอย เป็นต้น โดยทำการออกแบบลักษณะโครงสร้างหลักเพื่อวางฐานของเครื่องบำบัดน้ำเสียแสดงดังรูปที่ 3.1



3.1 ลักษณะแบบโครงสร้างหลักฐานสำหรับวางเครื่องบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 3.1 ลักษณะฐานหลักเครื่องบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดความยาว 200 เซนติเมตรและขนาดความกว้าง 150 เซนติเมตร จากนั้นออกแบบขนาดแท่นสำหรับวางแท่นหลักเพื่อรองรับก้านหินตีน้ำเพื่อบำบัดน้ำเสีย ดังรูปที่ 3.2 โดยในงานวิจัยนี้ใช้การบำบัดน้ำเสียแบบตีน้ำผ่านก้านเพื่อให้สามารถกระจายปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3.2
ลักษณะแบบ

โครงสร้างเหล็กเพื่อรองรับก้นตันน้ำ

จากนั้นสร้างโครงเหล็กโดยใช้เหล็กแบนกลางทั้งแทนสำหรับวางแทนเหล็กเพื่อรองรับก้นตันน้ำเพื่อบำบัดน้ำเสียโดยนำทั้งสองส่วนประกอบเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะโครงสร้างเหล็กฐานรองเครื่องบำบัดน้ำเสีย

ออกแบบก้นตันน้ำเพื่อบำบัดน้ำเสียโดยขนาดเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 120 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.4



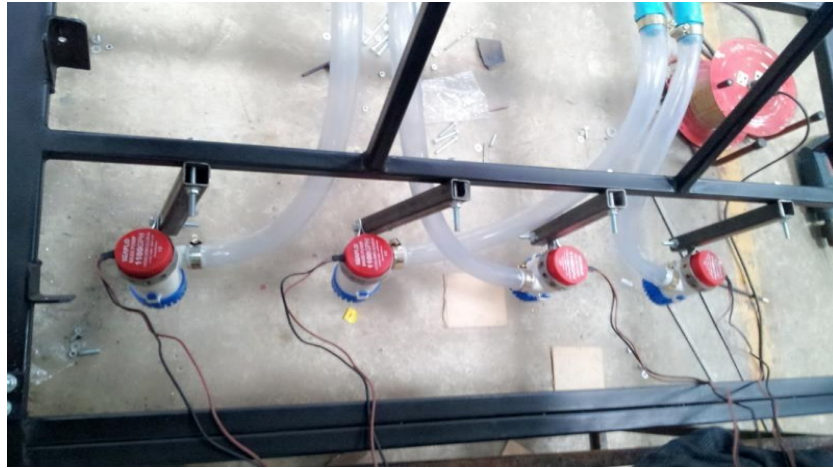
รูปที่ 3.4 ลักษณะก้านตันน้ำ

ติดตั้งก้านตันน้ำบนแท่นเหล็กของโครงหลักเครื่องบำบัดน้ำเสีย ดังรูปที่ 3.5 โดยมีขนาดความสูง 100 เซนติเมตร



รูปที่ 3.5 ลักษณะการติดตั้งก้านตันน้ำบนแท่นเหล็ก

ติดตั้งปั้มน้ำแบบแซในน้ำเพื่อส่งน้ำไปยังก้านตันน้ำสามารถปั้มน้ำได้ในอัตรา 1,100 แกลลอนต่อชั่วโมง (GPH) ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ 3 แอมป์จำนวนทั้งหมด 4 ตัว โดยติดตั้งผ่านสายยางไปยังท่อพีวีซีดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะการติดตั้งปั้มน้ำ



รูปที่ 3.7 ลักษณะการติดตั้งพ่นลอยน้ำ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับชาร์จแบตเตอรี่เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ทั้งหมดของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้จำนวน 1 แผงมีขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 120 วัตต์, แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 17 โวลต์, กระแสไฟฟ้าสูงสุด 7 แอมป์ ส่วนแบตเตอรี่ที่ใช้มีขนาดแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์จ่ายกระแสได้ 40 แอมป์ต่อชั่วโมง จำนวน 1 ลูก ติดตั้งภายในตู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย



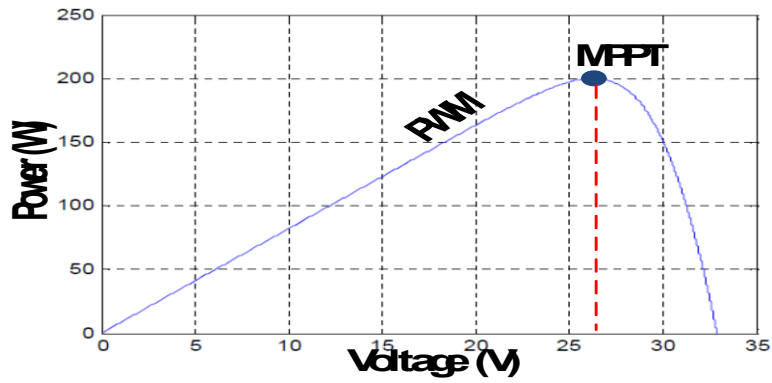
รูปที่ 3.8 ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3.9 ลักษณะระบบบำบัดน้ำเสียทุ่นลอยต้นแบบ

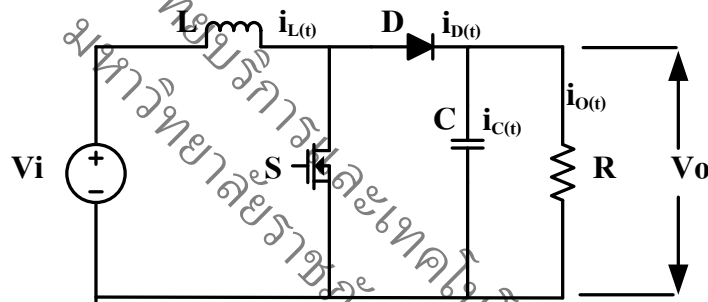
3.2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า

วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ามีหน้าที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการปรับค่าวัฏจักรการทำงานด้วยเทคนิค PWM (Pulse width modulation) ดังรูปที่ 3.10

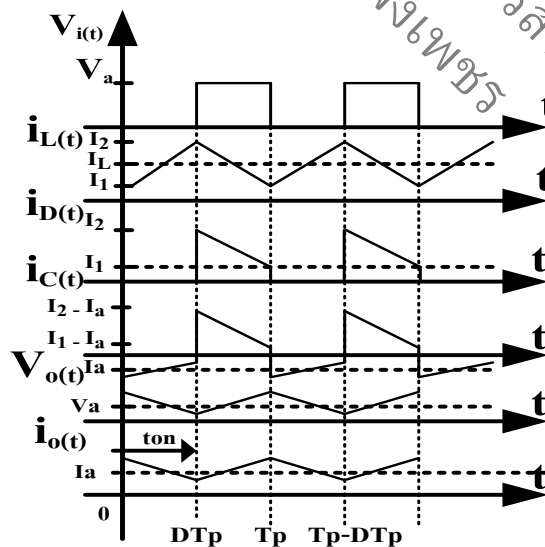


รูปที่ 3.10 จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ใช้เป็นวงจรแบบทบระดับ (DC-DC Converter) ชนิดหนึ่งที่จะทำให้แรงดันทางด้านเอาต์พุตมีค่ามากกว่าแรงดันทางด้านอินพุตดังวงจรดังรูปที่ 3.11 การทำงานจะแบ่งเป็น 2 แบบคือ แบบกระแสต่อเนื่องและแบบกระแสไม่ต่อเนื่อง ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องมีขั้นตอนการทำงาน 2 โหมดคือ

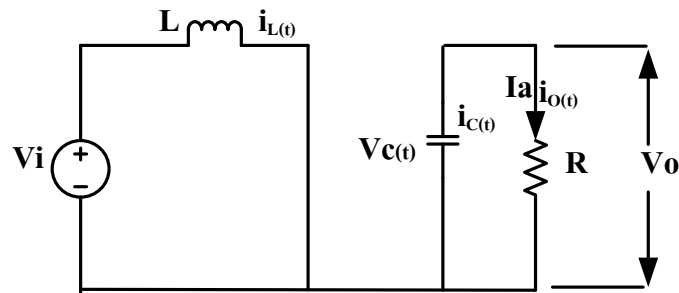


รูปที่ 3.11 วงจรตัวแปลงผันแบบทบระดับ



รูปที่ 3.12 รูปคลื่นการทำงานของวงจรแปลงผันแบบทบระดับ

โหมดที่ 1 เมื่อสวิตช์ S ต่อดวงจรที่เวลา $t = 0$ ถึงเวลา $t = t_{on}$ ไดโอด D จะได้รับแรงดันไบอัสกลับทำให้ไม่นำกระแส ซึ่งมีวงจรสมมูลดังรูปที่ 3.13



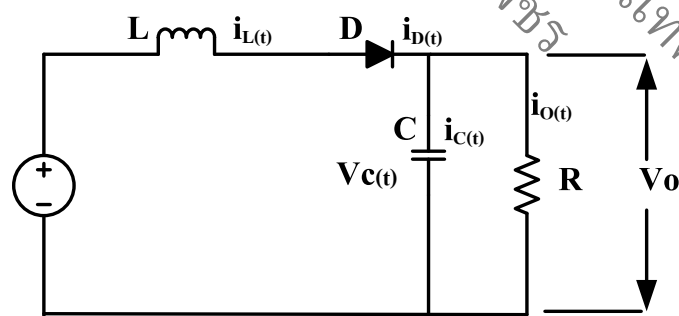
รูปที่ 3.13 รูปวงจรสมมูลของตัวแปลงผันแบบทบระดับขณะสวิตช์ทำงาน

กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นจาก i_1 ถึง i_2 โดยแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังสมการ (1) และในช่วงนี้ตัวเก็บประจุจะเป็นตัวจ่ายกระแสให้กับโหลด ซึ่งตัวเก็บประจุจะต้องมีค่ามากพอที่จะจ่ายกระแสให้โหลดได้ในช่วงเวลา t_{on} โดยกระแสเฉลี่ยของตัวเก็บประจุจะเท่ากับกระแสเฉลี่ยของโหลด

$$i_{C,avg} = i_{C,peak} \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_{max}} = i_{C,peak} \frac{\Delta\alpha}{\alpha_{max}} \quad (1)$$

$$i_{C,avg} = \frac{i_{C,peak} \Delta\alpha}{\alpha_{max}} \quad (2)$$

โหมดที่ 2 โหมดนี้สวิตช์ S จะเปิดวงจรถือเวลา $t > t_{on}$ ซึ่งมีวงจรสมมูลดังรูปที่ 3.14 กระแสที่เกิดขึ้นจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ไดโอด ตัวเก็บประจุ และโหลด โดยกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะลดลงเป็นเชิงเส้นจาก i_2 สู่ i_1 จนกระทั่งสวิตช์ S ทำงานอีกครั้ง



รูปที่ 3.14 รูปวงจรสมมูลของตัวแปลงผันแบบทบระดับขณะสวิตช์เปิดวงจรถือ

สำหรับแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำแสดงดังสมการ (3) ในโหมดนี้กระแสจากแหล่งจ่ายจะชาร์จประจุให้กับตัวเก็บประจุ

$$v_L - v_C = v_L \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_{max}} = v_L \frac{\Delta\alpha}{\alpha_{max}} \quad (3)$$

$$D_{avg} = \frac{D \Delta D}{D - D} \tag{4}$$

ในช่วงสภาวะคงตัวกระแสเพิ่มของตัวเหนี่ยวนำในช่วง t_{on} และ t_{off} จะมีค่าเท่ากันดังนั้นจากสมการ (2) และ (4) จะได้

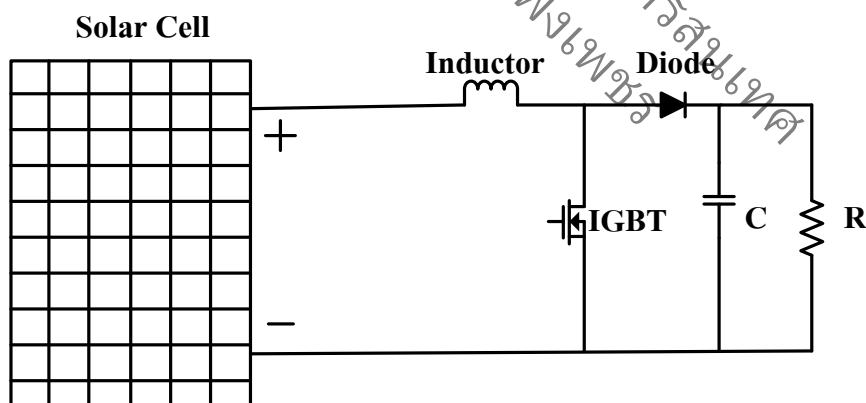
$$\Delta D = \frac{D D_{avg}}{D} = \frac{(D - D) D_{avg}}{D} \tag{5}$$

เมื่อพิจารณาที่ตัวเก็บประจุในสภาวะคงตัวผลคูณของกระแสคายประจุกับเวลาที่สวิตช์ทำงาน จะเท่ากับผลคูณของกระแสชาร์ตประจุกับเวลาที่สวิตช์ไม่ทำงาน ดังนั้นการหาแรงดันกระแสเพิ่มของตัวเก็บประจุจึงพิจารณาจากช่วงสวิตช์ทำงานโดยกระแสเฉลี่ยของตัวเก็บประจุจะเท่ากับกระแสเฉลี่ยของโหลดดังสมการ (6), (7)

$$\Delta D D = D - D(0) = \frac{1}{D} \int_0^D D D \tag{6}$$

$$\Delta D D = \frac{D D_{avg}}{D} \tag{7}$$

การออกแบบวงจรแปลงผันแบบทระดับแรงดันเพื่อหาค่าของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในการนำไปใช้งานโดยกำหนดให้ใช้ความถี่ในการสวิตช์ของ IGBT ที่ 20 kHz กำหนดให้สามารถยกระดับแรงดันที่กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดที่ 120 วัตต์ที่แรงดันไฟฟ้า 16.5 โวลต์และกระแสไฟฟ้า 7.27 แอมป์ โดยกำหนดแรงดันไฟตรงเอาต์พุตเท่ากับ 30 โวลต์ที่แรงดันอินพุต 10 โวลต์ โหลดความต้านทาน 5 โอห์ม วงจรแปลงผันแบบทระดับแสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 วงจรแปลงผันทระดับ

คำนวณหาดีวีดีที่ใช้เซลล์สำหรับการทำงานของสวิตช์จะได้

$$D = \frac{D}{1 - D}$$

$$30 = \frac{10}{1 - D}$$

$$\alpha = 0.66$$

การหาขนาดตัวเหนี่ยวนาสามารถคำนวณจากสมการจะได้

$$\alpha_{\text{min}} = \frac{\alpha(1-\alpha)^2 \alpha}{2\alpha}$$

$$\alpha_{\text{min}} = \frac{0.66(1-0.66)^2 5}{2 \times 20 \times 10^3}$$

$$\alpha_{\text{min}} = 9.5 \mu\text{H}$$

ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสด้วยโดยต้องเลือกค่าความเหนี่ยวนาที่มีค่ามากกว่า L_{min} ดังนั้นจึงเลือกใช้ ค่าความเหนี่ยวนาที่ $20 \mu\text{H}$

การหาขนาดตัวเก็บประจุสามารถคำนวณได้จากสมการจะได้

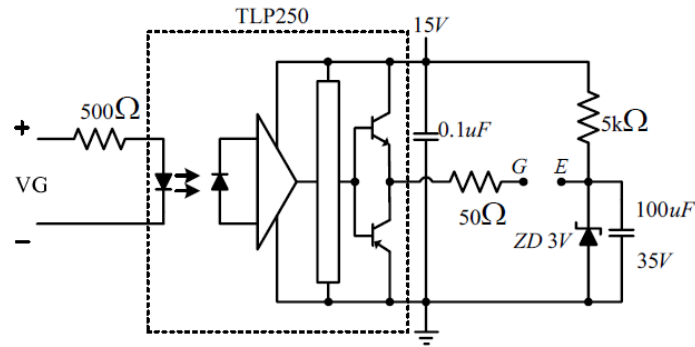
$$\alpha = \frac{\alpha}{\alpha_{\text{min}}}$$

$$\alpha = \frac{0.66}{0.005 \times 5 \times 20 \times 10^3}$$

$$\alpha = 120 \mu\text{F}$$

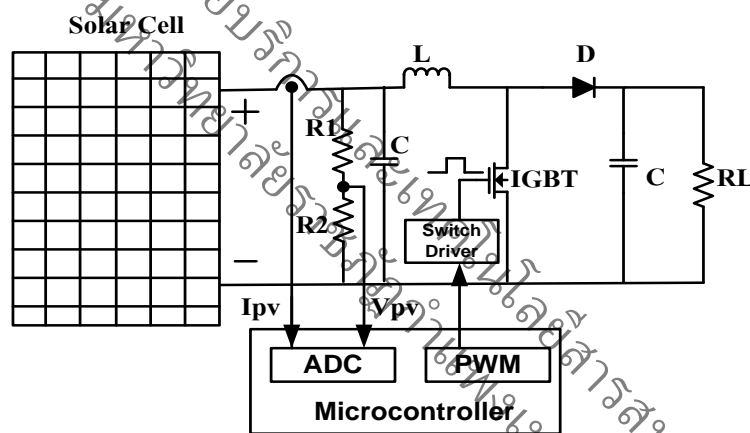
เลือกใช้ตัวเก็บประจุขนาด $200 \mu\text{F}$ 50 V สำหรับกรองไฟแรงดันเอาต์พุตของตัวแปลงผันแบบทบระดับแรงดันให้เรียบมากขึ้น

วงจรขับเคลื่อนเพื่อใช้ในการขับสวิตช์ไอจีบีที สำหรับวงจรแปลงผันแบบทบระดับแรงดันโดยการทำงานของวงจรขับเคลื่อนต้องสามารถให้พลังงานมากเพียงพอเพื่อให้สวิตช์ทำงานได้ตลอดช่วงการทำงาน (t_{on}) ในขณะเดียวกันวงจรขับเคลื่อนต้องสามารถไปแอสกลับเพื่อควบคุมสวิตช์ให้หยุดทำงานตลอดช่วงเวลาที่ไมทำงาน (t_{off}) โดยปราศจากสัญญาณทริกจากการสวิตช์ของอุปกรณ์อื่นๆ ในวงจรขับเคลื่อนเป็นส่วนที่ขยายสัญญาณเพื่อที่จะไปควบคุมการ ปิด-เปิด ใช้ไอซีเบอร์ TLP250 ดังภาพที่ 3.16 ซึ่งเป็นชนิดโฟโตคัปเปิล (Photo Coupler) โดยมีคุณสมบัติที่มีการแยกส่วนระหว่างสัญญาณขับที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์กับส่วนที่ใช้ขับสวิตช์ของวงจรแปลงผันพลังงานไฟฟ้า เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรบกวนกันทางด้านกระแสและแรงดัน สามารถทำงานที่ความถี่สูงสุด 25 กิโลเฮิร์ต ในส่วนของสัญญาณขับจะถูกส่งมาจากโมดูล PWM ที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยมีขนาด $0 - 5$ โวลต์ส่งไปยัง LED ที่อยู่ในตัวไอซี TLP250 ให้ทำงานโดยจะมีตัวความต้านทานจำกัดกระแสไหลเข้า LED ไม่ให้เกิน 10 มิลลิแอมป์ สัญญาณทางแสงที่ได้จะไปส่งให้ทรานซิสเตอร์ที่อยู่ทางด้านเอาต์พุตของวงจรมุ่งกระแสซึ่งต่อในระดับ Push - Pull เพื่อกำหนดช่วงเวลาการทำงานของไอจีบีที โดยจะมีการต่อวงจรเพิ่มเติมคือไดโอดซีนเนอร์ (Zener Diode) ด้านขาเข้าอิมิตเตอร์ของไอจีบีทีเพื่อสร้างแรงดัน -3 โวลต์ซึ่งจะช่วยให้ช่วงเวลาที่หยุดนำกระแสเร็วยิ่งขึ้น สำหรับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่ใช้ต่อกับไอซีขับเคลื่อนจะใช้แรงดัน 15 โวลต์ทำให้แหล่งจ่ายไฟเพื่อใช้สำหรับขับเคลื่อนมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง -3 โวลต์ถึง 12 โวลต์



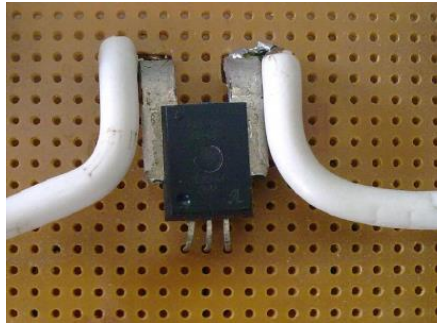
รูปที่ 3.16 วงจรขับมอสเฟต TLP250

ในด้านของวงจรวัดสัญญาณอินพุตเพื่อส่งค่าไปคำนวณเพื่อประมวลผลการติดตามกำลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบด้วยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและสัญญาณกระแสไฟฟ้างดังรูปที่ 3.17 ในการตรวจวัดแรงดันเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการควบคุมจะใช้อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันจากแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 2 ค่า (R_1, R_2) โดยมีระดับแรงดันที่ใช้ประมาณ 30 โวลต์



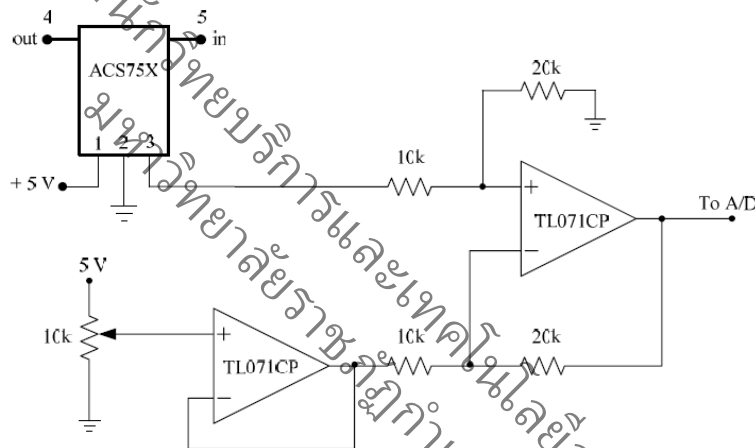
รูปที่ 3.17 การวัดกระแสและแรงดัน

สำหรับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ออกมานี้ยังไม่สามารถนำมาใช้สำหรับป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ จำเป็นต้องผ่านวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันเพื่อให้สามารถนำมาใช้ในการมาแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อนำมาประมวลผลได้ จากนั้นจะนำมาผ่านวงจรยกระดับสัญญาณแรงดันเพื่อไม่ให้สัญญาณแรงดันที่ป้อนให้กับคอนโทรลเลอร์นั้นเป็นสัญญาณแรงดันด้านลบ ตัวตรวจจับกระแสที่ใช้สำหรับวงจรแปลงผันพลังงานไฟฟ้านี้ใช้ของบริษัท Allegro ดังรูปที่ 3.18 อยู่ในรุ่นตระกูล ACS75x ซึ่งเป็นแบบ Hall Effect ใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีการแยกส่วนของกระแสที่ใช้ในการตรวจจับ มีแบนวิดอยู่ที่ 35 กิโลเฮิร์ต ใช้แหล่งจ่ายขนาด 5 โวลต์และขั้นตอนสุดท้ายจะนำมาผ่านวงจรขยายออปแอมป์แบบกลับเฟสดังรูปที่ 3.19 เพื่อขยายแรงดันแบบกลับเฟสก่อนส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล ซึ่งแรงดันที่เหมาะสมสำหรับประมวลผลจะอยู่ในย่าน 0 - 5 โวลต์



รูปที่ 3.18 ลักษณะของตัวตรวจจับกระแสจากบริษัท Allegro

ปริมาณกระแสที่วัดได้จากตัวตรวจจับกระแสจะสร้างเป็นสัญญาณแรงดันออกมาซึ่งมีข้อดีตรงที่ไม่จำเป็นต้องใช้วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันเพิ่มเติมก่อนนำมาใช้งาน เพียงแต่จำเป็นต้องใช้วงจรสำหรับยกระดับสัญญาณแรงดันให้อยู่ในย่านการวัดที่พอเหมาะสำหรับจ่ายสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งโดยปกติขณะที่กระแสมีค่าเท่ากับ 0 แอมป์

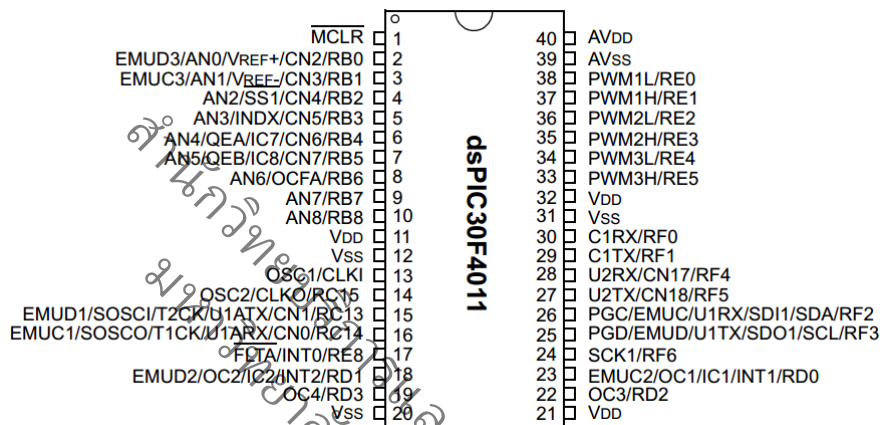


รูปที่ 3.19 วงจรปรับระดับสัญญาณ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และควบคุมการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบทบทแรงดันใช้ DSPIC30F4011 ดังรูปที่ 3.20 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 40 ขาขนาด 16 บิตของบริษัทไมโครชิพมีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard architecture) ซึ่งมีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกันการกระทำคำสั่งทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ DSPIC ใช้กระบวนการแบบไปป์ไลน์ (pipeline) ทำให้สามารถเฟตซ์คำสั่งถัดไป ในขณะที่กำลังเ็กซิคิวต์คำสั่งในปัจจุบันส่งผลให้ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มมากขึ้น ทำให้สามารถกระทำคำสั่ง 1 คำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูกโครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ DSPIC30F4011 ประกอบด้วยส่วนหลักคือ ซีพียู, หน่วยความจำโปรแกรม, หน่วยความจำข้อมูล, ส่วนติดต่อพอร์ตต่างๆ, ส่วนจัดการสัญญาณนาฬิกาของระบบ, วงจรรีเซต, ส่วนควบคุมการตอบสนองของอินเตอร์รัปต์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังประกอบด้วยโมดูลพิเศษต่างๆ มากมาย เป็นต้น คุณสมบัติไมโครคอนโทรลเลอร์ DSPIC30F4011 ดังนี้

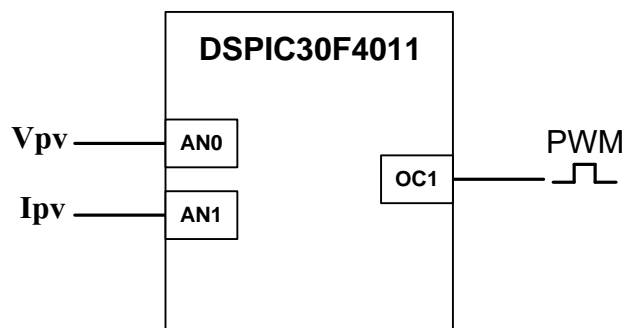
- หน่วยความจำ Flash 48KByte
- หน่วยความจำ RAM ขนาด 2KByte
- หน่วยความจำ EEPROM ขนาด 1KByte สำหรับเก็บข้อมูลใช้งาน

- พอร์ต I/O ขนาด 29 Bit
- Timer/Counter 16Bit จำนวน 5 ชุด
- Input Capture จำนวน 4 ช่อง
- Output Compare จำนวน 4 ช่อง
- ADC 10Bit/500Ksps จำนวน 9 ช่อง
- PWM Motor Control จำนวน 6 ช่อง พร้อม Quadrature Encode Interface(QEI)
- UART จำนวน 2 ช่อง
- SPI จำนวน 1 ช่อง และ มี I2C จำนวน 1 ช่อง
- วงจร Watchdog, Power-ON Reset, PWM



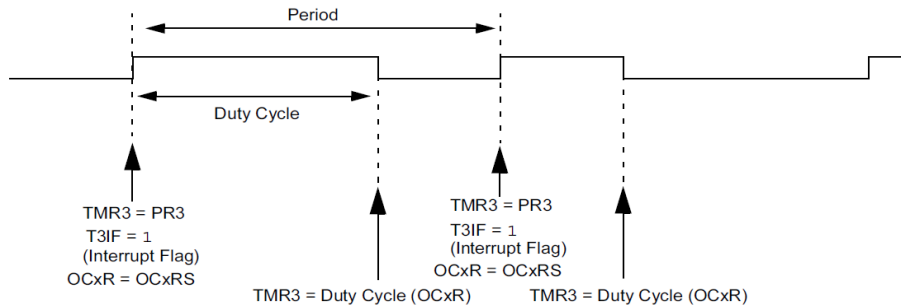
รูปที่ 3.20 DSPIC30F4011

ไมโครคอนโทรลเลอร์ DSPIC30F4011 ใช้ในการเชื่อมต่อเข้ากับวงจรแปลงผันแบบทบแรงดันในการประมวลผลข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และควบคุมการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบทบแรงดันไฟฟ้างดังรูปที่ 3.21 การรับเข้ามาประมวลผลจากการอ่านค่าของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใช้โมดูลแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลจำนวน 2 ช่อง(AN0,AN1)มีความละเอียดขนาด 10 บิตมีอัตราเร็วในการสุ่มสัญญาณสูงถึง 500 ksp/s (กิโลแซมเปิลต่อวินาที) การตั้งค่าใช้งานจะผ่านรีจิสเตอร์ ADPCFG เพื่อเลือกพอร์ตใช้งาน, รีจิสเตอร์ ADCON2 เลือกแหล่งจ่ายอ้างอิง, รีจิสเตอร์ ADCON3 เลือกสัญญาณนาฬิกาสำหรับแปลงสัญญาณ, รีจิสเตอร์ ADCON2 กำหนดจำนวนช่องของวงจร S/H



รูปที่ 3.21 การต่อสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต

การสร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบทบทแรงดันไฟฟ้าสามารถตั้งค่าการใช้งานผ่านโมดูลเปรียบเทียบข้อมูล (Output Compare:OC) ซึ่งต้องมีการใช้งานร่วมกับไทมเมอร์ 2 หรือ 3 กำหนดค่าผ่านรีจิสเตอร์ OCxR สำหรับเก็บข้อมูลการเปรียบเทียบข้อมูล, รีจิสเตอร์ OCxCON สำหรับควบคุมการทำงานของโมดูลเปรียบเทียบข้อมูล



รูปที่ 3.22 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการตั้งค่า PWM

3.3 วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อหาค่าที่เหมาะสม

เมตาฮิวริสติกเป็นวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ต้องการหาค่าที่ดีที่สุดที่มีความยุ่งยากซับซ้อน เป็นวิธีการหาค่าตอบที่ขึ้นอยู่กับการสุ่มเลขเพื่อให้เกิดการค้นหาพื้นที่ของคำตอบให้กว้างที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ วิธีการเมตาฮิวริสติกมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ดังนั้นในการเปรียบเทียบวิธีการเมตาฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพจะวัดจากการแก้ปัญหาเดียวกัน โดยได้คุณภาพของคำตอบที่ดีที่สุดและระยะเวลาการหาคำตอบในเวลาที่เหมาะสม นอกจากนี้สมรรถนะโดยทั่วไปมักปรากฏความไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinearity) และความไม่สมมาตร (asymmetry) ยังมีมิติ (dimension) ไม่จำกัดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหาในการค้นหาคำตอบ สำหรับวิธีการเมตาฮิวริสติกที่ใช้ในการประยุกต์ใช้งานจะนำเสนอวิธีการค้นหาแบบตาบูลและวิธีการค้นหาแบบกระแสน้ำเพื่อใช้หาคำตอบของปัญหาคือค่าจุดจ่ายกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ดังนี้

3.3.1 การค้นหาแบบตาบูล

การค้นหาแบบตาบูล (Tabu Search) เป็นวิธีที่พิจารณาเส้นทางที่จะนำไปสู่ค่าที่เหมาะสมโดยจะหลบเลี่ยงคำตอบหรือเส้นทางที่ได้สำรวจไปแล้วการค้นหาจะไม่หยุดอยู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่นกระบวนการค้นหาแบบตาบูลมีดังนี้

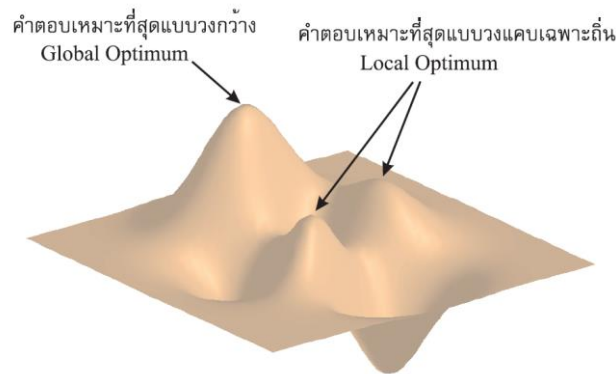
ขั้นตอนที่ 1 กำหนดหน่วยความจำระยะสั้น, หน่วยความจำระยะกลาง, หน่วยความจำระยะยาว, เกณฑ์ความทะเยอทะยาน, กำหนดผลเฉลยเริ่มต้น $x = x_0$ จากกระบวนการสุ่ม

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเซตข้างเคียง $N(x)$ จากผลเฉลย x

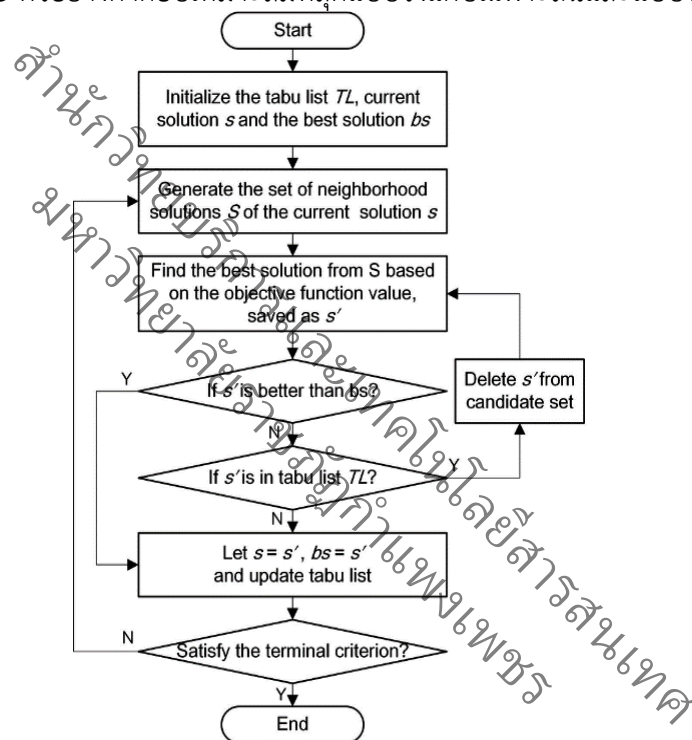
ขั้นตอนที่ 3 ประเมินค่าข้างเคียงในเซต $N(x)$ ด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f(x)$ กำหนดให้ $x' \in N(x)$ คือค่าข้างเคียงที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 ถ้า $f(x') \leq f(x)$ ให้อยอมรับ x' โดยปรับค่า $x = x'$ และเก็บ x' ไว้ในหน่วยความจำระยะสั้น จากนั้นกำหนดแนววิธีการเคลื่อนที่ล่าสุดอยู่ในสถานะต้องห้ามและเก็บรูปแบบการเคลื่อนที่ไว้ในหน่วยความจำระยะยาวและถ้าผลเฉลยถูกค้นพบให้เก็บ x ไว้ในหน่วยความจำระยะกลาง

ขั้นตอนที่ 5 ยุติการค้นหาเมื่อเงื่อนไขเป็นจริงไม่เช่นนั้นให้กลับไปขั้นตอนที่ 2



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างคำตอบเหมาะสมที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่นและแบบวงกว้าง



รูปที่ 3.24 กระบวนการค้นหาแบบตาบู

3.3.2 การค้นหาแบบกระแส

การค้นหาแบบกระแส (CS) เป็นเมตาฮิวริสติกแบบอิงผลเฉลยเดียว มีอัลกอริทึมที่เลียนแบบพฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรจ่ายพฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้านั้นมีลักษณะเดียวกันกับการไหลของกระแสน้ำหรือของไหลทั่วไปซึ่งจะไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำเสมอ การไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรจ่ายก็เช่นเดียวกัน กล่าวคือ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านกิ่งต่างๆ ที่ประกอบขึ้นในวงจรจ่ายซึ่งกำหนดให้มีค่าความต้านทานของแต่ละกิ่งที่แตกต่างกันออกไปปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในกิ่งจะแปรผกผันกับค่าความต้านทานประจำกิ่ง ยิ่งความต้านทานมีค่าน้อย กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านก็จะยิ่งมีค่าสูง ในกรณี การลัดวงจร (short circuit) ค่าความต้านทานในกิ่งนั้นจะมีค่าศูนย์ ซึ่งจะเป็นพฤติกรรมของตัวนำไฟฟ้า (conductor) และในกรณี การเปิดวงจร (open circuit) ค่าความต้านทานในกิ่งนั้นจะมีค่าอนันต์ ซึ่งจะเป็นพฤติกรรมของฉนวน

(insulator) กิ่งแต่ละกิ่งที่ประกอบกันขึ้นเป็นวงจรข่ายเปรียบเสมือนเส้นทางการค้นหาที่เป็นไปได้ในปริภูมิการค้นหาค้นหาการติดกับเฉพาะที่จะเกิดขึ้นเมื่อกระแสไหลไปพบกับการเปิดวงจรและผลเฉลยเหมาะที่สุดคือกิ่งที่ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้มากที่สุดนั่นเอง (Puangdownreong D. and Sakulin A, 2012)

เมื่อพิจารณาให้เส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในแต่ละกิ่งเปรียบเสมือนเส้นทางการเคลื่อนที่ของกระบวนการค้นหาผลเฉลยอัลกอริทึมของ CS จะทำการสร้างเซตของเส้นทางการค้นหาโดยอาศัยกระบวนการสุ่มที่มีการแจกแจงเอกรูป (uniform distribution) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติความหลากหลายให้กับกระบวนการค้นหา อย่างไรก็ตามการพึ่งพาหลักการไหลของกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวอาจทำให้กระบวนการค้นหาผลเฉลยวงกว้างไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากพฤติกรรมของกระแสไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นไปตามธรรมชาติของสิ่งไม่มีชีวิต ซึ่งไม่มีเซารูปปัญหาที่ก่อให้เกิดความชาญฉลาด อัลกอริทึมของ CS จึงได้มีการใช้หน่วยความจำการค้นหาเพื่อบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการค้นหา หน่วยความจำของ CS มีอยู่ด้วยกันสามรูปแบบ ได้แก่ หน่วยความจำเส้นทางการค้นหา (search-path memory) หน่วยความจำผลเฉลยคงอยู่ล่าสุด (recency-solution memory) และหน่วยความจำผลเฉลยเฉพาะที่ (local-solution memory) นอกจากนี้ อัลกอริทึมของ CS ยังได้มีการใช้กลไกการปรับรัศมีการค้นหา (adaptive search radius mechanism) เพื่อช่วยเพิ่มความรวดเร็วในการค้นหาผลเฉลย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- หน่วยความจำเส้นทางการค้นหาจะทำหน้าที่เก็บเซตของเส้นทางการค้นหาที่เกิดจากกระบวนการสุ่มและได้รับการจัดลำดับตามนัยสำคัญจากมากที่สุดไปสู่น้อยที่สุดเพื่อใช้เป็นผลเฉลยเริ่มต้นสำหรับการค้นหา ยิ่งเส้นทางการค้นหาที่มีจำนวนมาก โอกาสที่กระบวนการค้นหาจะพบผลเฉลยวงกว้างก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยให้ CS มีคุณสมบัติความหลากหลายในการค้นหาผลเฉลยทั่วปริภูมิการค้นหา

- หน่วยความจำผลเฉลยคงอยู่ล่าสุด เมื่อเริ่มต้นการค้นหาผลเฉลยตามเส้นทางที่ถูกเลือกกระบวนการค้นหาจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับการค้นหาเฉพาะที่แบบที่มีการสืบลงขั้นสุด หน่วยความจำผลเฉลยคงอยู่ล่าสุดจะทำหน้าที่เก็บเซตของผลเฉลยที่ดีตามเส้นทางดังกล่าว ซึ่งช่วยทำให้ CS มีคุณสมบัติความเข้มข้นในการค้นหาผลเฉลยเฉพาะที่

- หน่วยความจำผลเฉลยเฉพาะที่จะทำหน้าที่เก็บเซตของผลเฉลยสุดท้ายที่ได้จากการค้นหาในแต่ละเส้นทาง ซึ่งผลเฉลยดังกล่าวคือผลเฉลยเฉพาะที่ ในกรณีที่เซตของเส้นทางการค้นหาที่มีจำนวนมากเพียงพอหนึ่งในผลเฉลยเฉพาะที่ก็คือผลเฉลยวงกว้างของปัญหานั้นเอง

- กลไกการปรับรัศมีการค้นหา เมื่อกระบวนการค้นหาผลเฉลยตามเส้นทางที่ถูกเลือกดำเนินการไปได้ระยะหนึ่งภายในปริภูมิการค้นหาย่อยตามรัศมีการค้นหาที่กำหนด และพบว่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไม่ได้รับการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ กลไกการปรับรัศมีการค้นหาจะถูกเรียกใช้เพื่อปรับลดปริภูมิการค้นหาย่อยลง ซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มความรวดเร็วในการค้นหาผลเฉลยกล่าวคือ เมื่อค่าข้างเคียงภายในเซตยังคงมีจำนวนเท่าเดิมในขณะที่ปริภูมิการค้นหาย่อยมีขนาดลดลงโอกาสที่กระบวนการจะค้นพบผลเฉลยเฉพาะที่จึงมีมากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้กระบวนการสามารถค้นพบผลเฉลยเฉพาะที่ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น กลไกการปรับรัศมีการค้นหาดังกล่าวนี้จะมีลักษณะเช่นเดียวกับกลไกการปรับรัศมีการค้นหาในวิธีตาบู่เชิงปรับ การเรียกใช้กลไกการปรับรัศมีการค้นหาสามารถกระทำได้โดยไม่จำกัดและขึ้นอยู่กับปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดที่สนใจ

การค้นหาแบบกระแสเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่เลียนแบบพฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้าในข่ายพฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านกิ่งต่างๆ ที่มีค่าความต้านทานแตกต่างกันออกไปซึ่งปริมาณของกระแสไฟฟ้าจะแปรผกผันกับค่าความต้านทานในแต่ละกิ่ง ถ้าความต้านทานมีค่าน้อยกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจะมีค่าสูง โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจำนวนผลเฉลยเริ่มต้น (ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในโครงข่าย), รัศมีการค้นหา R , ตัวนับ $k=1$, หน่วยความจำเส้นทางการค้นหา Ψ , หน่วยความจำผลเฉลยคงอยู่ล่าสุด Γ , หน่วยความจำผลเฉลยเฉพาะที่ Ξ

ขั้นตอนที่ 2 สร้างผลเฉลยเริ่มต้น $x=x_1, x_2, \dots, x_n$ จากกระบวนการสุ่ม

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินผลเฉลยเริ่มต้น x ด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์จัดลำดับผลเฉลย x ที่ $f(x') < \dots < f(x_n)$ แล้วเก็บ x ที่ผ่านการจัดลำดับแล้วลงในเซต Ψ

ขั้นตอนที่ 4 ให้ $s=x_k$ เป็นผลเฉลยเริ่มต้น (ทิศทางของกระแสไฟฟ้า) ที่ได้รับการคัดเลือกหลังการจัดลำดับ

ขั้นตอนที่ 5 สร้างเซตข้างเคียง $N(s)$ จากผลเฉลย s ด้วยกระบวนการสุ่มภายในรัศมีการค้นหา R

ขั้นตอนที่ 6 ประเมินค่าข้างเคียงในเซต $N(s)$ ด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์กำหนดให้ $s' \in N(s)$ คือค่าข้างเคียงที่ดีที่สุดภายในเซต

ขั้นตอนที่ 7 ถ้า $f(s') \leq f(s)$ ให้อยอมรับ s' โดยปรับค่า $s=s'$ และเก็บ s ไว้ในเซต Γ_k , ถ้าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไม่ได้รับการปรับปรุงให้เรียกใช้กลไกการปรับรัศมีการค้นหาแล้วกลับไปขั้นตอนที่ 5 ไม่เช่นนั้นแสดงว่าผลเฉลยถูกค้นพบ

ขั้นตอนที่ 8 ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงหยุดการค้นหาไม่เช่นนั้นให้เก็บค่า s ไว้ในเซต Ξ ทำการปรับค่า $k=k+1$ แล้วกลับไปขั้นตอนที่ 4

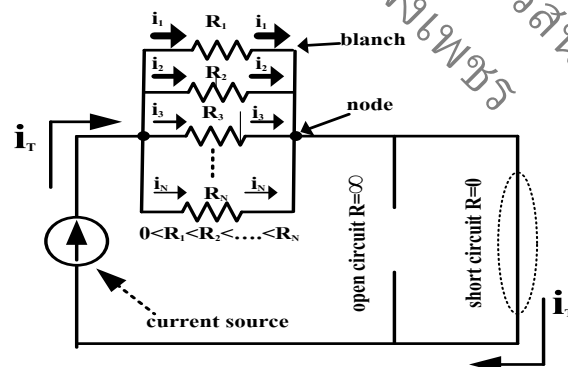
จากอัลกอริทึมของ CS ปริภูมิการค้นหาแสดงให้เห็นขอบเขตที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านจำนวนผลเฉลยเริ่มต้นคือเซตของเส้นทางที่เป็นไปได้ของกระแสไฟฟ้าที่สามารถไหลในวงจรข่ายจำนวนค่าข้างเคียงเปรียบเทียบกับการกำหนดทิศทางที่ไหลของกระแสไฟฟ้าที่เป็นไปได้ในเส้นทางที่ถูกเลือก และรัศมีการค้นหาคือตัวกำหนดปริภูมิการค้นหาห้อยสำหรับกระแสไฟฟ้าที่ไหลไปในทิศทางที่ถูกเลือก ในขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างเซตของเส้นทางการค้นหาโดยอาศัยกระบวนการสุ่มที่มีการแจกแจงเอกรูปเพื่อให้มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วปริภูมิการค้นหาจากนั้นเส้นทางดังกล่าวจะถูกประเมินโดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในขั้นตอนที่ 3 เพื่อจัดเรียงลำดับตามนัยสำคัญจากมากที่สุดไปสู่น้อยที่สุดในขั้นตอนที่ 4 ถึงขั้นตอนที่ 7 เมื่อเส้นทางของกระแสไฟฟ้าที่มีนัยสำคัญสูงสุดได้รับการคัดเลือก กระบวนการค้นหาจะมีลักษณะเป็นการค้นหาเฉพาะที่แบบที่มีการสืบลงชั้นสุดภายในรัศมีการค้นหาที่กำหนดเพื่อค้นหาผลเฉลยเฉพาะที่ในเส้นทางดังกล่าว ในกรณีที่พบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไม่ได้รับการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ กลไกการปรับรัศมีการค้นหาจะถูกเรียกใช้เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการค้นหาผลเฉลย กลไกสำหรับการหลุดรอดจากการติดกับเฉพาะที่อาศัยขั้นตอนที่ 8 กระบวนการค้นหาจะเปลี่ยนไปใช้เส้นทางของกระแสไฟฟ้าที่มีนัยสำคัญสูงสุดลำดับถัดไปสำหรับการค้นหารูปแบบดังกล่าวจะได้รับการทำซ้ำจนกระทั่ง ผลเฉลยวงกว้างถูกค้นพบ

ในความเป็นจริงพฤติกรรมของกระแสไฟฟ้าจะไหลไปตามกิ่งต่างๆ พร้อมๆ กัน ซึ่งหากสกัดพฤติกรรมดังกล่าวออกมาตรงๆ เพื่อถอดเป็นอัลกอริทึมจะได้อัลกอริทึมที่มีลักษณะการค้นหาผลเฉลยแบบขนาน อย่างไรก็ตามในการพัฒนาเป็นโปรแกรมการค้นหาแนวปฏิบัติโดยทั่วไปมักนิยมใช้การประมวลผลที่กระทำบนแพลตฟอร์มเดียว ผู้พัฒนาจึงได้นำเสนออัลกอริทึมของ CS ตามขั้นตอนที่ผ่านมา ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่า มีลักษณะการค้นหาแบบลำดับ อย่างไรก็ตามผู้ใช้ที่ต้องการพัฒนาโปรแกรมการค้นหาจากอัลกอริทึมของ CS เพื่อปฏิบัติการบนหน่วยประมวลผลแบบหลายแพลตฟอร์ม สามารถปรับอัลกอริทึมใน 8 ขั้นตอน ได้ไม่ยากและทำให้พฤติกรรมการค้นหาผลเฉลยของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะตรงกับพฤติกรรมของกระแสไฟฟ้าตามความเป็นจริงอีกด้วย อัลกอริทึมของ CS อาจมีส่วนคล้ายกับกระบวนการค้นหาปรับตัวเชิงสุ่มแบบละโมบ

(greedy randomized adaptive search procedure หรือ GRAPS) ซึ่งมีกระบวนการค้นหาเฉพาะที่แบบทำซ้ำ โดยกระบวนการค้นหาผลเฉลยแบบทำซ้ำแต่ละครั้งจะเริ่มต้นจากผลเฉลยเริ่มต้นที่สร้างขึ้นด้วยกระบวนการสุ่ม อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนวิธีการค้นหาผลเฉลยของวิธี GRAPS นั้นไม่พึ่งพาหน่วยความจำการค้นหา ทำให้โอกาสในการหลุดรอดการติดกับเฉพาะที่ (local entrapment) และการค้นพบผลเฉลยวงกว้างมีความน่าจะเป็นน้อยกว่า CS

ข้อดีของ CS นอกจากจะมีอัลกอริทึมที่ไม่ซับซ้อนแล้ว กระบวนการค้นหาผลเฉลยยังสามารถหลุดรอดการติดกับเฉพาะที่ได้โดยอาศัยหน่วยความจำการค้นหา อีกทั้งยังมีคุณสมบัติความเข้มข้นสำหรับการค้นหาเฉพาะที่และคุณสมบัติความหลากหลายสำหรับการค้นหาวงกว้างที่โดดเด่น อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของ CS อยู่ที่การกำหนดจำนวนเส้นทางการค้นหา และการกำหนดขนาดของหน่วยความจำ ซึ่งโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับปัญหาที่สนใจและอาจจำเป็นต้องดำเนินการค้นหาหลายๆ ครั้ง เพื่อการพิจารณาหาค่าดังกล่าวอย่างเหมาะสม ในกรณีที่ปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงมากๆ ถ้าหากมีการกำหนดจำนวนเส้นทางการค้นหาและขนาดของหน่วยความจำไม่เพียงพอ CS ก็อาจประสบปัญหาการติดกับเฉพาะที่ได้เช่นกัน ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ CS เพื่อแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดทางวิศวกรรม ได้แก่ การสังเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมและการประมวลผลสัญญาณ เป็นต้น

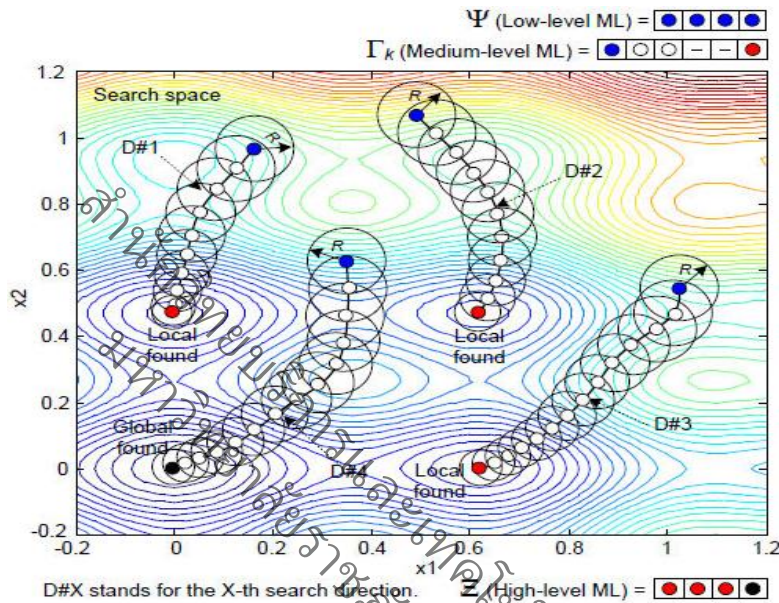
การค้นหาแบบกระแส (CS) เป็นการค้นหาค่าเหมาะที่สุดเชิงอนุกรมวิธานสำหรับแบบอิงผลเฉลยเดี่ยว ที่อาศัยการเลียนแบบพฤติกรรมของกระแสไหลของกระแสไฟฟ้า (electric current) ภายในโครงข่าย (network) สามารถพิจารณาได้เช่นเดียวกับการไหลของกระแสซึ่งจะไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำเสมอการไหลของกระแสไฟฟ้าในโครงข่ายก็เช่นเดียวกัน กล่าวคือ กระแสไฟฟ้าภายในโครงข่ายจะไหลผ่านกิ่งต่างๆ ที่ประกอบขึ้นในวงจรหรือโครงข่าย ซึ่งจะมีค่าความต้านทานของแต่ละกิ่งแตกต่างกันออกไป ยิ่งความต้านทานมีค่าน้อย กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านก็จะยังมีค่าสูง อัลกอริทึมที่นำเสนอได้รับการพัฒนาขึ้นโดยอ้างอิงหลักการแบ่งกระแสตามทฤษฎีวงจรไฟฟ้า (electric circuits) กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านกิ่งต่างๆ ในลักษณะการต่อแบบขนานแสดงได้ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ลักษณะการต่อแบบขนาน

แต่ละกิ่งจะมีค่าความต้านทาน R ที่แตกต่างกันจากภาพที่ 3.25 กำหนดให้ค่าความต้านทาน $0 < R_1 < R_2 < \dots < R_n$ โดยอาศัยกฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's current law หรือ KCL) ผลรวมทางพีชคณิตของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าโนด (node) จะเท่ากับศูนย์ กล่าวคือ ผลรวมของกระแสที่ไหลเข้าสู่นอดจะเท่ากับผลรวมของกระแสที่ไหลออกจากโนด หมายความว่า เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 3.25 ผลรวมของกระแสไฟฟ้าทั้งหมดในแต่ละกิ่งจะเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกมาจากแหล่งกำเนิด

โดยที่ i_T คือกระแสไฟฟารวมที่ไหลออกจากแหล่งกำเนิด และ i_j คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลในกิ่ง i_{th} ในกรณีการลัดวงจร ค่าความต้านทานในกิ่งนั้นจะมีค่าศูนย์จะเป็นพฤติกรรมของตัวนำไฟฟ้าและในกรณีการเปิดวงจร ค่าความต้านทานในกิ่งนั้นจะมีค่านันต์จะเป็นพฤติกรรมของฉนวนและกิ่งในแต่ละกิ่งที่ประกอบกันขึ้นเป็นวงจรข่ายเปรียบเสมือนเส้นทางการค้นหาที่เป็นไปได้ภายในปริภูมิการค้นหาการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถหลบหลีกผลเฉลยเฉพาะที่และสามารถค้นหาผลเฉลยวงกว้างได้ แสดงดังรูปที่ 3.26 นอกจากนี้การติดกับเฉพาะที่จะเกิดขึ้น เมื่อกระแสไหลไปพบกับการเปิดวงจรและผลเฉลยเหมาะที่สุด คือกิ่งที่ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้มากที่สุด



รูปที่ 3.26 ลักษณะการทำงานของ CS

เมื่อพิจารณาให้เส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในแต่ละกิ่งเปรียบเสมือนเส้นทางการเคลื่อนที่ของกระบวนการค้นหาผลเฉลย อัลกอริทึมของ CS ทำการสร้างเซตของเส้นทางการค้นหาโดยอาศัยกระบวนการสุ่มที่มีการแจกแจงเอกรูป เพื่อเพิ่มคุณสมบัติความหลากหลายให้กับกระบวนการค้นหา อย่างไรก็ตาม การพึ่งพาหลักการไหลของกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวอาจทำให้กระบวนการค้นหาผลเฉลยวงกว้างนั้นไม่ประสบความสำเร็จดังนั้น CS จึงได้มีการใช้หน่วยความจำ (memory list หรือ ML) เพื่อเป็นประโยชน์ให้กระบวนการค้นหาผลเฉลยสามารถหลุดรอดจากกับดักเฉพาะที่ โดยแยกหน่วยความจำเป็น 3 ส่วนคือ หน่วยความจำเส้นทางการค้นหา (low-level ML) หน่วยความจำผลเฉลยคงอยู่ล่าสุด (mediumlevel ML) และหน่วยความจำผลเฉลยเฉพาะที่ (high-level ML) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- หน่วยความจำเส้นทางการค้นหา (low-level ML) จะทำหน้าที่ เก็บเซตของเส้นทางการค้นหาที่เกิดจากกระบวนการสุ่มและได้รับการจัดลำดับตามนัยสำคัญจากมากที่สุดไปสู่น้อยที่สุดเพื่อใช้เป็นผลเฉลยเริ่มต้นสำหรับการค้นหา ยิ่งเส้นทางการค้นหาจำนวนมาก โอกาสที่กระบวนการค้นหาจะพบผลเฉลยวงกว้างก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ CS มีคุณสมบัติความหลากหลายในการค้นหาผลเฉลยได้ทั่วปริภูมิการค้นหา

- หน่วยความจำผลเฉลยคงอยู่ล่าสุด (medium-level ML) เมื่อเริ่มต้นการค้นหาผลเฉลยตามเส้นทางที่ถูกเลือกกระบวนการค้นหาจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับการค้นหาเฉพาะที่แบบที่มีการสืบลงชั้นสุด หน่วยความจำ

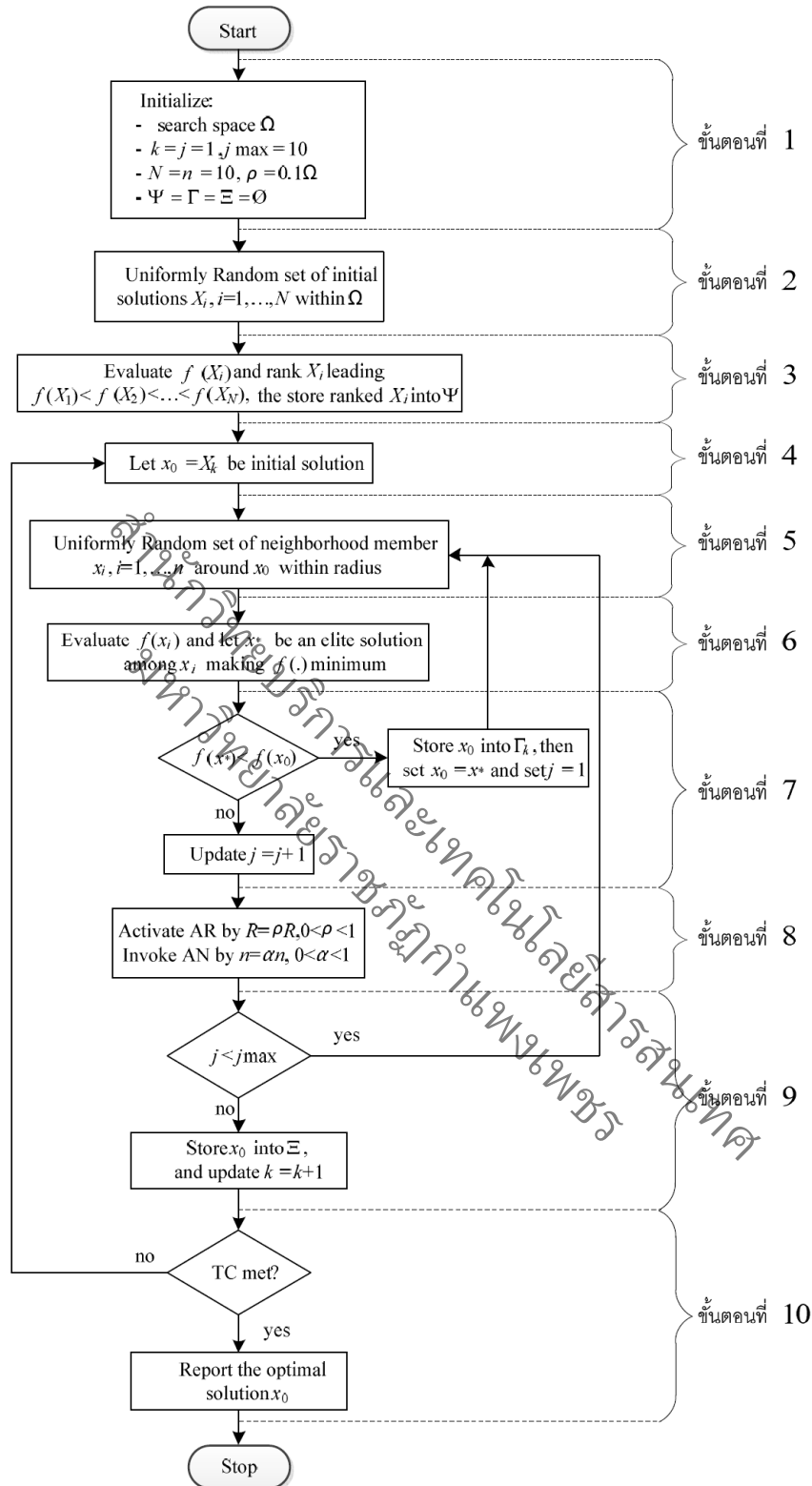
ผลเฉลยคงอยู่ล่าสุดจะทำหน้าที่เก็บเซตของผลเฉลยที่ดีที่สุดตามเส้นทางดังกล่าว จะช่วยทำให้ CS มีคุณสมบัติความเข้มข้นในการค้นหาผลเฉลยเฉพาะที่

- หน่วยความจำผลเฉลยเฉพาะที่ (high-level ML) จะทำหน้าที่เก็บเซตของผลเฉลยสุดท้ายที่ได้จากการค้นหาในแต่ละเส้นทาง ผลเฉลยดังกล่าว คือ ผลเฉลยเฉพาะที่ในกรณีที่เซตของเส้นทางการค้นหาที่มีจำนวนมากเพียงพอ หนึ่งในผลเฉลยเฉพาะที่ ก็คือผลเฉลยวงกว้างของปัญหานั้นเอง

- กลไกการปรับรมีการค้นหา (AR) เมื่อการค้นหาผลเฉลยถูกดำเนินการไประยะหนึ่งภายในปริภูมิการค้นหาหาลงแล้ว พบว่ามีค่าเข้าใกล้ผลเฉลยเฉพาะที่ในระดับที่กำหนดไว้ กลไกการปรับรมีจะถูกเรียกใช้เพื่อปรับปริภูมิการค้นหาให้ลดลง มีส่วนช่วยเพิ่มความเร็วในการค้นหาผลเฉลย กลไกนี้จะสามารถเรียกใช้ได้โดยไม่จำกัดครั้งขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

- กลไกการปรับค่าข้างเคียงการค้นหา (AN) จะทำงานพร้อมกันกับกลไกการปรับรมี(AR) เมื่อถูกเรียกใช้จะลดสมาชิกค่าข้างเคียงที่อยู่ภายในปริภูมิการค้นหาหาลง มีส่วนช่วยเพิ่มความเร็วในการค้นหาผลเฉลย และกลไกนี้จะสามารถเรียกใช้ได้โดยไม่จำกัดจำนวนครั้งขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยเช่นกัน

กลไกการปรับรมีการค้นหา (AR) จะถูกเรียกใช้ เพื่อปรับปริภูมิการค้นหาให้ลดลง ส่วนการปรับค่าข้างเคียงการค้นหา (AN) จะถูกเรียกใช้ เพื่อลดสมาชิกค่าข้างเคียงที่อยู่ภายในปริภูมิการค้นหาหาลง กลไกทั้งสองเมื่อทำงานพร้อมกัน จะมีส่วนช่วยเพิ่มความเร็วในการค้นหาผลเฉลยสามารถเขียนเป็นขั้นตอนการทำงานของ CS และแสดงด้วยแผนภูมิดังรูปที่ 3.27 แสดงกระบวนการค้นหาผลเฉลยตามอัลกอริทึมเพื่อหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกระแสวิ่งเข้มข้น เมื่อ TC คือเกณฑ์ยุติการค้นหา (termination criteria) อธิบายขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้จากอัลกอริทึมที่นำเสนอ ขั้นตอนที่ 1- ปริภูมิการค้นหา Ω แสดงถึงขอบเขตที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่าน จำนวนสูงสุดของการวนซ้ำผลเฉลยเดิมที่ยอมรับได้ n_{max} ถูกใช้เพื่อระบุการติดกับเฉพาะที่ จำนวนคำตอบเริ่มต้น N คือเซตของทิศทางที่เป็นไปได้ของกระแสไฟฟ้าที่สามารถไหลในโครงข่าย จำนวนค่าใกล้เคียง k เปรียบเสมือนการกำหนดทิศทางการค้นหาต่างๆ ของกระแสไฟฟ้าในทิศทางที่ถูกเลือก โดยที่รมีการค้นหา ρ และค่าข้างเคียงการค้นหา α คือตัวกำหนดปริภูมิการค้นหาหาลง เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลไปในทิศทางที่ถูกเลือกในขั้นตอนที่ 2 ถึง 3 การสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติถูกนำมาใช้เพื่อผลิตทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทิศทางเหล่านี้จะถูกประเมินโดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อจัดเรียงลำดับความสำคัญจากมากที่สุดไปสู่น้อยที่สุดในขั้นตอนที่ 4 ถึง 7



รูปที่ 3.27 ลักษณะกระบวนการทำงานของ CS

เมื่อทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่มีนัยสำคัญสูงสุดได้รับการกำหนด กระบวนการค้นหาจะดำเนินการตามลำดับเพื่อค้นหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดตามทิศทางดังกล่าวภายในปริภูมิการค้นหาโดยที่ค่าตอบที่เป็นไปได้จะถูกประเมินด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ กระบวนการค้นหาจะดำเนินการวนซ้ำจนกระทั่ง ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดถูก

ค้นพบ ในขั้นตอนที่ 8 เรียกใช้กลไกการปรับรัศมีการค้นหา (AR) เพื่อปรับปริมาณการค้นหาให้ลดลงและเรียกใช้กลไกการปรับค่าข้างเคียงการค้นหา (AN) เพื่อลดสมาชิกค่าข้างเคียงที่อยู่ภายในปริมาณการค้นหาย่อย และในขั้นตอนที่ 9 ถึง 10 การติดกับเฉพาะที่จะถูกระบุด้วยจำนวนสูงสุดของการวนซ้ำผลเฉลยเดิมที่ยอมรับได้ ถ้าเกิดการติดกับเฉพาะที่ขึ้น ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่มีนัยสำคัญสูงสุดลำดับที่สองจะถูกเรียกใช้ กระบวนการค้นหาจะดำเนินการวนซ้ำในลักษณะเช่นนี้เรื่อยไป หากเกิดการติดกับเฉพาะที่ขึ้นอีก ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่มีนัยสำคัญสูงสุดลำดับที่สาม ก็จะถูกเรียกใช้เป็นเช่นนี้เรื่อยไป จนกระทั่งผลเฉลยเหมาะสมที่สุดถูกค้นพบ หรือจนกระทั่ง เกณฑ์ยุติการค้นหา มีความสอดคล้องในที่สุด

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทที่ 4 ผลการทดลอง

การจำลองและทดลองการทำงานของระบบติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์จากวิธีเมตาฮิวริสติกด้วยวิธีการค้นหากระแสน้ำและวิธีการค้นหาแบบตาบอดโดยใช้โปรแกรม MATLAB จากนั้นทำการทดสอบการหาค่าติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาต่างๆ

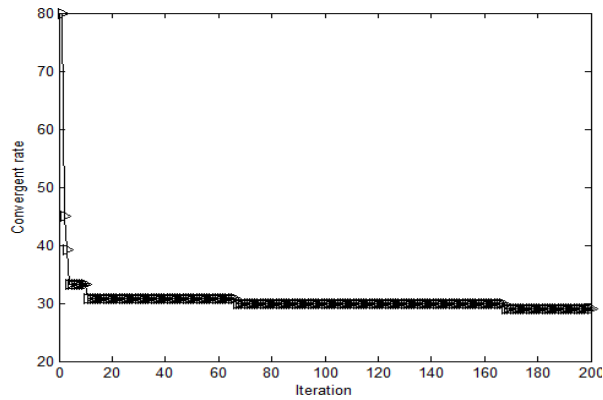
4.1 การจำลองและผลการจำลอง

โปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองการทำงานต่างๆ ทางวิศวกรรมได้อย่างหลากหลายโดยในงานวิจัยนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการจำลองการทำงานของระบบแปลงผันกำลังงานไฟฟ้าและเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น แสงแดด อุณหภูมิ เป็นต้น และยังใช้ในการทดสอบวิธีการค้นหาแบบตาบอดและวิธีการค้นหาแบบกระแสน้ำเพื่อหาค่ากำลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์จากนั้นเปรียบเทียบผลการจำลอง ลักษณะโปรแกรม MATLAB จะเขียนอยู่ในรูปของ M-file ดังรูปที่ 4.1

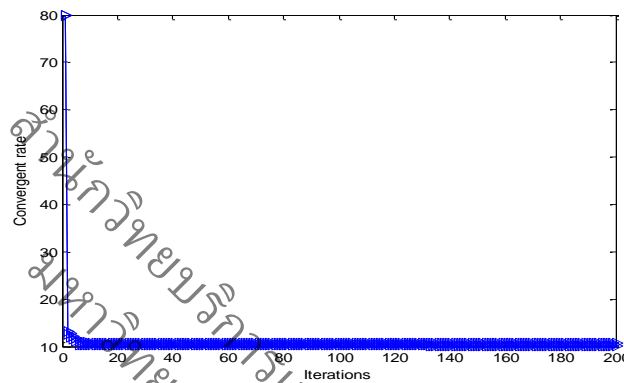
```
f1=r(1)
xm=xmem(1);
ym=ytem(1);
zm=zmem(i);
xmm=inf;
ymm=inf;
zmm=inf;
] while (s(2))
clear figure
] while (c<MaxCount+2)
xm1=xm+Rx1;
xm2=xm-Rx1;
ym1=ym+Rx2;
ym2=ym-Rx2;
zm1=zm+Rx3;
zm2=zm-Rx3;
if xm1>x1b
xm1=x1b;
end
if ym1>x2b
ym1=x2b;
end
if zm1>x3b
zm1=x3b;
end
```

รูปที่ 4.1 ลักษณะการเขียน M-file ด้วยโปรแกรม MATLAB

ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อทดสอบหาค่ากำลังงานไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบอดและวิธีการค้นหาแบบกระแสน้ำโดยกำหนดให้มีการวนซ้ำเพื่อหาค่าตอบจำนวน 200 รอบ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 การลู่เข้าหาคำตอบของการค้นหาแบบตาบอด



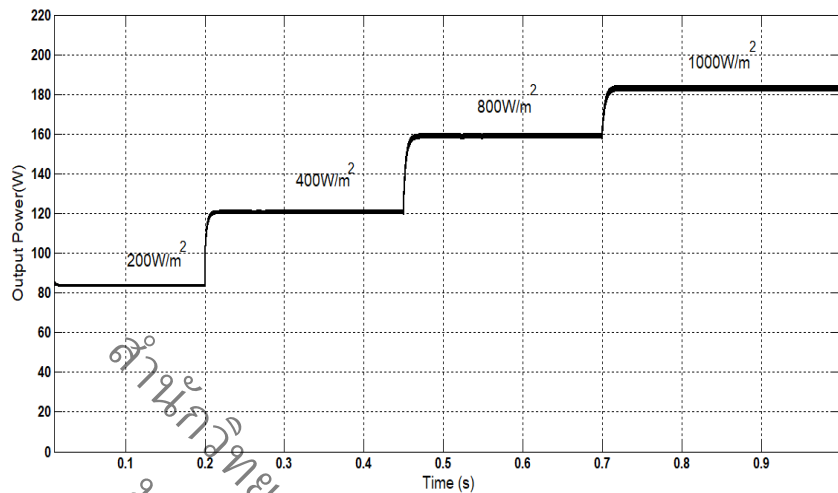
รูปที่ 4.3 การลู่เข้าหาคำตอบของการค้นหาแบบกระแส

จากรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าการค้นหาแบบกระแสจะลู่เข้าหาคำตอบได้ดีกว่าการค้นหาแบบตาบอดจากการวนซ้ำเพื่อหาคำตอบจำนวน 200 รอบ ที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 โดยวิธีการค้นหาแบบตาบอดใช้เวลา 21.7 วินาทีและวิธีการค้นหาแบบกระแสใช้เวลา 21.5 วินาที สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 4.1 (Seyed Hossein Hosseinil, Amir Farakhor and Saeideh Khadem Haghighian, 2013)

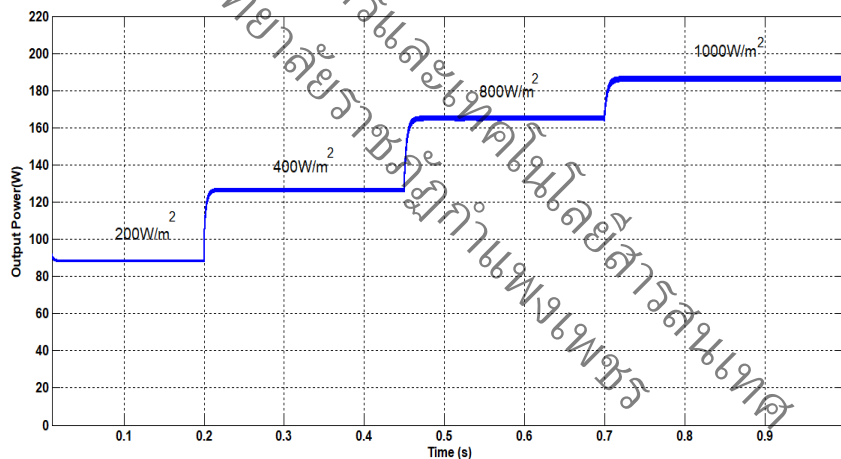
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์เซลล์แสงอาทิตย์

I_0	Diode Reference Reverse Saturation Current	$1.13 \times 10^{-6} \text{ (A)}$
E_g	Semiconductor Band gap Voltage	1.16 (e.v)
N	Emission Coefficient	1.81
I_{pv}	Reference Short-circuit Current	5.61 (A)
k_i	Short-circuit Temperature Coefficient	1.96 (mA/K)
K	Boltzmann's Constant	$1.3 \times 10^{-23} \text{ (J/K)}$
T_r	Nominal Temperature	298.15 (K)
q	Charge on an Electron	$1.6 \times 10^{-19} \text{ (C)}$

R_s	Series Resistance	2.48 (Ω)
R_p	Parallel Resistance	8.7(Ω)
N_s	Number of Series Cells	72



รูปที่ 4.4 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบตามู



รูปที่ 4.5 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแสด

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกดังตารางที่ 4.2

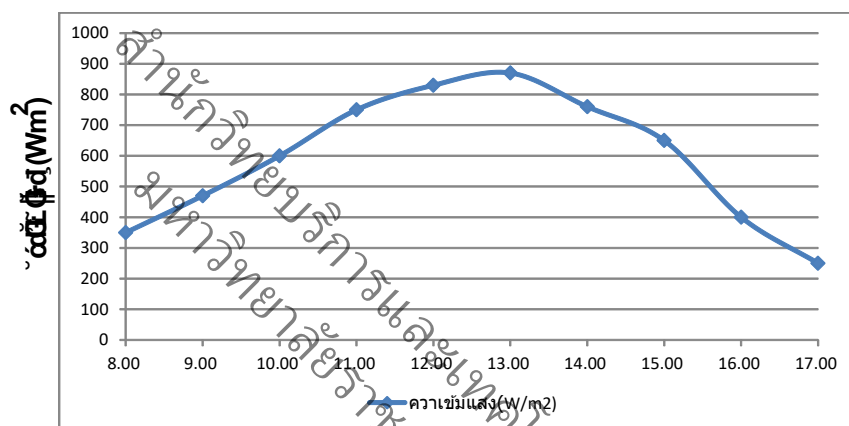
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

ความเข้มแสง (W/m^2)	การค้นหาแบบกระแสด		การค้นหาแบบตามู	
	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (วัตต์)	เวลาการค้นหา (วินาที)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (วัตต์)	เวลาการค้นหา (วินาที)
1000	185.64	0.215×10^2	183.23	0.217×10^2
800	162.15	0.247×10^2	157.54	0.251×10^2

400	124.43	0.228×10^2	121.20	0.235×10^2
200	87.56	0.251×10^2	84.24	0.257×10^2

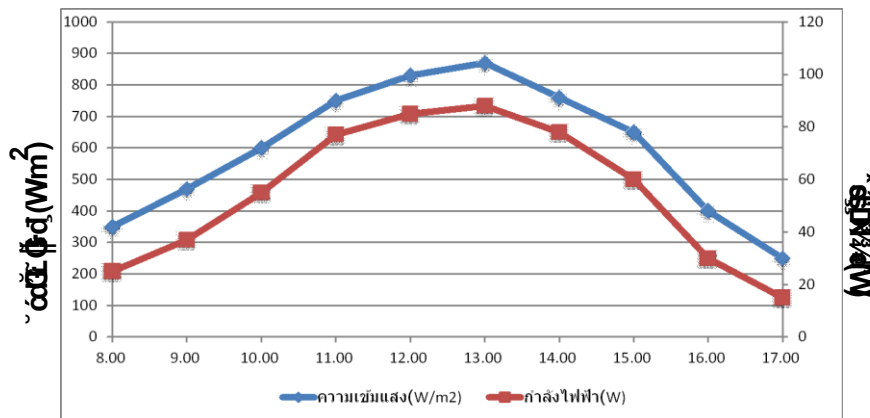
4.2 การทดลองระบบติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดเซลล์แสงอาทิตย์

การทดลองเพื่อทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาด 120 วัตต์จำนวน 1 แผง จะเห็นว่าค่าความเข้มแสงจะมีปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาดังรูปที่ 4.6 ช่วงเวลาการทดสอบ ตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 17.00 น. ค่าความเข้มแสงในแต่ละช่วงเวลาจะไม่คงที่ตลอดส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจากเซลล์แสงอาทิตย์ผันผวนตามไปด้วยช่วงเวลาประมาณ 12.00 น.-14.00 น. จะเป็นช่วงที่มีความเข้มแสงสูงซึ่งสามารถดึงเอาพลังงานไฟฟ้าออกมาได้มากที่สุดและช่วงเวลาก่อน 8.00 น.และมากกว่า 17.00 น. โดยประมาณจะเป็นช่วงที่มีพลังงานไฟฟ้าออกมาน้อยที่สุด



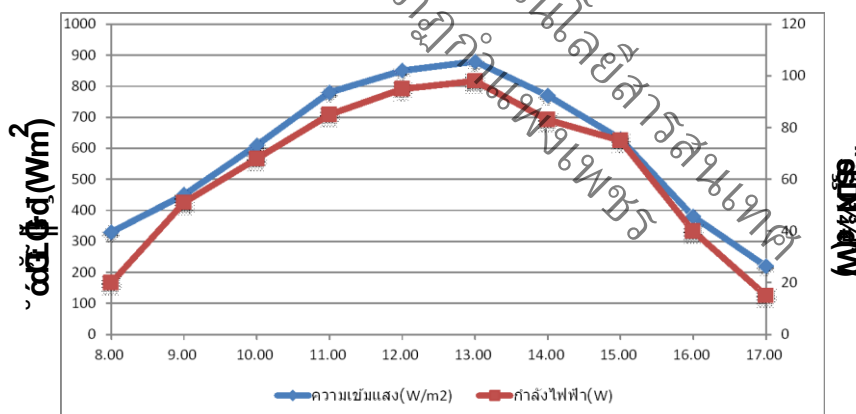
รูปที่ 4.6 ค่าความเข้มแสงช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 17.00 น.

การทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะเปรียบเทียบกับตัวควบคุมการประจุที่มีการใช้ใน ปัจจุบันขนาด 12 โวลต์ 10 แอมป์และตัวควบคุมการประจุแบบติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแสและวิธีการค้นหาแบบตาม ในรูปที่ 4.7 แสดงการจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านตัวควบคุมการประจุไปยังแบตเตอรี่ที่ใช้ในปัจจุบันในช่วงเวลา 8.00 น. จะมีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าที่ 25.3 วัตต์ซึ่งมี ปริมาณค่อนข้างน้อยเป็นผลมาจากปริมาณแสงในช่วงเช้าที่มีปริมาณน้อย ในช่วงเวลา 10.00 น.ปริมาณแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลในสามารถส่งกำลังงานไฟฟ้ามากขึ้นและจะมีค่ากำลังงานไฟฟ้าสูงสุดช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. เฉลี่ยที่ 85.4 วัตต์หลังจากนั้นกำลังงานไฟฟ้าจะค่อยๆลดลงตามปริมาณแสงที่น้อยลงจนถึงเวลา 17.00 น.มี ค่ากำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 15.1 วัตต์



รูปที่ 4.7 ค่าความเข้มแสงกับค่ากำลังงานไฟฟ้าของตัวควบคุมการประจุ

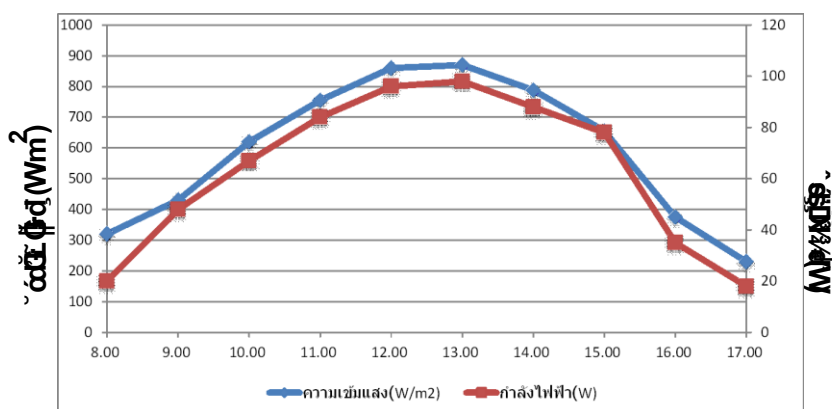
ทำการเปลี่ยนตัวควบคุมการประจุด้วยระบบติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแสดทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าช่วงเวลาดังกล่าวตั้งแต่ 8.00 น.- 17.00 น. ดังรูปที่ 4.8 ในช่วงเวลา 8.00 น. มีปริมาณแสงค่อนข้างน้อยระดับของกำลังงานไฟฟ้าจึงไม่สูงมากเช่นเดียวกับระบบควบคุมประจุแบบทั่วไปซึ่งระบบติดตามกำลังงานสูงสุดไม่สามารถปรับระดับกำลังไฟฟ้าในสูงขึ้นได้เนื่องจากได้พลังงานไฟฟ้าเข้ามาน้อยเฉลี่ยประมาณ 20.7 วัตต์ ในช่วงเวลา 9.00 น. มีค่าความเข้มแสง 443.4 W/m² กำลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบติดตามกำลังงานสูงสุดจะมีค่าที่สูงขึ้นและจะสามารถถึงกำลังงานสูงที่สุดในช่วงเวลา 13.00 น. ได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 98.6 วัตต์ และค่ากำลังงานไฟฟ้าจะค่อยๆ ลดลงตามปริมาณแสงแต่ละช่วงเวลาดังนั้นช่วงเวลาที่ระบบติดตามกำลังงานสูงสุดจะทำงานได้ดีที่สุดตั้งแต่ 9.00 น.- 16.00 น. ช่วงเวลานอกจากนั้นจะให้กำลังไฟฟ้าน้อยมากหรือไม่สามารถให้กำลังไฟฟ้าได้เลย



รูปที่ 4.8 ค่าความเข้มแสงกับค่ากำลังงานไฟฟ้าด้วยระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแสด

ทำการเปลี่ยนตัวควบคุมการประจุด้วยระบบติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากวิธีการค้นหาแบบกระแสดเป็นวิธีการค้นหาแบบตามขั้นตอนทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าช่วงเวลาดังกล่าวตั้งแต่ 8.00 น.- 17.00 น. ดังรูปที่ 4.9 ในช่วงเวลา 8.00 น. มีปริมาณแสงค่อนข้างน้อยระดับของกำลังงานไฟฟ้าจึงไม่สูงมากเช่นเดียวกับวิธีการค้นหาแบบกระแสดซึ่งเป็นผลจากพลังงานไฟฟ้าที่เข้ามาน้อยเฉลี่ย 19.5 วัตต์ทำให้ระบบติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดทำงานได้ไม่เต็มที่ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 9.00 น. มีค่าความเข้มแสง 432.5 W/m² กำลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบติดตามกำลังงานสูงสุดจะมีค่าที่สูงขึ้นและจะสามารถถึงกำลังงานสูงที่สุดในช่วงเวลา 13.00 น. ได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 96.8 วัตต์ ที่ค่าความเข้มแสง 870.5 W/m² และค่ากำลังงานไฟฟ้าจะค่อยๆ ลดลงตามปริมาณแสงแต่ละ

ช่วงเวลาจนถึงเวลา 17.00 น. หลังจากนั้นจะให้กำลังไฟฟ้าน้อยมากหรือไม่สามารถให้กำลังไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไป



รูปที่ 4.9 ค่าความเข้มแสงกับค่ากำลังงานไฟฟ้าด้วยระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบตาม

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบระบบติดตามกำลังไฟฟ้สูงสุดด้วยวิธีต่างๆ ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า การทดสอบในแต่ละช่วงเวลาตั้งแต่ 8:00 น.-17:00 น. จะมีค่าของปริมาณความเข้มแสงที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การทดสอบในแต่ละแบบไม่สามารถกำหนดปริมาณความเข้มแสงให้เหมือนกันในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งเป็นผลจากสภาพแวดล้อมการให้ปริมาณแสงจากดวงอาทิตย์ ในช่วงเวลา 8.00 น. ปริมาณความเข้มแสงน้อย กำลังไฟฟ้าจึงผลิตออกมาได้น้อยระบบติดตามกำลังไฟฟ้สูงสุดทั้ง 2 แบบจะให้กำลังไฟฟ้ที่น้อยกว่าระบบควบคุมประจุแบตเตอรี่ เนื่องจากปริมาณพลังงานไฟฟ้ที่ส่งเข้ามาน้อยและมีการสูญเสียกำลังงานไฟฟ้ที่ตัวอุปกรณ์ภายในและการสวิตซ์ซิ่ง เป็นต้น ช่วงเวลาตั้งแต่ 9:00 น. จะเห็นได้ว่าระบบติดตามกำลังไฟฟ้สูงสุดสามารถดึงกำลังไฟฟ้ออกมาใช้งานได้มากกว่าระบบควบคุมประจุแบตเตอรี่ทั่วไป ช่วงเวลา 12.00 น.-13.00 น. จะสามารถดึงเอากำลังไฟฟ้สูงสุดออกมาได้มากที่สุดเนื่องจากมีปริมาณความเข้มแสงที่มากกว่าช่วงเวลาอื่นๆ การจ่ายกำลังงานไฟฟ้สามารถทำได้จนเวลา 17.00 น. ซึ่งให้ค่ากำลังไฟฟ้ที่ออกมาในน้อยที่สุดตามค่าปริมาณของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นการใช้งานต้องคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าว ระบบติดตามกำลังไฟฟ้สูงสุดทั้งแบบวิธีการค้นหาแบบกระแสและวิธีการค้นหาแบบตามูให้ผลการติดตามกำลังไฟฟ้สูงสุดที่ใกล้เคียงกันหากใช้วิธีใดวิธีหนึ่งในแง่ของการประยุกต์ใช้งานก็สามารถใช้ได้เหมือนกัน ด้วยระบบติดตามกำลังไฟฟ้สูงสุดนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้ได้มากกว่าระบบควบคุมประจุแบตเตอรี่ทั่วไปโดยเฉลี่ยถึง 13.5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการจ่ายกำลังไฟฟ้จากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ

เวลา	ระบบควบคุมประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 10 แอมป์		ระบบติดตามกำลังไฟฟ้สูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแส		ระบบติดตามกำลังไฟฟ้สูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบตามู	
	ความเข้มแสง (W/m ²)	กำลังไฟฟ้ (W)	ความเข้มแสง (W/m ²)	กำลังไฟฟ้ (W)	ความเข้มแสง (W/m ²)	กำลังไฟฟ้ (W)
8.00 น.	350.7	25.3	330.4	20.7	323.2	19.5
9.00 น.	475.6	37.5	443.8	51.2	432.5	46.7

10.00 น.	613.2	55.2	611.9	68.8	622.3	67.8
11.00 น.	752.1	77.4	783.5	85.6	755.6	84.5
12.00 น.	834.5	83.3	853.3	95.5	862.7	96.3
13.00 น.	873.0	85.2	884.2	98.6	870.5	96.8
14.00 น.	767.6	78.7	774.1	83.3	788.2	88.7
15.00 น.	651.1	60.1	636.2	75.2	655.4	78.8
16.00 น.	403.2	30.2	382.6	40.7	375.3	35.6
17.00 น.	254.4	15.1	220.1	17.0	232.1	18.0

การสะสมพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่จากเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านระบบควบคุมการประจุแบตเตอรี่และระบบติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยกำหนดช่วงเวลาในการประจุไฟฟ้าตั้งแต่เวลา 8.00 น.-17.00 น. ทดสอบการประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 40 แอมป์ต่อชั่วโมง ที่ทำการคายประจุก่อนทำการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการประจุแบตเตอรี่แบบต่างๆ

เวลา	ระบบควบคุมประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 10 แอมป์			ระบบติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแส			ระบบติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบตาม		
	กำลังไฟฟ้า (W)	กระแส (A)	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	กำลังไฟฟ้า (W)	กระแส (A)	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	กำลังไฟฟ้า (W)	กระแส (A)	แรงดันแบตเตอรี่ (V)
8.00 น.	26.7	1.85	10.67	22.3	1.75	10.54	21.2	1.77	10.76
9.00 น.	33.6	2.34	11.25	50.0	3.25	11.40	43.5	3.12	11.35
10.00 น.	42.5	2.85	11.65	65.7	3.66	11.85	64.7	3.56	11.81
11.00 น.	59.2	3.86	11.85	81.2	5.32	12.33	83.4	5.25	12.30
12.00 น.	80.7	5.70	12.16	94.4	7.23	12.53	96.3	7.35	12.43
13.00 น.	82.4	5.73	12.35	96.7	7.27	12.75	93.8	7.13	12.62
14.00 น.	72.5	4.95	12.53	80.2	5.53	13.03	85.7	5.62	12.92
15.00 น.	52.2	3.75	12.67	72.3	4.85	13.20	76.4	4.89	13.12
16.00 น.	23.2	2.20	12.70	42.4	3.01	13.25	32.4	2.85	13.18
17.00 น.	14.25	0.75	12.74	17.0	1.15	13.28	18.5	1.18	13.24

จากตารางที่ 4.4 เป็นการทดสอบการประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการแต่ละแบบพบว่าระบบควบคุมประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 10 แอมป์ สามารถประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ได้ 12.74 โวลต์ใช้เวลา 9 ชั่วโมง ส่วนการใช้ระบบติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแสและวิธีการค้นหาแบบตามจะให้ผลการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ใกล้เคียงกันเฉลี่ยประมาณ 13.26 โวลต์โดยใช้เวลา 9 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน ซึ่งแบตเตอรี่เมื่อชาร์จเต็มจะมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 13.6-13.8 โวลต์ การชาร์จประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการเมตาฮีโรสติกส์ในการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะให้ผลการชาร์จประจุแบตเตอรี่ได้ดีกว่าระบบควบคุมประจุแบตเตอรี่แบบธรรมดาทั่วไปขนาด 12 โวลต์ 10 แอมป์

การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องบำบัดน้ำเสียที่สูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์จะได้จากแบตเตอรี่ โดยโหลดที่ใช้คือมอเตอร์ปั้มน้ำไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งมีขนาดแรงดัน 12 โวลต์ 3 แอมป์จำนวน 4 ตัว จะมีค่า

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด 144 วัตต์ เมื่อคำนวณประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ 85 เปอร์เซ็นต์ จะได้จำนวนวัตต์ที่ใช้งานจริงคือ 122 วัตต์ เมื่อคิดประสิทธิภาพขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้คือ 19.93 แอมป์ต่อชั่วโมง ดังนั้นแบตเตอรี่ที่ใช้มีขนาด 12 โวลต์ 40 แอมป์ต่อชั่วโมงจึงสามารถจ่ายให้กับโหลดได้ประมาณ 2 ชั่วโมงในสถานะที่ไม่มีแสงทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ตลอดทั้งวัน แต่หากมองในเรื่องของความเร็วในการชาร์จประจุแบตเตอรี่นั้น ระบบติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮีวเรสติกทั้ง 2 วิธีจะให้ประสิทธิภาพการชาร์จประจุแบตเตอรี่ที่เร็วกว่าระบบประจุแบตเตอรี่แบบธรรมดาทั่วไปซึ่งแบตเตอรี่ก็จะสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดได้เร็วขึ้นเท่านั้น

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเรื่อง ระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกสำหรับเครื่องบำบัดน้ำที่สูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในขั้นตอนของการดำเนินการของระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกสำหรับเครื่องบำบัดน้ำที่สูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสามารถดึงเอาพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุดเพื่อนำไปใช้ประจุแบตเตอรี่โดยใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกในการหาค่าที่ดีที่สุดหรือค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งวิธีการเมตาฮิวริสติกที่เลือกใช้คือวิธีการค้นหาแบบกระแสวิงและวิธีการค้นหาแบบตาบอด จากผลการทดลองด้วยโปรแกรม MATLAB พบว่าวิธีการค้นหาแบบกระแสวิงมีอัตราการลู่เข้าหาค่าตอบและการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความเข้มแสง 200 W/m², 400 W/m², 800 W/m², 1000 W/m² ได้ดีกว่าวิธีการค้นหาแบบตาบอด โดยในสถานการณ์ทดสอบวงจรติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบพหุระดับควบคุมด้วยวิธีการค้นหาแบบกระแสวิงและวิธีการค้นหาแบบตาบอดเปรียบเทียบกับระบบควบคุมประจุแบตเตอรี่ทั่วไปขนาดแรงดัน 12 โวลต์ 10 แอมป์ ระยะเวลาในการทดสอบตั้งแต่ 8.00 น. - 17.00 น. พบว่าระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกสามารถเพิ่มประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าระบบควบคุมประจุแบตเตอรี่ทั่วไปโดยเฉลี่ยถึง 13.5 เปอร์เซ็นต์ ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใช้งานตั้งแต่ 9.00 น. - 16.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณความเข้มแสงที่เหมาะสมส่งผลให้มีพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหาค่าติดตามกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทดสอบชาร์จประจุแบตเตอรี่จะใช้แบตเตอรี่ขนาดแรงดัน 12 โวลต์ 40 แอมป์ต่อชั่วโมงนั้น ระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกทั้ง 2 วิธีสามารถประจุแบตเตอรี่ที่แรงดันเฉลี่ย 13.26 โวลต์ ส่วนระบบควบคุมประจุแบตเตอรี่ทั่วไปจะให้ระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12.74 โวลต์ การใช้งานแบตเตอรี่เมื่อชาร์จไฟเต็มสำหรับเครื่องบำบัดน้ำที่สูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถจ่ายให้กับโหลดได้ประมาณเพียง 2 ชั่วโมงในสภาวะที่ไม่มีแสงทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ตลอดทั้งวัน สำหรับข้อดีของระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกทั้ง 2 วิธีจะมีประสิทธิภาพในการชาร์จประจุแบตเตอรี่ที่ดีกว่าระบบประจุแบตเตอรี่แบบธรรมดาทั่วไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยเรื่อง ระบบติดตามกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกสำหรับเครื่องบำบัดน้ำที่สูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่ามีข้อควรปรับปรุงหรือข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 ควรมีการประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบติดตามแสงอาทิตย์ (solar tracking) ให้เกิดประสิทธิภาพการหาค่ากำลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด

5.2.2 ควรมีการออกแบบระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังในการดึงเอาพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้กับโหลดไฟฟ้าโดยตรงแบบวิธีการควบคุม 2 ระบบคือ ระบบประจุแบตเตอรี่ร่วมกับระบบจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดของระบบบำบัดน้ำเสีย

บรรณานุกรม

- พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล. (2552).ระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับวัดรังสีแสงอาทิตย์.วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ฉบับที่ 1 2552.
- สุชนม์ แก้วมาตย์. (2555).การบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้าด้วยกระบวนการเฟ้นต้นแบบฉายแสงโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สุภัทระ สุวรรณไตร.(2554).การหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์ แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการเพิ่มค่าความนำ สำหรับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ชนิดเต็มบริดจ์.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- วิชญ์ จิตวิริยะ.(2554).การประยุกต์ใช้การควบคุมการติดตามค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของโมดูลเซลล์ แสงอาทิตย์ด้วยการเพิ่มค่าความนำกับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบทบแรงดันร่วมกลับ ทิศทาง.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- A. Al-Amoudi, “Application of radial basis function networks for solar-array modelling and maximum power-point prediction” IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, 2000.
- Alex Joseph and Kamala J, “ PV Array Characteristic Analysis Under Partial Shading & Modeling of P&O MPPT Applied Boost Converter Using Matlab/ Simulink” ,International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability, 2013.
- J. Kennedy, R. Eberhart, “Particle swarm optimization”, in: IEEE International Conference on Neural Networks, 1995.
- M. Dorigo, and T. Stützle,” Ant Colony Optimization” , The MIT Press,Cambridge, Massachusetts, 2004, pp.305.
- Pillin Junsansri and Fabrizio Lombardi, “ Time/ Temperature Degradation of Solar Cell Under the Single Diode Model” ,International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems, 2010.

Puangdownreong D. and Sakulin A. "**Current Search: A Novel Meta-Heuristic Algorithm for Numerical Function Optimization**" The 11th WSEAS International Conference on Artificial Intelligence, Cambridge, UK, 2012.

R. Chelouah, P. Siyany, "**Tabu search applied to global optimization**", European Journal of Operational Research, 123(2), pp. 256-270, (2000).

Seyed Hossein Hosseinil, Amir Farakhor and Saeideh Khadem Haghhighian, "**Novel Algorithm of MPPT for PV Array Based on Variable Step Newton-Raphson Method Through Model Predictive Control**". International Conference on Control, Automation and Systems (LCCAS 2013), 2013.

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร