

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น
โดยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

LINEAR ARRAY ANTENNA OPTIMIZATION USING
MODIFIED FRUIT FLY OPTIMIZATION ALGORITHM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-D-018-111

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น
โดยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

LINEAR ARRAY ANTENNA OPTIMIZATION USING
MODIFIED FRUIT FLY OPTIMIZATION ALGORITHM



ณัฐเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน
NATTASET MHUDTONGON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-D-018-111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LINEAR ARRAY ANTENNA OPTIMIZATION USING
MODIFIED FRUIT FLY OPTIMIZATION ALGORITHM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016
KMITL-2016-EN-D-018-111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นโดยระเบียบวิธีขั้นตอน
แบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง
Thesis Title Linear Array Antenna Optimization using Modified Fruit Fly Optimization
Algorithm
นักศึกษา นายณัฐเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน
รหัสประจำตัว 53610110
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-D-018-111

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ศ.ดร.โมไนย	ไกรฤกษ์	
ผศ.ดร.พิชญ	สุพรรณกุล	
ผศ.ดร.ทับทิม	อังก้าว	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	
รศ.ดร.ชวรงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM-301

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ถือว่าผิดกฎหมาย ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแกลลัดบเชิงเส้นโดยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง
นักศึกษา	นายณัฐเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน
รหัส	53610110
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง สำหรับการประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาทางไฟฟ้าของสายอากาศแกลลัดบเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ กระบวนการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการค้นหาค่าตอบของวิธีการที่นำเสนอ นั้นจะประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญ 3 กระบวนการ โดยกระบวนการแรก จะเป็นการค้นหาแบบสุ่มของกลุ่มแมลงหวี่ 2 กลุ่ม โดยแมลงหวี่ในกลุ่มแรกจะทำการค้นหาค่าตอบที่ครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณกว้าง และแมลงหวี่ในกลุ่มที่สอง จะทำการค้นหาค่าตอบที่ครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณแคบ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มพื้นที่ของการค้นหาค่าตอบได้มากขึ้น เนื่องจากระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่แบบดั้งเดิมนั้น ไม่สามารถที่จะค้นหาค่าตอบที่เป็นจำนวนเต็มลบได้ ดังนั้นฟังก์ชันเครื่องหมาย (sign function) จะถูกเพิ่มเข้าไปในกระบวนการที่สอง ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถที่จะหลีกเลี่ยงกับการค้นหาค่าตอบที่ได้มาซึ่งค่าคำตอบแบบทอจิ้นได้ กระบวนการที่สาม คือการปรับตัวได้ของกลุ่มประชากรแมลงหวี่ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวนี้จะช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง เพื่อแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง วัตถุประสงค์ของการออกแบบสายอากาศจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ปัญหา กล่าวคือ ปัญหาการออกแบบแรกจะเป็นการออกแบบสายอากาศแกลลัดบเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดของสายอากาศแกลลัดบเชิงเส้น โดยการปรับพารามิเตอร์แอมพลิจูดและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแกลลัดบ จากผลการคำนวณเชิงเลขแสดงให้เห็นว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงมีค่าที่น้อยกว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม โดยมีค่าเท่ากับ 5.44 6.44 และ 7.30 องศา ตามลำดับ ปัญหาการออกแบบที่สอง คือ การออกแบบสายอากาศแกลลัดบเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุดของสายอากาศแกลลัดบเชิงเส้น โดยการปรับพารามิเตอร์แอมพลิจูดของสายอากาศแกลลัดบ จากผลการคำนวณเชิงเลขพบว่าระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างของวิธีการที่นำเสนอ มีค่าต่ำกว่าวิธีการอื่นๆ กล่าวคือ เมื่อทำการกำหนดให้จำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแกลลัดบมีค่าเท่ากับ 16 องค์ประกอบ ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้าง จะมีค่าเท่ากับ -30.8029 -28.3889 และ -27.4970 เดซิเบลตามลำดับ และ เมื่อทำการกำหนดให้จำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแกลลัดบมีค่าเท่ากับ 30 องค์ประกอบ ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้าง จะมีค่าเท่ากับ -41.0939 -38.3937 และ -36.0861 เดซิเบลตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Linear Array Antenna Optimization using Modified Fruit Fly Optimization Algorithm
Student	Mr. Nattaset Mhudtongon
Student ID.	53610110
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

This thesis presents a modified fruit fly optimization algorithm (MFOA) for application in the electrical problems of linear antenna array in free space. The modified process to enhance the performance of the proposed method consists of three parts. The first part is the random search of two groups of swarm. The first group is assigned to find a new search space with the wide area, and the second group is assigned to find nearby optimum space. This procedure can achieve a wider search space. Since the conventional fruit fly optimization algorithm (FOA) cannot find the negative value of searching parameter, the random value of sign function (sign (ε)) is added in the second part. This process helps improving the search ability by avoiding a local optimum. The third part is the adaptive fruit fly swarm population size. The process is to reduce the computational time of the method. To show the versatility of the presented method, the objective of antenna design is divided into two issues. First, the antenna design is to achieve maximum directivity for linear array antenna by controlling amplitude and spacing parameters of the array antenna. From the numerical results, the half power beamwidth of the MFOA is narrower than the FOA and GA. It is found that the beamwidth is equal to 5.44, 6.44 and 7.30 degree, respectively. Second, the antenna design is to minimize side lobe level by adjusting amplitude of the array antenna. It is found that the side lobe level of the proposed method is lower than the other ones. When the number of the elements is 16, the sidelobe level is equal to -30.8029, -28.3889 and -27.4970 dB, respectively. For the other problem, the number of the elements is 30. The sidelobe level is equal to -41.0939, -38.3937 and -36.0861 dB, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เพราะได้รับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าและวิจัย จากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ซึ่งเป็นผู้ให้โอกาสทางการศึกษา รวมถึงการอบรมสั่งสอน เคียวเชิญ และความปรารถนาดีที่มีให้เสมอมา ขอขอบคุณ รศ. ดร. สมผล โกศลยิววิตร์ ผู้ซึ่งให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางในการศึกษาออกแบบงานวิจัย รวมถึงความเมตตาเอ็นดูอย่างดียิ่งที่มีให้แก่ข้าพเจ้าเสมอมา ขอขอบคุณ Professor. Koki Watanabe ผู้ซึ่งให้คำแนะนำรวมถึงแนวคิดทางด้านวิชาการที่เป็นประโยชน์ ซึ่งความรู้ต่างๆ เหล่านั้น ข้าพเจ้าได้นำมาต่อยอด พัฒนา และสามารถนำมาปรับใช้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ ดร. ศุภกิต แก้วดวงตา และ ดร. กิตติศักดิ์ แพ้ว ผู้ซึ่งให้แนวทางตลอดจนแนวคิดในการวิจัย คำแนะนำต่างๆ ในการวิเคราะห์และทดสอบ รวมถึงการสนับสนุนในทุกๆ ด้าน ขอขอบคุณ ดร. รัตติกโร สมบัติแก้ว ดร. สุธาสินี ละมุลตรี ดร. อภिरดา นามแสง ดร. ชนนิกันต์ ขวัญช่วย ดร. กิตติมา เลิศศักดิ์วิมาน คุณเพ็ญนภา ชูพุ่ม และคุณภัทริยา จันทร์อาภาส ผู้ซึ่งให้กำลังใจและมิตรภาพที่ดียิ่งแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบคุณทุนการศึกษาโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษกโดยกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้สัญญาเลขที่ PHD/0331/2551 ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยนี้

ขอขอบคุณสมาชิกในห้องปฏิบัติการการสื่อสารไร้สายทุกท่าน ที่ให้การแนะนำ ช่วยเหลือและสนับสนุนงานวิจัยของข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู สนับสนุนและส่งเสริมการศึกษา รวมทั้งกำลังใจที่เปี่ยมล้นไปด้วยความรักที่มอบให้ข้าพเจ้าเสมอมา ขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้การอบรมสั่งสอน และประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ด้วยความเมตตาปราณีต่อศิษย์ คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่ บิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักยิ่งของข้าพเจ้า ตลอดจนบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ข้าพเจ้า จนทำให้ข้าพเจ้าเป็นตัวตนที่ตั้งเช่นทุกวันนี้

ณัฐเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	X
สารบัญรูป	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตวิทยานิพนธ์	4
1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 บทนำ	7
2.2 ความเป็นมาของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด	7
2.3 ประเภทของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด	9
2.4 รูปแบบการออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด	10
2.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ร่วมกับปัญหาทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	12
2.6 ทฤษฎีสายอากาศแฉวลำดับ	15
2.6.1 แฉวลำดับแบบสององค์ประกอบ	15
2.6.2 สายอากาศแฉวลำดับเชิงเส้น	25
2.6.2.1 สายอากาศแฉวลำดับด้านข้าง	31
2.6.2.2 สายอากาศแฉวลำดับแบบเอนด์ไฟร์	34
2.7 ทฤษฎีความน่าจะเป็น	37
2.7.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง	38
2.7.1.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของ ตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสองตัวแปร	38
2.7.1.2 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมร่วมของ	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสองตัวแปร	38
2.7.2 ฟังก์ชันเดียวของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสองตัวแปร	39
2.7.2.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมของ ตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสองตัวแปร	40
2.7.2.2 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของ ตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสองตัวแปร	41
2.7.3 ตัวอย่างของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องที่มีการแจกแจงแบบสมมาตร 42	42
2.8 บทสรุป	42
บทที่ 3 การวิเคราะห์ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	43
3.1 บทนำ	43
3.2 ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมและการประยุกต์ใช้งาน	43
3.2.1 ขั้นตอนการทำงานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	45
3.2.1.1 กระบวนการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นและ ตำแหน่งการบินสุ่มเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่	46
3.2.1.2 กระบวนการค้นหาคำตอบโดยอาศัยอวัยวะสำหรับการ การดมกลิ่นของแมลงหวี่	46
3.2.1.3 กระบวนการค้นหาคำตอบโดยอาศัยอวัยวะสำหรับการ มองเห็นของแมลงหวี่	47
3.3 การวิเคราะห์ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	49
3.3.1 การพิจารณาพารามิเตอร์ของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	49
3.3.2 การวิเคราะห์ผลกระทบจากกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและ กระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่	50
3.3.3 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสุ่มตำแหน่ง และกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ร่วมกับปัญหาสมการคณิตศาสตร์	52
3.3.3.1 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสุ่มตำแหน่ง เริ่มต้น และกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ เมื่อทำการกำหนด ขอบเขตการสุ่มทิศทางเท่ากับ $[-1, 1]$	52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.3.2	ผลการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้น และกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ เมื่อทำการกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางเท่ากับ [-5,5].....	53
3.3.3.3	ผลการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้น และกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ เมื่อทำการกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางเท่ากับ [-10,10]	54
3.3.3.4	ผลการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้น และกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ เมื่อทำการกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางเท่ากับ [-20,20].....	55
3.3.4	การวิเคราะห์ผลการคำนวณค่าความหนาแน่นกลิ่น สำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่.....	59
3.3.4.1	ผลการวิเคราะห์การคำนวณค่าความหนาแน่นกลิ่น สำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่.....	59
3.3.5	สรุปผลการวิเคราะห์ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	61
3.4	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง.....	61
3.4.1	การปรับปรุงระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม.....	62
3.4.1.1	กระบวนการค้นหาที่ครอบคลุมพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ	62
3.4.1.2	กระบวนการเพิ่มความถูกต้องสำหรับการค้นหาคำตอบ.....	63
3.4.1.3	กระบวนการเพิ่มความเร็วสำหรับการค้นหาคำตอบ	63
3.4.2	ขั้นตอนการทำงานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	64
3.4.2.1	กระบวนการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นและตำแหน่งการบินสุ่มเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่.....	64
3.4.2.2	กระบวนการค้นหาโดยอาศัยอวัยวะสำหรับการดมกลิ่นของกลุ่มแมลงหวี่	64
3.4.2.3	กระบวนการค้นหาโดยอาศัยอวัยวะสำหรับการมองเห็นของกลุ่มแมลงหวี่.....	66
3.5	บทสรุป	68
บทที่ 4	การประยุกต์ใช้งานระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์.....	69

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1	บทนำ.....	69
4.2	การประเมินสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนสำหรับ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	69
4.2.1	ความแม่นยำของกระบวนการหาค่าคำตอบ.....	69
4.2.1.1	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต.....	70
4.2.1.2	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....	70
4.2.2	ความเร็วของกระบวนการค้นหาคำตอบ.....	71
4.3	ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันต่อเนื่อง (Continuous function optimization problem).....	71
4.3.1	ฟังก์ชัน F1 (F1 function).....	71
4.3.2	ฟังก์ชัน F3 (F3 function).....	72
4.3.3	ฟังก์ชัน Branin (Branin's rcos function).....	73
4.3.4	ฟังก์ชัน Rastrigin (Rastrigin's function).....	74
4.3.5	ฟังก์ชัน Shaffer (Shaffer's function).....	75
4.3.6	ฟังก์ชัน Shubert (Shubert's function).....	76
4.4	ผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงเลขของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ร่วมกับปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์.....	77
4.4.1	การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการคำนวณ.....	77
4.4.2	ผลการคำนวณของฟังก์ชัน F1 (F1 function).....	77
4.4.3	ผลการคำนวณของฟังก์ชัน F3 (F3 function).....	80
4.4.4	ผลการคำนวณของฟังก์ชัน Branin (Branin's function).....	82
4.4.5	ผลการคำนวณของฟังก์ชัน Rastrigin (Rastrigin's function).....	85
4.4.6	ผลการคำนวณของฟังก์ชัน Shaffer (Shaffer's function).....	88
4.4.7	ผลการคำนวณของฟังก์ชัน Shubert (Shubert's function).....	91
4.5	บทสรุป.....	94
บทที่ 5	การประยุกต์ใช้งานระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ร่วมกับปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	95
5.1	บทนำ.....	95

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2	กระบวนการออกแบบสายอากาศด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบ แมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	95
5.3	การออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น เพื่อให้ได้มาซึ่ง ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น	97
5.3.1	การพิจารณาตัวประกอบแถวลำดับเชิงเส้น.....	97
5.3.2	ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง.....	97
5.4	ผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงเลขของการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น	98
5.4.1	การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการคำนวณ.....	98
5.4.2	ผลการคำนวณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	99
5.4.3	ผลการคำนวณการลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น	100
5.4.4	ผลการคำนวณค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดและเวลาในการคำนวณ เมื่อทำการเพิ่มจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น.....	102
5.5	การออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อย ด้านข้างต่ำที่สุด ของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น.....	106
5.5.1	การพิจารณาตัวประกอบแถวลำดับเชิงเส้น.....	106
5.5.2	ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้าง	106
5.6	ผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงเลขของการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น	107
5.6.1	การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการคำนวณ.....	108
5.6.2	ผลการคำนวณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ เมื่อจำนวน องค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ มีจำนวนเท่ากับ 16 องค์ประกอบ	108
5.6.3	ผลการคำนวณการลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลำดับ เมื่อจำนวน องค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ มีจำนวนเท่ากับ 16 องค์ประกอบ	109
5.6.4	ผลการคำนวณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ เมื่อจำนวน องค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ มีจำนวนเท่ากับ 30 องค์ประกอบ	112
5.6.5	ผลการคำนวณการลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลำดับ เมื่อจำนวน องค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ มีจำนวนเท่ากับ 30 องค์ประกอบ	113
5.7	บทสรุป	115

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	117
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	117
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	119
เอกสารอ้างอิง.....	120
ภาคผนวก.....	125
การคำนวณฟังก์ชันค่าความหนาแน่นคลื่น สำหรับการค้นหาแหล่งอาหาร ของแมลงหวี่ด้วยฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น.....	126
ประวัติผู้เขียน.....	129



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณลักษณะลำคลื่นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับแบบด้านข้าง.....	34
2.2 คุณลักษณะลำคลื่นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับแบบเอนไฟร์	37
3.1 สมการคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	51
3.2 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม เมื่อขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่เปลี่ยนแปลง.....	57
4.1 ผลการคำนวณเชิงเลขของฟังก์ชัน F1 โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	80
4.2 ผลการคำนวณเชิงเลขของฟังก์ชัน F3 โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	82
4.3 ผลการคำนวณเชิงเลขของฟังก์ชัน Branin โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	85
4.4 ผลการคำนวณเชิงเลขของฟังก์ชัน Rastrigin โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	88
4.5 ผลการคำนวณเชิงเลขของฟังก์ชัน Shaffer โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	90
4.6 ผลการคำนวณเชิงเลขของฟังก์ชัน Shubert โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	94
5.1 พารามิเตอร์และคุณลักษณะของสายอากาศที่เหมาะสมของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 10 องค์ประกอบ โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	101
5.2 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุด เมื่อทำการเพิ่มจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับโดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	104
5.3 พารามิเตอร์และคุณลักษณะของสายอากาศที่เหมาะสมของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 16 องค์ประกอบ โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	111
5.4 พารามิเตอร์และคุณลักษณะของสายอากาศที่เหมาะสมของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 30 องค์ประกอบ โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอน	

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

แบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม..... 115



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบการออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	11
2.2 สายอากาศแบบบ่วงคู่ของระบบ RFID ในย่านความถี่ต่ำ สำหรับการลงทะเบียนสัตว์.....	12
2.3 โครงสร้างสายอากาศส่งและสายอากาศรับของระบบชาร์ตแบตเตอร์รี่แบบไร้สาย.....	13
2.4 โครงสร้างสายอากาศรูปตัววี สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบ การสื่อสารแบบเซลลูลาร์	13
2.5 โครงสร้างสายอากาศสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบระบุลักษณะ ทางคลื่นวิทยุ.....	14
2.6 สายอากาศรูปกันหอยแบบระนาบตันแบบ สำหรับการประยุกต์ใช้งานร่วมกับ ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่เอชเอฟ.....	14
2.7 สายอากาศแถวลำดับสององค์ประกอบวางในแนวแกน Z	15
2.8 องค์ประกอบทั้งสองของแถวลำดับเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุด.....	17
2.9 การคูณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของแถวลำดับแบบสององค์ประกอบ เมื่อ $d = \lambda / 4$ และ $\beta = 0$	20
2.10 การคูณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของแถวลำดับแบบสององค์ประกอบ เมื่อ $d = \lambda / 4$ และ $\beta = \frac{\pi}{2}$	22
2.11 การคูณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของแถวลำดับแบบสององค์ประกอบ เมื่อ $d = \lambda / 4$ และ $\beta = -\frac{\pi}{2}$	24
2.12 สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นของแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุดที่วางในแนวแกน Z	25
2.13 กราฟเชิงขั้วของตัวประกอบแถวลำดับแบบสององค์ประกอบ เมื่อ $d = \lambda / 2$ และ กระแสที่ป้อนให้ในแต่ละองค์ประกอบมีค่าเท่ากัน	27
2.14 กราฟเชิงขั้วของตัวประกอบแถวลำดับแบบสององค์ประกอบ (ก) $d = \lambda / 2$ $kd = \pi$ และ $\beta = 0$ (ข) $d = \lambda / 2$ $kd = \pi$ และ $\beta = \pi$ (ค) $d = \lambda / 4$ $kd = \pi / 2$ และ $\beta = -\pi / 2$	27
2.15 ตัวประกอบแถวลำดับที่มีการกระตุ้นและระยะห่างแต่ละองค์ประกอบสม่ำเสมอ.....	30
2.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับด้านข้าง จำนวน 10 องค์ประกอบ เมื่อ $d = \lambda$ และ $d = \lambda / 4$	32
2.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับด้านข้าง	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จำนวน 10 องค์ประกอบ เมื่อ $d = 1.5\lambda$ และ $d = 2\lambda$	33
2.18 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับแบบเอนต์ไฟร์ จำนวน 5 องค์ประกอบ เมื่อ $d = \lambda / 4$	35
2.19 กราฟเชิงขั้วของแถวลำดับแบบเอนต์ไฟร์จำนวน 5 องค์ประกอบ เมื่อ $d = 0.45\lambda$ และ $\beta = 0.9\pi$	36
2.20 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับแบบเอนต์ไฟร์ จำนวน 5 องค์ประกอบ เมื่อ $d = \lambda$	36
2.21 ความสัมพันธ์ร่วมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปร Z กับรูปแบบฟังก์ชันที่หลากหลายของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม ของตัวแปรสุ่ม X และ Y	40
2.22 พื้นที่ใดๆ ของ D_z ในระนาบ XY เมื่อ $g(x, y) \leq z$	41
2.23 ฟังก์ชันความหนาแน่นของการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสม่ำเสมอ	42
3.1 รหัสเทียบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	48
3.2 กระบวนการค้นหาอาหารของกลุ่มแมลงหวี่	49
3.3 แผนภูมิแห่งเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบของฟังก์ชัน f_{F3} f_{ShF} f_{BR} f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} เมื่อกำหนดขอบเขตการบินสุ่มทิศทาง ของแมลงหวี่ เท่ากับ $[-1,1]$	52
3.4 แผนภูมิแห่งเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบของฟังก์ชัน f_{F3} f_{ShF} f_{BR} f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} เมื่อกำหนดขอบเขตการบินสุ่มทิศทาง ของแมลงหวี่ เท่ากับ $[-5,5]$	53
3.5 แผนภูมิแห่งเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบของฟังก์ชัน f_{F3} f_{ShF} f_{BR} f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} เมื่อกำหนดขอบเขตการบินสุ่มทิศทาง ของแมลงหวี่ เท่ากับ $[-10,10]$	54
3.6 แผนภูมิแห่งเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบของฟังก์ชัน f_{F3} f_{ShF} f_{BR} f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} เมื่อกำหนดขอบเขตการบินสุ่มทิศทาง ของแมลงหวี่ เท่ากับ $[-20,20]$	55
3.7 การลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน f_{F3} f_{ShF} f_{BR} f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} เมื่อกำหนดขอบเขตการบินสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ เท่ากับ $[-20,20]$	56

สารบัญญรูป (ต่อ)

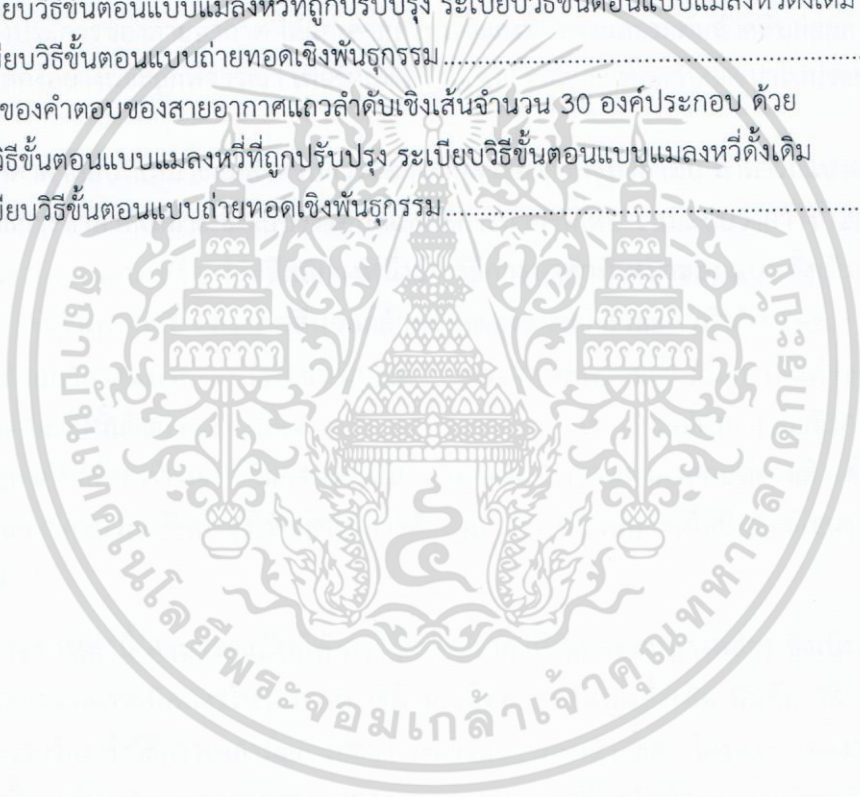
รูปที่	หน้า
3.8 การเปรียบเทียบรหัสเทียมระหว่างระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมและ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง.....	67
3.9 กระบวนการค้นหาอาหารของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	67
4.1 กราฟของสมการฟังก์ชัน F1 ในช่วงระหว่าง $0 \leq x \leq 1$	72
4.2 กราฟของสมการฟังก์ชัน F3 ในช่วงระหว่าง $-10 \leq x \leq 10$	72
4.3 กราฟพื้นผิวของฟังก์ชัน BR ในช่วงระหว่าง $-5 \leq x \leq 10, 0 \leq y \leq 15$	73
4.4 กราฟพื้นผิวของฟังก์ชัน RF ในช่วงระหว่าง $-2 \leq x, y \leq 2$	74
4.5 กราฟพื้นผิวของฟังก์ชัน SF ในช่วงระหว่าง $-100 \leq x, y \leq 100$	75
4.6 กราฟพื้นผิวของฟังก์ชัน ShF ในช่วงระหว่าง $-10 \leq x, y \leq 10$	76
4.7 รูปแบบการกระจายตัวของพารามิเตอร์ x ของฟังก์ชัน F1 (ก) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง (ข) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	78
4.8 การลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน F1 ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบ ถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม	79
4.9 รูปแบบการกระจายตัวของพารามิเตอร์ x ของฟังก์ชัน F3 (ก) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง (ข) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	80
4.10 การลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน F3 ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบ ถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	82
4.11 รูปแบบการกระจายตัวของพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Branin (ก)-(ข) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง (ค)-(ง) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	83
4.12 การลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน Branin ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบ ถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	84
4.13 รูปแบบการกระจายตัวของพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Rastrigin	

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
(ก)-(ข) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	
(ค)-(ง) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	86
4.14 การลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน Rastrigin ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบ ถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	87
4.15 รูปแบบการกระจายตัวของพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Shaffer (ก)-(ข) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง (ค)-(ง) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	89
4.16 การลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน Shaffer ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบ ถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	90
4.17 รูปแบบการกระจายตัวของพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Shubert (ก)-(ข) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง (ค)-(ง) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	91
4.18 การลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน Shubert ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบ ถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	93
5.1 โพลชาร์ตของกระบวนการออกแบบสายอากาศ.....	96
5.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 10 องค์ประกอบ ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	99
5.3 การลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 10 องค์ประกอบ ด้วย ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	100
5.4 (ก) ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (ข) ระยะเวลาในการคำนวณ เมื่อจำนวนองค์ประกอบ ของสายอากาศแถวลำดับเพิ่มขึ้น ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม.....	103
5.5 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 16 องค์ประกอบ	

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
	ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม 109
5.6	การลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 16 องค์ประกอบ ด้วย ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม 110
5.7	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 30 องค์ประกอบ ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม 112
5.8	การลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 30 องค์ประกอบ ด้วย ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม 114



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ความน่าสนใจของปัญหาทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขนาดใหญ่อย่างหนึ่ง คือ สายอากาศ แอลฟาดีบ เนื่องจากเป็นสายอากาศที่มีประโยชน์และมีการนำไปใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ยกตัวอย่างเช่น เรดาร์ ดาราศาสตร์วิทยุ ดาวเทียม และระบบการสื่อสารแบบเซลลูลาร์ เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้งานนั้น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแอลฟาดีบ จะถูกกำหนดให้มีความสอดคล้องกับคุณลักษณะบางประการของสายอากาศ ได้แก่ ค่าสภาพเจาะจงทิศทางและระดับลำคลื่นย่อยด้านข้าง [1] คุณลักษณะทั้งสองอย่างนี้จะถูกพิจารณา เพื่อให้เกิดความเหมาะสมมากที่สุดกับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบสายอากาศแอลฟาดีบ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการ คือ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบวงแคบ และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบวงกว้าง [2] วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบวงแคบ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบดั้งเดิม ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการสังเคราะห์ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างของสายอากาศแอลฟาดีบ [3-5] การหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศแอลฟาดีบจัดว่าเป็นปัญหาแบบไม่เชิงเส้นและเป็นปัญหาที่มีค่าของคำตอบที่ท้องถิ่นอยู่มากมาย ดังนั้นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบดั้งเดิม จึงไม่ใช่วิธีการที่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานร่วมกับปัญหาดังกล่าว เนื่องจาก วิธีการเหล่านี้มีกฎเกณฑ์ในการค้นหาคำตอบที่ตายตัว ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากต่อการคำนวณ อีกทั้งยังใช้เวลาในการคำนวณนาน โดยเฉพาะเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากขึ้น

ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ สามารถแก้ไขได้ ด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมบางอย่าง ซึ่งเป็นวิธีการที่มีแนวคิดที่แตกต่างจากเทคนิคการโปรแกรมทางด้านคณิตศาสตร์แบบดั้งเดิม นั่นคือ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบวงกว้าง ซึ่งวิธีการเหล่านี้ถูกเรียกว่า วิธีการแบบเมตาฮิวริสติก โครงสร้างของวิธีการแบบเมตาฮิวริสติกนั้น มีพื้นฐานมาจากการจำลองทางธรรมชาติและเครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ วิธีการแบบเมตาฮิวริสติก จะก่อให้เกิดกระบวนการของการค้นหาคำตอบที่มีความหลากหลาย ภายในบริเวณพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ ดังนั้นวิธีการแบบเมตาฮิวริสติกจึงมีความเหมาะสมกับปัญหาที่มีความยาก และซับซ้อน โดยวิธีการดังกล่าวสามารถที่จะหลีกเลี่ยงกับการค้นหาคำตอบ ที่ได้มาซึ่งคำตอบแบบท้องถิ่นได้ วิธีการแบบเมตาฮิวริสติกที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization : ACO) และอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้น [6-10] แม้ว่าวิธีการแบบเมตาฮิวริสติกจะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับการค้นหาคำตอบ แต่อย่างไรก็ตาม ข้อบกพร่องหลักๆ ของวิธีการแบบเมตาฮิวริสติกที่เกิดขึ้นเมื่อมีการนำไปประยุกต์ใช้งาน พบว่า วิธีการดังกล่าวมีความซับซ้อนและยากต่อการทำความเข้าใจแก่ผู้ศึกษาเริ่มต้น ยกตัวอย่างเช่น ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม ปัญหาหลักๆ ที่พบได้บ่อยของ GA คือ ปัญหาการลู่เข้าของคำตอบก่อนกำหนด เนื่องจากการขาดความหลากหลายของประชากรในระบบ เมื่อมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการปฏิบัติการทางสายพันธุ์ที่ไม่เหมาะสม ยกตัวอย่างเช่น รูปแบบการคัดเลือกประชากร กระบวนการผสมพันธุ์ และกระบวนการกลายพันธุ์ จะมีผลทำให้เกิดอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความเหมาะสมที่ลดลง และ เนื่องจากระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม มีกระบวนการของการค้นหาคำตอบที่มีความซับซ้อน ดังนั้นวิธีการดังกล่าวอาจจะไม่เหมาะสมกับระบบที่เป็นแบบเวลาจริง (Real-time system) หรือ ระบบที่มีระยะเวลาในช่วงของการประมวลผลที่จำกัด เป็นต้น [11-12] สำหรับข้อจำกัดที่เกิดขึ้นของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยฝูงอนุภาค พบว่า วิธีการหาค่าคำตอบด้วยวิธีการดังกล่าวนั้น แต่ละอนุภาคของทั้งกลุ่มจะมีการแบ่งปันข้อมูลการเคลื่อนที่ผ่านทางค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดของทั้งกลุ่มอนุภาค (global best fitness : gbest) เพียงค่าเดียว กล่าวคือ ทุกๆ อนุภาค สามารถสื่อสารกันได้ผ่านทางค่า gbest เปรียบเทียบกับการหาอาหารของฝูงนก โดยที่ฝูงจะเคลื่อนที่ไปตามแนวทางที่ใกล้อาหารมากที่สุดแต่เพียงเส้นทางเดียว ดังนั้นประสิทธิภาพของการหาค่าคำตอบด้วยฝูงอนุภาค จะเกิดการลู่เข้าของคำตอบที่รวดเร็ว แต่การค้นหาคำตอบด้วยวิธีการดังกล่าวมีแนวโน้มที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงกับการค้นหาคำตอบที่ได้มาซึ่งคำตอบแบบท้องถิ่นได้ [13-14]

จากข้อจำกัดต่างๆ ที่เกิดขึ้นของวิธีการแบบเมตาฮิวริสติกที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน วิธีการหาค่าคำตอบที่เกี่ยวข้องกับวิธีการแบบเมตาฮิวริสติกและเทคนิคการโปรแกรมเชิงเคลื่อนที่แบบกลุ่มรูปแบบใหม่ จึงได้ถูกนำเสนอขึ้น นั่นคือ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบแมลงหวี่ หรือ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ (Fruit Fly Optimization Algorithm : FOA) โดยวิธีการดังกล่าว มีพื้นฐานมาจากพฤติกรรมในการค้นหาอาหารของแมลงหวี่ ซึ่งถูกพัฒนาโดย Wen-Tsao Pan [15] เนื่องจากเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดรูปแบบใหม่และมีความน่าสนใจ ดังนั้นระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ จึงได้รับความสนใจกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ในช่วงปีที่ผ่านมา ยกตัวอย่างเช่น การนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการจัดกลุ่มของทรัพย์สินด้านการเงิน การนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับการพยากรณ์การบริการทางด้าน e-business หรือ การนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมเชิงการจัด และอื่นๆ เป็นต้น [16-22] ข้อดีหลักๆของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ คือ เป็นวิธีการที่สามารถค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วและง่ายต่อการทำความเข้าใจ เนื่องจากโปรแกรมการใช้งานมีความสั้นมากกว่าวิธีการหาค่าตอบแบบอื่นๆ อย่างไรก็ตาม เช่นเดียวกับวิธีการหาค่าตอบแบบอื่นๆ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ย่อมมีทั้งข้อดีและข้อจำกัดเกิดขึ้นเมื่อมีการนำไปประยุกต์ใช้งาน กล่าวคือ จากงานวิจัยของ Hongde Dai และคณะ [23] ได้กล่าวว่า ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ไม่สามารถแก้ไขปัญหามีความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจาก กระบวนการค้นหาคำตอบของวิธีการดังกล่าว ไม่สามารถที่จะค้นหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มลบได้ ดังนั้นงานวิจัยดังกล่าวจึงได้นำเสนอวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้ไขถึงข้อจำกัดที่เกิดขึ้น คือ การกำหนดขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่ในระนาบ 2 มิติ ให้อยู่ในช่วง $(-\infty, +\infty)$

จากงานวิจัยของ Fuqiang Xu และคณะ [24] ได้ทำการปรับปรุงฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน สำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่ (S_i) กับการแก้ไขปัญหาฟังก์ชันแบบไม่เชิงเส้น 2 ตัวแปร โดยการเพิ่มฟังก์ชันเครื่องหมาย (sign function) ลงไปในฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน ซึ่งมีผลทำให้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ สามารถที่จะหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มลบได้

จากงานวิจัยของ Wen-Tsao Pan และคณะ [25] ได้ทำการปรับปรุงสมรรถนะในการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ สำหรับการแก้ไขปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันต่อเนื่อง ใน 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ การเพิ่มสมรรถนะสำหรับการค้นหาคำตอบ และการแก้ไขข้อจำกัดในเรื่องของการค้นหาคำตอบที่มีความหลากหลาย โดยปกติแล้วการกำหนดตำแหน่งการบินสุ่มเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่นั้น จะเกิดขึ้นในระนาบ 2 มิติ ดังนั้นเพื่อเพิ่มสมรรถนะในการค้นหาคำตอบที่ครอบคลุมพื้นที่สำหรับการค้นหาคำตอบทั้งหมด การกำหนดตำแหน่งการบินสุ่มเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่จะถูกกำหนดขึ้นในระนาบ 3 มิติ และ เนื่องจากข้อจำกัดของการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน ที่ไม่สามารถค้นหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มลบได้ ดังนั้นจากงานวิจัยดังกล่าวจึงได้ทำการกำหนดพารามิเตอร์ Δ ลงไปในฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน เพื่อทำการแก้ไขถึงข้อจำกัดที่เกิดขึ้น

จากงานวิจัยของ Quan-Ke Pan และคณะ [26] ได้ทำการปรับปรุงสมรรถนะของการกำหนดตำแหน่งการบินสุ่มเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่แบบปรับตัวได้ ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะเป็นการเพิ่มสมรรถนะในการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ โดยความสามารถในการปรับตัวได้ของกระบวนการดังกล่าว จะมีผลทำให้เกิดการกำหนดค่าที่มีความเหมาะสมของขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นร่วมกับจำนวนรอบของการทำซ้ำ ซึ่งค่าที่มีความเหมาะสมของขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นนั้น จะมีผลทำให้เกิดกระบวนการค้นหาคำตอบที่มีความถูกต้อง และ แม่นยำ นอกจากนี้งานวิจัยดังกล่าว ยังได้ทำการลดกระบวนการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืนลง เพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่

จากงานวิจัยของ Lianghong Wu และคณะ [27] ได้ทำการพัฒนาต่อย่อยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่จากงานวิจัยของ Pan โดยในงานวิจัยดังกล่าวได้ทำการศึกษาถึงความเหมาะสมของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ Δ ที่ได้ทำการเพิ่มลงไปในการบวนการของการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าขอบเขตของค่าพารามิเตอร์ Δ ที่มีค่าขอบเขตของการสุ่มอยู่ระหว่าง $[0,1]$ มีผลทำให้รูปแบบการกระจายตัวของการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืนของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ ไม่มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ครอบคลุมพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ ดังนั้นงานวิจัยดังกล่าวจึงได้ทำการปรับปรุงการกำหนดค่าขอบเขตการสุ่มของค่าพารามิเตอร์ Δ โดยการใช้กระบวนการสุ่มที่มีการ

กระจายตัวแบบ Lévy walk ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะส่งผลให้ขอบเขตการสุ่มของค่าพารามิเตอร์ Δ มีค่าเป็นอนันต์ ดังนั้นจึงส่งผลให้การคำนวณค่าความหนาแน่นกลับมีเสถียรภาพในการค้นหาค่าตอบที่เพิ่มมากขึ้น

จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษามาแล้วในเบื้องต้นพบว่า สิ่งที่สำคัญสำหรับการพัฒนาและการปรับปรุงระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิว นั้น คือ การพิจารณาถึงประสิทธิภาพของการได้มาซึ่งค่าคำตอบแบบวงกว้างที่มีความถูกต้อง และ แม่นยำ รวมทั้งคำนึงถึงระยะเวลาในการประมวลผล ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้นำเสนอวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง หรือ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานในหลากหลายปัญหา ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาฟังก์ชันเชิงพื้นผิว และ ปัญหาทางไฟฟ้าขนาดใหญ่ของสายอากาศแถวลำดับ เพื่อที่จะศึกษาถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ ผลการคำนวณเชิงเลขของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง จะทำการพิจารณาและเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการคำนวณเชิงเลขของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและได้รับความนิยมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตวิทยานิพนธ์

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบแมลงหิว หรือ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิว นั้น เป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดรูปแบบใหม่ ที่ได้มีการนำเสนอเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมา ข้อดีหลักๆ ของวิธีการดังกล่าว คือ เป็นวิธีการที่สามารถค้นหาค่าตอบได้อย่างรวดเร็วและง่ายต่อการทำความเข้าใจ เนื่องจากโปรแกรมการใช้งาน มีความสั้นมากกว่าวิธีการหาค่าตอบแบบอื่นๆ ดังนั้นวิธีการดังกล่าวจึงได้รับความนิยมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย โดยที่ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิว นั้นจะถูกเน้นหนักกับการนำไปใช้งานร่วมกับปัญหาทางด้านเศรษฐศาสตร์และปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์เสียเป็นส่วนใหญ่ จากข้อดีในเบื้องต้นของวิธีการดังกล่าว อีกทั้งความไม่เป็นที่นิยมกับการนำมาใช้งานร่วมกับปัญหาทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเล็งเห็นถึงความสำคัญและมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อที่จะนำวิธีการดังกล่าวมาทำการประยุกต์ใช้งานร่วมการแก้ไขปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และเพื่อให้เกิดกระบวนการเรียนรู้และความเข้าใจที่เพิ่มมากขึ้นของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิว การพัฒนาและปรับปรุงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิว เพื่อต่อยอดเป็นองค์ความรู้ใหม่สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับการแก้ไขปัญหามีความซับซ้อน ทางด้านต่างๆ ของวิศวกรรมศาสตร์ จึงเกิดขึ้น

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอบเขตการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. การนำระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุงมาทำการประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ

2. การนำระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงมาทำการประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาฟังก์ชันเชิงพีชคณิต

1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมา ความสำคัญของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์การศึกษา ขอบเขตการวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงประวัติความเป็นมา ทฤษฎีพื้นฐานของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด อีกทั้งยังได้ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดร่วมกับปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และในบทนี้ยังได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น ซึ่งทฤษฎีดังกล่าวนี้ จะถูกนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง เพื่อใช้สำหรับทำการวิเคราะห์และทำการออกแบบร่วมกับปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ และหัวข้อสุดท้ายที่ได้ทำการกล่าวถึงในบทดังกล่าวนี้ คือ ทฤษฎีความน่าจะเป็น ซึ่งจะถูกใช้สำหรับการวิเคราะห์รูปแบบการแจกแจงของข้อมูลสำหรับการค้นหาคำตอบ ซึ่งจะนี้เป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการปรับปรุงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

บทที่ 3 กล่าวถึงแนวคิดพื้นฐาน และหลักการทำงานของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ร่วมกับการแก้ไขปัญหาด้านคณิตศาสตร์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดที่เกิดขึ้นบางประการของวิธีการดังกล่าว อีกทั้งยังใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดกับการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป สำหรับหัวข้อถัดไปในบทดังกล่าวนี้จะทำการกล่าวถึงระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ซึ่งหัวข้อดังกล่าวจะทำการกล่าวถึงการปรับปรุงกระบวนการที่สำคัญบางประการของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

บทที่ 4 กล่าวถึงกระบวนการทดสอบสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงพีชคณิต จำนวน 6 ฟังก์ชัน ได้แก่ ฟังก์ชัน F1 ฟังก์ชัน F3 ฟังก์ชัน Branin ฟังก์ชัน Rastrigin ฟังก์ชัน Shaffer และ ฟังก์ชัน Shubert

บทที่ 5 กล่าวถึงกระบวนการทดสอบสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยวิธีการดังกล่าวจะถูกนำเสนอสำหรับการออกแบบสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ ซึ่งปัญหาการออกแบบจะแบ่งออกเป็น 2 ปัญหา กล่าวคือ ปัญหาการออกแบบแรกจะเป็นการออกแบบสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น และปัญหาการออกแบบที่สอง คือ

การออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น

บทที่ 6 สรุปเนื้อหาทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางสำหรับการพัฒนาต่อยอดของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงประวัติความเป็นมา ทฤษฎีพื้นฐานของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยการประยุกต์ใช้งานของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมนั้น จะถูกมุ่งเน้นไปยังการประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการออกแบบสายอากาศ อีกทั้งในบทนี้ ยังได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น ซึ่งทฤษฎีดังกล่าวนี้ จะถูกนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์และทำการออกแบบร่วมกับปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ สำหรับหัวข้อสุดท้ายที่ได้ทำการกล่าวถึงในบทดังกล่าวนี้ คือ ทฤษฎีความน่าจะเป็น โดยจะทำการกล่าวถึงฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 2 ตัวแปร และตัวอย่างของตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง ซึ่งหัวข้อดังกล่าวนี้ ถือเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ถึงรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลสำหรับการค้นหาค่าตอบ โดยรูปแบบการกระจายตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ดังกล่าว จะเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการปรับปรุงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ต่อไป

2.2 ความเป็นมาของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้น เกิดขึ้นมาจากการที่นักวิทยาศาสตร์ต้องการที่จะแก้โจทย์ปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ออกมามีค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่่นั้น เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่มาจากทฤษฎีพื้นฐานทางด้านฟิสิกส์ของระบบนั้นๆ ก่อนปี ค.ศ. 1940 ได้มีการใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันที่มีหลายตัวแปร ซึ่งวิธีการดังกล่าวไม่เป็นที่ยอมรับมากนัก ยกตัวอย่างเช่น วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Method of least square) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ซึ่งได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาทางด้านฟิสิกส์บางประเภท แต่วิธีที่เป็นที่ยอมรับและมีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย คือ ระเบียบวิธีของนิวตัน (Newton method) ซึ่งวิธีการดังกล่าวถูกนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาของระบบที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีทางเคมี ในช่วงปี ค.ศ. 1940-1950 ได้มีการแนะนำสาขาวิชาใหม่ของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ที่เรียกกันว่า การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) จากนั้นได้มีการศึกษาและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงปัจจุบัน โดยในปัจจุบันนั้น ได้มีการนำกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้งานร่วมกับด้านต่างๆ ในหลายสาขาวิชา ไม่ว่าจะเป็นทางด้านคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ และ วิศวกรรมศาสตร์ เป็นต้น [28-31]

ในปัจจุบันกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้น ไม่ได้จำกัดอยู่แค่การนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับสาขาวิชาทางด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่กลายมาเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในทุกๆ สาขาวิชา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สาขาวิชาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ เนื่องจากได้มีการนำหลักการของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด มาช่วยในเรื่องของการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้าง เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ยกตัวอย่างเช่น การออกแบบสายอากาศ เพื่อให้ได้มาซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่มีความเหมาะสมมากที่สุด การหาเส้นทางการบินจากโลกไปที่ดวงจันทร์และกลับลงมายังโลกอีกครั้ง โดยใช้พลังงานเชื้อเพลิงน้อยที่สุด การศึกษาโครงสร้างของเครื่องบินที่มีมวลน้อยที่สุด และการออกแบบโครงสร้างตึก ที่ต้องมีการเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เป็นต้น

ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาเทคนิคของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีประสิทธิภาพ และเป็นที่ยอมรับสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งาน ที่เรียกว่า กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบใหม่ (Modern optimization method) ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่มีแบบแผน (nontraditional) โดยวิธีการต่างๆ จะประกอบด้วย การคำนวณเชิงวิวัฒนาการ ยกตัวอย่างเช่น ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm : GA) โดยวิธีการดังกล่าวมีรากฐานแนวคิดมาจากทฤษฎีการวิวัฒนาการของ John Holland เมื่อปี ค.ศ. 1975 ซึ่งกล่าวว่า ความหลากหลายทางธรรมชาติและ ความแตกต่างทางสายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ มีที่มาร่วมกัน แต่อิทธิพลจากสภาพแวดล้อมและการกลายพันธุ์ตามธรรมชาติอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดความหลากหลายของสายพันธุ์ต่างๆ ขึ้นในที่สุด ซึ่งสายพันธุ์ที่มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจะมีโอกาสอยู่รอดได้มากและมีโอกาสถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมไปสู่ลูกหลานรุ่นต่อไป ในขณะที่สายพันธุ์ที่ไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจะมีโอกาสอยู่รอดได้น้อยและมีโอกาสสูญพันธุ์ไปในที่สุด

การค้นหาแบบฮิวริสติก (Heuristic search) ยกตัวอย่างเช่น ระเบียบวิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated annealing : SA) ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1983 โดย Kirkpatrick ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงผสมผสาน โดยมีการควบคุมอุณหภูมิของการอบอ่อนเป็นการปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับการค้นหาคำตอบของระบบ ระเบียบวิธีการค้นหาแบบทาบู (Tabu search algorithm) ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1986 โดย Glover วิธีการดังกล่าวจะเป็นการศึกษาเส้นทางต่างๆ ที่อยู่รอบบริเวณของคำตอบในขณะนั้นมาเป็นข้อมูลในการตัดสินใจสำหรับการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

วิธีการโครงข่ายประสาท (Neural network method) วิธีการดังกล่าวเป็นการรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อยๆ ซึ่งการเชื่อมต่อในโครงสร้าง ทำให้เกิดความรู้ ประสบการณ์ ความฉลาดของข่ายงาน ซึ่งเป็นการนำรูปแบบที่ได้จากการเรียนรู้ดังกล่าวนี้ ไปใช้ในการวิเคราะห์ ตีความ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายของข้อมูลที่อยู่ในลักษณะที่คล้ายกัน และวิธีการดังกล่าวจะเป็นวิธีการที่เลียนแบบวิธีการทำงานของสมองมนุษย์ วิธีการโครงข่ายประสาทถูกนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบประสาท (Neural network) ครั้งแรกในปี ค.ศ.1985 โดย Hopfield และ Tank และได้มีการนำระบบดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic) เพื่อแก้ไขปัญหาทางด้านระบบข้อมูล ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1986 โดย Rao

เขาวัวปัญญาเชิงเคลื่อนที่เป็นกลุ่ม (Swarm intelligence) ยกตัวอย่างเช่น การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยอาณานิคมมด (Ant colony optimization : ACO) ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1992 โดย Marco Dorigo การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization : PSO) ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ.1995 โดย Kennedy และ Eberhart และอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้ เป็นวิธีการที่ได้รับแรงบัลดาลใจมาจากพฤติกรรมทางสังคมของแมลงหรือสัตว์ที่อยู่ร่วมกันเป็นฝูง โดยจะทำการศึกษาถึงพฤติกรรมทางสังคมของสัตว์เหล่านั้นและมีการนำไปพัฒนาเป็นกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ที่มีประสิทธิภาพกับการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับด้านต่างๆ ในปัจจุบัน

2.3 ประเภทของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทหลักๆ คือ กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบดั้งเดิม (Traditional optimization algorithm) และ กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบใหม่ (Nontraditional optimization algorithm)

1. กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบดั้งเดิม (Traditional optimization algorithm) หรือ กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักทางคณิตศาสตร์ คือ กระบวนการที่ใช้หลักการคำนวณ โดยอาศัยข้อมูลของการหาอนุพันธ์ โดยมีวัตถุประสงค์หลักสำหรับการแก้ไขปัญหาด้านคณิตศาสตร์ ที่มีความซับซ้อน ยกตัวอย่างเช่น ระเบียบวิธีของนิวตัน และการโปรแกรมเชิงเส้น เป็นต้น โดยกระบวนการหาค่าคำตอบของวิธีการดังกล่าวนี้ จะมีความเหมาะสมกับการแก้ไขปัญหาคำนวณขนาดเล็ก เนื่องจากมีกฎเกณฑ์ในการค้นหาคำตอบที่ตายตัว อีกทั้งยังใช้ระยะเวลาในการคำนวณนาน โดยเฉพาะเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากขึ้น

2. กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบใหม่ (Nontraditional optimization algorithm) หรือ กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณ (Approximation optimization algorithm) คือ กระบวนการหาคำตอบที่มีรูปแบบการค้นหาแบบสุ่ม (Stochastic search) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาของการหาค่าที่เหมาะสมเชิงการจัด (Combinatorial optimization problems) และ ปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic problems) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรูปแบบของปัญหามีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้น กระบวนการหาค่าคำตอบและการได้มาซึ่งคำตอบที่มีความเป็นไปได้ทั้งหมด เมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบแล้วเลือกคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุดนั้น เป็นเรื่องที่ยาก ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณจึงเกิดขึ้น ซึ่งกระบวนการดังกล่าว คือ กระบวนการที่อาศัยการเลียนแบบของหลักการทางธรรมชาติและนำหลักการของความน่าจะเป็นเข้ามาช่วยในการหาค่าคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด กระบวนการดังกล่าว ได้แก่ วิธีการแบบเมตาฮีริสติก (Metaheuristic)

กระบวนการในการค้นหาคำตอบของวิธีการแบบเมตาฮีริสติกนั้น เป็นกระบวนการที่มีลักษณะของการวนซ้ำ (Iterative) ซึ่งเป็นการนำลักษณะเด่นที่เหมือนกัน แต่จะมีความแตกต่างกันตรงกลไกในการหาค่าคำตอบและสำรวจกลุ่มของคำตอบที่เป็นไปได้โดยมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด (Near optimum solution) วิธีการแบบเมตาฮีริสติก ได้แก่ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) และ เซาว์นปัญญาเชิงเคลื่อนที่เป็นกลุ่ม (Swarm intelligence) เป็นต้น

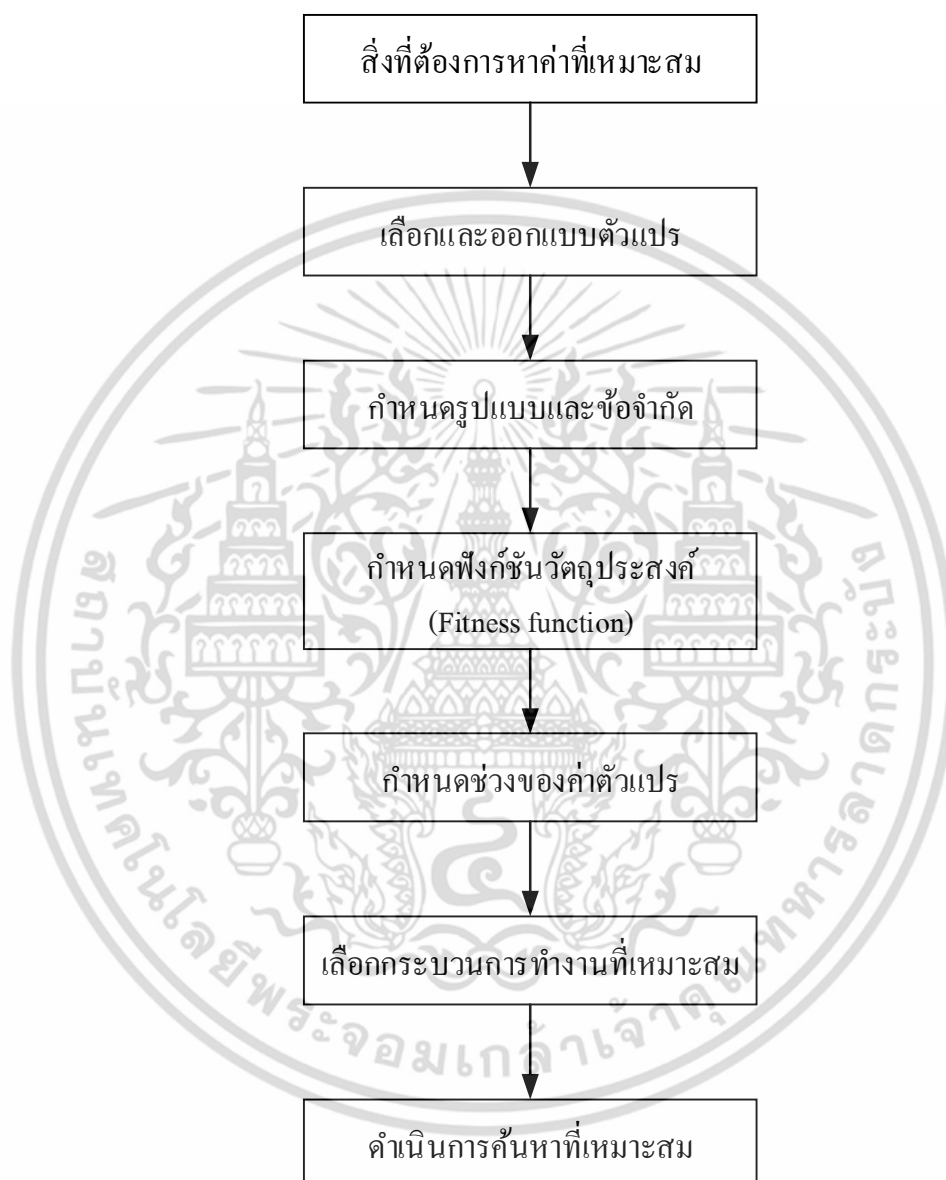
2.4 รูปแบบการออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

รูปแบบของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้น มีความสัมพันธ์กับการออกแบบของกระบวนการทางด้านคณิตศาสตร์ เพื่อที่จะนำมาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการประยุกต์ใช้งานร่วมกับรูปแบบทางคณิตศาสตร์รูปแบบใดรูปแบบหนึ่งนั้น ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์มีความเป็นไปได้อย่างมาก เนื่องจากปัญหาทางด้านวิศวกรรมนั้น เป็นปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีรูปแบบที่ตายตัว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของสิ่งที่ต้องการออกแบบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เทคนิคที่มีความแตกต่างกันในการแก้ไขปัญหา ในหัวข้อนี้จะนำเสนอลำดับการออกแบบกระบวนการทางคณิตศาสตร์เบื้องต้น เพื่อใช้ในการออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และก่อให้เกิดความเหมาะสมกับปัญหาทางด้านวิศวกรรม ซึ่งรูปแบบของการออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

จากรูปที่ 2.1 อันดับแรกที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการออกแบบ คือ การเลือกตัวแปร (Variables) ที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสมจากปัญหาที่ต้องการออกแบบ ค่าตัวแปรเหล่านี้เป็นค่าที่ถูกเปลี่ยนแปลงระหว่างทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งค่าตัวแปรแต่ละตัวจะมีความสำคัญกับการออกแบบไม่เท่ากัน บางตัวแปรมีผลกระทบมากกับปัญหารูปแบบหนึ่ง แต่มีผลกระทบน้อยกับปัญหาอีกรูปแบบหนึ่ง ดังนั้นจึงควรทำการกำหนดตัวแปรที่ต้องการออกแบบให้เกิดความเหมาะสมก่อน

อันดับที่สอง คือ การกำหนดเงื่อนไขต่างๆ หรือที่เรียกว่า ข้อจำกัด (Constraints) สำหรับการออกแบบ ซึ่งสิ่งนี้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการออกแบบตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการออกแบบ ยกตัวอย่างเช่น การออกแบบสายอากาศแล้วลำดับเชิงเส้น เพื่อค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มาก

ที่สุด ของสายอากาศแถวลำดับจำนวน 10 องค์ประกอบ ฉะนั้นจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ คือ ข้อจำกัดของปัญหาสำหรับการออกแบบ



รูปที่ 2.1 รูปแบบการออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด [32]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันดับที่สาม คือ การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หรือ ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function) ซึ่งเป็นเทอมที่บอกถึงวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยทั่วไปแล้ว เทอมดังกล่าวนี้จะถูกแทนที่ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ที่เป็นผลมาจากค่าตัวแปรที่ถูกออกแบบ เพื่อที่จะทำการหาค่าของตัวแปรที่เป็นจุดที่มีค่ามากที่สุด หรือ จุดที่มีค่าน้อยที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้น

อันดับที่สี่ คือ การกำหนดช่วงของตัวแปรที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมบางกระบวนการนั้น อาจไม่ต้องการข้อมูลของตัวแปรดังกล่าวนี้ หลังจากที่ทราบแล้วว่าต้องการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของอะไร และมีวัตถุประสงค์อย่างไร สำหรับการดำเนินการในขั้นตอนต่อไป คือ การเลือกกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่มีความเหมาะสมกับปัญหา จากนั้นจึงดำเนินการหาค่าที่เหมาะสมตามกระบวนการดังกล่าว

2.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดร่วมกับปัญหาทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่น่าเสนอในหัวข้อนี้ จะเป็นการนำกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยกระบวนการดังกล่าวจะถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งรายละเอียดของการประยุกต์ใช้งานสามารถกล่าวได้ดังนี้

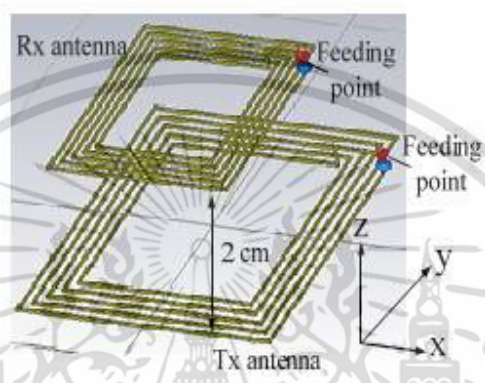
จากงานวิจัยของ ศุภกิต แก้วดวงตาและคณะ [32] ได้มีการนำระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายเทเชิงพันธุกรรม มาใช้สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วง สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID) ย่านความถี่ต่ำ (125 kHz และ 134.2 kHz) โดยงานวิจัยดังกล่าวจะทำการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงสำหรับการประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบลงทะเบียนสัตว์และการจัดการฟาร์มเพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมากที่สุดในทุกแนวแกน ซึ่งมีผลทำให้สามารถทำการติดต่อกับสายอากาศแท็กได้ในหลากหลายลักษณะการจัดวาง



รูปที่ 2.2 สายอากาศแบบบ่วงคู่ของระบบ RFID ในย่านความถี่ต่ำ สำหรับการลงทะเบียนสัตว์ [32]

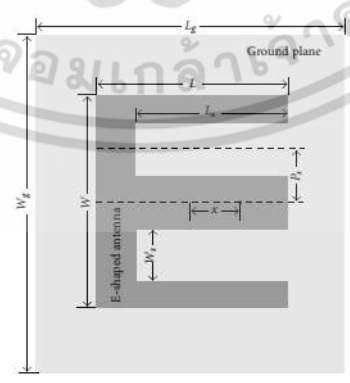
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยของ กิตติศักดิ์ แพบัวและคณะ [33] ได้มีการนำระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม มาใช้สำหรับออกแบบสายอากาศของระบบการชาร์ตแบตเตอรี่แบบไร้สาย สำหรับอุปกรณ์การสื่อสารไร้สายแบบพกพา ที่ย่านความถี่ 13.56 MHz โดยงานวิจัยดังกล่าวจะทำการหาค่าพารามิเตอร์ของโครงข่ายสายอากาศแบบสองทางเข้าออก และ ค่าพารามิเตอร์การสะท้อนกลับโพลด ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม เพื่อให้ได้สัมประสิทธิ์การส่งผ่านกำลังที่มีค่ามากที่สุด ในกรณีที่ตำแหน่งของสายอากาศส่งและสายอากาศรับไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน (Misalignment situation)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างสายอากาศส่งและสายอากาศรับของระบบชาร์ตแบตเตอรี่แบบไร้สาย [33]

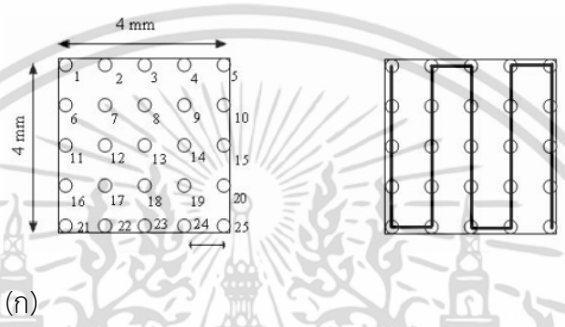
จากงานวิจัยของ Yan-Liang Li และคณะ [34] ได้นำวิธีการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยฝูงอนุภาค มาใช้สำหรับการออกแบบสายอากาศ โดยงานวิจัยดังกล่าวจะนำวิธีการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยฝูงอนุภาค มาใช้สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดของโครงสร้างสายอากาศรูปตัวอี สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบการสื่อสารแบบเซลลูลาร์ และในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการกล่าวถึงข้อได้เปรียบทางด้านเวลาสำหรับการประมวลผล ที่เหนือกว่าการออกแบบสายอากาศด้วยโปรแกรมการจำลองระเบียบวิธีเชิงตัวเลขผลต่างสืบเนื่องเชิงเวลา (Finite Difference Time Domain Simulation Program)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างสายอากาศรูปตัวอี สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบการสื่อสารแบบเซลลูลาร์ [34]

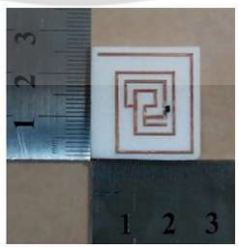
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยของ Marcus Randall และคณะ [35] ได้นำวิธีการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยอาณานิคมมด (Ant colony optimization) มาทำการออกแบบสายอากาศเส้นแบบคดเคี้ยว สำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID) ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวได้อธิบายถึงโครงสร้างของสายอากาศเส้นแบบคดเคี้ยว ว่าเป็นการแบ่งจุดบนโดเมนแบบตารางสี่เหลี่ยม โดยงานวิจัยดังกล่าวจะทำการหาตำแหน่งของจุดที่มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการขดสายอากาศแบบเส้น ซึ่งโดยปกติแล้ววิธีการขดสายอากาศให้เป็นรูปร่างแบบต่างๆ นั้น จะเป็นวิธีการที่ได้มาจากการทดลองสุ่มจากผู้ออกแบบ ซึ่งการออกแบบด้วยวิธีการดังกล่าวอาจใช้ระยะเวลาในการออกแบบ



รูปที่ 2.5 โครงสร้างสายอากาศสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID) [35]
 (ก) การแบ่งจุดบนโดเมนแบบตารางสี่เหลี่ยม
 (ข) สายอากาศเส้นแบบคดเคี้ยว

จากงานวิจัยของ John N. Sahalos และคณะ [36] ได้นำวิธีการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยอาณานิคมผึ้ง (Bee colony optimization) มาทำการออกแบบสายอากาศรูปก้นหอยแบบระนาบ (Planar spiral antenna) สำหรับการประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟ โดยงานวิจัยดังกล่าวจะทำการออกแบบโครงสร้างของสายอากาศให้มีขนาดเล็กมากที่สุดที่สามารถให้อัตราขยายสูงสุด ระยะการอ่านไกลที่สุด และ มีค่าอิมพีแดนซ์ส่งยุคที่มีความเหมาะสมกับชิปวงจรรวมมากที่สุด ด้วยวิธีการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยอาณานิคมผึ้งร่วมกับโปรแกรมการออกแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า



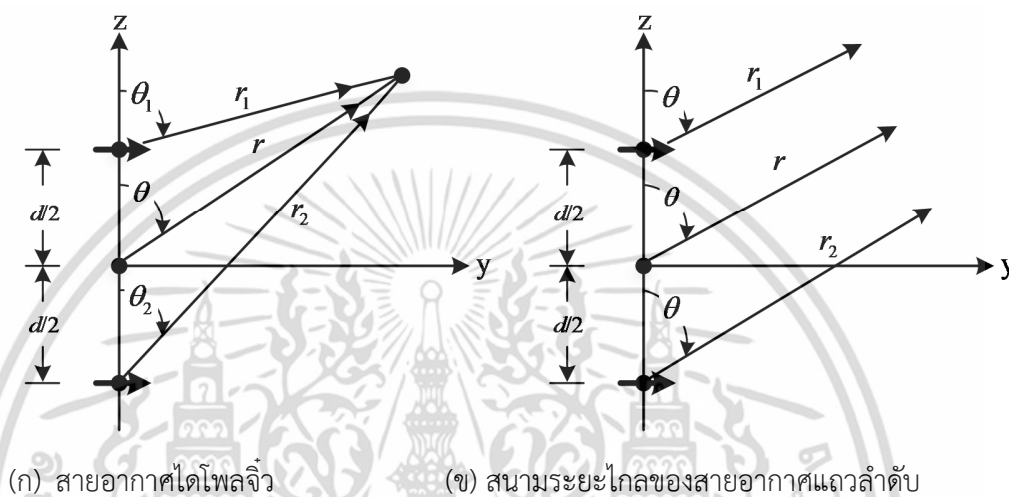
รูปที่ 2.6 สายอากาศรูปก้นหอยแบบระนาบต้นแบบ สำหรับการประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ยูเอชเอฟ [36]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ทฤษฎีสายอากาศแถวลำดับ

2.6.1 แถวลำดับแบบสององค์ประกอบ

สายอากาศแถวลำดับ (Array antenna) จะประกอบด้วยสายอากาศที่มีคุณสมบัติที่เหมือนกันเป็นองค์ประกอบของแถวลำดับ ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.7



(ก) สายอากาศไดโพลจิว

(ข) สนามระยะไกลของสายอากาศแถวลำดับ

รูปที่ 2.7 สายอากาศแถวลำดับสององค์ประกอบวางในแนวแกน z [37]

จากรูปที่ 2.7 (ก) สนามไฟฟ้าระยะไกลของสายอากาศไดโพลจิวในระนาบ yz จะมีค่าเท่ากับ

$$E_i = E_1 + E_2 = jn \frac{kI_m L}{4\pi} \left\{ \frac{e^{-j[kr_1 - (\beta/2)]}}{r_1} |\cos \theta_1| + \frac{e^{-j[kr_2 + (\beta/2)]}}{r_2} |\cos \theta_2| \right\} a_\theta \quad (2.1)$$

เมื่อ β คือ มุมต่างเฟสของกระแสที่ป้อนให้แก่สององค์ประกอบ

จากสนามระยะไกลของสายอากาศแถวลำดับสององค์ประกอบที่แสดงในรูปที่ 2.7 (ข) จะประมาณได้เป็น

$$\theta_1 \cong \theta_2 \cong \theta \quad (2.2)$$

$$r_1 \cong r - \frac{d}{2} \cos \theta \quad (2.3)$$

$$r_2 \cong r + \frac{d}{2} \cos \theta \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$r_1 \cong r_2 \cong r \quad (2.5)$$

เมื่อแทนสมการที่ (2.2) ถึง (2.5) ลงในสมการที่ (2.1) จะได้

$$E_t = jn \frac{kI_m L e^{-jkr}}{4\pi r} |\cos \theta| \left(e^{j(kd \cos \theta + \beta)/2} + e^{-j(kd \cos \theta + \beta)/2} \right) a_\theta \quad (2.6)$$

หรือ

$$E_t = jn \frac{kI_m L e^{-jkr}}{4\pi r} |\cos \theta| 2 \cos \left(\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right) a_\theta \quad (2.7)$$

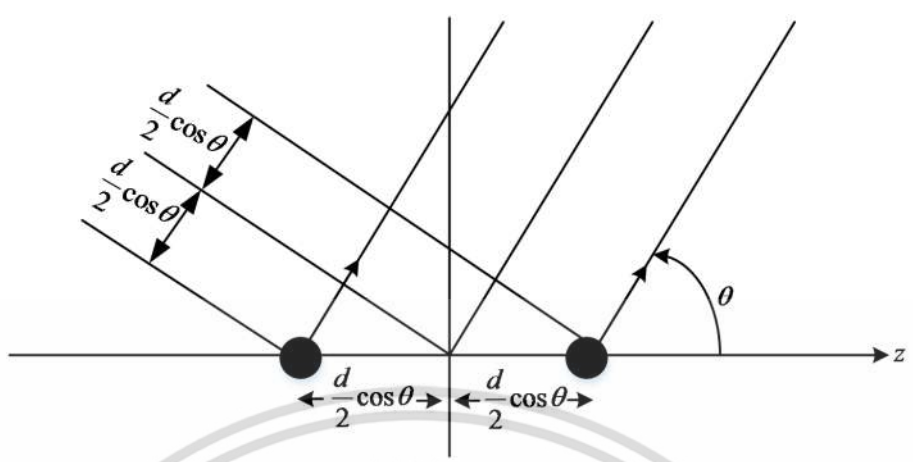
จากสมการที่ (2.7) สนามไฟฟ้าระยะไกลของสายอากาศแถวลำดับจะมีค่าเท่ากับการคูณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Pattern multiplication) โดยจะเป็นผลคูณของสนามไฟฟ้าขององค์ประกอบเดี่ยวที่จุดกำเนิดกับตัวประกอบแถวลำดับ (Array factor) สำหรับตัวประกอบแถวลำดับของสายอากาศแถวลำดับสององค์ประกอบ ซึ่งมีกระแสที่ป้อนให้ในแต่ละองค์ประกอบเท่ากัน จะมีค่าเท่ากับ

$$AF = 2 \cos \left(\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right) \quad (2.8)$$

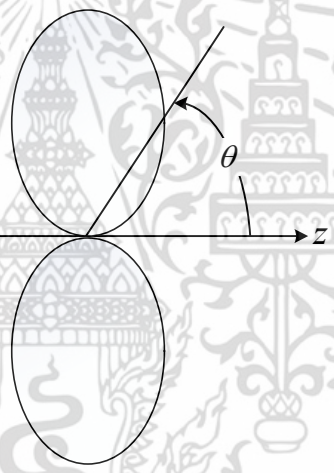
และตัวประกอบแถวลำดับแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized array factor) มีค่าเท่ากับ

$$(AF)_n = \cos \left(\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right) \quad (2.9)$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อองค์ประกอบทั้งสองของแถวลำดับเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุด (Point source) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



(ก) สายอากาศทั้งสองเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุด



(ข) กราฟเชิงขั้วของตัวประกอบแวลล่าดับ

รูปที่ 2.8 องค์กรประกอบทั้งสองของแวลล่าดับเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุด [37]

จากรูปที่ 2.8 (ก) เมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุดทั้งสองของแวลล่าดับนั้น มีคุณสมบัติที่เหมือนกัน คือ ระยะห่างระหว่างองค์กรประกอบแวลล่าดับ $d = \lambda / 4$ และเฟสของการกระตุ้น $\beta = 0$ จากสมการที่ (2.8) ตัวประกอบแวลล่าดับ จะมีค่าเท่ากับ

$$AF = 2 \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right) \tag{2.10}$$

และ ตัวประกอบแวลล่าดับแบบนอร์มัลไลซ์จะเป็นฟังก์ชันของ θ จะมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(AF)_n = f(\theta) = \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right) \quad (2.11)$$

จากสมการที่ (2.11) จะสามารถเขียนกราฟของตัวประกอบแกลวลำดับแบบนอร์มัลไลซ์ ที่เป็นฟังก์ชันของ θ ได้ดังรูปที่ 2.8 (ข) โดยค่าสูงสุดของตัวประกอบแกลวลำดับจะเกิดขึ้นที่มุม $\theta = \frac{\pi}{2}$ หรือ 90° และจะมีค่าเป็นศูนย์ที่มุม $\theta = 0$

ดังนั้นเมื่อทำการพิจารณาสายอากาศแกลวลำดับแบบสององค์ประกอบของไดโพลจิว ที่แสดงในรูปที่ (2.7) จะสามารถทำการหาจุดศูนย์ของสนามระยะไกลได้ เมื่อทำการกำหนดระยะห่างระหว่างองค์ประกอบทั้งสองของแกลวลำดับ $d = \lambda/4$ และ เฟสของการกระตุ้น β สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กรณี คือ $\beta = 0$ $\beta = +\frac{\pi}{2}$ และ $\beta = -\frac{\pi}{2}$

การพิจารณาตัวประกอบแกลวลำดับแบบนอร์มัลไลซ์ เมื่อทำการกำหนดระยะห่างระหว่างองค์ประกอบทั้งสองของแกลวลำดับ $d = \lambda/4$

$$(AF)_n = \cos\left(\frac{1}{2}(kd \cos \theta + \beta)\right) \quad (2.12)$$

$$= \cos\left(\frac{1}{2}\left(\frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{4} \cos \theta + \beta\right)\right) \quad (2.13)$$

$$= \cos\left(\frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta + \beta\right)\right) \quad (2.14)$$

$$(AF)_n = \cos\left(\left(\frac{\pi}{4} \cos \theta + \frac{\beta}{2}\right)\right) \quad (2.15)$$

กรณีที่ 1 เมื่อ $d = \lambda/4$ และ $\beta = 0$

จากสมการที่ (2.7) สนามไฟฟ้าระยะไกลแบบนอร์มัลไลซ์ของสายอากาศแกลวลำดับ มีค่าเท่ากับ

$$E_n = |\cos \theta| \left| \cos\left(\left(\frac{\pi}{4} \cos \theta\right)\right) \right| \quad (2.16)$$

เนื่องจากจุดศูนย์ (θ_n) จะเกิดขึ้นเมื่อ ขนาดสนามไฟฟ้าระยะไกลแบบนอร์มัลไลซ์ของสายอากาศแกลวลำดับ มีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้น

$$E_m = |\cos \theta| \left| \cos \left(\frac{\pi}{4} \cos \theta \right) \right| = 0 \text{ เมื่อ } \theta = \theta_n \quad (2.17)$$

เนื่องจากสนามไฟฟ้าระยะไกลของสายอากาศแฉวลำดับนั้น จะมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อพจน์ทั้งสองของสนามไฟฟ้าระยะไกล มีค่าเท่ากับ 0 นั่นคือ

$$\cos \theta_n = 0 \quad (2.18)$$

$$\theta_n = \frac{\pi}{2} \quad (2.19)$$

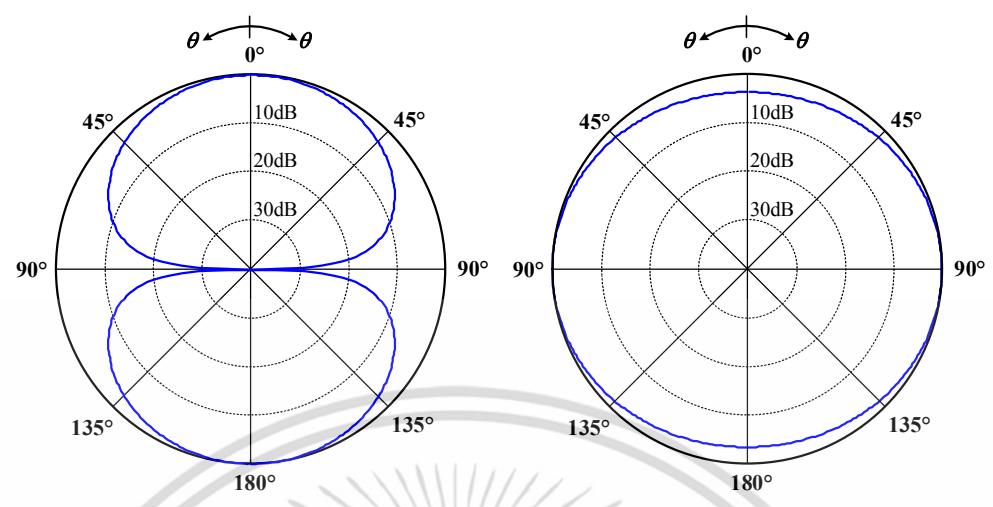
และ

$$\left| \cos \left(\frac{\pi}{4} \cos \theta \right) \right| = 0 \quad (2.20)$$

$$\left(\frac{\pi}{4} \cos \theta_n \right) = \pm \frac{\pi}{2} \quad (2.21)$$

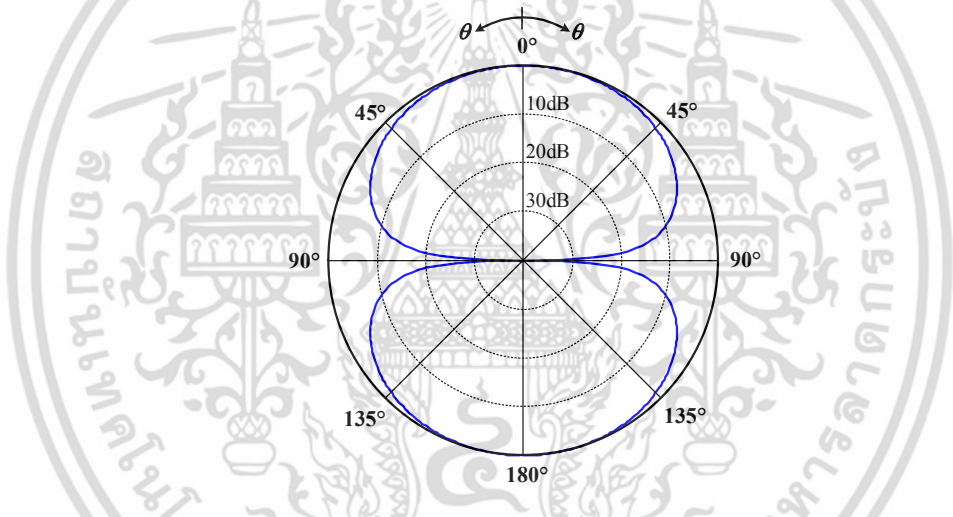
$$\theta_n = \text{ไม่มีอยู่จริง} \quad (2.22)$$

ดังนั้นสนามไฟฟ้าระยะไกลของสายอากาศแฉวลำดับนั้น จะมีจุดศูนย์เกิดขึ้นที่มุม $\theta = 90^\circ$ โดยเป็นจุดศูนย์ที่เกิดขึ้นจากแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นขององค์ประกอบเดี่ยว สำหรับตัวประกอบแฉวลำดับนั้น จะไม่มีการเกิดขึ้นของจุดศูนย์ เนื่องจากระยะห่างระหว่างองค์ประกอบทั้งสองของสายอากาศแฉวลำดับไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดเฟสที่ต่างกัน 180° ซึ่งแบบรูปสนามไฟฟ้าระยะไกลตามหลักการของการคูณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9



(ก) แบบรูปขององค์ประกอบเดี่ยว

(ข) ตัวประกอบแถวลำดับ



(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับ

รูปที่ 2.9 การคูณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของแถวลำดับแบบสององค์ประกอบ เมื่อ $d = \lambda/4$ และ $\beta = 0$ [37]

กรณีที่ 2 เมื่อ $d = \lambda/4$ และ $\beta = \frac{\pi}{2}$

จากสมการที่ (2.7) สนามไฟฟ้าระยะไกลแบบนอร์มัลไลซ์ของสายอากาศแถวลำดับ มีค่าเท่ากับ

$$E_m = |\cos \theta| \left| \cos \left(\frac{\pi}{4} (\cos \theta + 1) \right) \right| \tag{2.23}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากจุดศูนย์ (θ_n) จะเกิดขึ้นเมื่อ ขนาดสนามไฟฟ้าระยะไกลแบบนอร์มัลไลซ์ของสายอากาศ
แนวลำดับ มีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้น

$$E_m = |\cos \theta| \left| \cos \left(\frac{\pi}{4} (\cos \theta + 1) \right) \right| = 0 \text{ เมื่อ } \theta = \theta_n \quad (2.24)$$

เนื่องจากสนามไฟฟ้าระยะไกลของสายอากาศแนวลำดับนั้น จะมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อพจน์ทั้งสองของ
สนามไฟฟ้าระยะไกล มีค่าเท่ากับ 0 นั่นคือ

$$\cos \theta_n = 0 \quad (2.25)$$

$$\theta_n = \frac{\pi}{2}$$

(2.26)

และ

$$\left| \cos \left(\frac{\pi}{4} (\cos \theta + 1) \right) \right| = 0 \quad (2.27)$$

$$\left(\frac{\pi}{4} (\cos \theta_n + 1) \right) = \pm \frac{\pi}{2} \quad (2.28)$$

เมื่อ

$$\left(\frac{\pi}{4} (\cos \theta_n + 1) \right) = + \frac{\pi}{2} \quad (2.29)$$

$$\theta_n = 0 \quad (2.30)$$

และ

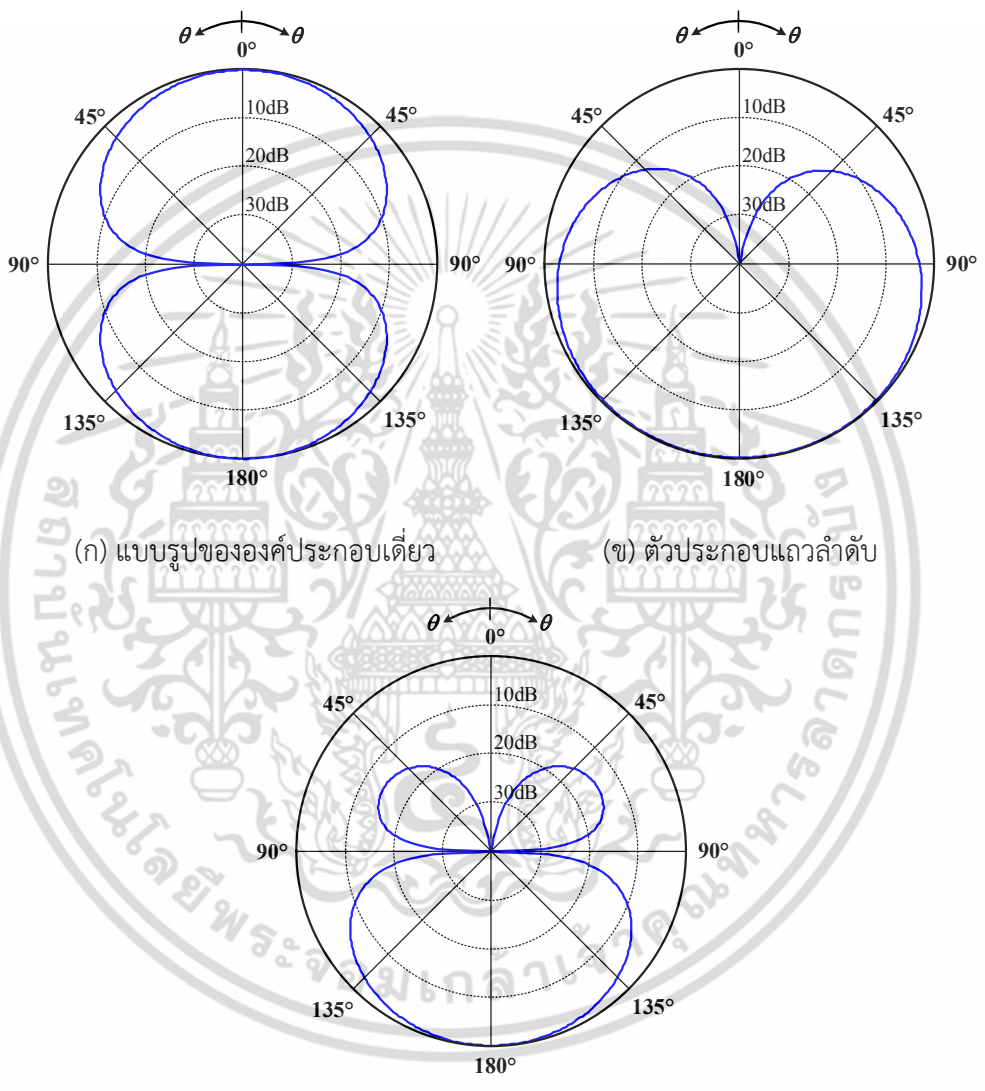
$$\left(\frac{\pi}{4} (\cos \theta_n + 1) \right) = - \frac{\pi}{2} \quad (2.31)$$

$$\theta_n = \text{ไม่มีอยู่จริง} \quad (2.32)$$

ดังนั้นสนามไฟฟ้าระยะไกลของแนวลำดับนั้น จะมีจุดศูนย์เกิดขึ้นที่มุม $\theta = 90^\circ$ และ $\theta = 0^\circ$ โดย
จุดศูนย์ของตัวประกอบแนวลำดับนั้นจะเกิดขึ้นที่มุม 0° เนื่องจากองค์ประกอบแนวลำดับที่อยู่บน
แนวแกน $-z$ นั้น จะมีเฟสที่ล่าช้ากว่าอีกองค์ประกอบหนึ่งอยู่ 90° ซึ่งเมื่อคลื่นจากองค์ประกอบ
ดังกล่าวเดินทางไปตามแนวแกน $+z$ จะมีผลทำให้เกิดการหน่วงเฟสเพิ่มขึ้นอีก 90° เมื่อคลื่นเดินทาง
มาถึงอีกองค์ประกอบหนึ่งที่อยู่บนแนวแกน $+z$ ดังนั้นสามารถกล่าวสรุปได้ว่า ในกรณีที่คลื่นเดินทางไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามแนวแกน $+z (\theta = 0^\circ)$ คลื่นระหว่างองค์ประกอบทั้งสองของแฉกลำดับจะมีเฟสที่ต่างกัน 180° และในกรณีที่คลื่นเดินทางไปตามแนวแกน $-z (\theta = 180^\circ)$ คลื่นขององค์ประกอบทั้งสองของแฉกลำดับจะมีเฟสเดียวกัน สำหรับแบบรูปสนามระยะไกลของแฉกลำดับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



(ก) แบบรูปขององค์ประกอบเดี่ยว (ข) ตัวประกอบแฉกลำดับ

(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแฉกลำดับ

รูปที่ 2.10 การคูณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของแฉกลำดับแบบสององค์ประกอบ

$$\text{เมื่อ } d = \lambda/4 \text{ และ } \beta = \frac{\pi}{2} \text{ [37]}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 3 เมื่อ $d = \lambda/4$ และ $\beta = -\frac{\pi}{2}$

จากสมการที่ (2.7) สนามไฟฟ้าระยะไกลแบบนอร์แมลไลซ์ของสายอากาศแถวลำดับ มีค่าเท่ากับ

$$E_m = |\cos \theta| \left| \cos \left(\frac{\pi}{4} (\cos \theta - 1) \right) \right| \quad (2.33)$$

เนื่องจากจุดศูนย์ (θ_n) จะเกิดขึ้น เมื่อขนาดสนามไฟฟ้าระยะไกลแบบนอร์แมลไลซ์ของสายอากาศแถวลำดับ มีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้น

$$E_m = |\cos \theta| \left| \cos \left(\frac{\pi}{4} (\cos \theta - 1) \right) \right| = 0 \text{ เมื่อ } \theta = \theta_n \quad (2.34)$$

เนื่องจากสนามไฟฟ้าระยะไกลของสายอากาศแถวลำดับนั้น จะมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อพจน์ทั้งสองของสนามไฟฟ้าระยะไกล มีค่าเท่ากับ 0 นั่นคือ

$$\cos \theta_n = 0 \quad (2.35)$$

$$\theta_n = \frac{\pi}{2} \quad (2.36)$$

และ

$$\left| \cos \left(\frac{\pi}{4} (\cos \theta - 1) \right) \right| = 0 \quad (2.37)$$

$$\left(\frac{\pi}{4} (\cos \theta_n - 1) \right) = \pm \frac{\pi}{2} \quad (2.38)$$

เมื่อ

$$\left(\frac{\pi}{4} (\cos \theta_n - 1) \right) = + \frac{\pi}{2} \quad (2.39)$$

$$\theta_n = \text{ไม่มีอยู่จริง} \quad (2.40)$$

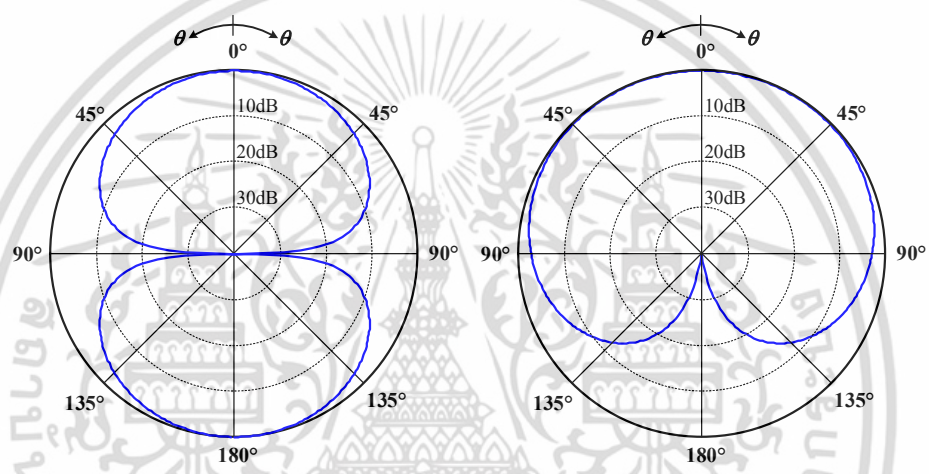
และ

$$\left(\frac{\pi}{4} (\cos \theta_n - 1) \right) = - \frac{\pi}{2} \quad (2.41)$$

$$\theta_n = 180^\circ \quad (2.42)$$

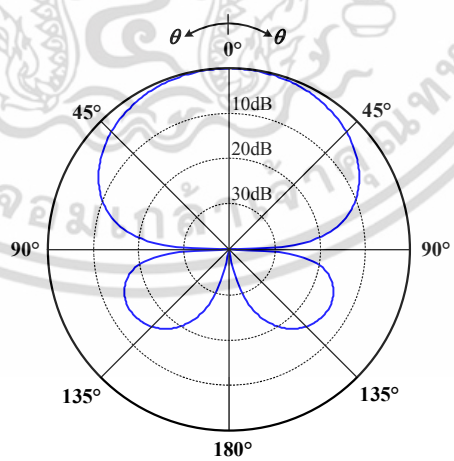
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสนามไฟฟ้าระยะไกลของแถวลำดับนั้น จะมีจุดศูนย์เกิดขึ้นที่มุม $\theta = 90^\circ$ และ $\theta = 180^\circ$ โดยจุดศูนย์ของตัวประกอบแถวลำดับนั้นจะเกิดขึ้นที่มุม 180° เนื่องจากองค์ประกอบแถวลำดับที่อยู่บนแนวแกน $+z$ นั้น จะมีเฟสที่ล่าช้ากว่าอีกองค์ประกอบหนึ่งอยู่ 90° ซึ่งเมื่อคลื่นจากองค์ประกอบดังกล่าวเดินทางไปตามแนวแกน $-z$ จะมีผลทำให้เกิดการหน่วงเฟสเพิ่มขึ้นอีก 90° เมื่อคลื่นเดินทางมาถึงอีกองค์ประกอบหนึ่งที่อยู่บนแนวแกน $-z$ ดังนั้นสามารถกล่าวสรุปได้ว่า ในกรณีที่คลื่นเดินทางไปตามแนวแกน $-z$ ($\theta = 180^\circ$) คลื่นระหว่างองค์ประกอบทั้งสองของแถวลำดับจะมีเฟสที่ต่างกัน 180° และในกรณีที่คลื่นเดินทางไปตามแนวแกน $+z$ ($\theta = 0^\circ$) คลื่นขององค์ประกอบทั้งสองของแถวลำดับจะมีเฟสเดียวกัน สำหรับแบบรูปสนามระยะไกลของแถวลำดับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



(ก) แบบรูปขององค์ประกอบเดี่ยว

(ข) ตัวประกอบแถวลำดับ



(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับ

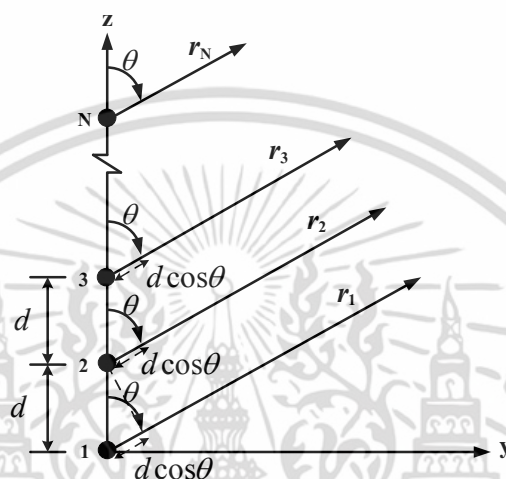
รูปที่ 2.11 การคูณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของแถวลำดับแบบสององค์ประกอบ

$$\text{เมื่อ } d = \lambda / 4 \text{ และ } \beta = \frac{-\pi}{2} \quad [37]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น

สำหรับสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น (Linear array antenna) ที่มีจำนวนองค์ประกอบทั้งหมดเท่ากับ N และมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นของแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุดที่วางในแนวแกน Z [37]

จากรูปที่ 2.12 เนื่องจากแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น จะเป็นผลคูณของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นขององค์ประกอบเดี่ยวและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของตัวประกอบแถวลำดับ ในกรณีนี้เมื่อองค์ประกอบของแถวลำดับมีมุมเฟส β ตัวประกอบแถวลำดับจะมีค่าเท่ากับ

$$AF = A_0 + A_1 e^{j(kd \cos \theta + \beta)} + A_2 e^{j2(kd \cos \theta + \beta)} + \dots + A_n e^{jn(kd \cos \theta + \beta)} \quad (2.43)$$

หรือ

$$AF = \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{jn(kd \cos \theta + \beta)} \quad (2.44)$$

เมื่อนิยามให้

$$\psi = kd \cos \theta + \beta \quad (2.45)$$

ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$AF = \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{jn\psi} \quad (2.46)$$

สำหรับการพล็อตสนามไฟฟ้าในพจน์ของมุม θ หรือ $f(\theta)$ นั้น จะทำได้ด้วยการแปลง $f(\psi)$ ให้เป็น $f(\theta)$ ด้วยสมการที่ (2.45) ยกตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์แอมพลิจูดแบบสององค์ประกอบ ซึ่งแต่ละองค์ประกอบนั้นเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุด ดังนั้นตัวประกอบแอมพลิจูดจะมีค่าเท่ากับ

$$f(\theta) = \cos\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) \cos \theta\right) \quad (2.47)$$

ในกรณีนี้ ψ ในสมการที่ (2.45) จะมีค่าเท่ากับ

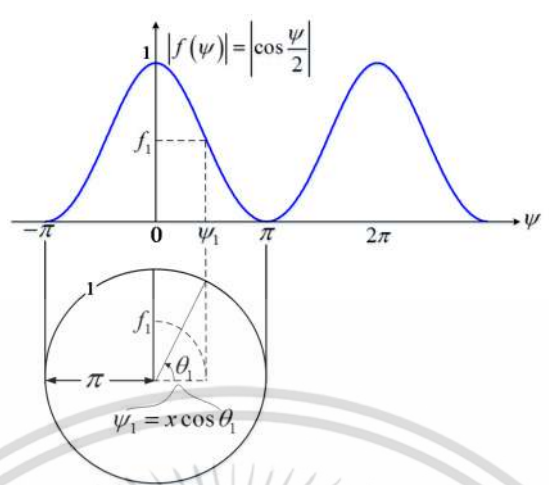
$$\psi = kd \cos \theta + \beta = \pi \cos \theta \quad (2.48)$$

เมื่อ $d = \lambda / 2$ และ $\beta = 0$

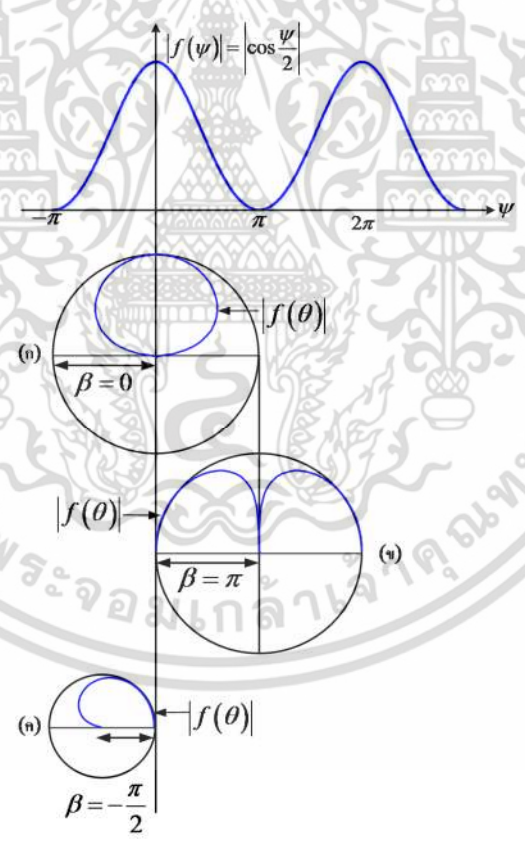
$$f(\psi) = \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right) = \cos \frac{\psi}{2} \quad (2.49)$$

จากสมการที่ (2.48) และ (2.49) นั้น สามารถที่จะทำการพล็อต $|f|$ เป็นฟังก์ชันของ θ ได้ โดยมีพิสัยของ θ อยู่ระหว่าง 0 ถึง π และ พิสัยของ ψ อยู่ระหว่าง $-\pi$ ถึง π ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13

จากรูปที่ 2.13 นั้น บนเส้นโค้งของ $f(\psi) = \cos \frac{\psi}{2}$ ที่ตำแหน่ง $\psi = \psi_1$ เมื่อทำการลากเส้นตรงลงมาตัดกับวงกลม ซึ่งมีรัศมี $\psi = \pi$ ที่อยู่ด้านล่างของเส้นโค้งที่ตำแหน่ง $\theta = \theta_1$ การพล็อต $|f|$ เป็นฟังก์ชันของ θ นั้น สามารถทำได้ด้วยการเขียนเส้นโค้งของวงกลมรัศมีเท่ากับ $|f| = f_1$ สอดคล้องกับ $\psi = \psi_1$ มาตัดกับเส้นตรงในแนวรัศมีของมุม θ_1 ดังแสดงในรูปที่ 2.13 จุดตัดที่เกิดขึ้นจะเป็นจุดหนึ่งบนทางเดินของจุดเส้นกราฟของ $|f|$ ในทำนองเดียวกันการหาค่าจุดอื่นๆ บนเส้นกราฟของ $|f|$ ที่ตำแหน่ง ψ ใดๆ สามารถทำได้เช่นเดียวกัน และผลลัพธ์ของการพล็อตกราฟเชิงขั้วของตัวประกอบแอมพลิจูด $|f(\theta)|$ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 กราฟเชิงขั้วของตัวประกอบแถวลำดับแบบสององค์ประกอบ เมื่อ $d = \lambda / 2$ และ กระแสที่ป้อนให้ในแต่ละองค์ประกอบมีค่าเท่ากัน [38]



รูปที่ 2.14 กราฟเชิงขั้วของตัวประกอบแถวลำดับแบบสององค์ประกอบ
 (ก) $d = \lambda / 2$ $kd = \pi$ และ $\beta = 0$ (ข) $d = \lambda / 2$ $kd = \pi$ และ $\beta = \pi$
 (ค) $d = \lambda / 4$ $kd = \pi / 2$ และ $\beta = -\pi / 2$ [37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้วตัวประกอบแกลล่ำดับจะเป็นรายคาบ (Periodic) ในตัวแปรของ ψ ด้วยคาบ 2π ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$AF(\psi + 2\pi) = \sum A_n e^{jn(\psi + 2\pi)} \quad (2.50)$$

$$= \sum A_n e^{jn\psi} e^{jn2\pi} \quad (2.51)$$

$$= \sum A_n e^{jn\psi} \quad (2.52)$$

$$= AF(\psi) \quad (2.53)$$

สำหรับตัวประกอบแกลล่ำดับของสายอากาศแกลล่ำดับเชิงเส้นนั้น จะเป็นฟังก์ชันของ θ โดยที่ตัวประกอบแกลล่ำดับดังกล่าวนี้ จะเป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มีการหมุนอย่างสมมาตรรอบแนวแกนของแกลล่ำดับเชิงเส้น ดังนั้นโครงสร้างที่สมบูรณ์ของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น จะสามารถทำการกำหนดได้จากค่าของ

$$0 < \theta < \pi \quad (2.54)$$

สำหรับบริเวณที่กำหนดตามสมการที่ (2.54) นี้จะเรียกว่า บริเวณที่มองเห็นได้ (Visible region) โดยบริเวณดังกล่าวนี้จะมีความสอดคล้องกับ $1 < \cos \theta < +1$ หรือ $-kd < kd \cos \theta < kd$ หรือ

$$\beta - kd < \psi < \beta + kd \quad (2.55)$$

นั่นคือบริเวณที่มองเห็นได้ ซึ่งในพจน์ของ θ และ ψ จะสามารถทำการหาค่าได้จากสมการที่ (2.54) และ (2.55) ตามลำดับ สำหรับระยะห่างระหว่างองค์ประกอบแกลล่ำดับของสายอากาศแกลล่ำดับเชิงเส้นนั้น จะสามารถใช้เพื่อกำหนดขนาดของวงกลมและจำนวนของเกรตติงโลบ (Grating lobe) ที่ปรากฏอยู่ในบริเวณที่มองเห็นได้ เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวประกอบแกลล่ำดับในรูปที่ 2.14 พบว่าในรูปที่ 2.14 (ก) บริเวณที่มองเห็นได้ในพจน์ของ ψ ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการที่ (2.55) โดยจะอยู่ในบริเวณ $-\pi < \psi < \pi$ และจุดศูนย์กลางของวงกลมจะสามารถกำหนดได้ด้วย β ซึ่งจะอยู่ที่ตำแหน่ง $\psi = 0$ ($\beta = 0$) โดยรัศมีของวงกลมจะมีค่าเท่ากับ π ($kd = (2\pi/\lambda)(\lambda/2)$) และจะมีเกรตติงโลบเกิดขึ้นที่มุม $\theta = 90^\circ$

สำหรับในรูปที่ 2.14 (ข) นั้น บริเวณที่มองเห็นได้ในพจน์ของ ψ จะอยู่ในบริเวณ $0 < \psi < 2\pi$ และจุดศูนย์กลางของวงกลมจะอยู่ที่ตำแหน่ง $\psi = \pi$ โดยรัศมีของวงกลมมีค่าเท่ากับ π และจะมีเกรตติงโลบเกิดขึ้นที่มุม $\theta = 0^\circ$ และ $\theta = 180^\circ$ สำหรับในรูปที่ 2.14 (ค) นั้น บริเวณที่มองเห็นได้ในพจน์ของ ψ จะอยู่ในบริเวณ $-\pi < \psi < 0$ และจุดศูนย์กลางของวงกลมจะอยู่ที่ตำแหน่ง $\psi = -\pi/2$ โดยรัศมีของวงกลมมีค่าเท่ากับ $\pi/2$ และจะมีเกรตติงโลบเกิดขึ้นที่มุม $\theta = 0^\circ$

เมื่อแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นนั้น ถูกกระตุ้นอย่างสม่ำเสมอ (Uniformly excited) จากสมการที่ (2.44) จะมีค่าเท่ากับ

$$AF = \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{jn\psi} = A_0 (1 + e^{j\psi} + \dots + e^{j(N-1)\psi}) \quad (2.56)$$

เมื่อ

$$A_0 = A_1 = A_2 = A_3 \dots \quad (2.57)$$

เมื่อทำการคูณทั้งสองข้างของสมการที่ (2.56) ด้วย $e^{j\psi}$ จะได้

$$AF e^{j\psi} = A_0 (e^{j\psi} + e^{j2\psi} + \dots + e^{jN\psi}) \quad (2.58)$$

และเมื่อทำการลบสมการที่ (2.56) ด้วย สมการที่ (2.58) จะมีค่าเท่ากับ

$$AF (1 - e^{j\psi}) = A_0 (1 - e^{jN\psi}) \quad (2.59)$$

หรือ

$$AF = A_0 \frac{(1 - e^{jN\psi})}{(1 - e^{j\psi})} \quad (2.60)$$

จากสมการที่ (2.60) นี้จะกลายเป็น

$$AF = A_0 \frac{(e^{jN\psi/2} e^{jN\psi/2}) - e^{-jN\psi/2}}{(e^{j\psi/2} e^{j\psi/2}) - e^{-j\psi/2}} \quad (2.61)$$

$$= A_0 e^{j(N-1)\psi/2} \frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)} \quad (2.62)$$

ในกรณีที่จุดเปรียบเทียบเฟสนั้น เป็นจุดกึ่งกลางของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น จากสมการที่ (2.62) จะมีค่าเท่ากับ

$$AF = A_0 \frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)} \quad (2.63)$$

จากสมการที่ (2.63) นั้น จะมีค่าสูงสุด เมื่อ $\psi = 0$ และค่าสูงสุดนี้สามารถหาค่าได้จากสมการที่ (2.56) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ

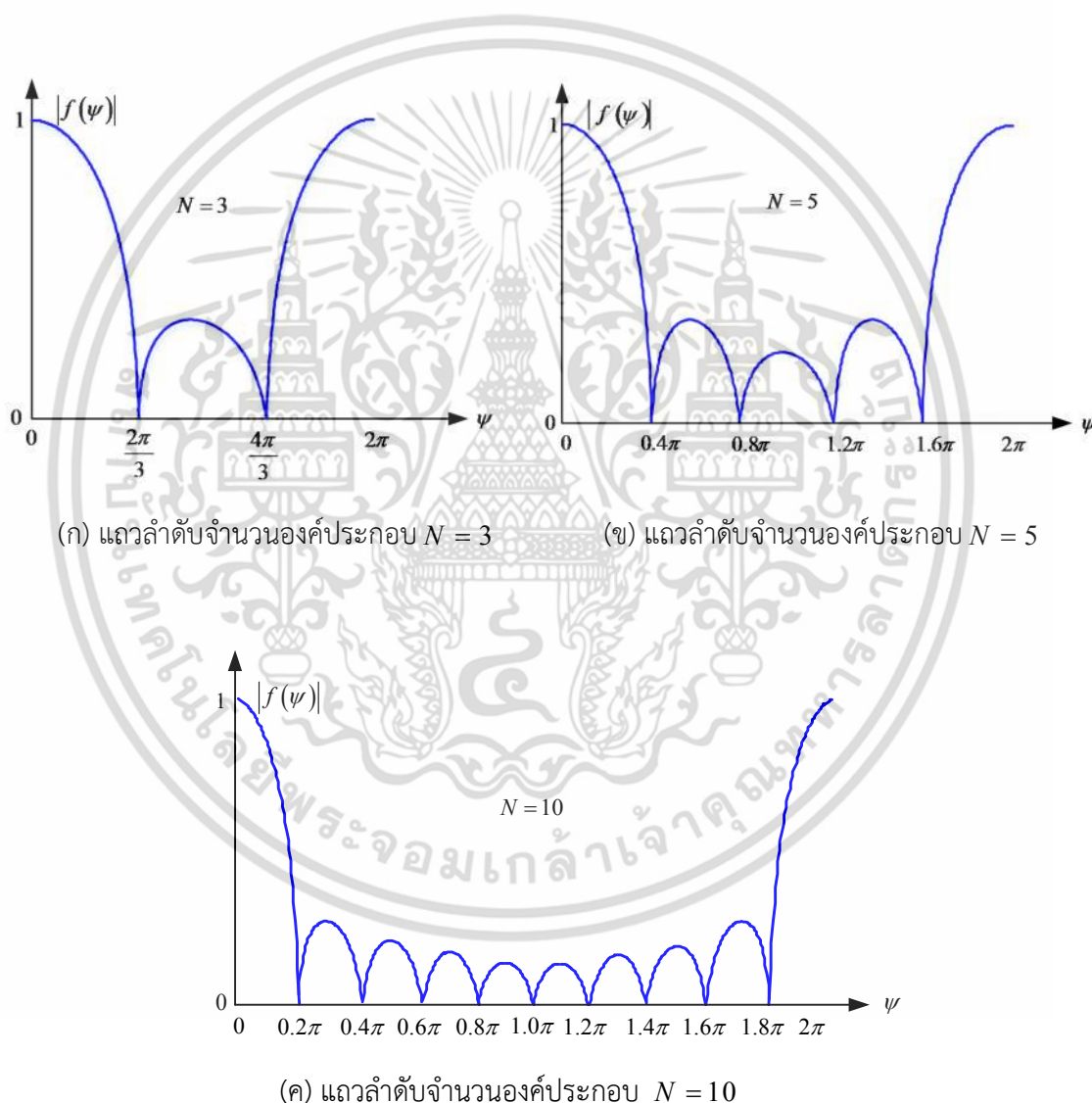
$$AF = A_0 (1 + 1 + \dots + 1) = A_0 N \quad (2.64)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการหารสมการที่ (2.63) ด้วยสมการที่ (2.64) ตัวประกอบแถวลำดับแบบนอร์เมลไลซ์ จะมีค่าเท่ากับ

$$(AF)_n = f(\psi) = \frac{\sin(N\psi/2)}{N \sin(\psi/2)} \quad (2.65)$$

จากสมการที่ 2.55 และ 2.63 จะสามารถแสดงกราฟตัวประกอบแถวลำดับของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ที่มีจำนวนองค์ประกอบ N เท่ากับ 3 5 และ 10 ได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ตัวประกอบแถวลำดับที่มีการกระตุ้นและระยะห่างแต่ละองค์ประกอบสม่ำเสมอ [37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.15 จะสามารถทำการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. เมื่อจำนวนองค์ประกอบแถวลำดับ N เพิ่มขึ้น ลำคลื่นหลักจะแคบมากขึ้น
2. เมื่อจำนวนองค์ประกอบแถวลำดับ N เพิ่มขึ้น จะเกิดลำคลื่นด้านข้างเพิ่มมากขึ้นใน 1 คาบของ $f(\psi)$ โดยจำนวนลำคลื่นทั้งหมด (หนึ่งลำคลื่นหลักและลำคลื่นด้านข้าง) ใน 1 คาบของ $f(\psi)$ นั้นจะเท่ากับ $N-1$ จำนวนของลำคลื่นด้านข้างจะเท่ากับ $N-2$ และจะมีลำคลื่นหลักหนึ่งลำคลื่นในแต่ละคาบ
3. ความกว้างของลำคลื่นหลัก (Major lobe) จะเป็นสองเท่าของความกว้างของลำคลื่นย่อย
4. ค่ายอด (Peak) ของลำคลื่นด้านข้างจะลดลง เมื่อจำนวนองค์ประกอบของแถวลำดับ N เพิ่มขึ้น และการวัดค่ายอดของลำคลื่นด้านข้างจะสามารถที่จะทำการหารระดับของลำคลื่นด้านข้าง (Side lobe level) ซึ่งสามารถนิยามได้เป็น อัตราส่วนของค่าสูงสุดของลำคลื่นด้านข้างขนาดใหญ่ที่สุด ต่อ ค่าสูงสุดของลำคลื่นหลัก
5. $|f(\psi)|$ จะสมมาตรประมาณ π โดยในรูปที่ 2.15 $f(\psi)$ จะอยู่ทางด้านซ้ายของภาพ

2.6.2.1 สายอากาศแถวลำดับด้านข้าง (Broadside array antenna)

การประยุกต์ใช้งานร่วมกับงานบางอย่าง ยกตัวอย่างเช่น เรดาร์ ดาราศาสตร์วิทยุ ดาวเทียม และระบบการสื่อสารแบบเซลลูลาร์นั้น มีความต้องการในการแพร่กระจายคลื่นสูงสุดของสายอากาศแถวลำดับในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนของสายอากาศ ($\theta = 90^\circ$) การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของการออกแบบองค์ประกอบเดี่ยวและตัวประกอบแถวลำดับนั้น ควรจะต้องมีการออกแบบให้ทิศทางการแพร่กระจายคลื่น มีค่ามากที่สุดที่มุม $\theta = 90^\circ$ ทั้งคู่ ในส่วนขององค์ประกอบเดี่ยวนั้น ควรจะต้องทำการเลือกให้มีความเหมาะสมและสำหรับตัวประกอบแถวลำดับนั้น สามารถที่จะทำการออกแบบให้เกิดความเหมาะสมได้ โดยจะเป็นการออกแบบให้เกิดความเหมาะสมของระยะห่างระหว่างแถวลำดับและการกระตุ้นของตัวแพร่กระจายคลื่น

จากสมการที่ (2.45) ค่าสูงสุดแรกของตัวประกอบแถวลำดับจะเกิดขึ้นเมื่อ

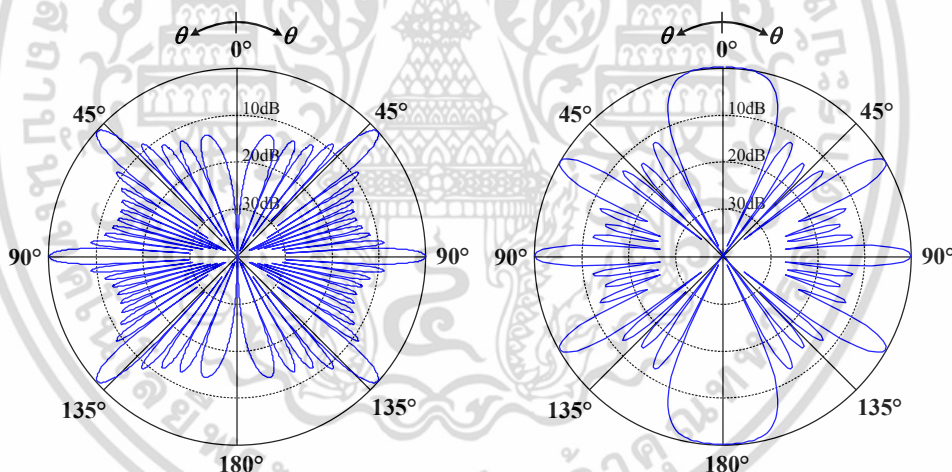
$$\psi = kd \cos \theta + \beta = 0 \quad (2.66)$$

เนื่องจากต้องการค่าสูงสุดแรกในทิศทางของมุม $\theta = 90^\circ$ ดังนั้น

$$\beta = 0 \quad (2.67)$$

จากวัตถุประสงค์สำหรับการออกแบบ คือ การไม่เกิดค่าสูงสุดในหลายๆ ทิศทาง หรือ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การเกิดเกรตติงโลบ ซึ่งบ่อยครั้งสำหรับการออกแบบนั้นจำเป็นต้องทำการพิจารณาระยะห่างระหว่างองค์ประกอบให้มีค่าที่เหมาะสม เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดขึ้นของเกรตติงโลบ ดังนั้น ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบแถวลำดับควรจะต้องมีค่าน้อยกว่าหนึ่งความยาวคลื่น ($d_{\max} < \lambda$) จากวิธีการดังกล่าวแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของตัวประกอบแถวลำดับจำนวน 10 องค์ประกอบ เมื่อทำการกำหนดค่า $\beta = 0$ และ $d = \lambda / 4$ จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.16 (ข)

ถ้าระยะห่างระหว่างองค์ประกอบแถวลำดับถูกพิจารณาให้อยู่ในช่วง $\lambda < d < 2\lambda$ ค่าสูงสุดของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มุม $\theta = 0^\circ$ จะถูกเลื่อนไปยังมุมระหว่าง $0^\circ < \theta_0 < 90^\circ$ ขณะที่ค่าสูงสุดของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มุม $\theta = 180^\circ$ จะถูกเลื่อนไปยังมุมระหว่าง $90^\circ < \theta_0 < 180^\circ$ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.17 (ก) และเมื่อ $d = 2\lambda$ ค่าสูงสุดของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะเกิดขึ้นที่มุม $\theta = 0^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 180^\circ$ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.17 (ข) ในตารางที่ 2.1 จะแสดงมุมหลัก ค่าสูงสุดจุดที่กำลังคลื่น ค่าสูงสุดของลำคลื่นย่อย และบีมวิทท์ของสายอากาศแถวลำดับด้านข้าง



(ก) แถวลำดับเมื่อ $d = 1.5\lambda$

(ข) แถวลำดับเมื่อ $d = 2\lambda$

รูปที่ 2.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับด้านข้าง
จำนวน 10 องค์ประกอบ เมื่อ $d = 1.5\lambda$ $d = 2\lambda$ [37]

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของลำคลื่นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับด้านข้าง

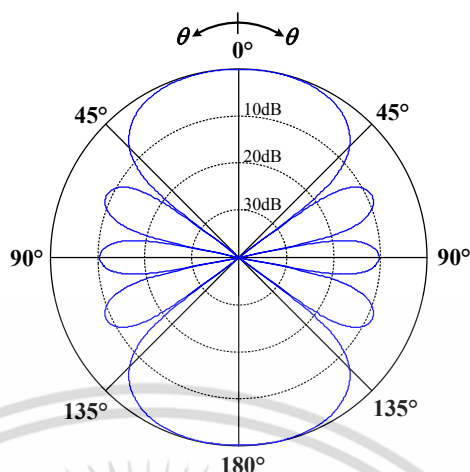
คุณลักษณะลำคลื่นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	รูปแบบสมการ
จุดศูนย์	$\theta_n = \cos^{-1} \left(\pm \frac{n\lambda}{Nd} \right), n = 1, 2, 3, \dots$ $, n \neq N, 2N, 3N, \dots$
ค่าสูงสุดของลำคลื่นหลัก	$\theta_m = \cos^{-1} \left(\pm \frac{m\lambda}{d} \right), m = 0, 1, 2, \dots$
จุดที่มีลำคลื่นครึ่งกำลัง	$\theta_h \approx \cos^{-1} \left(\pm \frac{1.391\lambda}{\pi Nd} \right), \pi d / \lambda \ll 1$
ค่าสูงสุดของลำคลื่นย่อย	$\theta_s = \cos^{-1} \left\{ \pm \frac{\lambda}{2d} \left(\frac{2s+1}{N} \right) \right\}, s = 1, 2, 3, \dots$ $, \pi d / \lambda \ll 1$
ความกว้างลำคลื่นที่เป็นศูนย์จุดแรก	$\Theta_n = 2 \left\{ \frac{\pi}{2} - \cos^{-1} \left(\frac{\lambda}{Nd} \right) \right\}, s = 1, 2, 3, \dots$
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง	$\Theta_h \approx 2 \left\{ \frac{\pi}{2} - \cos^{-1} \left(\frac{1.391\lambda}{\pi Nd} \right) \right\}, \pi d / \lambda \ll 1$
ความกว้างลำคลื่นย่อยแรก	$\Theta_s \approx 2 \left\{ \frac{\pi}{2} - \cos^{-1} \left(\frac{3\lambda}{2dN} \right) \right\}, \pi d / \lambda \ll 1$

2.6.2.2 สายอากาศแถวลำดับแบบเอนด์ไฟร์ (Endfire array antenna)

จะเป็นแถวลำดับที่มีการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุดในทิศทางตามแนวแกนของแถวลำดับ หรือ มีมุมของลำคลื่นหลักอยู่ที่มุม $\theta = 0^\circ$ หรือ $\theta = 180^\circ$ นั่นคือ

$$\beta = \pm kd \quad (2.69)$$

ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของแถวลำดับเชิงเส้นมีค่าเท่ากับครึ่งความยาวคลื่น $d = \lambda / 2$ นั้น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของตัวประกอบแถวลำดับจะเกิดลำคลื่นแบบเอนด์ไฟร์ (Endfire lobe) ที่เหมือนกันสองลำคลื่น ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



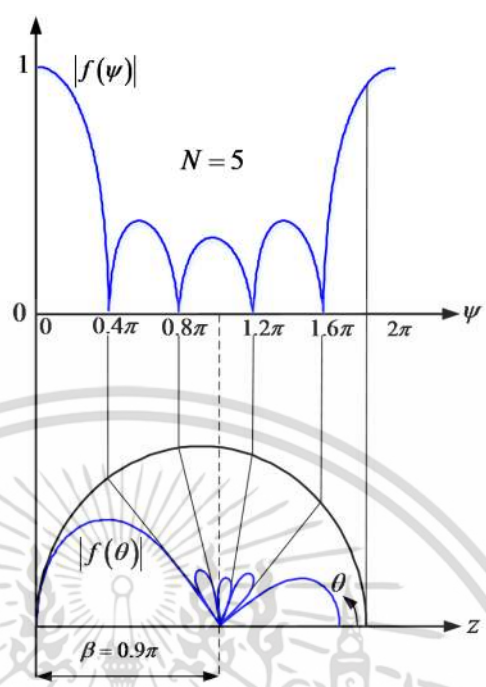
รูปที่ 2.18 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับแบบเอนด์ไฟร์ จำนวน 5 องค์ประกอบ เมื่อ $d = \lambda / 4$ [37]

วิธีการที่จะทำให้ลำคลื่นแบบเอนด์ไฟร์เหลือเพียงแค่ลำคลื่นเดี่ยวหรือมีลักษณะเหมือนลำคลื่นรูปปลายดินสอ (Pencil beam) นั้น วิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมนำมาใช้งานมากที่สุด คือ การลดระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของแถวลำดับให้มีค่าน้อยกว่าครึ่งความยาวคลื่น ($d < \lambda / 2$) สำหรับระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ (d) ของแถวลำดับที่เหมาะสม จะสามารถทำการพิจารณาได้จากการวิเคราะห์ในบริเวณที่มองเห็นได้ของ $|f(\psi)|$ ของแถวลำดับ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.19 โดยบริเวณที่มองเห็นได้ของ $|f(\psi)|$ จะมีความกว้างเท่ากับ $2kd$ หรือ 2π การกำจัดเกรตติงโลบที่ไม่ต้องการนั้น จะสามารถทำได้โดยการลดบริเวณที่มองเห็นได้ ให้น้อยกว่าค่าระยะห่างครึ่งความยาวคลื่นของ 2π เนื่องจากความกว้างครึ่งหนึ่งของเกรตติงโลบจะเท่ากับ $2\pi / N$ ดังนั้นการกำจัดเกรตติงโลบที่ไม่ต้องการให้มีค่ามากที่สุดสามารถทำได้โดยการลดบริเวณที่มองเห็นได้ให้มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ π / N นั่นคือ

$$2kd \leq 2\pi - \frac{\pi}{N} \quad (2.70)$$

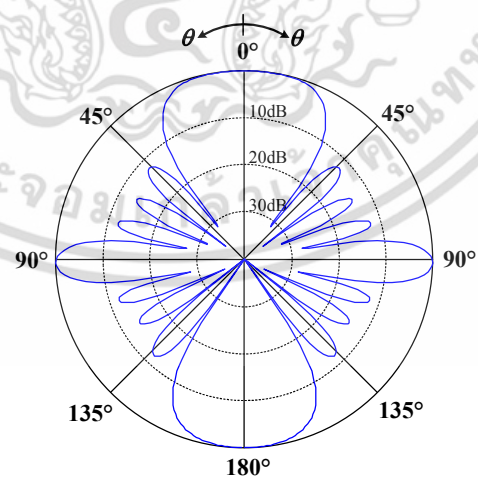
$$d \leq \frac{\lambda}{2} \left(1 - \frac{1}{2N}\right) \quad (2.71)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 กราฟเชิงขั้วของแถวลำดับแบบแอนไฟร์จำนวน 5 องค์ประกอบ เมื่อ $d = 0.45$ และ $\beta = 0.9\pi$ [37]

สำหรับการพิจารณาสายอากาศแถวลำดับแบบแอนไฟร์ เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ $d = \lambda$ และทำการกำหนดให้เฟสการกระตุ้น $\beta = -kd$ ค่าสูงสุดของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะเกิดขึ้นที่มุม $\theta = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.20 ในตารางที่ 2.2 จะแสดงมุมนัล ค่าสูงสุดจุดที่กำลังคลื่น ค่าสูงสุดของลำคลื่นย่อย และมีมิติของสายอากาศแถวลำดับด้านข้าง



รูปที่ 2.20 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับแบบแอนไฟร์ จำนวน 5 องค์ประกอบ เมื่อ $d = \lambda$ [37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของลำคลื่นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับแบบเอนต์ไฟร์

คุณลักษณะลำคลื่นของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	รูปแบบสมการ
จุดศูนย์	$\theta_n = \cos^{-1} \left(1 - \frac{n\lambda}{Nd} \right), n = 1, 2, 3, \dots$ $, n \neq N, 2N, 3N, \dots$
ค่าสูงสุดของลำคลื่นหลัก	$\theta_m = \cos^{-1} \left(1 - \frac{m\lambda}{d} \right), m = 0, 1, 2, \dots$
จุดที่มีลำคลื่นครึ่งกำลัง	$\theta_h \approx \cos^{-1} \left(1 - \frac{1.391\lambda}{\pi Nd} \right), \pi d / \lambda \ll 1$
ค่าสูงสุดของลำคลื่นย่อย	$\theta_s = \cos^{-1} \left\{ 1 - \frac{\lambda}{2d} \left(\frac{2s+1}{N} \right) \right\}, s = 1, 2, 3, \dots$ $, \pi d / \lambda \ll 1$
ความกว้างลำคลื่นที่เป็นศูนย์จุดแรก	$\Theta_n = \left\{ 2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{\lambda}{Nd} \right) \right\}, s = 1, 2, 3, \dots$
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง	$\Theta_h \approx \left\{ 2 - \cos^{-1} \left(1 - \frac{1.391\lambda}{\pi Nd} \right) \right\}, \pi d / \lambda \ll 1$
ความกว้างลำคลื่นย่อยแรก	$\Theta_s \approx \left\{ 2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{3\lambda}{2dN} \right) \right\}, \pi d / \lambda \ll 1$

2.7 ทฤษฎีความน่าจะเป็น

สำหรับการศึกษาระบบการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้น ทฤษฎีความน่าจะเป็นถือเป็นสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับการนำมาพิจารณาพร้อมกับระบบการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยทฤษฎีดังกล่าวมีความจำเป็นอย่างมาก สำหรับการนำมาวิเคราะห์ถึงรูปแบบของข้อมูลที่ถูกนำมาใช้สำหรับการค้นหาคำตอบ ซึ่งการวิเคราะห์รูปแบบของข้อมูลดังกล่าว นั้น ถือเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญ สำหรับการปรับปรุงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบต่างๆ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยในหัวข้อดังกล่าวนี้จะทำการกล่าวถึง ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 2 ตัวแปร และ ตัวอย่างของตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง เป็นต้น

2.7.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง

สำหรับการอธิบายพฤติกรรมของตัวแปรสุ่มนั้น จะสามารถทำการอธิบายด้วยโอกาสการเกิดของตัวแปรสุ่ม โดยเป็นไปตามเงื่อนไขที่สนใจ ซึ่งรู้จักกันดีในชื่อของความน่าจะเป็น (Probability) และถ้าตัวแปรสุ่มที่ได้จากการทดลองสุ่มใดๆ มีรูปแบบของพฤติกรรมการกระจายตัวในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ในทางสถิติวิศวกรรมจะเรียกพฤติกรรมดังกล่าวว่า ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability function) ซึ่งในหัวข้อดังกล่าวนี้จะทำการกล่าวถึงความสัมพันธ์ของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมและฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสองตัวแปร ซึ่งสามารถทำการอธิบายได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

2.7.1.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสองตัวแปร

สำหรับกรณีที่น่าสนใจโอกาสของผลลัพธ์จาก 2 เหตุการณ์ขึ้นไป หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การสนใจตัวแปรสุ่มที่มากกว่า 1 ตัวขึ้นไปพร้อมกัน โดยที่ตัวแปรสุ่มที่สนใจทั้งหมดนั้นเป็นตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง ซึ่งจะสามารถเรียกรูปแบบการแจกแจงดังกล่าวนี้ว่า การแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมสำหรับตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง โดยจะทำการกำหนดให้ X และ Y เป็นตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง และฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม $f_{X,Y}(x,y)$ ซึ่งคุณสมบัติของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. สำหรับทุกจำนวนจริง x และ y

$$f_{X,Y}(x,y) > 0 \quad (2.72)$$

2. สำหรับฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วมของตัวแปรสุ่ม X และ Y

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{X,Y}(x,y) dx dy = 1 \quad (2.73)$$

3. สำหรับทุกจำนวนจริง $a < b < c$ และ d โดยที่ $-\infty < a < b < \infty$ และ $-\infty < c < d < \infty$

$$P(a < X < b, c < Y < d) = \int_c^d \int_a^b f_{X,Y}(x,y) dx dy \quad (2.74)$$

2.7.1.2 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมร่วมของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสองตัวแปร

คุณสมบัติที่สำคัญของการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมร่วมของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสองตัวแปรสามารถอธิบายได้ดังนี้ กำหนดให้ X และ Y เป็นตัวแปรสุ่มใดๆ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมร่วมของตัวแปรสุ่ม X และ Y เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $F_{X,Y}(x,y)$ ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$F_{X,Y}(x,y) = P(X \leq x, Y \leq y) \quad (2.75)$$

สำหรับทุกจำนวนจริง x และ y

โดยฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมร่วมของตัวแปรสุ่ม X และ Y ต่อเนื่อง จะมีคุณสมบัติที่สำคัญดังต่อไปนี้

$$F_X(x) = F_{X,Y}(x, \infty) \quad (2.76)$$

$$F_Y(y) = F_{X,Y}(\infty, y) \quad (2.77)$$

$$F_{X,Y}(x, -\infty) = 0 \quad (2.78)$$

$$F_{X,Y}(-\infty, y) = 0 \quad (2.79)$$

ถ้า $x_1 < x_2$ และ $y_1 < y_2$

$$F_{X,Y}(x_1, y_1) \leq F_{X,Y}(x_2, y_2) \quad (2.80)$$

$$\frac{\partial^2 F_{X,Y}(x,y)}{\partial_x \partial_y} = \frac{\partial^2 F_{X,Y}(x,y)}{\partial_y \partial_x} = f(x,y) \quad (2.81)$$

เมื่อทำการกำหนดให้ X และ Y เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมร่วม สามารถอธิบายได้ดังสมการ

$$F(x,y) = \int_{-\infty}^y \int_{-\infty}^x f_{X,Y}(u,v) d_u d_v = \int_{-\infty}^x \int_{-\infty}^y f_{X,Y}(u,v) d_u d_v \quad (2.82)$$

สำหรับทุกจำนวนจริง x และ y

2.7.2 ฟังก์ชันเตี่ยวของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสองตัวแปร

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสองปริมาณ ในลักษณะที่ค่าของปริมาณหนึ่งขึ้นอยู่กับอีกปริมาณหนึ่ง ซึ่งความสัมพันธ์ของปริมาณดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยฟังก์ชันของตัวแปรเพียงหนึ่งตัว แต่สำหรับการศึกษาโดยทั่วไปแล้ว จะมีการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของปริมาณที่มากกว่าตัวแปรเดี่ยวที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ โดยในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของปริมาณหนึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณต่างๆ หลายปริมาณ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าทำการกำหนดให้ A เป็นพื้นที่ของรูป

สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างและความยาวเป็น x และ y ตามลำดับ ดังนั้นค่าของ A ย่อมขึ้นอยู่กับค่าของ x และ y เป็นต้น

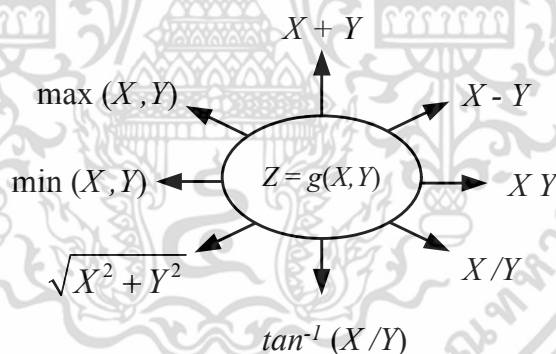
จากหัวข้อที่ 2.6.2 เมื่อทำการกำหนดให้ X และ Y เป็นตัวแปรสุ่มใดๆ และฟังก์ชันของตัวแปรสุ่มใดๆ นั้น คือ $g(X, Y)$ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถที่จะเขียนได้ในรูปแบบของตัวแปรสุ่ม Z ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.83

$$Z = g(X, Y) \quad (2.83)$$

เมื่อทำการพิจารณาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม Z ร่วมกับความสัมพันธ์ของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของตัวแปรสุ่ม X และ Y ดังนั้นฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม Z จะมีค่าเท่ากับ

$$Z = f_{XY}(x, y) \quad (2.84)$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ การพิจารณาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม Z จะถูกนำไปพิจารณาร่วมกับรูปแบบฟังก์ชันที่หลากหลายของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของตัวแปรสุ่ม X และ Y ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ร่วมของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปร Z กับ รูปแบบฟังก์ชันที่หลากหลายของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของตัวแปรสุ่ม X และ Y [38]

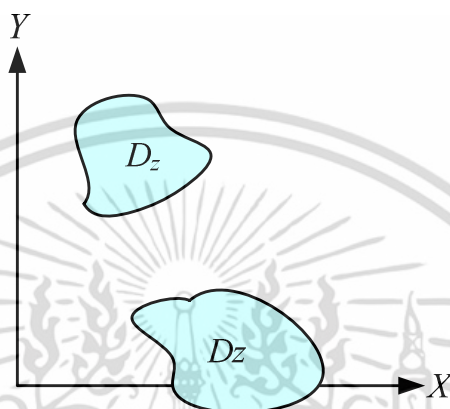
2.7.2.1 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสองตัวแปร

สำหรับการพิจารณาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสองตัวแปร เมื่อทำการกำหนดให้ $Z = f_{XY}(x, y)$ ดังนั้นฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมของตัวแปร Z จะมีค่าเท่ากับ

$$F_Z(z) = P(Z(\xi) \leq z) = P(g(X, Y) \leq z) = P[(X, Y) \in D_z] \quad (2.85)$$

$$= \int \int_{X, Y \in D_z} f_{XY}(x, y) d_x d_y \quad (2.86)$$

เมื่อ D_z คือ พื้นที่ใดๆ ในระนาบ XY ที่ซึ่ง $g(x, y) \leq z$ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 พื้นที่ใดๆ ของ D_z ในระนาบ XY เมื่อ $g(x, y) \leq z$ [38]

2.7.2.2 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องสองตัวแปร

เมื่อทำการพิจารณาหาค่าฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง Z จะสามารถทำการหาค่าได้ โดยจะทำการพิจารณาร่วมกับกฎการหาค่าอนุพันธ์แบบ Leibnitz's [38] ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\text{เมื่อกำหนดให้ } H(z) = \int_{a(z)}^{b(z)} h(x, z) d_x$$

$$\frac{dH(z)}{dz} = \frac{db(z)}{dz} h(b(z), z) - \frac{da(z)}{dz} h(a(z), z) + \int_{a(z)}^{b(z)} \frac{\partial h(x, z)}{\partial z} d_x \quad (2.87)$$

ดังนั้นจากกฎการหาค่าอนุพันธ์แบบ Leibnitz's จะสามารถทำการหาค่าฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง Z ได้ดังสมการ

$$f_z(z) = \frac{dF_Z(z)}{dz} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\int \int_{X, Y \in D_z} f_{XY}(x, y) d_x d_y \right) \quad (2.88)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 ตัวอย่างของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ

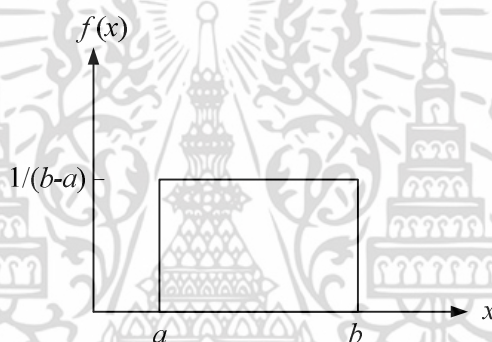
การแจกแจงแบบสม่ำเสมอ หรือ การกระจายตัวของข้อมูลแบบเอกรูป เป็นการแจกแจงของข้อมูลที่มีโอกาสในการเกิดของตัวแปรสุ่มที่เท่ากัน ตลอดช่วงที่เป็นไปได้ของตัวแปรสุ่มจากค่าต่ำสุด (a) ไปจนถึงค่าสูงสุด (b) ซึ่งรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงของข้อมูลแบบสม่ำเสมอ สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$f(x) = \frac{1}{b-a} \quad (2.89)$$

โดยที่ $a \leq x \leq b$ หรือ 0 เมื่อค่าของ x ไม่ได้อยู่ในช่วงขอบเขตของ a และ b

โดยที่ฟังก์ชันความหนาแน่นของการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสม่ำเสมอ สามารถแสดงได้ดังรูปที่

2.23



รูปที่ 2.23 ฟังก์ชันความหนาแน่นของการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสม่ำเสมอ [39]

2.8 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมา ทฤษฎีและหลักการออกแบบของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจที่เพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการออกแบบสายอากาศ คือ สิ่งที่ถูกนำเสนอ อีกทั้งในบทนี้ยังได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ซึ่งทฤษฎีดังกล่าวนี้ จะถูกนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์และทำการออกแบบร่วมกับปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ และ หัวข้อสุดท้ายของบทดังกล่าวนี้จะทำการกล่าวถึงทฤษฎีความน่าจะเป็น ซึ่งจะถูกใช้สำหรับการวิเคราะห์รูปแบบการแจกแจงของข้อมูลสำหรับการค้นหาคำตอบ ซึ่งจะเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการปรับปรุงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิเคราะห์ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดพื้นฐาน และหลักการทำงานของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ หรือ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม เพื่อที่จะศึกษาถึงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ตัวอย่างการวิเคราะห์จะถูกทำการพิจารณาพร้อมกับสมการทางด้านคณิตศาสตร์และทฤษฎีความน่าจะเป็น โดยผลจากการวิเคราะห์จะทำให้ทราบถึงข้อจำกัดที่เกิดขึ้นของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จากนั้นระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงจะถูกนำเสนอเป็นหัวข้อถัดไป โดยในหัวข้อดังกล่าว จะกล่าวถึงการปรับปรุงกระบวนการที่สำคัญของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน อีกทั้งยังได้สรุปหลักการกำหนดค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง เมื่อมีการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

3.2 ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมและการประยุกต์ใช้งาน

ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 2011 โดย Wan-Tsao Pan [15] วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยมีพื้นฐานมาจากพฤติกรรมในการค้นหาแหล่งอาหารของกลุ่มแมลงหวี่ โดยปกติแล้วแมลงหวี่ จะเป็นสัตว์ที่มีประสาทสัมผัสในการมองเห็นและรับกลิ่นที่ดีมาก ดังนั้นกระบวนการหลักๆ ในการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่จะมีกระบวนการที่สำคัญอยู่ 2 กระบวนการด้วยกัน นั่นคือ ขั้นตอนแรกแมลงหวี่จะใช้ประสาทสัมผัสในการรับกลิ่นของแหล่งอาหาร จากนั้นจะทำการบินไปยังบริเวณที่ใกล้เคียงกับแหล่งอาหาร และ ขั้นตอนที่สองจะเป็นการใช้ประสาทสัมผัสในการมองเห็น โดยจะบินไปยังแหล่งอาหารเพื่อทำการค้นหาอาหาร

สำหรับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมนั้น ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ในหลากหลายปัญหา ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ ปัญหาการเลือกเส้นทางการเดินทาง ปัญหาการจัดตารางการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ปัญหาของระบบฝากขายของประมูล ซึ่งการประยุกต์ใช้งานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถกล่าวได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยของ Peng-Wen Chen และคณะ [16] ได้มีการนำระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับตัวแบบการพยากรณ์เกรย์ (Gray model) สำหรับการพยากรณ์การบริการทางด้าน e-business โดยจะทำการศึกษาถึงความพึงพอใจของลูกค้ากับการบริการทางด้าน e-business ยกตัวอย่างเช่น ความเร็วในการบริการ หรือ ตำแหน่งที่ตั้งของจุดให้บริการ เป็นต้น โดยกระบวนการศึกษาในขั้นแรกนั้น จะทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการบริการทางด้าน e-business ด้วยตัวแบบการพยากรณ์เกรย์ จากนั้นคำตอบที่ได้จะทำการพิจารณาอีกครั้งด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จากการศึกษาดังกล่าวสามารถที่จะนำไปใช้พิจารณาแนวโน้มของระดับความพึงพอใจของลูกค้า และสามารถที่จะใช้เป็นแนวทางสำหรับการพยากรณ์ในอนาคตได้ ซึ่งการมีวิธีการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมนั้น สามารถที่จะลดความเสี่ยงทางด้านการลงทุนของการบริการทางด้าน e-business ได้

จากงานวิจัยของ Qi Li และคณะ [17] ได้มีการนำระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการเลือกพอร์ตโฟลิโอ (Portfolio selection problem) หรือ ปัญหาการจัดกลุ่มของสินทรัพย์ด้านการเงิน โดยในงานวิจัยดังกล่าวได้มีการนำระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม มาช่วยในการวิเคราะห์และอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงและผลตอบแทนจากหลักทรัพย์ (Security return) ซึ่งมีผลทำให้เกิดการจัดสรรน้ำหนักของสินทรัพย์ที่ถือครองในพอร์ตได้อย่างเป็นระบบและเกิดการลงทุนที่เหมาะสมตามเป้าหมายที่ต้องการ

จากงานวิจัยของ Yuwen Zhang และคณะ [18] ได้มีการนำระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial optimization) ของการวิเคราะห์ทางเทคนิคทางการตลาด (Market technique analysis) ซึ่งการวิเคราะห์ทางเทคนิคดังกล่าว จะเป็นการศึกษาถึงรูปแบบพฤติกรรมเคลื่อนไหวของราคาในตลาด ยกตัวอย่างเช่น ตลาดหุ้น หรือ ตลาดแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ เป็นต้น โดยในงานวิจัยดังกล่าวได้มีการนำระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม มาใช้สำหรับหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวบ่งชี้ (Indicator) และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการลงทุน โดยตัวบ่งชี้ดังกล่าวนี้จะอธิบายถึง ราคา แนวโน้ม ความผันผวน และปริมาณการซื้อขาย ซึ่งมีผลทำให้นักลงทุนสามารถที่จะทำนายรูปแบบการเคลื่อนไหวของราคาในตลาดในอนาคต เพื่อหาจังหวะที่เหมาะสมสำหรับการซื้อขายการลงทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากงานวิจัยของ Jun-Qing Li และคณะ [19] ได้มีการนำระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการจัดตารางการผลิตต่อเนื่องแบบผสม (Hybrid flow shop scheduling problem) ของกระบวนการผลิตเหล็กกล้า โดยงานวิจัยดังกล่าวจะทำการหาค่าแมคสแปน (Makespan) หรือ เวลาสิ้นสุดงานสุดท้ายน้อยที่สุด ภายใต้เวลาการทำงานที่จำกัดของปัญหาการจำลอง 20 ปัญหา ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ซึ่งการหาค่าแมคสแปนที่มีความเหมาะสมที่สุดนั้น จะมีผลทำให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถที่จะควบคุมและวางแผนการผลิตสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถที่จะลดระยะเวลาและลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประยุกต์ใช้งานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นนั้น พบว่าระเบียบวิธีขั้นตอนดังกล่าว เป็นวิธีการหนึ่งที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากได้มีการเริ่มนำไปประยุกต์ใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นกับการแก้ไขปัญหาที่หลากหลาย แต่สิ่งหนึ่งที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน คือ วิธีการดังกล่าวยังไม่เคยมีการนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัญหาทางไฟฟ้าขนาดใหญ่ของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลหลักอย่างหนึ่งที่นำสนใจของการนำวิธีการดังกล่าวมาทำการประยุกต์ใช้งาน และอีกสิ่งหนึ่งที่มีความน่าสนใจ นั่นคือ วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการใหม่ของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบเซา์ปัญหาเชิงเคลื่อนที่เป็นกลุ่ม ที่มีกลไกในการค้นหาค่าตอบที่ซับซ้อนน้อยกว่าวิธีการอื่นๆ ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน สำหรับหัวข้อต่อไปที่จะทำการนำเสนอ นั้น จะเป็นการกล่าวถึงกระบวนการค้นหาค่าตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและง่ายต่อการทำความเข้าใจสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา

3.2.1 ขั้นตอนการทำงานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม

กระบวนการค้นหาอาหารของแมลงหวี่นั้น จะเริ่มต้นจากการที่แมลงหวี่ทำการบินสุ่มเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งอาหาร โดยแมลงหวี่จะใช้กลิ่นของอาหารเป็นตัวนำทางการค้นหา ในขณะที่แมลงหวี่ทำการบินสุ่มเพื่อค้นหาแหล่งอาหารอยู่นั้น แมลงหวี่แต่ละตัวจะทำการส่งและรับข้อมูลจากสมาชิกตัวอื่นๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งอาหารที่ดีที่สุดอยู่ตลอดเวลา

โดยปกติแล้ว ขั้นตอนการใช้งานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมร่วมกับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้น จะประกอบด้วยกระบวนการค้นหาค่าตอบที่มีความสำคัญทั้งหมด 3 กระบวนการด้วยกัน กล่าวคือ

1. กระบวนการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นและตำแหน่งการบินสุ่มเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่
2. กระบวนการค้นหาค่าตอบโดยใช้จุ่มสำหรับการดมกลิ่นของแมลงหวี่
3. กระบวนการค้นหาค่าตอบโดยใช้สายตาสำหรับการมองเห็นของแมลงหวี่

ซึ่งกระบวนการสำหรับการค้นหาค่าตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.2.1.1 กระบวนการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นและตำแหน่งการบินสุ่มเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่

พารามิเตอร์ที่สำคัญของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมนั้น จะประกอบด้วย

จำนวนรอบของการทำซ้ำมากที่สุด ซึ่งจะทำให้การกำหนดให้มีค่าเท่ากับตัวแปร T

ขนาดของกลุ่มประชากร ซึ่งจะทำให้การกำหนดให้มีค่าเท่ากับตัวแปร NP

ขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่ในแนวแกน x และ แนวแกน y ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

$$X_axis = rand * (UB - LB) + LB \quad (3.1)$$

$$Y_axis = rand * (UB - LB) + LB \quad (3.2)$$

เมื่อ $rand$ คือ ฟังก์ชันการสุ่มที่มีรูปแบบการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่อง ในช่วง $[0-1]$

UB และ LB คือ ขอบเขตบน และ ขอบเขตล่าง ของตำแหน่งกลุ่มแมลงหวี่ในระนาบ 2 มิติ สำหรับการค้นหาคำตอบ

3.2.1.2 กระบวนการค้นหาคำตอบโดยอาศัยจุ่มสำหรับการตมกลิ้งของแมลงหวี่

สำหรับกระบวนการค้นหาคำตอบโดยอาศัยจุ่มสำหรับการตมกลิ้งนั้น จำนวนประชากรของแมลงหวี่จะถูกสร้างขึ้นจากการกระบวนการสุ่ม ซึ่งประชากรดังกล่าวจะเกิดขึ้นในบริเวณโดยรอบของตำแหน่งของกลุ่มแมลงหวี่ ขั้นตอนแรกของกระบวนการค้นหาคำตอบโดยอาศัยจุ่มสำหรับการตมกลิ้งนั้น คือ การสุ่มเลือกทิศทางของแมลงหวี่แต่ละตัวสำหรับการค้นหาอาหาร ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

$$X_i = X_axis + rand * (UB - LB) + LB \quad (3.3)$$

$$Y_i = Y_axis + rand * (UB - LB) + LB \quad (3.4)$$

เมื่อ i คือ ประชากรในกลุ่มแรก จนกระทั่งถึง ประชากรในกลุ่ม NP

UB และ LB คือ ขอบเขตบน และ ขอบเขตล่าง ของทิศทางการบินสุ่มของกลุ่มแมลงหวี่ในระนาบ 2 มิติ สำหรับการค้นหาคำตอบ

จากนั้นแมลงหิวในแต่ละกลุ่มจะถูกคำนวณหาค่าระยะทางจากบริเวณตำแหน่งของแหล่งอาหารไปยังจุดเริ่มต้นของพื้นที่สำหรับการค้นหาคำตอบในระนาบ 2 มิติ ($Dist_i$) และทำการคำนวณหาค่าความหนาแน่นของกลิ่น (S_i) เป็นขั้นตอนต่อไป ซึ่งการคำนวณหาค่าความหนาแน่นของกลิ่นนั้น ค่าดังกล่าวจะเป็นส่วนกลับของค่าระยะทางที่ได้จากการคำนวณในกระบวนการก่อนหน้านี้ ดังนั้นค่าความหนาแน่นของกลิ่น ถือว่าเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญ ที่ซึ่งก่อให้เกิดผลเฉลยของคำตอบในบริเวณขอบเขตสำหรับการค้นหาคำตอบ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ

$$Dist_i = \sqrt{(X_i^2 + Y_i^2)} \quad (3.5)$$

$$S_i = 1 / Dist_i \quad (3.6)$$

สำหรับกระบวนการสุดท้ายของกระบวนการค้นหาคำตอบโดยอาศัยจุ่มกสำหรับการดมกลิ่น คือ การแทนค่าความหนาแน่นของกลิ่น ลงในฟังก์ชันความหนาแน่นของกลิ่น หรือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.7

$$Smell_i = Fitness(S_i) \quad (3.7)$$

3.2.1.3 กระบวนการค้นหาคำตอบโดยอาศัยตาสำหรับการมองเห็นของแมลงหิว

สำหรับกระบวนการค้นหาคำตอบโดยอาศัยตาสำหรับการมองเห็นนั้น จะเป็นกระบวนการสุดท้ายของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม สำหรับขั้นตอนแรกของกระบวนการค้นหาคำตอบโดยอาศัยตาสำหรับการมองเห็น คือ การตรวจสอบตำแหน่งของแมลงหิวที่มีค่าความหนาแน่นกลิ่นมากที่สุด ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.8

$$[bestSmell, bestIndex] = \max[Smell] \quad (3.8)$$

จากนั้นค่าความหนาแน่นของกลิ่นดังกล่าว ($bestSmell$) จะถูกทำการพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของกลิ่นในรอบที่ผ่านมา ($Smellbest$) ในกรณีที่ค่าความหนาแน่นของกลิ่นปัจจุบันมีค่าที่ดีกว่าค่าความหนาแน่นของกลิ่นในรอบที่ผ่านมา ค่าความหนาแน่นของกลิ่นในรอบที่ผ่านมานี้จะถูกทำการกำหนดให้มีค่าเท่ากับ ค่าความหนาแน่นของกลิ่นในรอบปัจจุบัน โดยกระบวนการดังกล่าวนี้ คือ กระบวนการที่กลุ่มแมลงหิว ทำการบินไปยังตำแหน่งของแหล่งอาหารที่มีค่าความหนาแน่นของกลิ่นมากที่สุด โดยใช้วิธีการมองเห็น ซึ่งรูปแบบของกระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.9 ถึง 3.11 ตามลำดับ

$$Smellbest = bestSmell \quad (3.9)$$

$$X_{axis} = x(bestSmell) \quad (3.10)$$

$$Y_{axis} = y(bestSmell) \quad (3.11)$$

จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการค้นหาคำตอบโดยอาศัยการดมกลิ่นและการมองเห็นของแมลงหวี่ในรอบการทำงานที่ 2 จนกระทั่งถึงรอบสุดท้ายของการทำงาน และเมื่อกระบวนการดังกล่าวดำเนินการเสร็จสิ้นกระบวนการทำซ้ำของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมจะถูกดำเนินการขึ้น จนกระทั่งทำการค้นหาคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด หรือ ครบจำนวนรอบของการทำซ้ำ กระบวนการทำงานต่างๆ จะหยุดลง

โดยรหัสเทียมของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมและกระบวนการค้นหาของกลุ่มแมลงหวี่จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

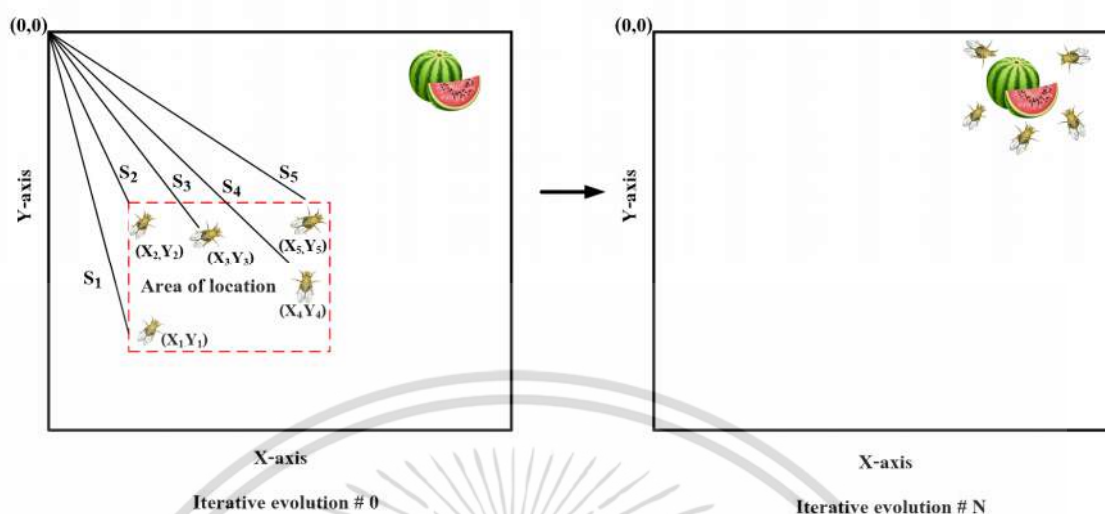
```

1: Initialization NP, T, randValue ;
2: Random initialization the position of population (X_axis, Y_axis) ;
3: while i < NP
4:   Xi = X_axis + randValue ;
5:   Yi = Y_axis + randValue ;
6:   Disti =  $\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}$  ;
7:   Si = 1/Disti ;
8:   Smelli = fitness(Si) ;
9: end while
10: [bestSmell, bestIndex] = max(Smell) ;
11: Smellbest = bestSmell ;
12: X_axis = X(bestIndex) ;
13: Y_axis = Y(bestIndex) ;
14: while t < T
15:   while i < NP
16:     Xi = X_axis + randValue ;
17:     Yi = Y_axis + randValue ;
18:     Disti =  $\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}$  ;
19:     Si = 1/Disti ;
20:     Smelli = fitness(Si) ;
21:   end while
22:   [bestSmell, bestIndex] = max(Smell) ;
23:   if bestSmell > Smellbest
24:     Smellbest = bestSmell ;
25:     X_axis = X(bestIndex) ;
26:     Y_axis = Y(bestIndex) ;
27:   end if
28:   t = t + 1 ;
29: end while

```

รูปที่ 3.1 รหัสเทียมของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2. กระบวนการค้นหาอาหารของกลุ่มแมลงหวี่

3.3 การวิเคราะห์ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม

ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สำหรับการค้นหาคำตอบ โดยตัวอย่างการวิเคราะห์ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะทำการพิจารณาร่วมกับการแก้ไขปัญหทางด้านคณิตศาสตร์ ซึ่งรูปแบบของสมการที่ทำการพิจารณาในบทดังกล่าวนี้ จะถูกกล่าวโดยละเอียดอีกครั้งในบทที่ 4 โดยในบทดังกล่าวจะเป็นการทดสอบสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับการแก้ไขปัญหทางด้านคณิตศาสตร์ สำหรับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมในหัวข้อดังกล่าวนี้ จะทำให้ทราบถึงข้อจำกัดบางประการของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม โดยวิธีการดังกล่าวไม่สามารถทำการหาค่าคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร อีกทั้งยังเป็นแนวทางที่สำคัญสำหรับการศึกษาเพื่อทำการปรับปรุงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อมีการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาทางไฟฟ้าขนาดใหญ่ของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ

3.3.1 การพิจารณาพารามิเตอร์ของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม

กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ที่มีการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับการแก้ไขปัญหต่างๆ นั้น จากการศึกษาในเบื้องต้น [23-27] พบว่าสิ่งที่มีผลกระทบมากที่สุดต่อกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นของแมลงหวี่
2. กระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่
3. การคำนวณค่าความหนาแน่นกลิ่นสำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่

ดังนั้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม พารามิเตอร์ดังกล่าวจะถูกทำการพิจารณา

3.3.2 การวิเคราะห์ผลกระทบจากกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่

สำหรับการศึกษาถึงผลกระทบของกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่นั้น จะสามารถทำการวิเคราะห์ร่วมกับปัญหาเชิงพื้นที่ผลตอบสนอง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 สำหรับพารามิเตอร์ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมนั้น จะสามารถทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

จำนวนรอบของการทำซ้ำมากที่สุด (T) มีค่าเท่ากับ 1000 รอบ

ขนาดของกลุ่มประชากร (NP) มีค่าเท่ากับ 20

ขอบเขตบนและขอบเขตล่างของการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นของแมลงหวี่ จะทำการกำหนดให้มีค่าเท่ากับ ตัวแปร LR

$$LR \in [(-1,1), (-5,5), (-10,10), (-20,20)]$$

ขอบเขตบนและขอบเขตล่างของการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ จะทำการกำหนดให้มีค่าเท่ากับ ตัวแปร FR

$$FR \in [(-1,1), (-5,5), (-10,10), (-20,20)]$$

เนื่องจากว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมนั้น เป็นกระบวนการหาค่าคำตอบที่มีรูปแบบการค้นหาแบบสุ่ม ดังนั้นค่าคำตอบที่ได้จากการค้นหาในแต่ละครั้งอาจจะมีค่าคำตอบที่ไม่เท่ากัน สำหรับการศึกษาดังกล่าวถึงผลกระทบของกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ร่วมกับปัญหาทางคณิตศาสตร์ในแต่ละฟังก์ชัน จะถูกทำการทดสอบซ้ำเป็นจำนวน 100 ครั้ง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์จะถูกทำการอธิบายด้วยเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Percentage of success) [40] เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งรูปแบบสมการสำหรับการวิเคราะห์สามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ 3.12

การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบ

$$PS = \frac{m}{100} \times 100\% \quad (3.12)$$

เมื่อ m คือ จำนวนครั้งของการได้มาซึ่งค่าคำตอบแบบวงกว้างภายในจำนวน 100 ครั้ง

รูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ [41-42] ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ประกอบด้วย

$$1. f_{F3} = -\sum_{j=1}^5 (j \sin((j+1)x + j)) \quad (3.13)$$

$$2. f_{ShF} = \left(\sum_{i=1}^5 i \cos((i+1)x + i) \right) \left(\sum_{i=1}^5 i \cos((i+1)y + i) \right) \quad (3.14)$$

$$3. f_{BR} = \left(y - \frac{5.1}{4\pi^2} x^2 + \frac{5}{\pi} x - 6 \right)^2 + 10 \left(1 - \frac{1}{8\pi} \right) \cos(x) + 10 \quad (3.15)$$

$$4. f_{RF} = x^2 + y^2 - 10 \cos(2\pi x) - 10 \cos(2\pi y) + 20 \quad (3.16)$$

$$5. f_{SP30} = \sum_{i=1}^{30} x_i^2 \quad (3.17)$$

$$6. f_{SP50} = \sum_{i=1}^{50} x_i^2 \quad (3.18)$$

ตารางที่ 3.1 สมการคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่

สัญลักษณ์	ฟังก์ชัน	ขนาด	ค่าคำตอบวงกว้าง	จุดสุดขีด
f_{F3}	F3	1	-12.03125	nonzero point
f_{ShF}	Shubert	2	-186.7309	nonzero point
f_{BR}	Branin RCOC	2	0.397887	nonzero point
f_{RF}	Rastrigin	2	0	zero point
f_{SP30}	Sphere30	30	0	zero point
f_{SP50}	Sphere50	50	0	zero point

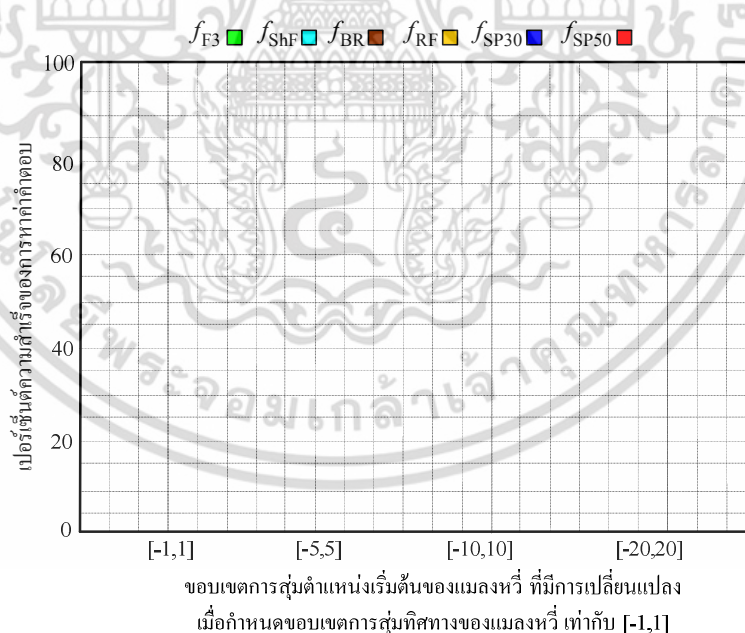
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหิวร่วมกับปัญหาสมการคณิตศาสตร์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงและกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหิวร่วมกับปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพสำหรับการค้นหาคำตอบของวิธีการดังกล่าว ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของการหาค่าคำตอบ คือ สิ่งที่ถูกนำเสนอ สำหรับผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของการหาค่าคำตอบนั้น จะเป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบในทุกขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นของแต่ละฟังก์ชัน ซึ่งผลการวิเคราะห์ในหัวข้อต่างๆ สามารถกล่าวได้ดังนี้

3.3.3.1 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหิว เมื่อทำการกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางเท่ากับ $[-1,1]$

เมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิมของ 6 ฟังก์ชันรวมกับการกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหิวเท่ากับ $[-1,1]$ สามารถอธิบายได้ว่า



รูปที่ 3.3 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบของฟังก์ชัน f_{F3}

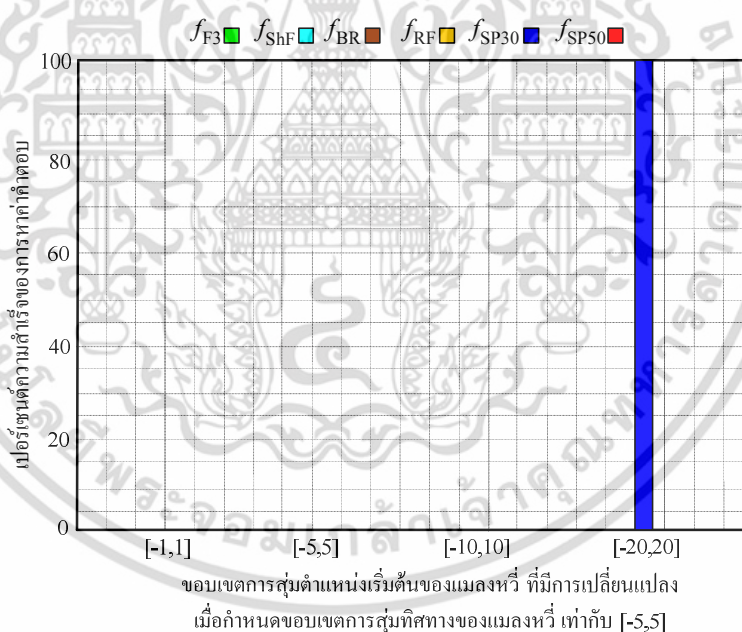
f_{ShF} f_{BR} f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} เมื่อกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหิวเท่ากับ $[-1,1]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นมีค่าที่เพิ่มมากขึ้น เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาคำตอบ จะมีค่าเท่ากับศูนย์เสมอ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะไม่สามารถหาคำตอบแบบวงกว้างได้ เมื่อทำการกำหนดขอบเขตการสุ่มให้มีค่าน้อยเกินไป โดยจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการหาคำตอบมีค่าที่ต่ำ ซึ่งการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

3.3.3.2 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ เมื่อทำการกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางเท่ากับ [-5,5]

เมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาคำตอบ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมของ 6 ฟังก์ชันร่วมกับการกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ เท่ากับ [-5,5] สามารถอธิบายได้ว่า



รูปที่ 3.4 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาคำตอบของฟังก์ชัน f_{F3}

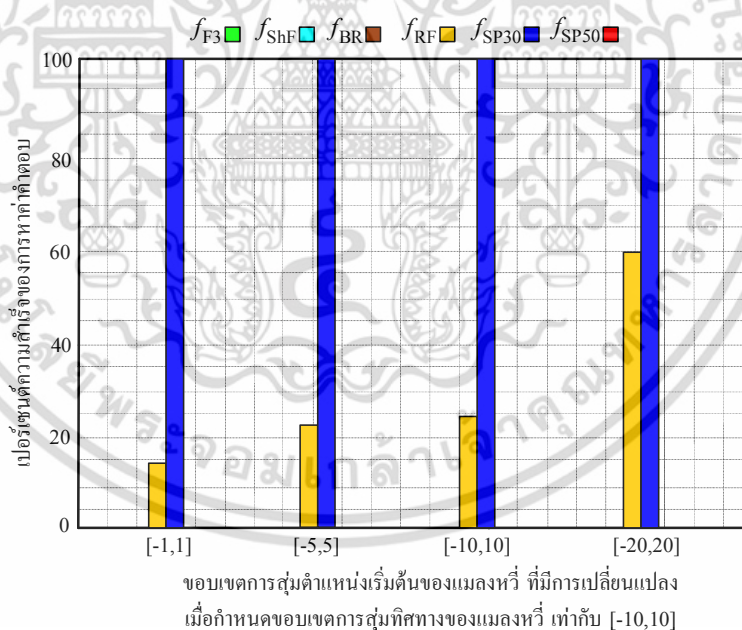
f_{ShF} f_{BR} f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} เมื่อกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ เท่ากับ [-5,5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มขึ้นของขอบเขตการสุ่มทิศทางจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมมีค่าที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ วิธีการดังกล่าวสามารถที่จะทำการค้นหาคำตอบแบบวงกว้างของฟังก์ชัน f_{SP30} โดยจะเกิดขึ้นในกรณีที่ขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ $[-20,20]$ ซึ่งเมื่อทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบ จะมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ จากผลการวิเคราะห์สามารถสังเกตได้ว่า เมื่อขอบเขตการสุ่มทิศทางและขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้น มีค่าเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้การค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบ เมื่อกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ เท่ากับ $[-5,5]$ จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

3.3.3 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ เมื่อทำการกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางเท่ากับ $[-10,10]$

เมื่อทำการพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 สามารถอธิบายได้ว่า



รูปที่ 3.5 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบของฟังก์ชัน f_{F3}

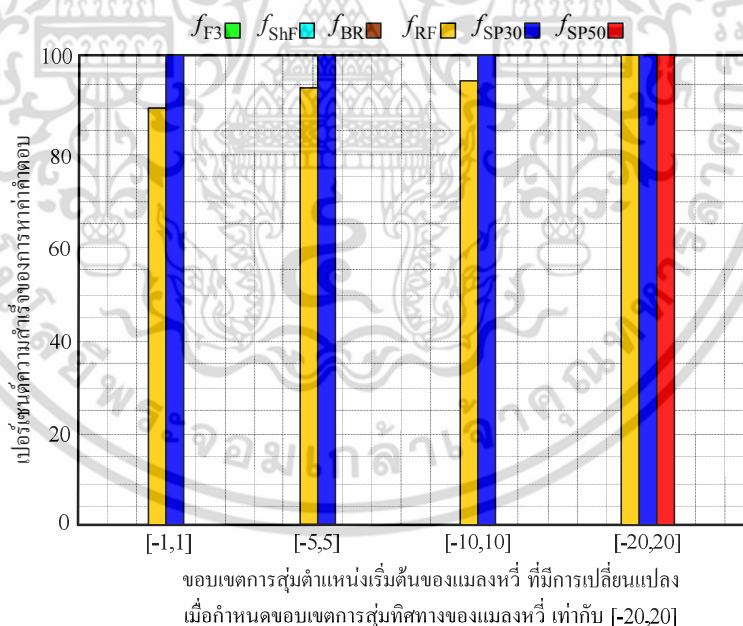
f_{ShF} f_{BR} f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} เมื่อกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่เท่ากับ $[-10,10]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเพิ่มขอบเขตของการสุ่มทิศทางให้มีค่าเท่ากับ $[-10,10]$ จากผลการวิเคราะห์ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถอธิบายได้ว่าประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของวิธีการดังกล่าวมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากรูปสามารถสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้น ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมสามารถหาค่าคำตอบของฟังก์ชัน f_{RF} ได้ ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบ พบว่า เปอร์เซ็นต์การหาค่าได้ของคำตอบจะมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับสิ่งหนึ่งที่น่าสังเกตจากผลการวิเคราะห์ คือ เปอร์เซ็นต์การหาค่าได้จะเกิดขึ้นกับฟังก์ชันที่มีค่าเท่ากับศูนย์เท่านั้น แต่จะไม่เกิดขึ้นกับฟังก์ชันที่มีค่าคำตอบเป็นจำนวนเต็มลบ

3.3.3.4 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและกระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ เมื่อทำการกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางเท่ากับ $[-20,20]$

เมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมของ 6 ฟังก์ชันร่วมกับการกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ เท่ากับ $[-20,20]$ สามารถอธิบายได้ว่า

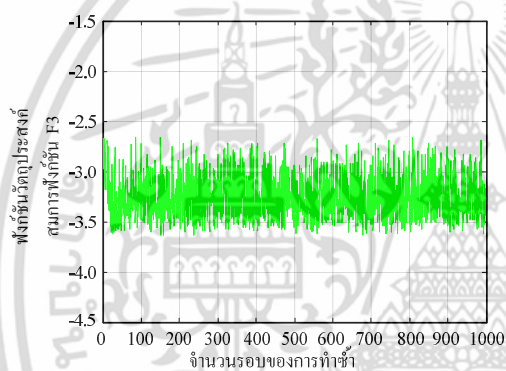


รูปที่ 3.6 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบของฟังก์ชัน f_{F3}

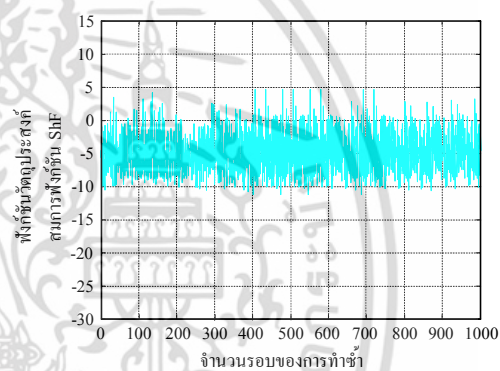
f_{ShF} f_{BR} f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} เมื่อกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่เท่ากับ $[-20,20]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

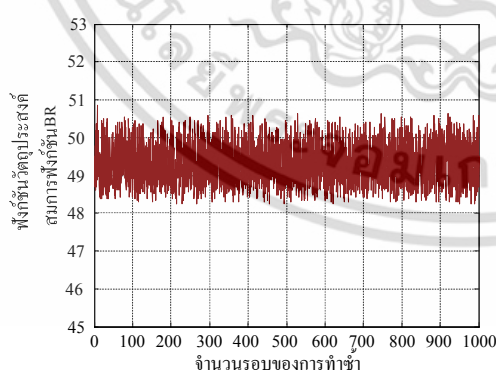
เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบจะมีค่าที่สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของขอบเขตการบิน
 สุ่มและขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้น ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 จากรูป สามารถสังเกตเห็นได้อย่าง
 ชัดเจนว่า เมื่อทำการเพิ่มพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ ประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธี
 ขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเมื่อทำการกำหนดขอบเขตการสุ่มทิศทาง
 ของแมลงหวี่ให้มีค่าเท่ากับ $[-20,20]$ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถที่จะหาค่าคำตอบ
 ของฟังก์ชัน f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} ได้ สำหรับการลู่เข้าของคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลง
 หวีดั้งเดิมกับการค้นหาคำตอบของฟังก์ชัน f_{F3} f_{ShF} f_{BR} f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} เมื่อทำการ
 กำหนดขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ ให้มีค่าเท่ากับ $[-20,20]$
 จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 (ก) – (ง) ตามลำดับ



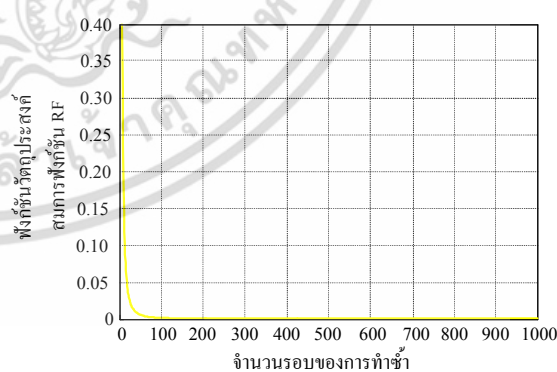
(ก)



(ข)

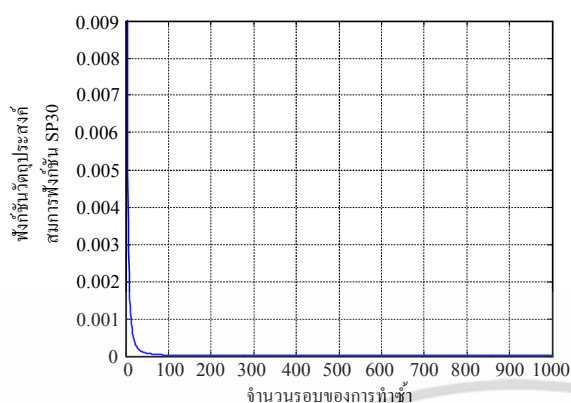


(ค)

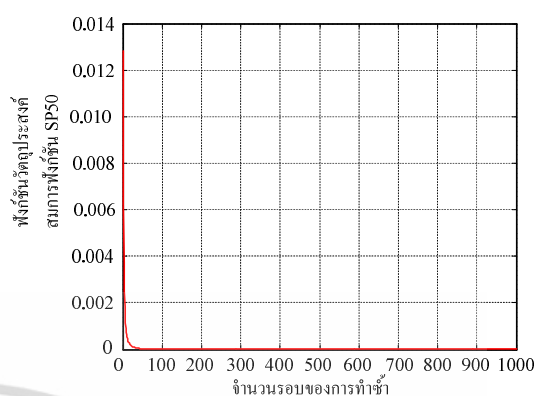


(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)



(ข)

รูปที่ 3.7 การลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน f_{F3} f_{ShF} f_{BR} f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} เมื่อกำหนดขอบเขตการบินสู่มิติทางของแมลงหวี่ เท่ากับ $[-20,20]$

จากรูปที่ 3.7 แสดงการลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน f_{F3} f_{ShF} f_{BR} f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} เมื่อทำการกำหนดขอบเขตการบินสู่มิติทางของแมลงหวี่ เท่ากับ $[-20,20]$ จากรูปสามารถสังเกตได้ว่าการลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน f_{F3} f_{ShF} และ f_{BR} จะไม่เกิดการลู่เข้าของคำตอบตั้งแต่รอบแรกของการทำงาน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 (ก) – (ค) ตามลำดับ สำหรับการลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน f_{RF} f_{SP30} และ f_{SP50} จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 (ง) – (ฉ) จากรูปสามารถอธิบายได้ว่า การลู่เข้าของคำตอบสามารถเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เมื่อทำการเพิ่มพื้นที่สำหรับการค้นหาคำตอบให้มีความเหมาะสมกับการแก้ไขปัญหาในแต่ละฟังก์ชัน

จากผลการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงร่วมกับการกำหนดขอบเขตของกระบวนการสุ่มมิติทางของแมลงหวี่ในแต่ละกรณี จะสามารถทำการสรุปผลการวิเคราะห์ดังกล่าวได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม เมื่อขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและขอบเขตการสุ่มมิติทางของแมลงหวี่เปลี่ยนแปลง

พารามิเตอร์		เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบ						เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จเฉลี่ย
FR	LR	f_{F3}	f_{SH}	f_{BR}	f_{RA}	f_{SP30}	f_{SP50}	Average $PS\%$
$[-1,1]$	$[-1,1]$	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาคำคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม เมื่อขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่เปลี่ยนแปลง

พารามิเตอร์		เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาคำคำตอบ						เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จเฉลี่ย
FR	LR	f_{F3}	f_{SH}	f_{BR}	f_{RA}	f_{SP30}	f_{SP50}	Average $PS\%$
$[-1,1]$	$[-5,5]$	0	0	0	0	0	0	0
$[-1,1]$	$[-10,10]$	0	0	0	0	0	0	0
$[-1,1]$	$[-20,20]$	0	0	0	0	0	0	0
$[-5,5]$	$[-1,1]$	0	0	0	0	0	0	0
$[-5,5]$	$[-5,5]$	0	0	0	0	0	0	0
$[-5,5]$	$[-10,10]$	0	0	0	0	0	0	0
$[-5,5]$	$[-20,20]$	0	0	0	0	100	0	16.7
$[-10,10]$	$[-1,1]$	0	0	0	14	100	0	19.0
$[-10,10]$	$[-5,5]$	0	0	0	20	100	0	20.0
$[-10,10]$	$[-10,10]$	0	0	0	28	100	0	21.3
$[-10,10]$	$[-20,20]$	0	0	0	62	100	0	27.0
$[-20,20]$	$[-1,1]$	0	0	0	90	100	0	31.70
$[-20,20]$	$[-5,5]$	0	0	0	94	100	0	32.30
$[-20,20]$	$[-10,10]$	0	0	0	96	100	0	32.70
$[-20,20]$	$[-20,20]$	0	0	0	100	100	100	50.00

จากตารางที่ 3.2 แสดงการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาคำคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม เมื่อทำการประยุกต์ใช้งานร่วมกับการแก้ไขปัญหาด้านคณิตศาสตร์ ซึ่งจากตารางที่ 3.2 สามารถกล่าวสรุปได้ว่า

1. ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาคำคำตอบ ของฟังก์ชัน f_{F3} f_{SH} และ f_{BR} จะมีค่าเท่ากับศูนย์เสมอ ไม่ว่าขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและขอบเขตการสุ่มทิศทางจะมีค่าเท่าไรก็ตาม
2. เมื่อขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ มีค่ามากขึ้น ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาคำคำตอบของฟังก์ชัน f_{RA} f_{SP30} และ f_{SP50} จะมีค่าที่เพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงขึ้น ซึ่งค่าคำตอบแบบวงกว้างของทั้ง 3 ฟังก์ชัน จะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถค้นหาคำตอบได้ เมื่อค่าคำตอบแบบวงกว้างมีค่าเท่ากับศูนย์ และขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและขอบเขตการสุ่มทิศทางมีค่าที่มากพอสำหรับการค้นหาคำตอบ

3. ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของการหาค่าคำตอบเฉลี่ย จะมีค่าน้อยมากไม่ว่าขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและขอบเขตการสุ่มทิศทางจะมีค่าเท่าไรก็ตาม ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ ไม่สามารถที่จะแก้ไขปัญหาค่าที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

3.3.4 การวิเคราะห์ผลการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน สำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่

สำหรับการศึกษาถึงผลกระทบของการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน สำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่ ถือได้ว่าเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม เนื่องจากว่ากระบวนการดังกล่าวจะเป็นตัวแทนของแมลงหวี่แต่ละกลุ่ม ซึ่งจะถูกแทนค่าลงไปในพื้นที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังนั้นรูปแบบการกระจายสำหรับการค้นหาคำตอบของค่าความหนาแน่นกลืน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลนำเข้า (Input probability model) คือ สิ่งที่มีความสำคัญสำหรับการพิจารณา ดังนั้นในหัวข้อดังกล่าวนี้จะทำการพิจารณาสมการฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืนสำหรับการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม

3.3.4.1 ผลการวิเคราะห์การคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน สำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่

สำหรับผลการวิเคราะห์การคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน สำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่นั้น จะสามารถทำการพิจารณาได้จากทฤษฎีการคำนวณฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องที่ได้ทำการกล่าวไว้ในบทที่ 2 มาทำการร่วมพิจารณา ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถทำการอธิบายได้ดังนี้

เมื่อกำหนดให้

ขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นของแมลงหวี่ (LR) เท่ากับ $[-1,1]$

ขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ (FR) เท่ากับ $[-5,5]$

$X_axis = a \in rand(LR)$ และ $Y_axis = b \in rand(LR)$

$m \in rand(FR)$ และ $n \in rand(FR)$

เมื่อ a และ b คือค่าคงที่ และ m และ n คือ ตัวแปรต่อเนื่องอิสระ

ดังนั้น

$$S_i = \frac{1}{\sqrt{(a+m)^2 + (b+n)^2}} \quad (3.19)$$

โดย $0 \leq S_i \leq 10$

เมื่อทำการกำหนดให้ฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน สำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่ ฟังก์ชันของตัวแปรอิสระที่มีการแพร่กระจายของตัวแปรสุ่มแบบสม่ำเสมอภายในช่วง $(0,10)$ ดังนั้นฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืนจะมีค่าเท่ากับ

$$P(S_i \leq 1) = \frac{1}{10} \quad (3.20)$$

จากการที่กำหนดให้ m และ n คือตัวแปรอิสระต่อเนื่องที่มีการแจกแจงแบบเอกรูป ดังนั้น

$$f(m,n) = f(m)f(n) = \frac{1}{100} \quad (3.21)$$

เพื่อความง่ายสำหรับการพิจารณาจะทำการกำหนดให้ a และ b มีค่าเท่ากับ 0

ดังนั้น

$$P(S_i \leq 1) = P\left(\frac{1}{\sqrt{m^2 + n^2}} \leq 1\right) \quad (3.22)$$

$$= \int_{-1}^1 \int_{-\sqrt{1-m^2}}^{\sqrt{1-m^2}} f(m,n) d_n d_m + \int_{-5}^{-1} \int_{-5}^5 f(m,n) d_n d_m + \int_1^5 \int_{-5}^5 f(m,n) d_n d_m \quad (3.23)$$

$$= \frac{\pi}{50} + 0.4 + 0.4 \quad (3.24)$$

$$= 0.8628 \quad (3.25)$$

เนื่องจาก $P(S_i \leq 1) \neq \frac{1}{10}$

ดังนั้น ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน สำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่ จึงไม่ใช่รูปแบบของการแจกแจงแบบสม่ำเสมอของตัวแปรสุ่ม

3.3.5 สรุปผลการวิเคราะห์ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม

สำหรับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมนั้น จะสามารถทำการสรุปและอธิบายได้ดังนี้

1. ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ไม่สามารถที่จะทำการค้นหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มลบได้ เนื่องจากฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน สำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่ มีค่ามากกว่า ศูนย์ เสมอ ($S_i > 0$)
2. เมื่อทำการกำหนดค่าขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้น (LR) ให้มีค่ามาก และ ขอบเขตการสุ่มทิศทาง (FR) ให้มีค่าน้อย ผลจากการวิเคราะห์สามารถกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่าขอบเขตการสุ่มทิศทาง มีผลต่อการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืนน้อยมาก ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงกับการค้นหาคำตอบที่ได้มาซึ่งค่าคำตอบแบบทอ่งถิ่นได้ เมื่อขอบเขตการสุ่มทิศทางมีค่าที่น้อยเกินไป
3. เมื่อทำการกำหนดค่าขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้น (LR) และ ขอบเขตการสุ่มทิศทาง (FR) ให้มีค่ามาก ผลจากการวิเคราะห์สามารถกล่าวได้ว่า การคำนวณค่าความหนาแน่นกลืนของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะมีค่าที่ใกล้จุดศูนย์ ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมสามารถหาค่าคำตอบได้ เมื่อค่าคำตอบแบบวงกว้างของฟังก์ชันมีค่าเท่ากับ ศูนย์
4. เมื่อทำการพิจารณาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของความหนาแน่นกลืน จะพบว่ารูปแบบการกระจายตัวของคำตอบไม่ใช่รูปแบบของการแจกแจงแบบสมมาตร ดังนั้นรูปแบบพฤติกรรมของคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จึงไม่เกิดความหลากหลายของกลุ่มคำตอบ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการลดประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของวิธีการดังกล่าว

3.4 ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

เมื่อทำการศึกษาถึงระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมและทราบถึงข้อจำกัดที่เกิดขึ้นของวิธีการดังกล่าวแล้วนั้น ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอกระบวนการที่สำคัญสำหรับการปรับปรุงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้นสำหรับการค้นหาคำตอบและเพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในหลากหลายปัญหา โดยวิธีการที่ถูกปรับปรุงนั้นจะถูกเรียกว่า ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง โดยหัวข้อที่นำเสนอสามารถกล่าวได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การปรับปรุงระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม

ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ถูกพัฒนาต่อยอดมาจากระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม โดยเป็นการลดข้อจำกัดบางประการที่เกิดขึ้นของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ซึ่งกระบวนการสำหรับการปรับปรุงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมนั้น จะสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.4.1.1 กระบวนการค้นหาที่ครอบคลุมพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ

จากการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นของขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้น (LR) และ ขอบเขตการสุ่มทิศทาง (FR) พบว่า เมื่อค่าพารามิเตอร์ทั้งสองมีขอบเขตที่เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพสำหรับการค้นหาคำตอบมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งเมื่อทำการพิจารณาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน พบว่า ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมมีข้อจำกัดสำหรับการค้นหาคำตอบที่ได้มาซึ่งคำตอบแบบวงกว้าง ดังนั้นกระบวนการค้นหาที่ครอบคลุมพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ คือ สิ่งที่ถูกพิจารณา โดยปกติแล้วการพิจารณาเกี่ยวกับความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ครอบคลุมพื้นที่ของการค้นหาคำตอบนั้น จะสามารถทำได้โดยการจัดกลุ่มย่อย (subgroup) ให้กับอนุภาค [43-44] เมื่อทำการแบ่งอนุภาคออกเป็นกลุ่มย่อยๆ โดยที่แต่ละกลุ่มย่อยจะมีค่าความเหมาะสมที่สุดที่สุดของตนเองอยู่ ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวนี้จะส่งผลทำให้อนุภาคในแต่ละกลุ่มย่อย สามารถทำการค้นหาคำตอบที่ครอบคลุมพื้นที่ของการค้นหาคำตอบได้มากขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคืออนุภาคดังกล่าวจะมีรูปแบบการแพร่กระจายตัวแบบสม่ำเสมอในการค้นหาคำตอบที่ครอบคลุมพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ [14]

สำหรับกระบวนการจัดกลุ่มย่อย ที่ถูกนำมาพิจารณาสำหรับการปรับปรุงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมนั้น จะทำการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กล่าวคือ กลุ่มแรกจะถูกกำหนดขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ โดยจะทำการค้นหาคำตอบแบบสุ่ม ที่ครอบคลุมพื้นที่ของคำตอบแบบวงกว้าง ซึ่งคำตอบที่ได้นั้นจะเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นคำตอบที่ได้จากประชากรกลุ่มแรกจะถูกใช้เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการค้นหาคำตอบของประชากรในกลุ่มที่สอง โดยจะทำการค้นหาคำตอบแบบวงแคบ เพื่อก่อให้เกิดการลู่เข้าของคำตอบที่มีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้จะทำการเพิ่มลงไปในการค้นหาโดยอาศัยอวัยวะสำหรับการดมกลิ่นของแมลงหวี่ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่แบบดั้งเดิม

3.4.1.2 กระบวนการเพิ่มความถูกต้องสำหรับการค้นหาคำตอบ

จากผลกระทบที่เกิดขึ้นของฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน สำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่ (S_i) พบว่า ฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นของกลืน จะมีค่าที่มากกว่า ศูนย์เสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมนั้น ไม่สามารถที่จะค้นหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มลบได้ ดังนั้น สำหรับการปรับปรุงในกระบวนการดังกล่าว จะสามารถทำการพิจารณาได้จากงานวิจัยของ Fuqiang Xu และ Youtian Tao [24] ที่ได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการเพิ่มฟังก์ชันเครื่องหมาย (sign function) ลงไปในฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน ซึ่งมีผลทำให้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถที่จะหาค่าคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มลบได้

3.4.1.3 กระบวนการเพิ่มความเร็วสำหรับการค้นหาคำตอบ

กระบวนการสุดท้ายสำหรับการปรับปรุงระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม คือ กระบวนการเพิ่มความเร็วสำหรับการค้นหาคำตอบ เนื่องจากว่ากระบวนการค้นหาที่ครอบคลุมพื้นที่สำหรับการค้นหาคำตอบ คือกระบวนการที่ทำให้เกิดความหลากหลายในการค้นหาคำตอบของกลุ่มประชากร ซึ่งมีผลทำให้เกิดความแม่นยำของการได้มาซึ่งคำตอบแบบวงกว้าง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการเพิ่มพื้นที่สำหรับการค้นหาคำตอบ นั้นย่อมหมายความว่าจำนวนของอนุภาคภายในกลุ่มจะต้องใช้ระยะเวลาในการคำนวณที่นานขึ้น และเมื่อทำการพิจารณาร่วมกับขนาดของกลุ่มประชากร ย่อมหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องพบกับปัญหาดังกล่าว ดังนั้นเพื่อทำการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้น การปรับตัวได้ของกลุ่มประชากร คือสิ่งที่ถูกพิจารณา สำหรับการศึกษถึงการปรับขนาดของกลุ่มประชากรเพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดกับปัญหาในแต่ละปัญหานั้น ได้มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน [45-46] ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าวพบว่า ถึงแม้ว่าจะทำการกำหนดขนาดของกลุ่มประชากรให้เกิดความเหมาะสมกับการแก้ไขปัญหานั้น อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการประมวลก็ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือ ความสามารถในการปรับตัวได้ของกลุ่มประชากร เนื่องจากว่ากระบวนการทางธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตนั้น ขนาดของกลุ่มประชากร คือตัวแปรสำคัญที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับกระบวนการดังกล่าว การปรับตัวได้ของกลุ่มประชากร คือ วิธีการที่มีความเหมาะสมมากที่สุดกับการนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีผลทำให้สามารถลดระยะเวลาในการคำนวณ อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของความแม่นยำในการค้นหาคำตอบอีกด้วย ดังนั้นกระบวนการปรับปรุงสมรรถนะของการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม โดยใช้วิธีการปรับตัวได้ของกลุ่มประชากร เพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณ คือ สิ่งที่ถูกพิจารณา

3.4.2. ขั้นตอนการทำงานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

เมื่อทราบถึงกระบวนการที่สำคัญสำหรับการปรับปรุงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมแล้วนั้น ในหัวข้อนี้จะทำการอธิบายถึงขั้นตอนการใช้งานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับปัญหาของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.4.2.1 กระบวนการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นและตำแหน่งการบินสุ่มเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

พารามิเตอร์ที่สำคัญของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงนั้น จะประกอบด้วย

จำนวนรอบของการทำซ้ำมากที่สุด ซึ่งจะทำการกำหนดให้มีค่าเท่ากับตัวแปร T

ขนาดของกลุ่มประชากร ซึ่งจะทำการกำหนดให้มีค่าเท่ากับตัวแปร NP

ขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่ในแนวแกน x และ แนวแกน y ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.26 และ 3.27 ตามลำดับ

$$X_axis = rand * (UB - LB) + LB \quad (3.26)$$

$$Y_axis = rand * (UB - LB) + LB \quad (3.27)$$

เมื่อ $rand$ คือ ฟังก์ชันการสุ่มที่มีรูปแบบการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่อง ในช่วง $[0-1]$

UB และ LB คือ ขอบเขตบน และ ขอบเขตล่าง ของตำแหน่งกลุ่มแมลงหวี่ในระนาบ 2 มิติ สำหรับการค้นหาค่าตอบ

3.4.2.2 กระบวนการค้นหาโดยอาศัยจุ่มสำหรับการตมกลิ้งของแมลงหวี่ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

สำหรับกระบวนการค้นหาโดยอาศัยจุ่มสำหรับการตมกลิ้งนั้น จำนวนประชากรของแมลงหวี่จะถูกสร้างขึ้นจากการกระบวนการสุ่ม โดยกลุ่มประชากรจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม เพื่อให้เกิดการค้นหาที่ครอบคลุมพื้นที่ของการหาค่าตอบ สำหรับประชากรในกลุ่มแรกนั้น จะทำการค้นหาค่าตอบแบบสุ่ม ที่ครอบคลุมพื้นที่ของค่าคำตอบแบบวงกว้าง ซึ่งคำตอบที่ได้นั้นจะเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นคำตอบที่ได้จากประชากรกลุ่มแรกจะถูกใช้เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการค้นหาค่าตอบของประชากรในกลุ่มที่สอง โดยจะทำการค้นหาค่าตอบแบบวงแคบ เพื่อก่อให้เกิดการลู่เข้าของค่าคำตอบที่มีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มแมลงหวี่กลุ่มที่ 1

$$X_i = rand * (UB - LB) + LB \quad (3.28)$$

$$Y_i = rand * (UB - LB) + LB \quad (3.29)$$

กลุ่มแมลงหวี่กลุ่มที่ 2

$$X_i = X_axis + rand * (UB - LB) + LB \quad (3.30)$$

$$Y_i = Y_axis + rand * (UB - LB) + LB \quad (3.31)$$

เมื่อ i คือ ประชากรในกลุ่มแรก จนกระทั่งถึง ประชากรในกลุ่ม NP

UB และ LB คือ ขอบเขตบน และ ขอบเขตล่าง ของทิศทางการบินสุ่มของกลุ่มแมลงหวี่ในระนาบ 2 มิติ สำหรับการค้นหาคำตอบ

จากนั้นแมลงหวี่ในแต่ละกลุ่มจะถูกคำนวณหาค่าระยะทางจากบริเวณตำแหน่งของแหล่งอาหารไปยังจุดเริ่มต้นของพื้นที่สำหรับการค้นหาคำตอบในระนาบ 2 มิติ ($Dist_i$) และทำการคำนวณหาค่าความหนาแน่นของกลิ่น (S_i) โดยจะทำการเพิ่มฟังก์ชันเครื่องหมาย (sign function) ลงไปในการคำนวณค่าความหนาแน่นของกลิ่นเป็นขั้นตอนต่อไป ซึ่งการคำนวณหาค่าความหนาแน่นของกลิ่นนั้น ค่าดังกล่าวจะเป็นส่วนกลับของค่าระยะทางที่ได้จากการคำนวณในกระบวนการก่อนหน้านี้ ดังนั้นค่าความหนาแน่นของกลิ่น ถือว่าเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญ ที่ซึ่งก่อให้เกิดผลเฉลยของคำตอบในบริเวณขอบเขตสำหรับการค้นหาคำตอบ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.32 และ 3.33 ตามลำดับ

$$Dist_i = \sqrt{(X_i^2 + Y_i^2)} \quad (3.32)$$

$$S_i = sign(\varepsilon) / Dist_i \quad (3.33)$$

สำหรับกระบวนการสุดท้ายของกระบวนการค้นหาคำตอบโดยอาศัยจมูกสำหรับการดมกลิ่น คือ การแทนค่าความหนาแน่นของกลิ่น ลงไปในฟังก์ชันความหนาแน่นของกลิ่น หรือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.34

$$Smell_i = Fitness(S_i) \quad (3.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.3 กระบวนการค้นหาโดยอาศัยตาสำหรับการมองเห็นของแมลงหวี่ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

สำหรับกระบวนการค้นหาคำตอบโดยอาศัยตาสำหรับการมองเห็นนั้น จะเป็นกระบวนการสุดท้ายของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สำหรับขั้นตอนแรกของกระบวนการค้นหาโดยอาศัยอวัยวะสำหรับการมองเห็น คือ การตรวจสอบตำแหน่งของแมลงหวี่ที่มีค่าความหนาแน่นกลิ่นมากที่สุด ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.35

$$[bestSmell, bestIndex] = \max (Smell) \quad (3.35)$$

จากนั้นค่าความหนาแน่นของกลิ่นดังกล่าว ($bestSmell$) จะถูกทำการพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของกลิ่นในรอบที่ผ่านมา ($Smellbest$) ในกรณีที่ค่าความหนาแน่นของกลิ่นปัจจุบันมีค่าที่ดีกว่าค่าความหนาแน่นของกลิ่นในรอบที่ผ่านมา ค่าความหนาแน่นของกลิ่นในรอบที่ผ่านมาจะถูกทำการกำหนดให้มีค่าเท่ากับ ค่าความหนาแน่นของกลิ่นในรอบปัจจุบัน โดยกระบวนการดังกล่าวนี้ คือ กระบวนการที่กลุ่มแมลงหวี่ ทำการบินไปยังตำแหน่งของแหล่งอาหารที่มีค่าความหนาแน่นของกลิ่นมากที่สุด โดยใช้วิธีการมองเห็น ซึ่งรูปแบบของกระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.36 ถึง 3.38 ตามลำดับ

$$Smellbest = bestSmell \quad (3.36)$$

$$X_{axis} = x(bestIndex) \quad (3.37)$$

$$Y_{axis} = y(bestIndex) \quad (3.38)$$

จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการค้นหาคำตอบโดยอาศัยอวัยวะสำหรับการดมกลิ่นและการมองเห็นของแมลงหวี่ในรอบการทำงานที่ 2 จนกระทั่งถึงรอบสุดท้ายของการทำงาน และเมื่อกระบวนการดังกล่าวดำเนินการเสร็จสิ้น กระบวนการทำซ้ำของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงจะถูกดำเนินการขึ้น จนกระทั่งทำการค้นหาคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด หรือ ครบจำนวนรอบของการทำซ้ำ กระบวนการทำงานต่างๆ จะหยุดลง โดยที่กระบวนการเพิ่มความเร็วยังสำหรับการค้นหาคำตอบนั้นจะถูกนำมาใช้ในกระบวนการทำซ้ำของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่เพิ่มมากขึ้น การเปรียบเทียบรหัสเทียมระหว่างระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมและระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8

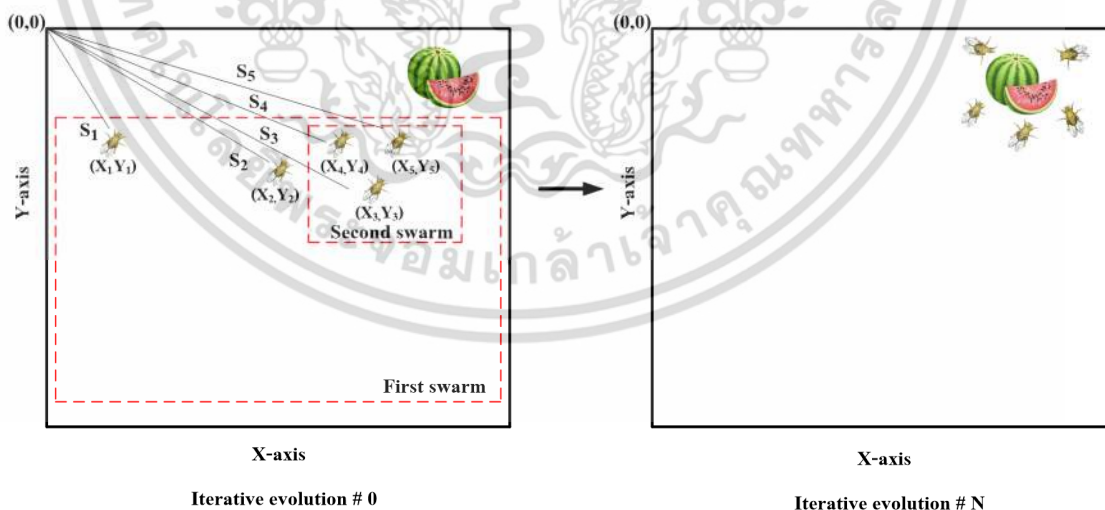
```

1: Initialization NP, T, randValue ;
2: Random initialization the position of population (X_axis, Y_axis) ;
3: while i < NP
4: Xi = X_axis + randValue ;
5: Yi = Y_axis + randValue ;
6: Disti = √(Xi2 + Yi2)
7: Si = 1/Disti ;
8: Smelli = fitness(Si) ;
9: end while
10: [bestSmell, bestIndex] = max(Smell) ;
11: Smellbest = bestSmell ;
12: X_axis = X(bestIndex) ;
13: Y_axis = Y(bestIndex) ;
14: while t < T
15: while i < NP
16: Xi = X_axis + randValue ;
17: Yi = Y_axis + randValue ;
18: Disti = √(Xi2 + Yi2)
19: Si = 1/Disti ;
20: Smelli = fitness(Si) ;
21: end while
22: [bestSmell, bestIndex] = max(Smell) ;
23: if bestSmell > Smellbest
24: Smellbest = bestSmell ;
25: X_axis = X(bestIndex) ;
26: Y_axis = Y(bestIndex) ;
27: end if
28: t = t + 1 ;
29: end while
    
```

```

1: Initialization NP, T, randValue ;
2: Random initialization the position of population (X_axis, Y_axis) ;
3: while i < NP
4: Xi = randValue ;
5: Yi = randValue ;
6: Xi = X_axis + randValue ;
7: Yi = Y_axis + randValue ;
8: Disti = √(Xi2 + Yi2) ;
9: Si = sign(ε) * Disti ;
10: Smelli = fitness(Si) ;
11: end while
12: [bestSmell, bestIndex] = max(Smell) ;
13: Smellbest = bestSmell ;
14: X_axis = X(bestIndex) ;
15: Y_axis = Y(bestIndex) ;
16: while t < T
17: Random population size (NP)
18: while i < NP
19: Xi = randValue ;
20: Yi = randValue ;
21: Xi = X_axis + randValue ;
22: Yi = Y_axis + randValue ;
23: Disti = √(Xi2 + Yi2) ;
24: Si = sign(ε) * Disti ;
25: Smelli = fitness(Si) ;
26: end while
27: [bestSmell, bestIndex] = max(Smell) ;
28: if bestSmell > Smellbest
29: Smellbest = bestSmell ;
30: X_axis = X(bestIndex) ;
31: Y_axis = Y(bestIndex) ;
32: end if
33: t = t + 1 ;
34: end while
    
```

รูปที่ 3.8 การเปรียบเทียบรหัสเทียมระหว่างระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมและระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง



รูปที่ 3.9 กระบวนการค้นหาอาหารของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงแนวคิดพื้นฐานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ของการกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบเขาวัวปัญญาเชิงเคลื่อนที่เป็นกลุ่ม โดยกระบวนการในการค้นหาคำตอบของวิธีการดังกล่าวมีความน่าสนใจ กล่าวคือ เป็นวิธีการที่สามารถค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วและง่ายต่อการทำความเข้าใจ เนื่องจากโปรแกรมการใช้งานมีความสั้นมากกว่าวิธีการหาค่าตอบแบบอื่นๆ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมสำหรับการแก้ไขปัญหามีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากขึ้น จึงได้มีการนำเสนอระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ซึ่งถูกพัฒนาต่อยอดมาจากระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม โดยจะเป็นการเพิ่มกระบวนการที่สำคัญเข้าไปในกลไกการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ซึ่งมีผลทำให้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง มีความแม่นยำและรวดเร็วในการค้นหาคำตอบมากกว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่แบบดั้งเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การประยุกต์ใช้งานระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ร่วมกับปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์

4.1 บทนำ

ในบทนี้การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะถูกนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับการแก้ไขปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ โดยวิธีการดังกล่าวจะถูกนำเสนอสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาฟังก์ชันเชิงพหุนาม จำนวน 6 ฟังก์ชัน ซึ่งบางฟังก์ชันได้มีการกล่าวไว้เบื้องต้นในบทที่ 3 สำหรับในบทนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่มีความรวดเร็วและแม่นยำ ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ผลลัพธ์จากการคำนวณเชิงเลขยกตัวอย่างเช่น รูปแบบการกระจายตัวของการค้นหาคำตอบ การลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชันเชิงพหุนาม จะถูกนำมาพิจารณาและเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายเทเชิงพันธุกรรม

4.2 การประเมินสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

กระบวนการที่สำคัญสำหรับการประเมินสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงนั้น จะประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญ 2 กระบวนการ [47] คือ กระบวนการทดสอบความแม่นยำ และ กระบวนการทดสอบความเร็ว ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้ จะถูกนำมาใช้เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับการแก้ไขปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ ซึ่งแต่ละกระบวนการสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.2.1 ความแม่นยำของกระบวนการค้นหาคำตอบ (Accuracy)

สำหรับการทดลองใดๆ ที่มีการทดลองซ้ำ หลายๆ ครั้ง เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุดของกลุ่มคำตอบ จะเรียกว่าเป็นการวิเคราะห์เชิงสถิติ โดยค่าคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงสถิตินั้น สามารถที่จะทำการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของคำตอบได้ ซึ่งค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงสถิติจะเรียกว่า ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean; \bar{X}) และ การกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ จะเรียกว่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

คือ การวิเคราะห์ข้อมูลในระดับอัตราภาคขั้น (Interval Scales) หรือ ระดับอัตราส่วน (Ratio Scales) โดยข้อมูลดังกล่าวจะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Data) กล่าวคือ เป็นข้อมูลที่ใช้แทนขนาดหรือปริมาณ ที่วัดออกมาเป็นค่าของตัวเลขโดยตรง ยกตัวอย่างเช่น อายุ ส่วนสูง น้ำหนัก คะแนนสอบ เป็นต้น สำหรับการหาค่าคำตอบซึ่งเป็นตัวแทนของคำตอบทั้งหมด หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางของข้อมูล จะสามารถหาค่าได้จาก ค่าเฉลี่ย (Average) ที่ใช้แทนกลุ่มข้อมูลทั้งหมด ซึ่งสมการของค่าเฉลี่ยดังกล่าว สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.1

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (4.1)$$

เมื่อ x_i คือ ข้อมูลตัวที่ i

N คือ จำนวนข้อมูล (Units) ทั้งหมด

4.2.1.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ในการวัดเพื่อหาแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง จะทำให้ทราบคุณลักษณะของข้อมูลที่เป็นตัวแทนของกลุ่มเพียงค่าเดียว แต่เนื่องจากค่าที่เป็นตัวแทนของกลุ่มเพียงค่าคำตอบเดียวนั้น จะไม่สามารถทำให้ทราบถึงลักษณะของข้อมูลที่มีความแตกต่างกันมากนักน้อยเพียงใด ดังนั้นการวัดการกระจายของข้อมูล คือ สิ่งที่สำคัญที่ช่วยอธิบายข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ซึ่งค่าทางสถิติที่สำคัญสำหรับวัดการกระจายของข้อมูล คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยที่ปริมาณดังกล่าวจะเป็นตัวบอกความแม่นยำของการวัด กล่าวคือ ถ้า SD มีค่าน้อย แสดงว่าข้อมูลที่วัดได้มีความแม่นยำสูงหรือข้อมูลที่วัดได้จำนวนมากมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย ซึ่งสมการของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.2

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (4.2)$$

เมื่อ x_i คือ ข้อมูลตัวที่ i จากทั้งหมด N ตัว

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความเร็วของกระบวนการค้นหาคำตอบ (Speed)

วิธีการหาค่าคำตอบที่มีประสิทธิภาพนั้น นอกจากจะสามารถทำการวิเคราะห์หาค่าคำตอบที่มีความถูกต้องและแม่นยำได้แล้ว สิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งของวิธีการที่มีประสิทธิภาพ คือ ความรวดเร็วในการประมวลผลหรือระยะเวลาในการหาค่าคำตอบ ซึ่งในปัจจุบันปัญหาในโลกแห่งความเป็นจริง (Real-world problem) เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและประกอบไปด้วยเงื่อนไขต่างๆ มากมาย ดังนั้นวิธีการที่สามารถทำการวิเคราะห์หาค่าคำตอบที่ถูกต้องภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว คือ สิ่งที่มีความสำคัญและเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

4.3 ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันต่อเนื่อง (Continuous function optimization problem)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงสมการทางคณิตศาสตร์ [41-42] ที่นำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง โดยรูปแบบสมการจะเป็นฟังก์ชันต่อเนื่องของปัญหาเชิงพื้นผิวผลตอบสองหลายรูปแบบ กล่าวคือ ฟังก์ชันดังกล่าวเป็นฟังก์ชันที่มีจุดยอดต่ำสุดเพียงจุดเดียว หรือ เป็นฟังก์ชันที่มีจุดยอดสูงสุดและต่ำสุดเกิดขึ้นได้หลายจุดภายในบริเวณพื้นผิวของสมการ โดยลักษณะของฟังก์ชัน จะประกอบด้วยค่าคำตอบแบบท้องถิ่นและค่าคำตอบแบบวงกว้างเกิดขึ้นอย่างมากมาย ซึ่งเป็นการยากสำหรับการค้นหาคำตอบ ดังนั้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะที่มีประสิทธิภาพของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง รูปแบบสมการของปัญหาเชิงพื้นผิวผลตอบสอง จึงถูกนำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์ร่วมกับวิธีการที่นำเสนอ โดยรูปแบบของสมการจะประกอบด้วย สมการตัวแปรเดียว และ สมการ 2 ตัวแปร ตามลำดับ

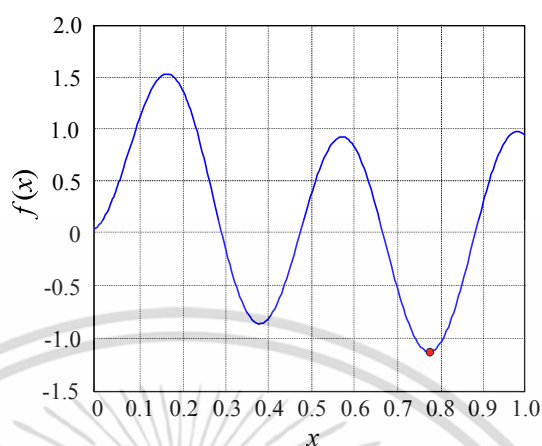
4.3.1 ฟังก์ชัน F1 (F1 function)

ฟังก์ชัน F1 เป็นสมการฟังก์ชันต่อเนื่องตัวแปรเดียว ที่มีค่าคำตอบแบบวงกว้างหรือคำตอบของตัวแปร x ที่ทำให้ $f(x)$ มีค่าน้อยที่สุดอยู่เพียงคำตอบเดียว คือ $x = 0.77966$ ที่มีผลทำให้ $f_{\min}(x)$ มีค่าเท่ากับ -1.12323 รูปแบบสมการของฟังก์ชัน F1 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.3

$$f(x) = 2(x - 0.75)^2 + \sin(5\pi x - 0.4\pi) - 0.125 \quad (4.3)$$

โดยที่ $0 \leq x \leq 1$

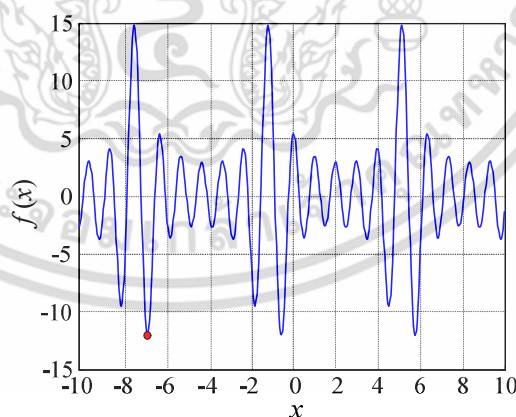
กราฟของสมการฟังก์ชัน F1 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟของสมการฟังก์ชัน F1 ในช่วงระหว่าง $0 \leq x \leq 1$

4.3.2 ฟังก์ชัน F3 (F3 function)

ฟังก์ชัน F3 เป็นสมการฟังก์ชันต่อเนื่องตัวแปรเดียว ที่มีค่าคำตอบแบบวงกว้างหรือคำตอบของตัวแปร x ที่ทำให้ $f(x)$ มีค่าน้อยที่สุดอยู่เพียงคำตอบเดียว คือ $x = -6.77457$ ที่มีผลทำให้ $f_{\min}(x)$ มีค่าเท่ากับ -12.03125 โดยกราฟและรูปแบบสมการของฟังก์ชัน F3 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 และสมการที่ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 กราฟของสมการฟังก์ชัน F3 ในช่วงระหว่าง $-10 \leq x \leq 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x) = -\sum_{j=1}^5 (j \sin((j+1)x + j)) \quad (4.4)$$

โดยที่ $-10 \leq x \leq 10$

4.3.3 ฟังก์ชัน Branin (Branin's rcos function)

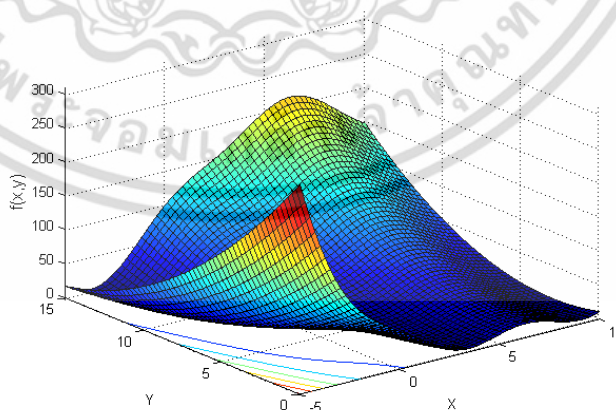
ฟังก์ชัน Branin หรือ ฟังก์ชัน BR เป็นฟังก์ชันที่ประกอบด้วย 2 ตัวแปร คือ ตัวแปร x และ ตัวแปร y สมการฟังก์ชัน BR เป็นสมการของปัญหาพื้นผิวผลตอบสนองแบบผสมผสาน กล่าวคือ เป็นปัญหาพื้นผิวผลตอบสนองที่มีจุดยอดต่ำสุดหลายจุด และเป็นปัญหาพื้นผิวผลตอบสนองที่มีจุดยอดต่ำสุดอยู่ตรงขอบ (Multi-peak with curved ridge function) โดยค่าคำตอบแบบวงกว้างหรือคำตอบของตัวแปร x และ ตัวแปร y ที่ทำ $f(x, y)$ มีค่าน้อยที่สุด จะมีค่าคำตอบเกิดขึ้น 3 คำตอบ คือ $(x, y) = (-\pi, 12.27499)$ $(\pi, 2.27500)$ และ $(9.42477, 2.47499)$ ที่ $f_{\min}(x, y) = 0.39788$

โดยสมการของฟังก์ชัน BR สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.5

$$f(x, y) = \left(y - \frac{5.1}{4\pi^2} x^2 + \frac{5}{\pi} x - 6 \right)^2 + 10 \left(1 - \frac{1}{8\pi} \right) \cos(x) + 10 \quad (4.5)$$

โดยที่ $-5 \leq x \leq 10, 0 \leq y \leq 15$

กราฟพื้นผิวของสมการฟังก์ชัน BR สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟพื้นผิวของฟังก์ชัน BR ในช่วงระหว่าง $-5 \leq x \leq 10, 0 \leq y \leq 15$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

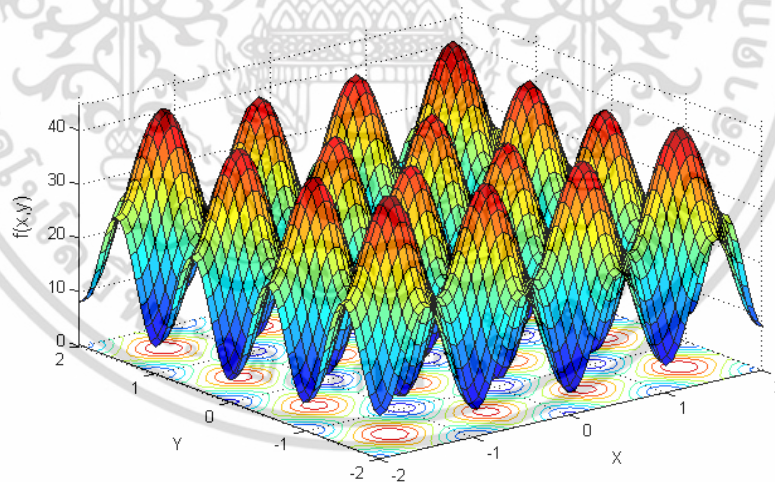
4.3.4 ฟังก์ชัน Rastrigin (Rastrigin's function)

ฟังก์ชัน Rastrigin หรือ ฟังก์ชัน RF เป็นฟังก์ชันที่ประกอบด้วย 2 ตัวแปร คือ ตัวแปร x และ ตัวแปร y สมการฟังก์ชัน RF เป็นสมการของปัญหาพื้นผิวผลตอบสนองที่มีจุดยอดต่ำสุดจุดเดียว (Single-peak function) โดยสมการฟังก์ชัน RF จะมีค่าคำตอบที่ยุ่งยากอยู่มากมาย แต่จะมีค่าคำตอบแบบวงกว้างหรือคำตอบของ ตัวแปร x และ ตัวแปร y ที่ทำให้ $f(x, y)$ มีค่าน้อยที่สุดอยู่เพียงคำตอบเดียว นั่นคือ $x = y = 0$ ที่ทำให้ $f_{\min}(x, y) = 0$ โดยสมการของฟังก์ชัน RF สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.6

$$f(x, y) = x^2 + y^2 - 100 \cos(2\pi x) - 10 \cos(2\pi y) \quad (4.6)$$

โดยที่ $-2 \leq x, y \leq 2$

กราฟพื้นผิวของสมการฟังก์ชัน RF สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟพื้นผิวของฟังก์ชัน RF ในช่วงระหว่าง $-2 \leq x, y \leq 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

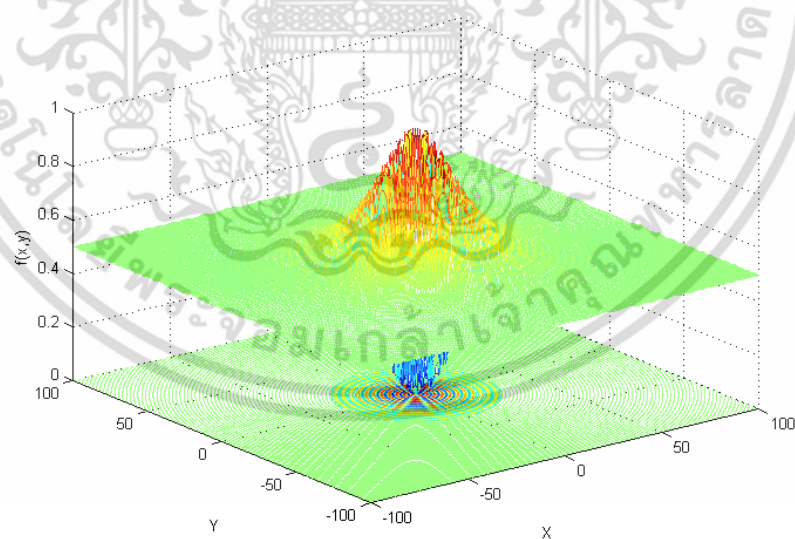
4.3.5 ฟังก์ชัน Shaffer (Shaffer's function)

ฟังก์ชัน Shaffer หรือ ฟังก์ชัน SF เป็นฟังก์ชันที่ประกอบด้วย 2 ตัวแปร คือ ตัวแปร x และ ตัวแปร y สมการฟังก์ชัน SF เป็นสมการของปัญหาพื้นผิวผลตอบสนองที่มีจุดยอดต่ำสุดจุดเดียว (Single-peak function)) โดยสมการฟังก์ชัน SF จะมีค่าคำตอบที่น้อยอยู่มากมาย แต่จะมีค่าคำตอบแบบวงกว้างหรือคำตอบของ ตัวแปร x และ ตัวแปร y ที่ทำให้ $f(x,y)$ มีค่าน้อยที่สุดอยู่เพียงคำตอบเดียว นั่นคือ $x = y = 0$ ที่ทำให้ $f_{\min}(x,y)=0$ โดยสมการของฟังก์ชัน RF สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.7

$$f(x,y) = 0.5 + \frac{\sin^2 \sqrt{x^2 + y^2} - 0.5}{(1 + 0.001(x^2 + y^2))^2} \tag{4.7}$$

โดยที่ $-100 \leq x, y \leq 100$

กราฟพื้นผิวของสมการฟังก์ชัน SF สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟพื้นผิวของฟังก์ชัน SF ในช่วงระหว่าง $-100 \leq x, y \leq 100$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 ฟังก์ชัน Shubert (Shubert's function)

ฟังก์ชัน Shubert หรือ ฟังก์ชัน ShF เป็นฟังก์ชันที่ประกอบด้วย 2 ตัวแปร คือ ตัวแปร x และ ตัวแปร y สมการฟังก์ชัน ShF เป็นสมการของปัญหาพื้นผิวผลตอบสนองที่มีจุดยอดต่ำสุดหลายจุด (Multi-peak function) โดยค่าคำตอบวงกว้างหรือคำตอบของ ตัวแปร x และ ตัวแปร y ที่ทำ $f(x, y)$ มีค่าน้อยที่สุด จะมีค่าคำตอบเกิดขึ้น 18 คำตอบ ที่กระจายตัวอยู่ทั่วพื้นผิวของสมการ ซึ่งค่าคำตอบแบบวงกว้างหรือค่าคำตอบของ ตัวแปร x และ ตัวแปร y ที่มีผลทำให้ค่า $f_{\min}(x_i, y_i) = -186.73091$ เมื่อ $i, j \in (1, 2, \dots, 17, 18)$ จะมีค่าเท่ากับ

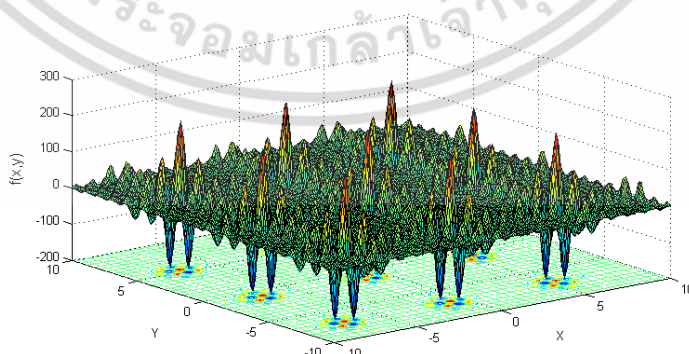
$$\begin{aligned} (x, y) = & (-7.0835, 4.8580) \quad (-7.0835, -7.7083) \quad (-1.4251, -7.8035) \quad (5.4828, 4.8580) \\ & (-1.4251, -0.8003) \quad (4.8580, 5.4828) \quad (-7.7083, -7.0835) \quad (-7.0835, -1.4251) \\ & (-7.0835, -0.8003) \quad (-7.7083, 5.4828) \quad (-0.8003, -7.7083) \quad (-0.8003, -1.4251) \\ & (-0.8003, 4.8580) \quad (-1.4251, 5.4828) \quad (5.4828, -7.7083) \quad (4.8580, -7.0835) \\ & (5.4828, -1.4251) \quad (4.8580, -0.8003) \end{aligned}$$

โดยรูปแบบสมการของฟังก์ชัน ShF สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.8

$$f(x, y) = \left(\sum_{i=1}^5 i \cos((i+1)x + i) \right) \left(\sum_{i=1}^5 i \cos((i+1)y + i) \right) \quad (4.8)$$

โดยที่ $-10 \leq x, y \leq 10$

กราฟพื้นผิวของสมการฟังก์ชัน ShF สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟพื้นผิวของฟังก์ชัน ShF ในช่วงระหว่าง $-10 \leq x, y \leq 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงเลขของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการคำนวณเชิงเลขของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ร่วมกับการแก้ไขปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้นสำหรับการ ค้นหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ผลลัพธ์ของรูปแบบการกระจายตัวของการ ค้นหาคำตอบด้วยวิธีการที่นำเสนอจะถูกแสดงผลเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ ดั้งเดิมเป็นลำดับแรก จากนั้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบที่มีความแม่นยำ และ รวดเร็ว ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง อัตราการลู่เข้าของคำตอบจะถูกทำการ เปรียบเทียบร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิง พันธุกรรม ซึ่งจะทำการกล่าวสรุปไว้ตอนท้ายของผลการคำนวณในแต่ละปัญหาของฟังก์ชันทาง คณิตศาสตร์

4.4.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการคำนวณ

สำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการคำนวณร่วมกับปัญหาฟังก์ชันเชิงพื้นผิว ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธี ขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม สามารถทำการกำหนดได้ดังนี้

ขนาดของกลุ่มประชากร (NP) มีค่าเท่ากับ 20

จำนวนรอบของการทำซ้ำ (T) มีค่าเท่ากับ 1000

ขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ $[-20,20]$

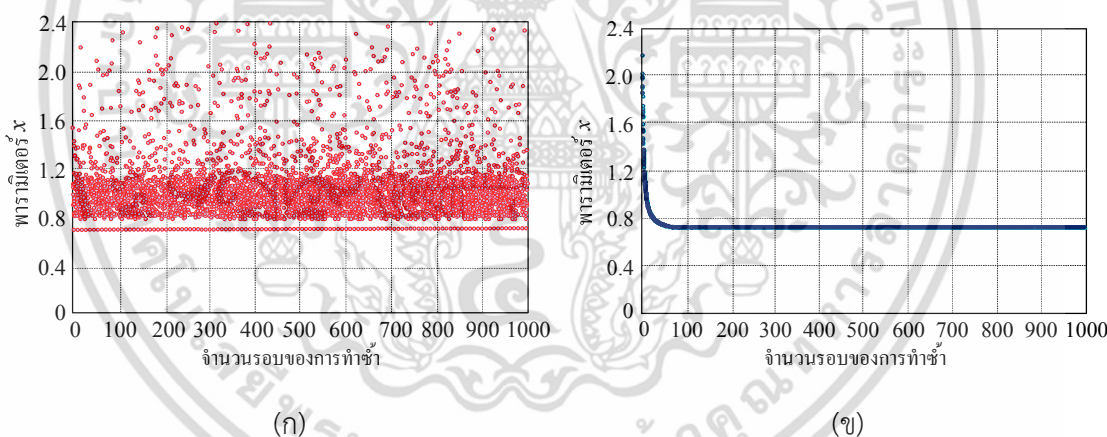
ขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่กลุ่มแรก และ กลุ่มที่ 2 มีค่าเท่ากับ $[-20,20]$ และ $[10,10]$

โดยทำการทดสอบซ้ำเป็นจำนวน 100 ครั้ง

4.4.2 ผลการคำนวณของฟังก์ชัน F1 (F1 function)

สำหรับผลลัพธ์ของฟังก์ชัน F1 จะสามารถทำการพิจารณาได้จากรูปแบบการกระจายของการหาค่า คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ x ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบ แมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.7 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ x ของฟังก์ชัน F1 ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมตามลำดับ จากรูปสามารถสังเกตเห็นได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายของค่าพารามิเตอร์ x ของทั้ง 2 วิธีการ มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ ในช่วงแรกรูปแบบการกระจายตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 (ก) มีลักษณะของการแพร่กระจายแบบสุ่ม (Random distribution) ซึ่งรูปแบบดังกล่าวมีผลทำให้เกิดการค้นหาค่าตอบที่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดสำหรับการหาค่าคำตอบ (Search space) โดยรูปแบบการกระจายตัวแบบสุ่มนั้น เกิดขึ้นมาจากกลุ่มของแมลงหวี่กลุ่มแรก จากนั้นรูปแบบการกระจายตัวของคำตอบจะมีลักษณะการแพร่กระจายแบบสม่ำเสมอ (Uniform distribution) ซึ่งรูปแบบดังกล่าวจะมีผลมาจากกลุ่มของแมลงหวี่กลุ่มที่สอง โดยรูปแบบการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอนั้น จะส่งผลให้เกิดการลู่เข้าของคำตอบที่มีความแม่นยำและถูกต้อง กล่าวคือ พฤติกรรมการกระจายตัวสำหรับการลู่เข้าของคำตอบของแมลงหวี่กลุ่มที่หนึ่ง จะเบี่ยงเบนพฤติกรรมในการแพร่กระจายตัวของแมลงหวี่กลุ่มที่สอง เพื่อก่อให้เกิดการลู่เข้าของคำตอบที่มีประสิทธิภาพ จากรูปที่ 4.7 (ก) สามารถสังเกตเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ x ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะมีค่าเท่ากับ 0.77966



รูปที่ 4.7 รูปแบบการกระจายตัวของพารามิเตอร์ x ของฟังก์ชัน F1

(ก) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

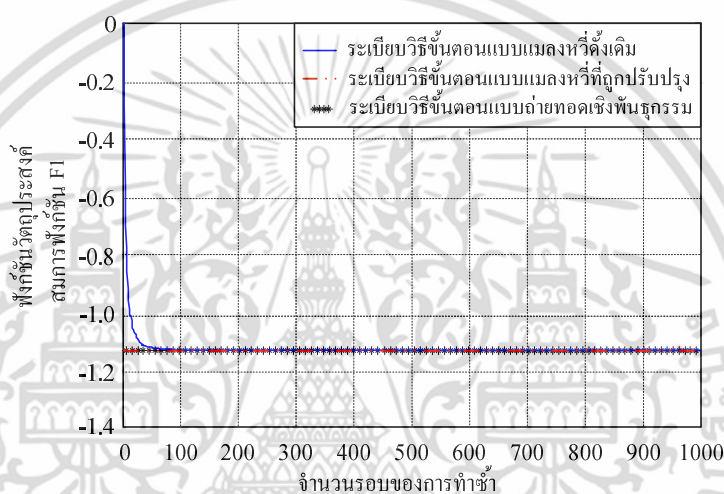
(ข) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม

สำหรับผลลัพธ์ของรูปแบบการกระจายของค่าพารามิเตอร์ x ของฟังก์ชัน F1 ที่ทำการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 (ข) จากรูปสามารถอธิบายได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการกระจายตัวของพารามิเตอร์ x มีแนวโน้มในการลู่เข้าของคำตอบโดยตรง โดยค่าพารามิเตอร์ x ที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าเท่ากับ 0.77966

เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่มีความแม่นยำ และ รวดเร็วในการหาค่าคำตอบด้วยระเบียบวิธี ขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ผลการคำนวณการลู่เข้าของคำตอบของวิธีการที่นำเสนอ จะถูกทำการเปรียบเทียบร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน F1 ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงและระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

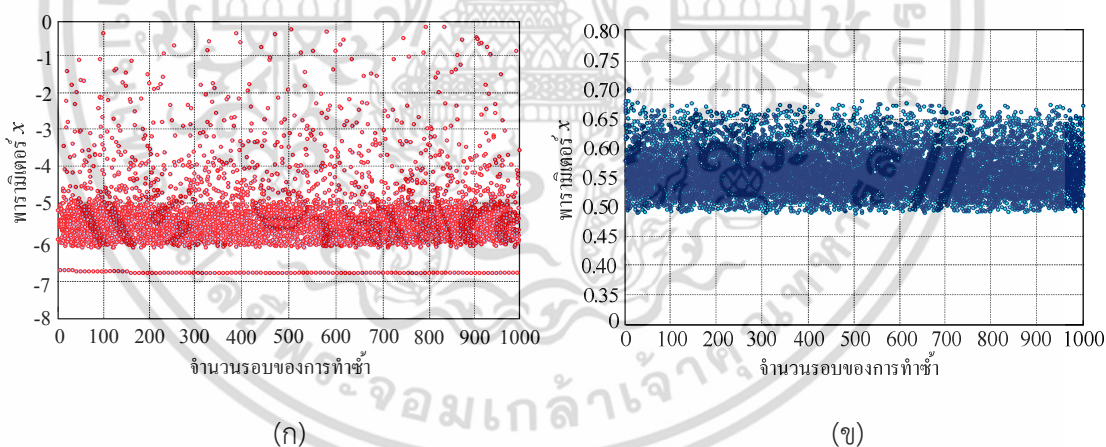
จากรูปสามารถสังเกตได้ว่า การลู่เข้าของคำตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม มีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ การลู่เข้าของคำตอบจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่รอบแรกของการทำงาน โดยค่าพารามิเตอร์ x ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมนั้น จะมีค่าเท่ากับ 0.77966 และสำหรับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม การลู่เข้าของคำตอบจะเกิดขึ้นตั้งแต่รอบการทำงานที่ 40 เป็นต้นไป สำหรับค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชัน F1 รวมถึงระยะเวลาในการคำนวณ และ ความถูกต้องของการค้นหาคำตอบ ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการทั้งสาม จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณเชิงเลขของฟังก์ชัน F1 โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

ผลลัพธ์ของการคำนวณ	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม
ค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณ	-1.12323	-1.12323	-1.12323
ค่าเฉลี่ย	-1.12323	-1.12323	-1.12323
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.00000	0.00000	0.00000
เวลา (วินาที)	0.845722	0.95358	2.18642
เปอร์เซ็นต์การคำนวณ	100	100	100

4.4.3 ผลการคำนวณของฟังก์ชัน F3 (F3 function)

สำหรับผลลัพธ์ของฟังก์ชัน F3 จะสามารถทำการพิจารณาได้จากรูปแบบการกระจายของการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ x ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 รูปแบบการกระจายตัวของพารามิเตอร์ x ของฟังก์ชัน F3

(ก) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

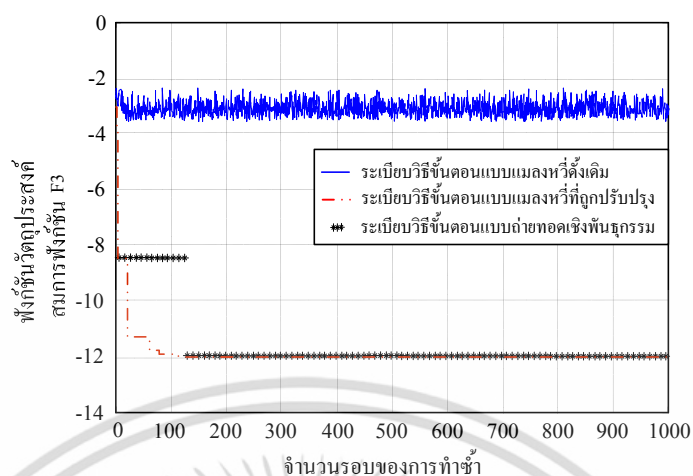
(ข) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ x ของฟังก์ชัน F3 ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิมตามลำดับ จากรูปสามารถสังเกตเห็นได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายของค่าพารามิเตอร์ x ของทั้ง 2 วิธีการ มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ รูปแบบการกระจายตัวที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 (ก) จะมีการแบ่งขนาดของกลุ่มประชากรออกเป็นสองกลุ่ม โดยกลุ่มประชากรดังกล่าวจะทำการเพิ่มกระบวนการสุ่มเข้าไปในระบบ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ สำหรับประชากรในกลุ่มแรกหรือแมลงหิวกลุ่มที่หนึ่ง จะทำการค้นหาคำตอบในรูปแบบของการสุ่มที่ครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณกว้าง ซึ่งคำตอบที่ได้นั้นจะเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับบริเวณคำตอบที่ดีที่สุด (Region near an optimum point) จากนั้นคำตอบที่ได้จากกระบวนการแรกหรือจากประชากรในกลุ่มแรกจะถูกใช้เป็นจุดเริ่มต้น (Initial point) สำหรับการค้นหาคำตอบของประชากรในกลุ่มที่สองหรือกลุ่มของแมลงหิวกลุ่มที่สอง ซึ่งจะทำการค้นหาคำตอบในบริเวณแคบ (Local search) เพื่อก่อให้เกิดการลู่เข้าของคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งจากรูปที่ 4.9 (ก) สามารถสังเกตเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ x ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง จะมีค่าเท่ากับ -6.77457

สำหรับผลลัพธ์ของรูปแบบการกระจายของค่าพารามิเตอร์ x ของฟังก์ชัน F3 ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 (ข) จากรูปสามารถอธิบายได้ว่า รูปแบบการกระจายของพารามิเตอร์ x จะมีรูปแบบการกระจายที่ไม่ก่อให้เกิดการค้นหาคำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งสาเหตุดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจาก การขาดความหลากหลาย (diversity) ของกลุ่มประชากรในระบบ เมื่อคำตอบจากการค้นหาของกลุ่มประชากรมีคุณลักษณะที่คล้ายๆ กัน กลไกในการค้นหาคำตอบจะไม่สามารถทำการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ ดังนั้นจึงส่งผลให้มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความเหมาะสมของคำตอบที่ลดลง ซึ่งจากรูปที่ 4.9 (ข) สามารถสังเกตเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ x ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม จะมีค่าเท่ากับ 0.57816

รูปที่ 4.10 แสดงการลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน F3 ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมตามลำดับ จากรูปสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่า การลู่เข้าของคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม จะไม่เกิดการลู่เข้าของคำตอบตั้งแต่รอบแรกของการทำงาน สำหรับการลู่เข้าของคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง การลู่เข้าของคำตอบจะเกิดขึ้นตั้งแต่รอบการทำงานที่ 105 จนกระทั่งครบจำนวนรอบของการทำซ้ำ และการลู่เข้าของคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม จะเกิดการลู่เข้าของคำตอบตั้งแต่รอบการทำงานที่ 1 ถึง 120 จากนั้นการลู่เข้าของคำตอบจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการลู่เข้าของคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยค่าพารามิเตอร์ x ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมนั้น จะมีค่าเท่ากับ -6.77457



รูปที่ 4.10 การลู่เข้าของค่าตอบของฟังก์ชัน F3 ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงและระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

สำหรับค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชัน F3 รวมถึงระยะเวลาในการคำนวณ และความถูกต้องของการค้นหาคำตอบ ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการทั้งสาม จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณเชิงเลขของฟังก์ชัน F3 โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

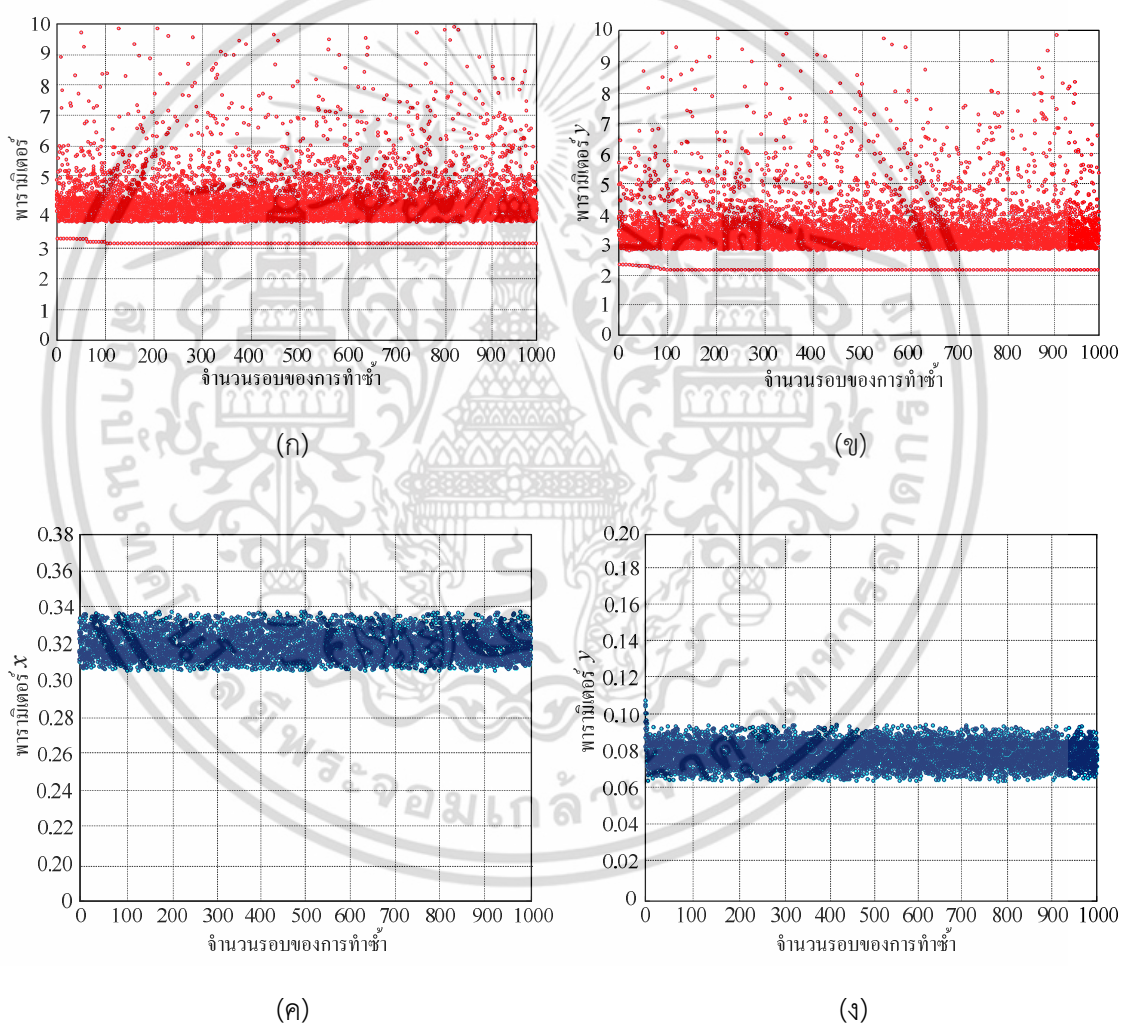
ผลลัพธ์ของการคำนวณ	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม
ค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณ	-12.03125	-3.60790	-12.03125
ค่าเฉลี่ย	-12.03125	-3.57946	-12.03125
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.00000	0.06394	0.00000
เวลา (วินาที)	0.88908	1.13117	2.41068
เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จ	100	0	100

4.4.4 ผลการคำนวณของฟังก์ชัน Branin (Branin's function)

สำหรับผลลัพธ์ของฟังก์ชัน Branin จะสามารถทำการพิจารณาได้จากรูปแบบการกระจายของการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบของระเบียบ

วิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 (ก) - (ง) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.11 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Branin ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ตามลำดับ รูปแบบการแพร่กระจายของค่าพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 รูปแบบการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Branin

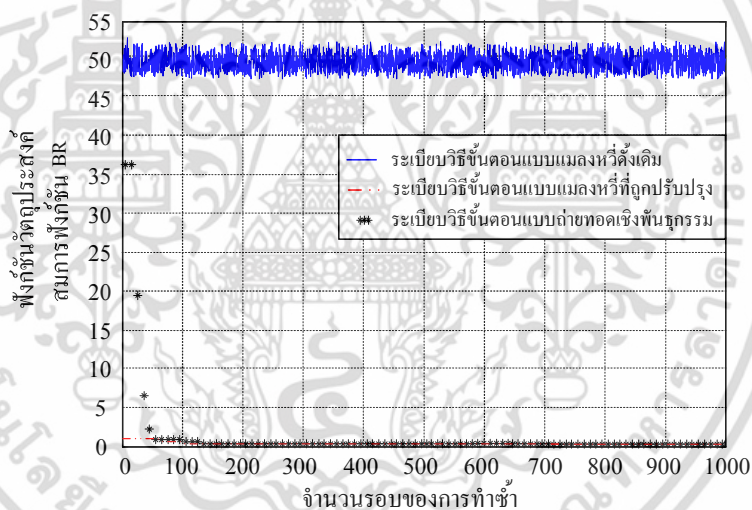
(ก)-(ข) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

(ค)-(ง) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งรูปแบบการกระจายตัวของการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการดังกล่าว จะมีรูปแบบการแพร่กระจายที่ครอบคลุมพื้นที่สำหรับการหาคำตอบทั้งหมดในช่วงแรกของการค้นหาคำตอบ จากนั้นรูปแบบการค้นหาคำตอบในบริเวณแคบจะเกิดขึ้นในช่วงท้ายของการค้นหาคำตอบ โดยค่าพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะมีค่าเท่ากับ 3.14162 และ 2.27501 ตามลำดับ

สำหรับการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายของค่าพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Branin ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 (ค) และ (ง) ตามลำดับ จากรูปสามารถอธิบายได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายของค่าพารามิเตอร์ x และ y จะไม่เกิดการกระจายตัวที่ก่อให้เกิดการค้นหาคำตอบที่ถูกต้อง โดยค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะมีค่าเท่ากับ 0.32108 และ 0.08755 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 การลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน Branin ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงและระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

รูปที่ 4.12 แสดงการลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน Branin ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม ตามลำดับ ซึ่งจากรูปสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนว่า การ

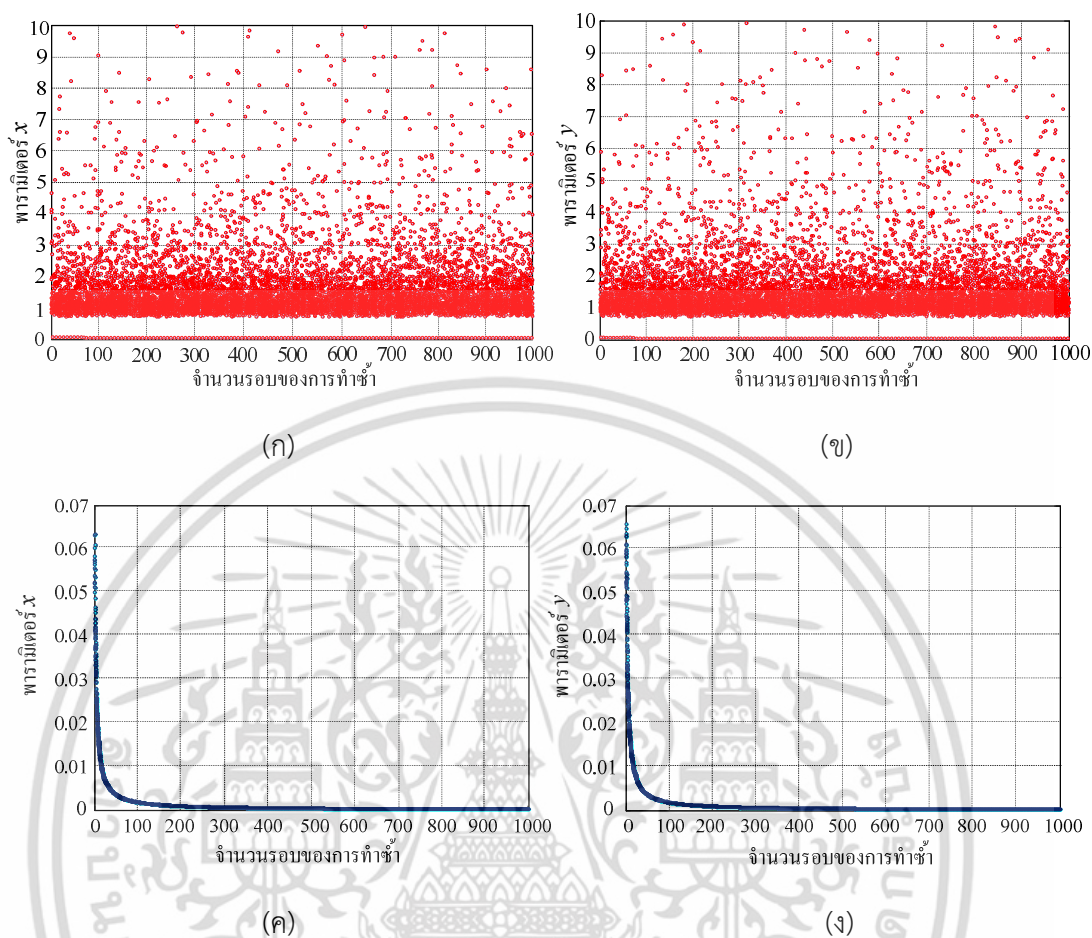
ลู่เข้าของคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะไม่เกิดการลู่เข้าของคำตอบตั้งแต่รอบแรกของการทำงาน สำหรับการลู่เข้าของคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง การลู่เข้าของคำตอบจะเกิดขึ้นตั้งแต่รอบการทำงานที่ 1 ถึง 60 จากนั้นการลู่เข้าของคำตอบจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการลู่เข้าของคำตอบที่เหมาะสม และสำหรับการลู่เข้าของคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม จะเกิดการลู่เข้าของคำตอบตั้งแต่รอบการทำงานที่ 60 ถึง 100 จากนั้นการลู่เข้าของคำตอบจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการลู่เข้าของคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยค่าพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม จะมีค่าเท่ากับ 3.14159 และ 2.27502 ตามลำดับ สำหรับค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชัน Branin รวมถึงระยะเวลาในการคำนวณ และความถูกต้องของการค้นหาคำตอบ ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการทั้งสาม จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณเชิงเลขของฟังก์ชัน Branin โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

ผลลัพธ์ของการคำนวณ	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม
ค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณ	0.39790	48.43095	0.39790
ค่าเฉลี่ย	0.39790	51.65567	0.39790
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.00000	1.43845	0.00000
เวลา (วินาที)	1.45780	1.67581	3.42681
เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จ	100	0	100

4.4.5 ผลการคำนวณของฟังก์ชัน Rastrigin (Rastrigin's function)

สำหรับผลลัพธ์ของฟังก์ชัน Rastrigin จะสามารถทำการพิจารณาได้จากรูปแบบการกระจายของการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.13 (ก) - (ง) ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 รูปแบบการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Rastrigin

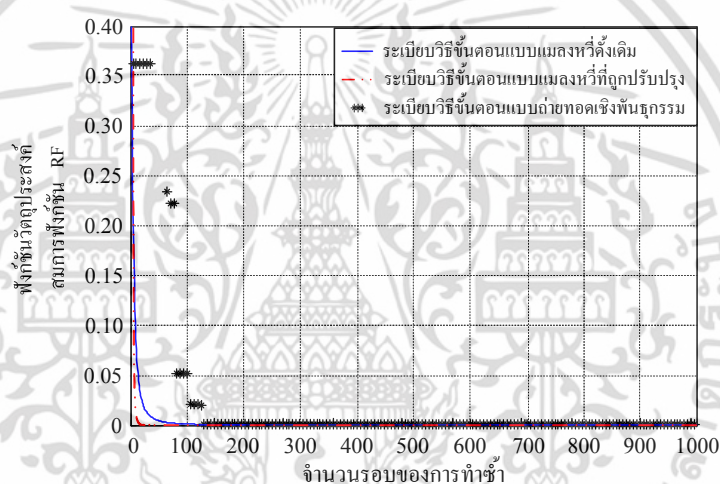
(ก)-(ข) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง

(ค)-(ง) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม

จากรูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Rastrigin ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม ตามลำดับ รูปแบบการแพร่กระจายของค่าพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.13 (ก) และ (ข) จะมีรูปแบบการแพร่กระจายที่ครอบคลุมพื้นที่สำหรับการหาค่าคำตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งสามารถทำให้กระบวนการหาค่าคำตอบเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพกับฟังก์ชันที่มีความซับซ้อน กล่าวคือ รูปแบบการกระจายตัวสำหรับการค้นหาคำตอบ จะเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการสุ่มของกลุ่มประชากรสองกลุ่ม ซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการค้นหาคำตอบมีความหลากหลายของจำนวนประชากร และมีผลทำให้เกิดการ

กระจายตัวที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการได้มาซึ่งค่าคำตอบแบบวงกว้าง ซึ่งจากรูปที่ 4.13 (ก) และ (ข) สามารถสังเกตเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะมีค่าที่เท่ากันของทั้งสองพารามิเตอร์ คือ 0.00001 ตามลำดับ

สำหรับผลลัพธ์ของรูปแบบการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Rastrigin ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.13 (ค) และ (ง) ตามลำดับ จากรูปสามารถอธิบายได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายของค่าพารามิเตอร์ x และ y มีแนวโน้มในการเข้าสู่ค่าตอบแบบวงกว้างโดยตรง โดยค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะมีค่าที่เท่ากันของทั้งสองพารามิเตอร์ คือ 0.00002



รูปที่ 4.14 การเข้าสู่ของคำตอบของฟังก์ชัน Rastrigin ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงและระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

รูปที่ 4.14 แสดงการเข้าสู่ของคำตอบของฟังก์ชัน Rastrigin ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่แบบดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม ตามลำดับ ซึ่งจากรูปสามารถสังเกตเห็นได้ว่า การเข้าสู่ของคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม การเข้าสู่ของคำตอบจะเกิดขึ้นตั้งแต่รอบการทำงานที่ 100 จนกระทั่งถึงจำนวนรอบของการทำซ้ำ สำหรับการเข้าสู่ของคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง การเข้าสู่ของคำตอบจะเกิดขึ้นตั้งแต่รอบ

การทำงานที่ 40 จนกระทั่งถึงจำนวนรอบของการทำซ้ำ และ สำหรับการลู่เข้าของคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม จะเกิดการลู่เข้าของคำตอบตั้งแต่รอบการทำงานที่ 1 ถึง 50 จากนั้นการลู่เข้าของคำตอบจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการลู่เข้าของคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยค่าพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม จะมีค่าเท่ากับ 0.00000 และ 0.00000 ตามลำดับ สำหรับค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชัน Rastrigin รวมถึงระยะเวลาในการคำนวณ และความถูกต้องของการค้นหาคำตอบ ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการทั้งสาม จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณเชิงเลขของฟังก์ชัน Rastrigin โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

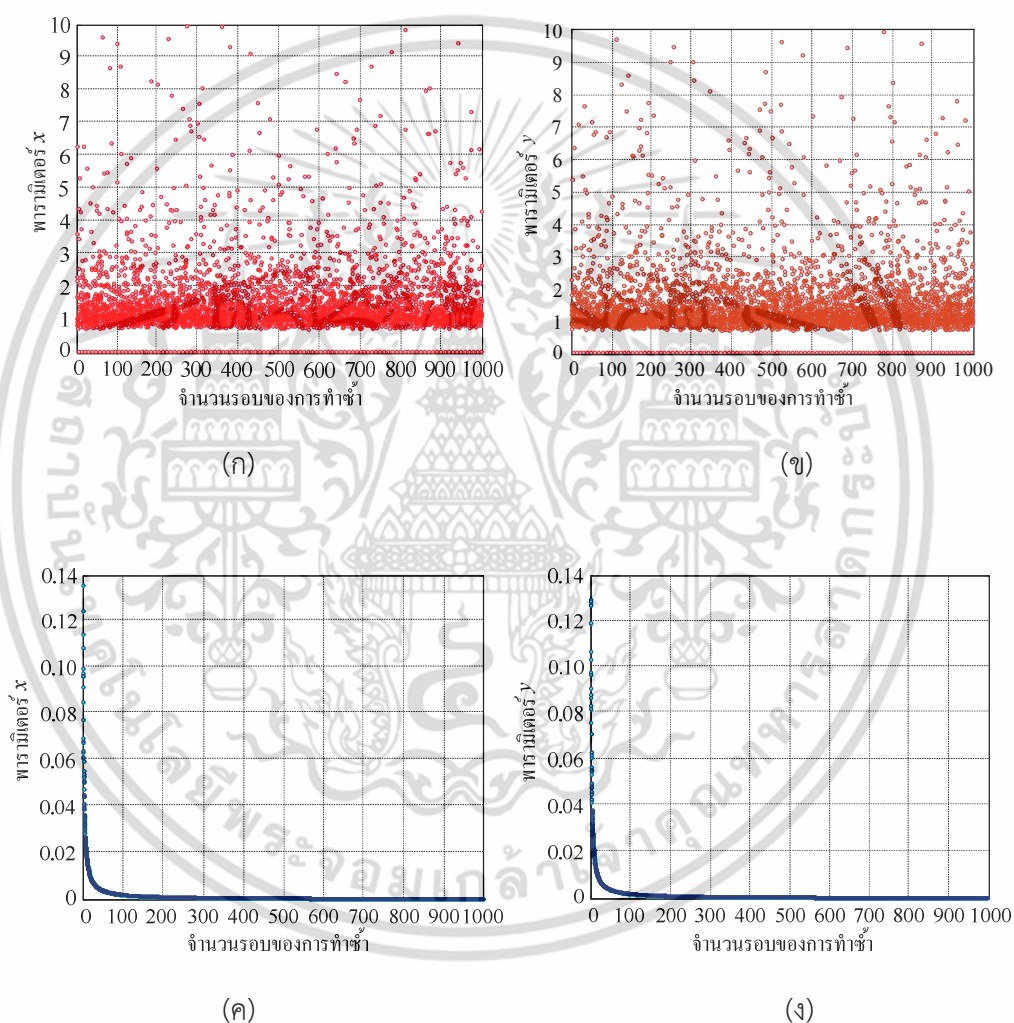
ผลลัพธ์ของการคำนวณ	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	0.00001	0.00002	0.00000
ค่าเฉลี่ย	0.00001	0.00002	0.31890
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.00000	0.00000	0.53759
เวลา (วินาที)	1.75157	2.19967	4.10395
เปอร์เซ็นต์การคำนวณ	100	100	80

4.4.6 ผลการคำนวณของฟังก์ชัน Shaffer (Shaffer's function)

สำหรับผลลัพธ์ของฟังก์ชัน Shaffer จะสามารถทำการพิจารณาได้จากรูปแบบการกระจายของการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.15 (ก) - (ง) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.15 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Shaffer ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ตามลำดับ รูปที่ 4.15 (ก) และ (ข) คือ รูปแบบการกระจายตัวที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ซึ่งจากรูปสามารถอธิบายได้ว่า รูปแบบการกระจายตัวสำหรับการค้นหาคำตอบจะครอบคลุมพื้นที่ของการหาค่าคำตอบทั้งหมด โดยค่าพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการดังกล่าว จะมีค่าเท่ากับ 0.00000 ของทั้งสองพารามิเตอร์

สำหรับผลลัพธ์ของรูปแบบการกระจายของพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Shaffer ที่ทำการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.15 (ค) และ (ง) ตามลำดับ จากรูปสามารถอธิบายได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายของค่าพารามิเตอร์ x และ y จะเกิดการกระจายตัวที่มีแนวโน้มในการลู่เข้าสู่ค่าตอบโดยตรง โดยค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะมีค่าเท่ากับของทั้งสองพารามิเตอร์ คือ 0.00000

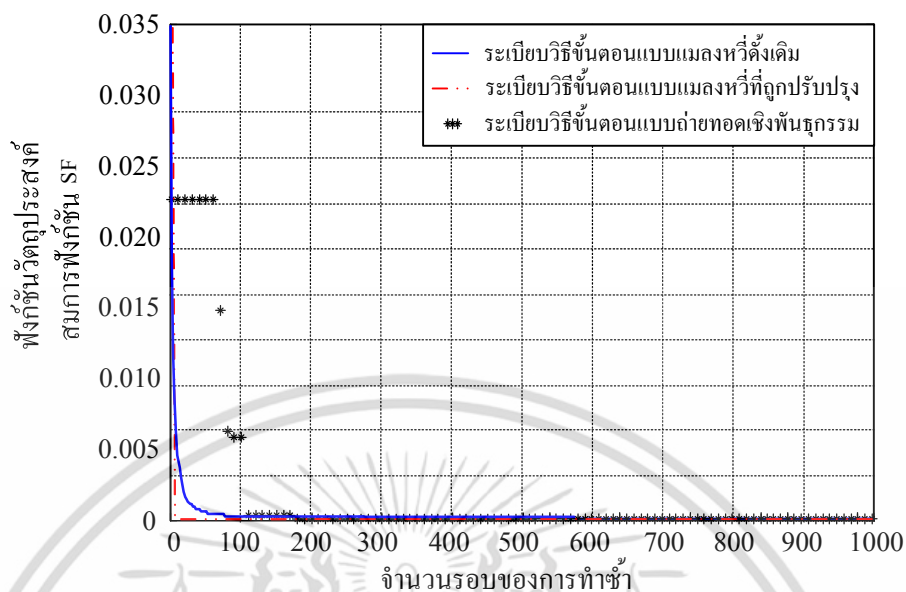


รูปที่ 4.15 รูปแบบการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Shaffer

(ก)-(ข) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

(ค)-(ง) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 การลู่เข้าของค่าตอบของฟังก์ชัน Shaffer ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงและระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

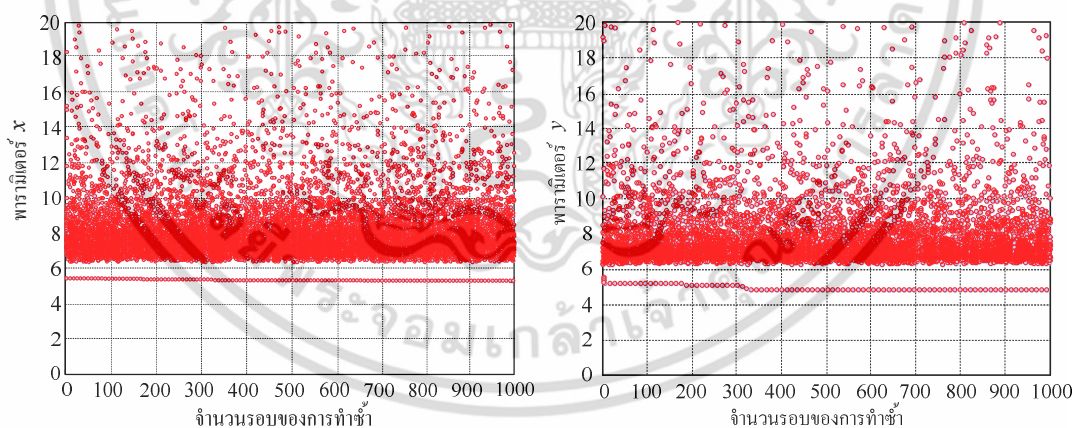
รูปที่ 4.16 แสดงการลู่เข้าของค่าตอบของฟังก์ชัน Shaffer ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่แบบดั้งเดิม และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม ตามลำดับ ซึ่งจากรูปสามารถสังเกตเห็นได้ว่าการลู่เข้าของค่าตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม การลู่เข้าของค่าตอบจะเกิดขึ้นตั้งแต่รอบการทำงานที่ 80 จากนั้นการลู่เข้าของค่าตอบจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจำนวนรอบของการทำซ้ำ สำหรับการลู่เข้าของค่าตอบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง การลู่เข้าของค่าตอบจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่รอบแรกของการทำงานและสำหรับการลู่เข้าของค่าตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม จะเกิดการลู่เข้าของค่าตอบตั้งแต่รอบการทำงานที่ 180 จนกระทั่งครบจำนวนรอบของการทำซ้ำ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม จะมีค่าเท่ากับ 0.00000 และ 0.00000 ตามลำดับ สำหรับค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชัน Shaffer ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการทั้งสาม รวมถึงระยะเวลาในการคำนวณ และ ความถูกต้องของกระบวนการค้นหาคำตอบ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณเชิงเลขของฟังก์ชัน Shaffer โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

ผลลัพธ์ของการคำนวณ	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	0.00000	0.00000	0.00000
ค่าเฉลี่ย	0.00000	0.00000	0.00030
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.00000	0.00000	0.00096
เวลา (วินาที)	1.11341	1.19153	3.10652
เปอร์เซ็นต์การคำนวณ	100	100	100

4.4.7 ผลการคำนวณของฟังก์ชัน Shubert (Shubert's function)

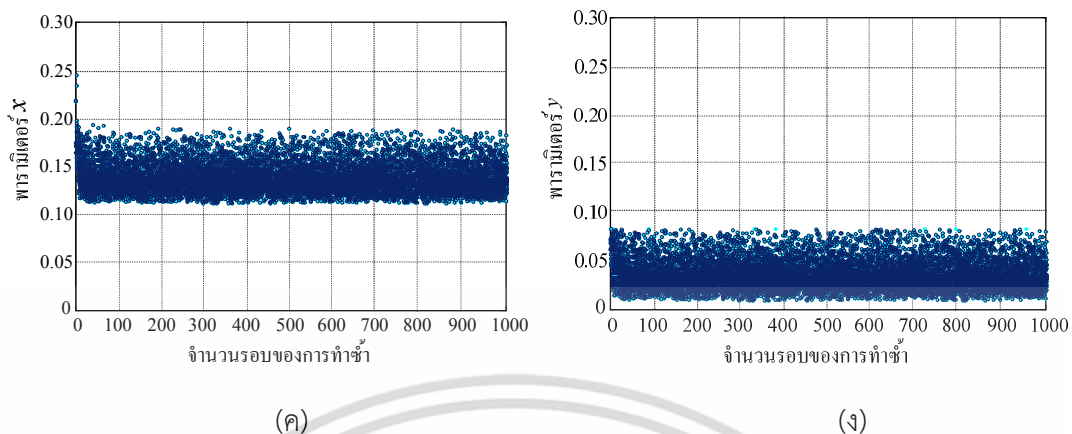
สำหรับผลลัพธ์ของฟังก์ชัน Shubert จะสามารถพิจารณาได้จากรูปแบบการกระจายของการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของค่าพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.17 (ก) - (ง) ตามลำดับ



(ก)

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 รูปแบบการกระจายของค่าพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Shubert

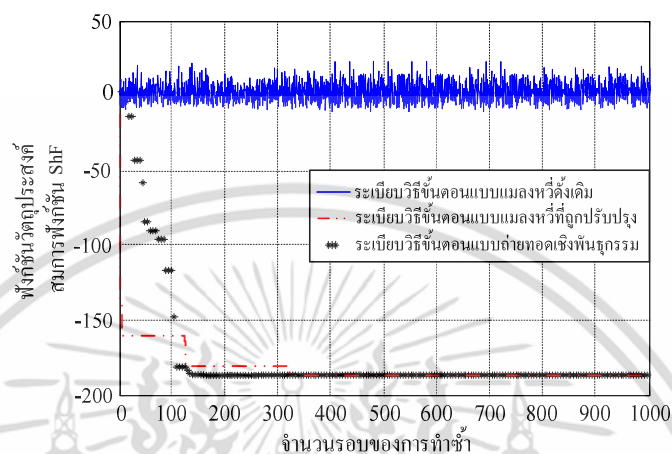
(ก)-(ข) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

(ค)-(ง) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม

จากรูปที่ 4.17 แสดงรูปแบบการกระจายของค่าพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Shubert ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ตามลำดับ จากรูปที่ 4.17 (ก) และ (ข) แสดงรูปแบบการแพร่กระจายของค่าพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ซึ่งรูปแบบการกระจายจะครอบคลุมพื้นที่ของการหาคำตอบทั้งหมด โดยจำนวนรอบของการทำซ้ำสำหรับการคำนวณปัญหาของฟังก์ชัน Shubert จะมีค่าเท่ากับ 1,000 รอบการทำงาน จากรูปสามารถอธิบายได้ว่า รูปแบบการแพร่กระจายสำหรับการค้นหาคำตอบในกระบวนการแรกจะเป็นรูปแบบของการสุ่ม ที่ทำการค้นหาคำตอบในบริเวณกว้าง ซึ่งค่าคำตอบที่ได้จะเป็นค่าคำตอบที่ใกล้เคียงกับบริเวณของค่าคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งจากรูปค่าพารามิเตอร์ x และ y จะมีค่าเท่ากับ 6.28452 และ 6.04862 จากนั้นค่าคำตอบที่ได้จะถูกใช้เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการหาคำตอบของกระบวนการที่สอง โดยรูปแบบการกระจายตัวของกระบวนการดังกล่าว จะเป็นการค้นหาคำตอบในบริเวณแคบ ซึ่งค่าคำตอบที่ได้จะเป็นค่าคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุดของพารามิเตอร์ ซึ่งจากรูปค่าพารามิเตอร์ x และ y จะมีค่าเท่ากับ 5.48480 และ 4.85950 ตามลำดับ

สำหรับผลลัพธ์ของรูปแบบการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ x และ y ของฟังก์ชัน Shubert ที่ทำการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.17 (ค) และ (ง) ตามลำดับ จากรูปสามารถอธิบายได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายของค่าพารามิเตอร์ x และ y จะไม่

เกิดการกระจายตัวที่ก่อให้เกิดการค้นหาคำตอบที่ถูกต้อง โดยค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะมีค่าเท่ากับ 0.15310 และ 0.02050 ตามลำดับ



รูปที่ 4.18 การลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน Shubert ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงและระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

รูปที่ 4.18 แสดงการลู่เข้าของคำตอบของฟังก์ชัน Shubert ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่แบบดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม ตามลำดับ ซึ่งจากรูปสามารถสังเกตเห็นได้ว่าการลู่เข้าของคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะไม่เกิดการลู่เข้าของคำตอบตั้งแต่รอบแรกของการทำงาน สำหรับการลู่เข้าของคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง การลู่เข้าของคำตอบจะเกิดขึ้นตั้งแต่รอบการทำงานที่ 1 ถึง 120 จากนั้นการลู่เข้าจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการลู่เข้าของคำตอบที่เหมาะสม และ สำหรับการลู่เข้าของคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม จะเกิดการลู่เข้าของคำตอบตั้งแต่รอบการทำงานที่ 130 จนกระทั่งครบจำนวนรอบของการทำซ้ำ โดยค่าพารามิเตอร์ x และ y ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม จะมีค่าเท่ากับ -0.80033 และ -1.42514 ตามลำดับ สำหรับค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชัน Shubert ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการทั้งสามรวมถึงระยะเวลาในการคำนวณ และ ความถูกต้องของกระบวนการค้นหาคำตอบ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณเชิงเลขของฟังก์ชัน Shubert โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

ผลลัพธ์ของการคำนวณ	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	-186.73091	-10.35096	-186.73091
ค่าเฉลี่ย	-186.71994	-4.78628	-182.12694
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.02896	2.86113	6.43710
เวลา (วินาที)	2.66110	2.85912	4.52924
เปอร์เซ็นต์การคำนวณ	85	0	70

4.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันเชิงพื้นผิว จำนวน 6 ฟังก์ชัน เพื่อแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะที่เพิ่มขึ้นของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง รูปแบบการกระจายตัวของการค้นหาค่าตอบด้วยวิธีการดังกล่าวจะถูกนำมาพิจารณาร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม ซึ่งผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า รูปแบบการกระจายตัวของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง สามารถค้นหาค่าตอบได้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดสำหรับการหาค่าคำตอบ ซึ่งส่งผลให้การรู้เข้าของคำตอบมีความแม่นยำและถูกต้อง มากกว่ารูปแบบการกระจายตัวของการค้นหาค่าตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม โดยสามารถทำการพิจารณาได้จากปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชัน F3 BR และ ShF ตามลำดับ อีกทั้งผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงเลขที่มีความเหมาะสมของปัญหาทางคณิตศาสตร์ จะถูกนำมาพิจารณาร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม ซึ่งผลจากการทดสอบสามารถแสดงให้เห็นถึง ความมีประสิทธิภาพทางด้านเวลาในการคำนวณ ที่เหนือกว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การประยุกต์ใช้งานระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ร่วมกับปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

5.1 บทนำ

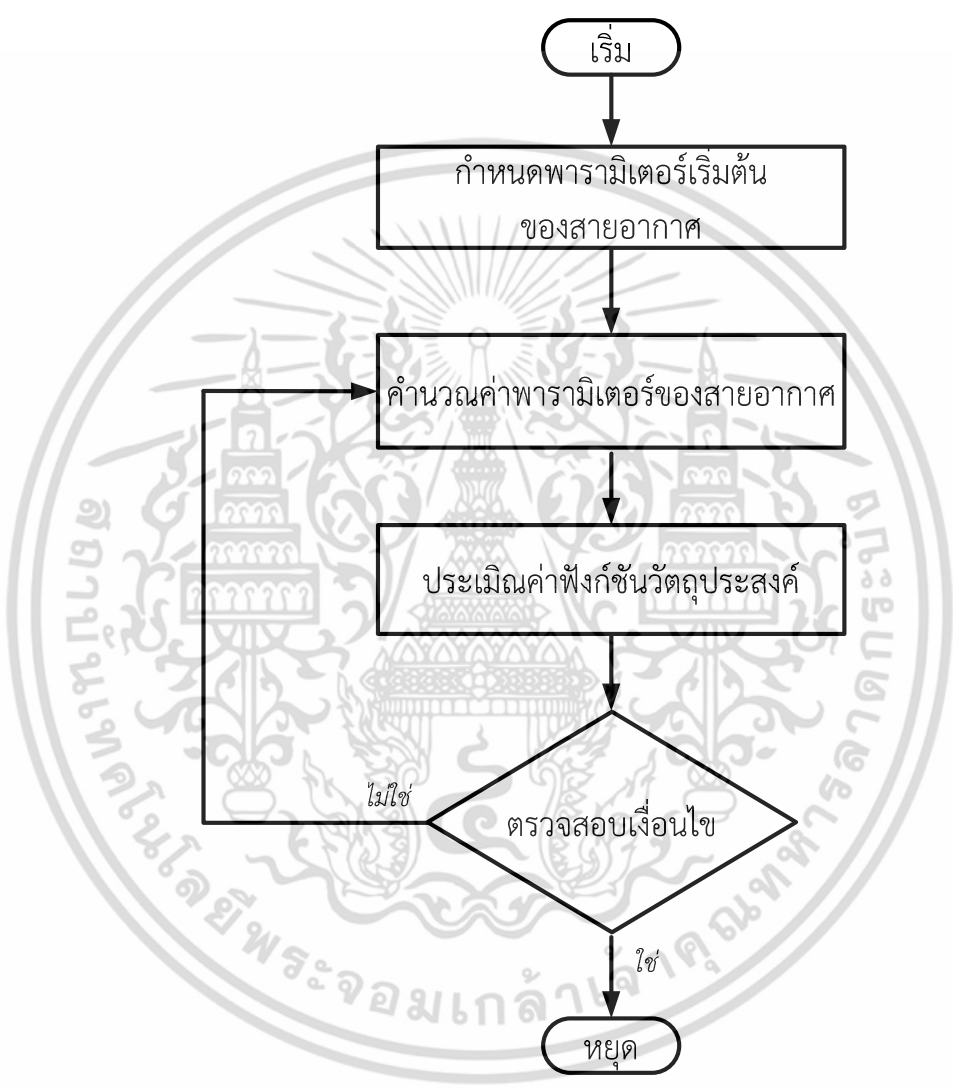
ในบทนี้การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะถูกนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับการแก้ไขปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยวิธีการดังกล่าวจะถูกนำเสนอสำหรับการออกแบบสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ ซึ่งปัญหาการออกแบบจะแบ่งออกเป็น 2 ปัญหา กล่าวคือ ปัญหาการออกแบบแรกจะเป็นการออกแบบสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น โดยการปรับพารามิเตอร์แอมพลิจูดและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแกลวลำดับ และ ปัญหาการออกแบบที่สอง คือ การออกแบบสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุดของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น โดยการปรับพารามิเตอร์แอมพลิจูดของสายอากาศแกลวลำดับ เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่มีความแม่นยำในการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับการแก้ไขปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ผลลัพธ์จากการคำนวณเชิงเลขของวิธีการที่นำเสนอ จะถูกนำมาพิจารณาพร้อมกับผลลัพธ์ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

5.2 กระบวนการออกแบบสายอากาศด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกระบวนการออกแบบสายอากาศแกลวลำดับในช่องว่างอิสระ ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง แผนภาพการทำงานของวิธีการออกแบบสายอากาศด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1

จากรูปที่ 5.1 กระบวนการออกแบบเริ่มต้นจาก การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น ซึ่งจะถูกดำเนินการในกระบวนการแรกของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง นั่นคือ กระบวนการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นและตำแหน่งการบินสุ่มเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่ จากนั้นทำการคำนวณพารามิเตอร์ของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น ด้วยกระบวนการค้นหาโดยอาศัยอวัยวะสำหรับการดมกลิ่นของแมลงหวี่ การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการออกแบบสายอากาศ (ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มีค่ามากที่สุดสำหรับปัญหาการออกแบบที่หนึ่ง และ ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุด

สำหรับปัญหาการออกแบบที่สอง) จะถูกดำเนินการในกระบวนการค้นหาโดยอาศัยอวัยวะสำหรับการมองเห็นของแมลงหวี และในขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบสายอากาศนั้นคือ กระบวนการทำซ้ำ ซึ่งจะ ถูกดำเนินการเป็นกระบวนการสุดท้ายของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวีที่ถูกรับปรุง



รูปที่ 5.1 โฟลชาร์ตของกระบวนการออกแบบสายอากาศ [48]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น

ในหัวข้อนี้จะทำการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุด โดยจะทำการปรับพารามิเตอร์แอมพลิจูดและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ สำหรับปัญหาการออกแบบที่ถูกพิจารณานั้น จะทำการออกแบบโครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ที่มีจำนวนองค์ประกอบเท่ากับ 10 องค์ประกอบ จากนั้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง การออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุด เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นมีค่าที่เพิ่มขึ้น คือ สิ่งที่ถูกพิจารณาสำหรับปัญหาการออกแบบ

5.3.1. การพิจารณาตัวประกอบแถวลำดับเชิงเส้น

กำหนดให้ สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นขององค์ประกอบแบบไอโซทรอปิก กระจายในระนาบแนวแกน z กับจุดกำเนิดของสายอากาศและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบมีระยะที่ไม่เท่ากัน เมื่อจำนวนขององค์ประกอบมีค่าเท่ากับ 10 องค์ประกอบ ตัวประกอบแถวลำดับ [48] สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$AF = \sum_{n=0}^{N-1} I_n e^{jnk d_n \cos \theta} \quad (5.1)$$

5.3.2 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง

สำหรับปัญหาของการออกแบบสายอากาศ คุณลักษณะของสายอากาศที่มีความสำคัญ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นตัวกำหนดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ได้แก่ ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มีค่ามากที่สุด ค่าอัตราขยายที่สูง ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างที่ต่ำ และการกำหนดคุณลักษณะของสายอากาศให้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

ปัญหาการออกแบบแรกสำหรับการศึกษาลงถึงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับการแก้ไขปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น จะเป็นการพิจารณาโครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นแบบด้านข้างร่วมกับกับค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มีค่ามากที่สุด

ดังนั้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการออกแบบสายอากาศสามารถเขียนได้ดังสมการ [49]

$$Directivity(D_0) = \frac{2 |AF(\theta_{\max} = 90^\circ)|^2}{\int_0^\pi |AF(\theta)|^2 \sin \theta d\theta} \quad (5.2)$$

5.4 ผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงเลขของการออกแบบสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น

เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง สายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น จำนวน 10 องค์ประกอบกับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ขนาดของกระแสน้ำและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ ที่มีผลทำให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่ามากที่สุดจะถูกพิจารณา สำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ การลู่ออกของค่าตอบของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น ระยะเวลาในการคำนวณ และคุณลักษณะอื่นๆ ที่มีความสำคัญของสายอากาศ จะถูกนำเสนอในหัวข้อถัดไป

5.4.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการคำนวณ

สำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการคำนวณร่วมกับการออกแบบสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม สามารถทำการกำหนดได้ดังนี้

ขนาดของกลุ่มประชากร (NP) มีค่าเท่ากับ 20

จำนวนรอบของการทำซ้ำ (T) มีค่าเท่ากับ 500

ขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ $[-30,30]$

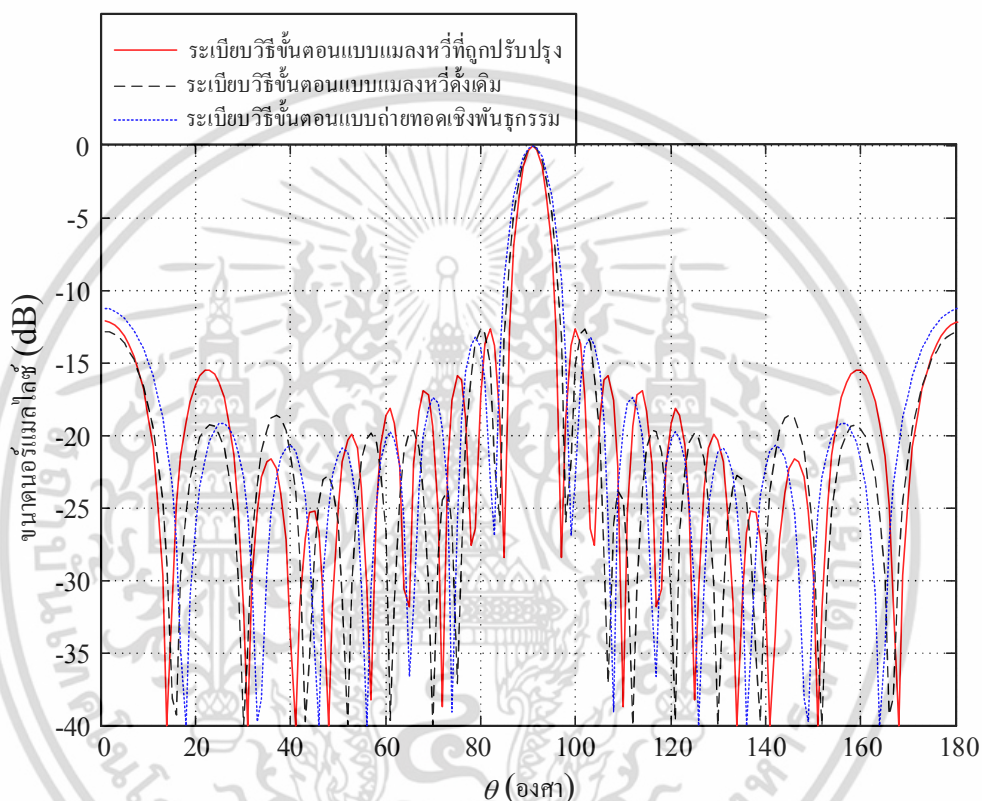
ขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่กลุ่มแรก และ กลุ่มที่ 2 มีค่าเท่ากับ $[-30,30]$ และ $[-10,10]$

โดยทำการทดสอบซ้ำเป็นจำนวน 50 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 ผลการคำนวณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

สำหรับผลลัพธ์ของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2



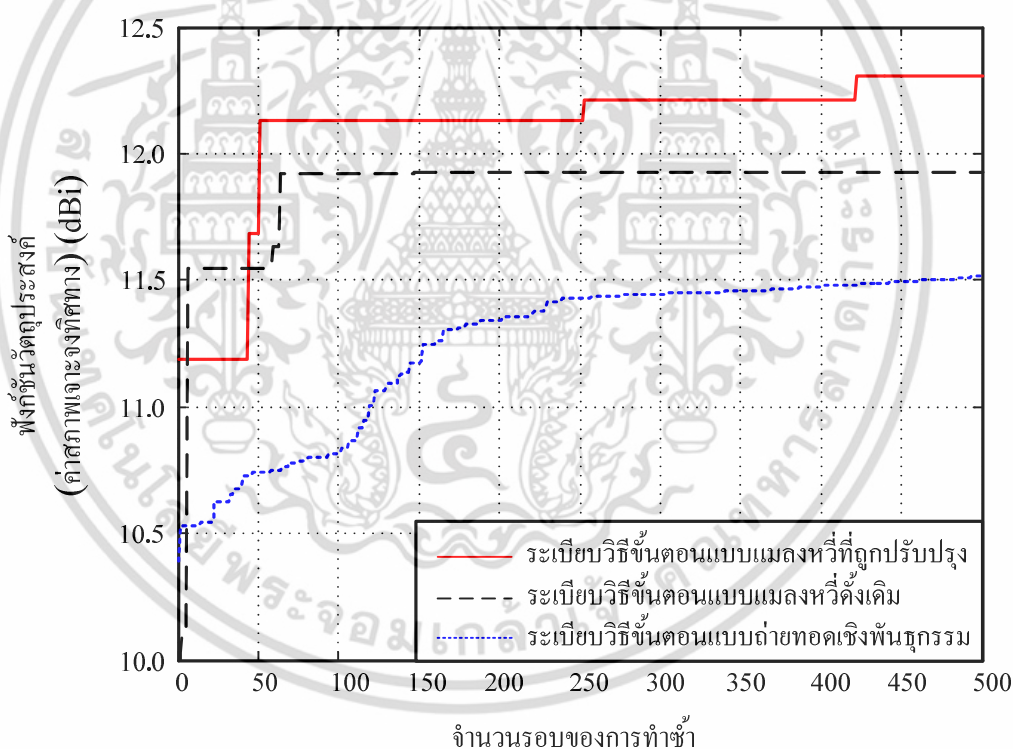
รูปที่ 5.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 10 องค์ประกอบ ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

รูปที่ 5.2 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่า ความกว้างลำคลื่นจากการคำนวณด้วยวิธีการทั้งสาม มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อทำการเปรียบเทียบความกว้างลำคลื่นของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะมีค่าน้อยกว่าการคำนวณที่ได้จากระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม ตามลำดับ จากคุณลักษณะของสายอากาศที่มีความสำคัญและเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการออกแบบ คือ ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์

กับความกว้างลำคลื่น กล่าวคือ ความกว้างลำคลื่นที่แคบจะมีผลทำให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่ามาก ซึ่งจากรูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่า ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง มีค่ามากกว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมตามลำดับ

5.4.3 ผลการคำนวณการลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น

สำหรับผลลัพธ์ของการลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 การลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 10 องค์ประกอบ ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

จากรูปที่ 5.3 แสดงการรู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าการรู่เข้าของคำตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง มีค่าที่แม่นยำกว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม กล่าวคือ การรู่เข้าของคำตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะเกิดการรู่เข้าตั้งแต่รอบการทำงานที่ 1 ถึง 40 จากนั้นการรู่เข้าของคำตอบจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการรู่เข้าของคำตอบที่เหมาะสม ซึ่งค่าสภาพเจาะงทศทาง ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง มีค่าเท่ากับ 12.3032 dBi และใช้ระยะเวลาในการคำนวณ เท่ากับ 7.0836 วินาที

สำหรับการรู่เข้าของคำตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะเกิดการรู่เข้าตั้งแต่รอบการทำงานที่ 10 ถึง 60 จากนั้นการรู่เข้าของคำตอบจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นและเกิดการรู่เข้าของคำตอบอีกครั้ง ตั้งแต่รอบการทำงานที่ 70 จนกระทั่งครบจำนวนรอบของการทำซ้ำ ซึ่งค่าสภาพเจาะงทศทางที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม มีค่าเท่ากับ 11.8267 dBi และใช้ระยะเวลาในการคำนวณ เท่ากับ 10.5442 วินาที

สำหรับการรู่เข้าของคำตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม การรู่เข้าของคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการดังกล่าว มีแนวโน้มในการรู่เข้าของคำตอบที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งครบจำนวนรอบของการทำซ้ำ ซึ่งค่าสภาพเจาะงทศทางที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม มีค่าเท่ากับ 11.5145 dBi และใช้ระยะเวลาในการคำนวณ เท่ากับ 13.8794 วินาที

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นแบบด้านข้าง จำนวน 10 องค์ประกอบ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะงทศทางมากที่สุด ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์และคุณลักษณะของสายอากาศที่เหมาะสมของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น จำนวน 10 องค์ประกอบ โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

พารามิเตอร์	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม
l_1, d_1	0.8842, 0.9291 λ	0.8669, 0.8981 λ	0.0161, 0.7892 λ
l_2, d_2	0.9304, 0.8960 λ	0.9098, 0.8813 λ	0.0169, 0.7293 λ
l_3, d_3	0.9351, 0.8878 λ	0.9096, 0.8707 λ	0.0175, 0.7344 λ

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) พารามิเตอร์และคุณลักษณะของสายอากาศที่เหมาะสมของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น จำนวน 10 องค์ประกอบ โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

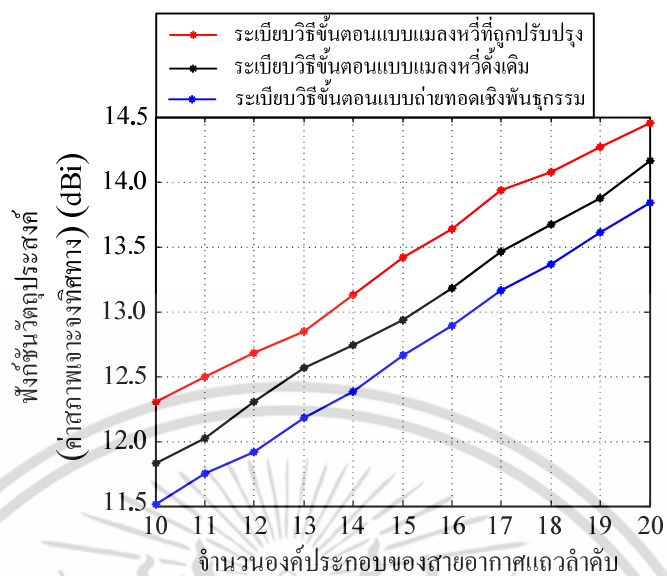
พารามิเตอร์	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม
l_4, d_4	0.8837, 0.9319 λ	0.8978, 0.9122 λ	0.0145, 0.9518 λ
l_5, d_5	0.9356, 0.9058 λ	0.9087, 0.8939 λ	0.0169, 0.5638 λ
HPBW (deg)	5.44	6.44	7.30
D_0 (dBi)	12.3032	11.8267	11.5145
ค่าเฉลี่ย	12.2510	11.7337	11.4392
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0809	0.1171	0.1307
เวลา (วินาที)	7.0836	10.5442	13.8794

เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่มีความแม่นยำ และรวดเร็วในการค้นหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง การทดสอบสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะทำการทดสอบร่วมกับปัญหาการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุด เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นมีค่ามากขึ้น โดยจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับจะมีค่าตั้งแต่ 11 จำนวนองค์ประกอบ จนกระทั่งถึง 20 จำนวนองค์ประกอบ โดยผลที่ได้จากการคำนวณจะถูกทำการพิจารณาเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

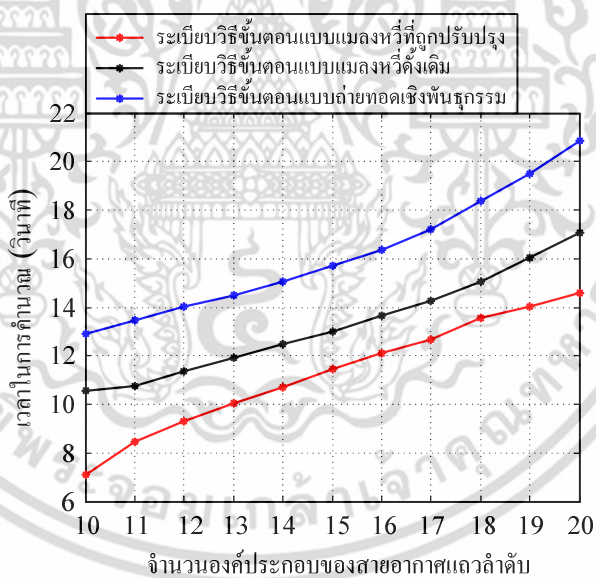
5.4.4 ผลการคำนวณค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดและเวลาในการคำนวณ เมื่อทำการเพิ่มจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น

สำหรับผลการคำนวณค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดและเวลาในการคำนวณ เมื่อทำการเพิ่มจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

รูปที่ 5.4 (ก) แสดงค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเพิ่มขึ้น ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่า



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.4 (ก) ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง และ (ข) ระยะเวลาในการคำนวณ เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเพิ่มขึ้น ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเพิ่มขึ้น ค่าสภาพเจาะจงทิศทางการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง มีค่ามากกว่าค่าสภาพเจาะจงทิศทางการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมตามลำดับ โดยระยะเวลาในการคำนวณ เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเพิ่มขึ้น จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.4 (ข) ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม ตามลำดับ

ผลการคำนวณเชิงเลขสำหรับการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นแบบด้านข้าง เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุด เมื่อทำการเพิ่มจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุด เมื่อทำการเพิ่มจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

จำนวนองค์ประกอบ	พารามิเตอร์	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม
10	D_0 (dBi)	12.3032	11.8267	11.5145
	ค่าเฉลี่ย	12.2510	11.7337	11.4392
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0809	0.1171	0.1307
	เวลา (วินาที)	7.0836	10.5442	13.8790
11	D_0 (dBi)	12.4939	12.0250	11.7493
	ค่าเฉลี่ย	12.4509	11.9425	11.6571
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0850	0.1027	0.1098
	เวลา (วินาที)	8.4407	10.7540	14.0684
12	D_0 (dBi)	12.6794	12.3063	11.9162
	ค่าเฉลี่ย	12.6224	12.2768	11.8002
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0843	0.1010	0.1136
	เวลา (วินาที)	9.2822	11.3407	14.3337
13	D_0 (dBi)	12.8439	12.5689	12.1833
	ค่าเฉลี่ย	12.7606	12.4793	12.1150
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0756	0.1042	0.1080
	เวลา (วินาที)	10.0684	11.9220	15.5054

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 (ต่อ) ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุด เมื่อทำการเพิ่มจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศ แถวลำดับ โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

จำนวน องค์ประกอบ	พารามิเตอร์	ระเบียบวิธีขั้นตอน แบบแมลงหวี่ที่ถูก ปรับปรุง	ระเบียบวิธีขั้นตอน แบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	ระเบียบวิธีขั้นตอน แบบถ่ายทอด เชิงพันธุกรรม
14	D_0 (dBi)	13.1291	12.7384	12.3797
	ค่าเฉลี่ย	13.0622	12.6640	12.3010
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0795	0.1089	0.1107
	เวลา (วินาที)	10.7082	12.4687	16.9684
15	D_0 (dBi)	13.4187	12.9383	12.6582
	ค่าเฉลี่ย	13.3615	12.8386	12.5631
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0837	0.1017	0.1150
	เวลา (วินาที)	11.4501	12.9982	17.7282
16	D_0 (dBi)	13.6355	13.1774	12.8891
	ค่าเฉลี่ย	13.5842	13.1041	12.7927
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0749	0.1022	0.1121
	เวลา (วินาที)	12.1189	14.4635	20.3501
17	D_0 (dBi)	13.9330	13.4005	13.1643
	ค่าเฉลี่ย	13.8506	13.3845	13.1053
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0855	0.1024	0.1080
	เวลา (วินาที)	14.6654	15.9456	21.1998
18	D_0 (dBi)	14.1764	13.6722	13.3681
	ค่าเฉลี่ย	14.1158	13.6277	13.2600
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0778	0.1013	0.1134
	เวลา (วินาที)	15.5643	17.8360	22.8822
19	D_0 (dBi)	14.2675	13.8726	13.6128
	ค่าเฉลี่ย	14.2055	13.8027	13.5189
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0877	0.1061	0.1162
	เวลา (วินาที)	17.1305	18.4916	23.4964
20	D_0 (dBi)	14.4554	14.1596	13.8350
	ค่าเฉลี่ย	14.3889	14.0615	13.7598
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0863	0.1075	0.1218
	เวลา (วินาที)	18.5656	20.0915	25.9668

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น

ในหัวข้อนี้จะทำการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุด โดยจะทำการปรับพารามิเตอร์แอมพลิจูดของสายอากาศแถวลำดับ สำหรับปัญหาการออกแบบที่ถูกพิจารณานั้น จะทำการออกแบบโครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ที่มีจำนวนองค์ประกอบเท่ากับ 16 องค์ประกอบ จากนั้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง การออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุด จะทำการพิจารณาเมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น มีค่าเท่ากับ 30 องค์ประกอบ

5.5.1. การพิจารณาตัวประกอบแถวลำดับเชิงเส้น

กำหนดให้ สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นขององค์ประกอบแบบไอโซทรอปิก กระจายอย่างสมมาตรกับจุดกึ่งกลางของสายอากาศและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบมีระยะที่เท่ากัน เมื่อจำนวนขององค์ประกอบเป็นจำนวนคู่ ตัวประกอบแถวลำดับ [49] สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$AF_{2N}(\theta) = \sum_{n=1}^N I_n \cos \left[(2n-1) \frac{\pi d}{\lambda} \cos \theta \right] \quad (5.3)$$

5.5.2 ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้าง

สำหรับปัญหาของการออกแบบสายอากาศในหัวข้อดังกล่าวนี้ จะเป็นการสังเคราะห์แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม โดยจะเป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ขนาด เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุด โดยผลที่ได้จากการคำนวณดังกล่าวนี้มีประโยชน์มากในการประยุกต์ใช้กับงาน เรดาร์ ดาราศาสตร์วิทยุ และระบบที่ต้องการระดับสัญญาณรบกวนต่ำ

ดังนั้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการออกแบบสายอากาศ [50] สามารถเขียนได้ดังสมการ

จาก

$$SLL_{dB} = 20 \log \frac{\max |AF(\theta)|}{|AF(\theta_{\max} = 90^\circ)|} \quad (5.4)$$

ดังนั้น

$$\text{Minimum sidelobe level} = \begin{cases} \frac{SLL_{obtained} + SLL_{desired}}{SLL_{desired}} & \text{if } SLL_{obtained} > SLL_{desired} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5.5)$$

เมื่อ $SLL_{obtained}$ คือ ระดับลาคลื่นย่อยด้านข้างที่ได้จากการคำนวณ

$SLL_{desired}$ คือ ระดับลาคลื่นย่อยด้านข้างที่ถูกกำหนด

5.6 ผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงเลขของการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลาคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น

เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น จำนวน 16 และ 30 องค์ประกอบกับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ขนาดของกระแส ที่มีผลทำให้ระดับลาคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุดจะถูกพิจารณา โดยปัญหาสำหรับการออกแบบนั้น จะทำการกำหนดระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ ให้มีค่าเท่ากับ $\lambda/2$ และ จะทำการกำหนดระดับลาคลื่นย่อยด้านข้างที่ถูกกำหนด ($SLL_{desired}$) ให้มีค่าเท่ากับ -25 dB และ -35 dB สำหรับปัญหาการออกแบบสายอากาศเมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 16 และ 30 องค์ประกอบ ตามลำดับ สำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ การลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ระยะเวลาในการคำนวณ และคุณลักษณะอื่นๆ ที่มีความสำคัญของสายอากาศ จะถูกนำเสนอในหัวข้อถัดไป

5.6.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการคำนวณ

สำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการคำนวณร่วมกับการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม สามารถทำการกำหนดได้ดังนี้

ขนาดของกลุ่มประชากร (NP) มีค่าเท่ากับ 30

จำนวนรอบของการทำซ้ำ (T) มีค่าเท่ากับ 500

ขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ $[-30,30]$

ขอบเขตการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่กลุ่มแรก และ กลุ่มที่ 2 มีค่าเท่ากับ $[-30,30]$ และ $[-10,10]$

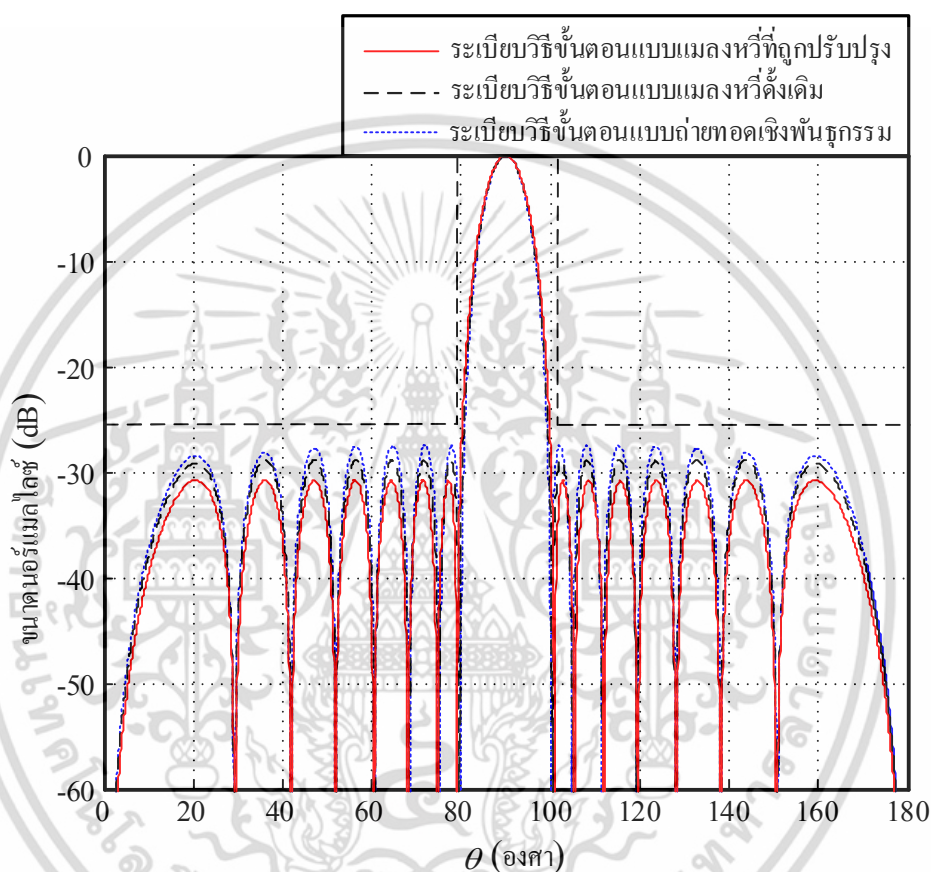
โดยทำการทดสอบซ้ำเป็นจำนวน 50 ครั้ง

5.6.2 ผลการคำนวณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ มีจำนวนเท่ากับ 16 องค์ประกอบ

สำหรับผลลัพธ์ของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุด สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.5

รูปที่ 5.5 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่า ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างจากการคำนวณด้วยวิธีการทั้งสาม มีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างสูงสุดที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะมีค่าที่น้อยกว่าจากระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างร่วมกับเงื่อนไขสำหรับการออกแบบ โดยจะทำการออกแบบให้มีค่าที่น้อยกว่า -25 dB จากรูปสามารถสังเกตเห็นได้ว่า ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างสูงสุดที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะมีค่าที่ต่ำกว่าเงื่อนไขสำหรับการออกแบบประมาณ 5 dB สำหรับระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างสูงสุดที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมและระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมจะมีค่าที่ต่ำกว่าเงื่อนไขสำหรับการออกแบบประมาณ 3 dB และ 2 dB ตามลำดับ

สำหรับการพิจารณาความกว้างลำคลื่นที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการทั้งสาม จากรูปสามารถสังเกตได้ว่า ความกว้างลำคลื่นมีความแตกต่างกันเล็กน้อย กล่าวคือ ความกว้างลำคลื่นที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมจะมีค่าน้อยกว่า ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ตามลำดับ



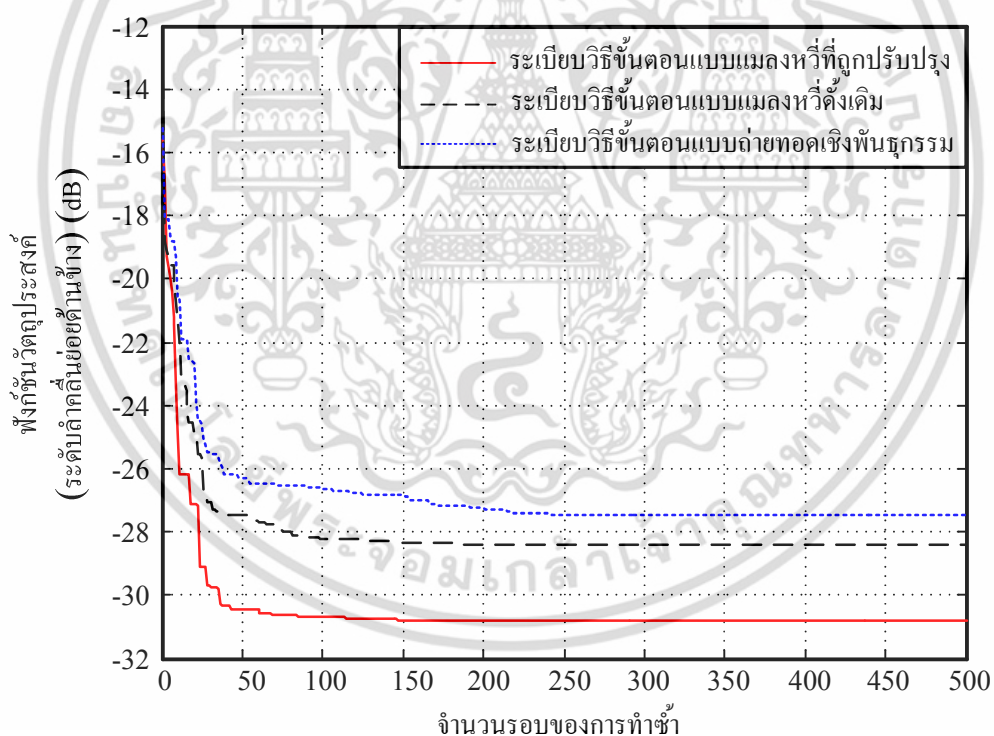
รูปที่ 5.5 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 16 องค์ประกอบ ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

5.6.3 ผลการคำนวณการสูญเสียของคำตอบของสายอากาศแถวลำดับ เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ มีจำนวนเท่ากับ 16 องค์ประกอบ

สำหรับผลลัพธ์ของการสูญเสียของคำตอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.6

จากรูปที่ 5.6 แสดงการรู่เข้าของค่าตอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าการรู่เข้าของค่าตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง มีค่าที่แม่นยำกว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม กล่าวคือ การรู่เข้าของค่าตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะเกิดการรู่เข้าตั้งแต่รอบการทำงานที่ 150 จนกระทั่งครบจำนวนรอบของการทำซ้ำ ซึ่งระดับค่าคลี่น้อยย่อด้านข้างที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง มีค่าเท่ากับ -30.8029 dB และใช้ระยะเวลาในการคำนวณ เท่ากับ 334.2822 วินาที

สำหรับการรู่เข้าของค่าตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะเกิดการรู่เข้าตั้งแต่รอบการทำงานที่ 180 จนกระทั่งครบจำนวนรอบของการทำซ้ำ ซึ่งระดับค่าคลี่น้อยย่อด้านข้างที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม มีค่าเท่ากับ -28.3889 dB และใช้ระยะเวลาในการคำนวณ เท่ากับ 386.3110 วินาที



รูปที่ 5.6 การรู่เข้าของค่าตอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 16 องค์ประกอบ ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

สำหรับการรู่เข้าของคำตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม การรู่เข้าของคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการดังกล่าว มีแนวโน้มในการรู่เข้าของคำตอบที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งครบจำนวนรอบของการทำซ้ำ ซึ่งระดับค่าคลี่นย่อยด้านข้างที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม มีค่าเท่ากับ -27.4970 dB และใช้ระยะเวลาในการคำนวณ เท่ากับ 427.4589 วินาที

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบสายอากาศแกลลด์บับเชิงเส้นแบบด้านข้าง จำนวน 16 องค์ประกอบ เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับค่าคลี่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุด ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.3

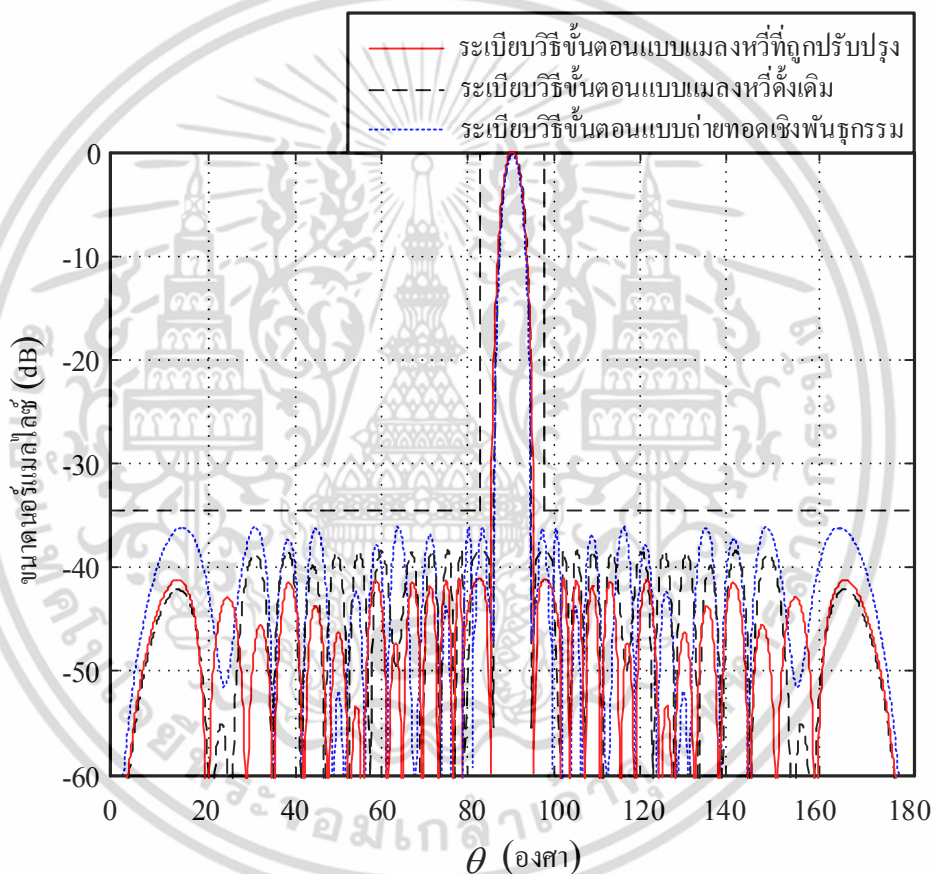
ตารางที่ 5.3 พารามิเตอร์และคุณลักษณะของสายอากาศที่เหมาะสมของสายอากาศแกลลด์บับเชิงเส้น จำนวน 16 องค์ประกอบ โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

พารามิเตอร์	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม
I_1	0.9690	0.8907	0.7939
I_2	0.9216	0.8500	0.7605
I_3	0.8328	0.7751	0.6951
I_4	0.7125	0.6689	0.6060
I_5	0.5738	0.5498	0.5028
I_6	0.4304	0.4194	0.3866
I_7	0.2956	0.3001	0.2900
I_8	0.2600	0.2900	0.2900
HPBW (deg)	8.06	7.84	7.70
SLL (dB)	-30.8029	-28.3889	-27.4970
ค่าเฉลี่ย	-30.7612	-28.3416	-27.3432
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0911	0.1313	0.1562
เวลา (วินาที)	334.2822	386.3110	427.4589

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.4 ผลการคำนวณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ มีจำนวนเท่ากับ 30 องค์ประกอบ

สำหรับผลลัพธ์ของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุด สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 30 องค์ประกอบ ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

รูปที่ 5.7 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่า ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างจากการคำนวณด้วยวิธีการทั้งสาม มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ ระดับ

ลาค์น้อยด้านข้างสูงสุดที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะมีค่าน้อยกว่าจากระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาระดับลาค์น้อยด้านข้างร่วมกับเงื่อนไขสำหรับการออกแบบ โดยจะทำการออกแบบให้มีค่าน้อยกว่า -35 dB จากรูปสามารถสังเกตได้ว่า ระดับลาค์น้อยด้านข้างสูงสุดที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะมีค่าที่ต่ำกว่าเงื่อนไขสำหรับการออกแบบประมาณ 6 dB สำหรับระดับลาค์น้อยด้านข้างสูงสุดที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิมและระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมจะมีค่าที่ต่ำกว่าเงื่อนไขสำหรับการออกแบบประมาณ 3 dB และ 1 dB ตามลำดับ

สำหรับการพิจารณาความกว้างลาค์น้อยที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการทั้งสาม จากรูปสามารถสังเกตได้ว่า ความกว้างลาค์น้อยมีความแตกต่างกันเล็กน้อย กล่าวคือ ความกว้างลาค์น้อยที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมจะมีค่าน้อยกว่า ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ตามลำดับ

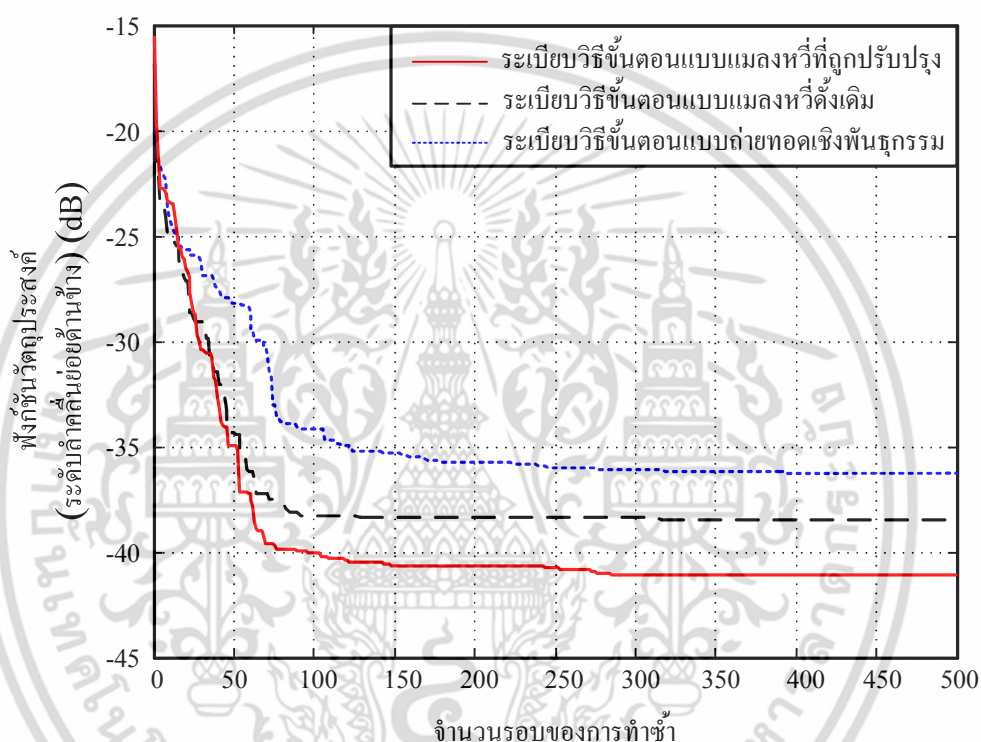
5.6.5 ผลการคำนวณการลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลาค์ เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแถวลาค์ มีจำนวนเท่ากับ 30 องค์ประกอบ

สำหรับผลลัพธ์ของการลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลาค์เชิงเส้น ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.8

จากรูปที่ 5.8 แสดงการลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแถวลาค์เชิงเส้น ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าการลู่เข้าของคำตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง มีค่าที่แม่นยำกว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม กล่าวคือ การลู่เข้าของคำตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง จะเกิดการลู่เข้าตั้งแต่รอบการทำงานที่ 150 ถึง 240 จากนั้นการลู่เข้าของคำตอบจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการลู่เข้าของคำตอบที่เหมาะสม ซึ่งระดับลาค์น้อยด้านข้าง ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง มีค่าเท่ากับ -41.0939 dB และใช้ระยะเวลาในการคำนวณ เท่ากับ 995.3211 วินาที

สำหรับการลู่เข้าของคำตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม จะเกิดการลู่เข้าตั้งแต่รอบการทำงานที่ 320 จนกระทั่งครบจำนวนรอบของการทำซ้ำ ซึ่งระดับลาค์น้อยด้านข้างที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม มีค่าเท่ากับ -38.3937 dB และใช้ระยะเวลาในการคำนวณ เท่ากับ 1047.5358 วินาที

สำหรับการรู่เข้าของค่าตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม การรู่เข้าของค่าตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการดังกล่าว มีแนวโน้มในการรู่เข้าของค่าตอบที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งครบจำนวนรอบของการทำซ้ำ ซึ่งระดับค่าคลิ่นย้อยด้านข้างที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม มีค่าเท่ากับ -36.2590 dB และใช้ระยะเวลาในการคำนวณ เท่ากับ 1138.5310 วินาที



รูปที่ 5.8 การรู่เข้าของค่าตอบของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 30 องค์ประกอบ ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นแบบด้านข้าง จำนวน 30 องค์ประกอบ เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับค่าคลิ่นย้อยด้านข้างต่ำที่สุด ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 พารามิเตอร์และคุณลักษณะของสายอากาศที่เหมาะสมของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น จำนวน 30 องค์ประกอบ โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

พารามิเตอร์	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม	ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม
l_1, l_2	0.6285, 0.6572	0.3688, 0.3531	0.3811, 0.4212
l_3, l_4	0.6759, 0.6962	0.3838, 0.3899	0.4817, 0.5212
l_5, l_6	0.7135, 0.7275	0.4359, 0.4440	0.5868, 0.6262
l_7, l_8	0.7185, 0.6676	0.4641, 0.4131	0.6822, 0.6650
l_9, l_{10}	0.6166, 0.5325	0.4036, 0.3658	0.6158, 0.5453
l_{11}, l_{12}	0.4339, 0.3366	0.2966, 0.2387	0.4684, 0.3908
l_{13}, l_{14}	0.2518, 0.1532	0.1705, 0.1117	0.2619, 0.1764
l_5	0.1089	0.0900	0.1256
HPBW (deg)	4.1740	4.0010	3.8360
SLL (dB)	-41.0939	-38.3937	-36.2590
ค่าเฉลี่ย	-40.9968	-38.2863	-36.0861
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0941	0.1380	0.1570
เวลา (วินาที)	995.3211	1047.5358	1138.5310

5.7 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงร่วมกับปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยวิธีการดังกล่าวจะถูกนำเสนอสำหรับการออกแบบสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ การศึกษาในบทดังกล่าวนี้ จะทำการศึกษาใน 2 ปัญหาการออกแบบ กล่าวคือ ปัญหาการออกแบบแรกจะเป็นการออกแบบสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น โดยการปรับพารามิเตอร์แอมพลิจูดและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแกลวลำดับ และ ปัญหาการออกแบบที่สอง คือ การออกแบบสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุดของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้น โดยการปรับพารามิเตอร์แอมพลิจูดของสายอากาศแกลวลำดับ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ผลลัพธ์จากการคำนวณเชิงเลขที่มีความเหมาะสมของคุณลักษณะของสายอากาศจะถูกนำมาพิจารณา ร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม จากผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงเลขของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง ที่ทำการประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการออกแบบสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ สามารถกล่าวได้ว่า วิธีการที่

นำเสนอมีความสามารถในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการอื่นๆ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จาก ค่าเฉลี่ยของคำตอบ ส่วนเบี่ยงมาตรฐานของคำตอบ และ ประสิทธิภาพการรู้เข้าของคำตอบ ในแต่ละปัญหาการออกแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเทคนิคการโปรแกรมเชิงเคลื่อนที่แบบกลุ่มรูปแบบใหม่ สำหรับการประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นั่นคือ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง โดยวิธีการดังกล่าว มีพื้นฐานมาจากพฤติกรรมในการค้นหาอาหารของแมลงหิว จากข้อจำกัดบางประการของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม การปรับปรุงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน คือ สิ่งที่สำคัญสำหรับการพิจารณา โดยกระบวนการที่สำคัญสำหรับการปรับปรุงกระบวนการค้นหาคำตอบของวิธีการดังกล่าว นั้น จะประกอบไปด้วย กระบวนการค้นหาที่ครอบคลุมพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ กระบวนการเพิ่มความถูกต้องสำหรับการค้นหาคำตอบ และ กระบวนการเพิ่มความเร็วสำหรับการค้นหาคำตอบ เพื่อที่จะศึกษาถึงประสิทธิภาพของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง การประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาทางไฟฟ้าขนาดใหญ่ของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระและปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันเชิงพื้นผิว จะถูกทำการพิจารณาและเปรียบเทียบกับผลลัพธ์การคำนวณเชิงเลขของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม

6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

สำหรับบทแรก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อธิบายถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย รวมทั้งวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาและปรับปรุงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาที่มีความหลากหลาย และซับซ้อน กับการได้มาซึ่งคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด สำหรับในบทที่ 2 นั้น จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีขั้นพื้นฐานของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้งานร่วมกับปัญหาการออกแบบสายอากาศ จากนั้นจะทำการกล่าวถึงทฤษฎีบทของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นและทฤษฎีบทความน่าจะเป็น ซึ่งทฤษฎีดังกล่าวถือเป็นทฤษฎีพื้นฐานที่มีความสำคัญ สำหรับทำการวิเคราะห์และทำการออกแบบกระบวนการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุงร่วมกับปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ

วิธีการหาค่าคำตอบที่เกี่ยวข้องกับวิธีการแบบเมตาฮิวริสติก ซึ่งยังไม่เป็นที่นิยมกับการนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นั่นคือ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบแมลงหิวดั้งเดิม จะถูกนำเสนอในบทที่ 3 โดยในบทดังกล่าว จะเป็นการกล่าวถึงแนวคิดพื้นฐาน และหลักการทำงานโดยละเอียดสำหรับการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม เพื่อให้เกิดความรู้และความเข้าใจที่เพิ่มมากขึ้น การศึกษาในเชิงลึกเพื่อให้ทราบถึงข้อดีและข้อบกพร่องของวิธีการดังกล่าว คือ สิ่งที่สำคัญสำหรับการพิจารณา ซึ่งจากการศึกษาพบว่า สิ่งที่มีผลกระทบมากที่สุดต่อกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวดั้งเดิม คือ กระบวนการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการสุ่มทิศทางของแมลงหวี่ และ การคำนวณค่าความหนาแน่นของกลิ่นสำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม กระบวนการสำหรับการปรับปรุงสมรรถนะของวิธีการดังกล่าว คือ สิ่งที่ถูกนำเสนอ โดยกระบวนการที่สำคัญนั้นจะประกอบไปด้วย

กระบวนการค้นหาที่ครอบคลุมพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ ซึ่งสามารถทำได้โดยการจับกลุ่มย่อยให้กับอนุภาค ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะส่งผลให้อนุภาคในแต่ละกลุ่มย่อย เกิดกลไกในการแบ่งพื้นที่สำหรับการค้นหาที่ครอบคลุมพื้นที่ของการค้นหาคำตอบทั้งหมดและได้มาซึ่งคำตอบที่มีความเหมาะสมเริ่มต้นให้กับขั้นตอนถัดไปของการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่

กระบวนการเพิ่มความถูกต้องสำหรับการค้นหาคำตอบ โดยกระบวนการดังกล่าวนี้ จะเป็นการปรับปรุงสมรรถนะของฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นของกลิ่นของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ ซึ่งสามารถทำได้ โดยการเพิ่มฟังก์ชันเครื่องหมาย (sign function) ลงไปในฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นของกลิ่น ซึ่งมีผลทำให้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม สามารถที่จะหาค่าคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มลบได้

กระบวนการเพิ่มความเร็วสำหรับการค้นหาคำตอบ เนื่องจากว่ากระบวนการค้นหาที่ครอบคลุมพื้นที่สำหรับการค้นหาคำตอบนั้น มีผลทำให้เกิดความแม่นยำของการได้มาซึ่งคำตอบแบบวงกว้าง แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดกระบวนการค้นหาคำตอบที่ใช้ระยะเวลาในการคำนวณที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับการปรับปรุงสมรรถนะของวิธีการที่มีประสิทธิภาพกับการนำไปใช้งานในปัจจุบัน การปรับตัวได้ของกลุ่มประชากร คือ สิ่งที่ถูกนำเสนอ

เพื่อที่จะศึกษาถึงประสิทธิภาพของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง การประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันเชิงพื้นผิวและปัญหาทางไฟฟ้าขนาดใหญ่ของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ จะถูกกล่าวถึงในบทที่ 4 และ บทที่ 5 ตามลำดับ สำหรับการประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันเชิงพื้นผิวนั้น ฟังก์ชันที่ทำการพิจารณาจะประกอบด้วย f_{F1} f_{F3} f_{BR} f_{RF} f_{SF} และ f_{SHF} ตามลำดับ จากผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงเลขของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุง เมื่อทำการเปรียบเทียบกับ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม สามารถกล่าวได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถค้นหาคำตอบแบบวงกว้าง และใช้ระยะเวลาในการคำนวณ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการอื่นๆ สำหรับการประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระนั้น ปัญหาการออกแบบจะแบ่งออกเป็น 2 ปัญหา กล่าวคือ ปัญหาการออกแบบแรกจะเป็นการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะงทศทางมากที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น โดยการปรับพารามิเตอร์แอมพลิจูดและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ จากผลการคำนวณเชิงเลขแสดงให้เห็นว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงมีค่าน้อยกว่า ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ดั้งเดิม และ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม โดยมีค่าเท่ากับ 5.44 6.44 และ 7.30 องศา ตามลำดับ และ ปัญหาการออกแบบที่สอง คือ การออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น

โดยการปรับพารามิเตอร์แอมพลิจูดของสายอากาศแกลวลำดับ จากผลการคำนวณเชิงเลขพบว่าระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างของวิธีการที่นำเสนอ มีค่าต่ำกว่าวิธีการอื่นๆ กล่าวคือ เมื่อทำการกำหนดให้จำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแกลวลำดับมีค่าเท่ากับ 16 องค์ประกอบ ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้าง จะมีค่าเท่ากับ -30.8029 -28.3889 และ -27.4970 เดซิเบล ตามลำดับ และ เมื่อทำการกำหนดให้จำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแกลวลำดับมีค่าเท่ากับ 30 องค์ประกอบ ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้าง จะมีค่าเท่ากับ -41.0939 -38.3937 และ -36.0861 เดซิเบล ตามลำดับ ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า วิธีการที่นำเสนอมีความสามารถในการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการอื่นๆ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จาก ค่าเฉลี่ยของคำตอบ ส่วนเบี่ยงมาตรฐานของคำตอบ และ ประสิทธิภาพการลู่เข้าของคำตอบ ในแต่ละปัญหาการออกแบบ

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงเลขของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง เมื่อมีการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันเชิงพื้นผิวและปัญหาการออกแบบสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ จะพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถนำไปใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพพร้อมกับการแก้ไขปัญหา แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการพิจารณาผลลัพธ์ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุงร่วมกับการแก้ไขปัญหาของฟังก์ชัน f_{ShF} พบว่า เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการหาค่าคำตอบของฟังก์ชัน มีค่าไม่เท่ากับ 100% และเมื่อทำการพิจารณาผลลัพธ์ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง ร่วมกับปัญหาการออกแบบสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ พบว่า เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเพิ่มสูงขึ้น การคำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอ จะมีผลในเรื่องของระยะเวลาในการคำนวณ ดังนั้นเพื่อทำการปรับปรุงสมรรถนะของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญสำหรับการพิจารณา โดยวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดข้อบกพร่องของปัญหาที่เกิดขึ้น คือ การพิจารณารูปแบบการคำนวณของฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน ซึ่งฟังก์ชันดังกล่าว ถือเป็นกระบวนการที่สำคัญในการหาค่าคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุง และอีกวิธีการหนึ่งที่มีความน่าสนใจกับการนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับกระบวนการปรับปรุงของวิธีการที่นำเสนอ คือ ปัญญาเชิงคำนวณแบบผสม (Hybrid Computational Intelligence) ซึ่งวิธีการดังกล่าวถือเป็นการนำเอาส่วนที่ดีที่สุดของวิธีการคำนวณแบบเมตาฮิวริสติกในแต่ละประเภท มารวมกัน เพื่อเสริมการทำงานของการค้นหาคำตอบให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นและถือเป็นแนวทางที่สำคัญสำหรับการพัฒนาต่อยอดเพื่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุงกับการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับการแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อนในหลายสาขาวิชา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Panduro M. A., Covarubias D. H., Brizuela C. A. and Marante F. R. "A multi-objective approach in the linear antenna array design," **AEÜ. Int. J. Electron. Common**, vol. 59, pp. 205-212, Jun. 2005.
- [2] Rao S. S. **Engineering optimization**. 3rd ED. New York : John Wiley and Son. 1996.
- [3] Peters T. J. "A conjugate gradient-based algorithm to minimize the sidelobe level of planar array with element failures," **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, vol. 45, pp. 1497-1504, Oct. 1991.
- [4] Phongcharoenpanich C. and Krairiksh M. "The Discrete Array Pattern Synthesis which Provides the Tapered Minor Lobes," **Thammasat Int. J. Sc. Tech.**, vol. 3, pp. 80-87, Jul. 1998.
- [5] Lertwiriyaprapa T., Phongcharoenpanich C., Kosulvit S. and Krairiksh M. "Radiation Properties of the Array Pattern Synthesis Using Hermite Polynomial," **The Journal of KMITNB.**, vol. 11, pp. 1-8, Sep. 2001.
- [6] Ares-Pena F. J., Rodriguez-Gonzalez J. A., Villanueva-Lopez E. and Rengarajan S. R. "Genetic algorithms in the design and optimization of antenna array patterns," **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, vol. 47, pp. 506-510, Mar. 1999.
- [7] Li W. T., Shi X. W. and Hei Y. Q. "An improved particle swarm optimization algorithm for pattern synthesis of phase arrays," **Progress in Electromagnetics Research**, vol. 82, pp. 319-332, 2008.
- [8] Quevedo-Teruel O. and Rajo-Iglesias E. "Ant colony optimization in thinned array synthesis with minimum side lobe level," **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, vol. 5, pp. 349-352, Dec. 2006.
- [9] Abu-Al-Nadi D. I., Ismail T. H., Al-Tous H. and Mismar M. J. "Design of linear phased array for interference suppression using array polynomial method and particle swarm optimization," **Wireless Personal Communications**, vol. 63, pp. 501-513, Mar. 2012.
- [10] Hoorfar A. "Evolutionary programming in electromagnetic optimization: a review," **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, vol. 55, pp. 523-537, Mar. 2007.
- [11] Alijahdali S. H., Ghiduk A. S. and El-Telbany M. "The limitations of genetic algorithms in software testing," **ACS/IEEE international Conference on Computer Systems and Application – AICCSA 2010**, pp. 1-7, May. 2010.
- [12] Marczyk A. "Genetic Algorithms and Evolutionary Computation," [Online]. Available : <http://www.talkorigins.org/faqs/genalg/genalg.html>. Apr. 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] Aote S. S. “A Brief Review on Particle Swarm Optimization: Limitations & Future Directions,” **International Journal of Computer Science Engineering (IJCSE)**, vol. 2, pp. 196-200, Sep. 2013.
- [14] Talukder S. “**Mathematical Modelling and Applications of Particle Swarm Optimization**,” M. S. Thesis of Blekinge Institute of Technology. 2011.
- [15] Pan W.-T. “A new Fruit Fly Optimization Algorithm: Taking the financial distress model as an example,” **Knowledge-Based Systems**, vol. 26, pp. 69-74, Feb. 2012.
- [16] Chen P.-W., Lin W.-Y., Huang T.-H., and Pan W.T. “Using Fruit Fly Optimization Algorithm Optimized Grey Model Neural Network to Perform Satisfaction Analysis for E-Business Service,” **Applied Mathematics & Information Sciences**, vol. 7, pp. 459-465, Jun. 2013.
- [17] Li Q., Cao G.-H., and Shan D. “A Hybrid Intelligent Algorithm for Optimal Birandom Portfolio Selection Problems,” **Mathematical Problems in Engineering**, vol. 2014, pp. 1-6, Jun. 2014.
- [18] Zhang Y. and Fang C. “Combinatorial optimization using FOA and GA in futures market technical analysis,” **2012 12th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)**, pp. 2074-2078, Oct. 2012.
- [19] Li J.-Q., Pan Q.-K., Mao K. and Suganthan P. N. “Solving the steelmaking casting problem using an effective fruit fly optimisation algorithm,” **Knowledge-Based Systems**, vol. 72, pp. 28-36, Dec. 2014.
- [20] Lin S.-M. “Analysis of service satisfaction in web auction logistics service using a combination of fruit fly optimization algorithm and general regression neural network,” **Neural Computing and Applications**, vol. 22, pp. 783-791, Mar. 2013.
- [21] Sheng W. and Bao. Y. “Fruit fly optimization algorithm based fractional order fuzzy-PID controller for electronic throttle,” **Nonlinear Dynamics**, vol. 73, pp. 611-619, Jul. 2013.
- [22] Abidin Z. Z., Arshad M. R., and Ngah U. K. “A simulation based fly optimization algorithm for swarms of mini autonomous surface vehicles application,” **Indian Journal of Marine Sciences**, vol. 40, pp. 250-266, Apr. 2011.
- [23] Dai H., Zhao G., Lu J. and Dai S. “Comment and improvement on a new fruit fly optimization algorithm: taking the financial distress model as an example,” **Knowledge-Based Systems**, vol. 59, pp. 159-160, Mar. 2014.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [24] Xu F. and Tao Y. “The improvement of fruit fly optimization algorithm,” In **Proceedings of the 2nd International Conference on Computer and Information Application (ICCIA 12)**, pp. 1516-1520, 2012.
- [25] Pan W.-T. “Using modified fruit fly optimization algorithm to perform the function test and case studies,” **Connection Science**, vol. 25, pp. 151-160, Nov. 2013.
- [26] Pan Q. K., Sang H. Y., and Duan J. H. “An improved fruit fly optimization algorithm for continuous function optimization problems,” **Knowledge-Based Systems**, vol. 62, pp. 69-83, May. 2014.
- [27] Wu L. “A cloud model based fruit fly optimization algorithm,” **Knowledge-Based Systems**, vol. 89, pp. 603-617, Nov. 2015.
- [28] Apaiah R. and Hendrix E. “**Linear programming for supply chain design: A case on Novel protein foods**,” Ph. D. Thesis of Wageningen University. 2006.
- [29] Bazaraa M. S., Jarvis J. J. and Sherali H. D. “**Linear Programming and Network Flow**,” 4th ED. New York : John Wiley and Sons. 1990.
- [30] Winston W. L. “**Introduction to Mathematical Programming Applications and Algorithms**,” 4th ED. Belmont : CA. Duxbury Press. 2002.
- [31] Panomruttanarug B. “**EEE603 Advanced Mathematics for Electrical Engineering**,” [Online]. Available : <http://www.inc.eng.kmutt.ac/th/~yoodyui/courses/EEE603>. Nov. 2015.
- [32] ศุภกิต แก้วดวงตา “**การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมของสายอากาศแบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ**,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551.
- [33] Phaebua K., Phongcharoenpanich C. and Torrungrueng D. “Design of Planar Rectangular Spiral Antennas for the Wireless Vehicle Battery Charging System,” **Asia Pacific Microwave Conference (APMC 2013)**, pp. 5-8, Nov. 2013.
- [34] Jin N. and Rahmat-Samii Y. “Particle Swarm Optimization for Antenna Designs in Engineering Electromagnetics,” **Journal of Artificial Evolution and Applications**, vol. 2008, pp. 1-10, Dec. 2007.
- [35] Randall M., Lewis A., Galehdar A. and Thiel D. “Using Ant Colony Optimization to Improve the Efficiency of Small Meander Line RFID Antennas,” **IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing**, pp. 345-351, Dec. 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [36] Goudos S., Siakavara K. and Sahalos J. N. “Novel Spiral Antenna Design Using Artificial Bee Colony Optimization for UHF RFID Application,” **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, vol. 13, pp. 528-531, Mar. 2014.
- [37] พูนศักดิ์ เอื้อดุลเดชา **สายอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2544.
- [38] Athanasios P. and Unnikrishna Pillai S. **Probability, Random Variables and Stochastic Processes**. 4th ED. New York : McGraw-Hill Higher Education. 2002.
- [39] วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร **การวิเคราะห์แบบจำลอง**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2557.
- [40] Liu B., Wang L., Jin Y.-H., Tang F. and Huang D.-X. “Improved particle swarm optimization combined with chaos,” **Chaos, Solitons & Fractals**, vol. 25, pp. 1261-1271, Sep. 2005.
- [41] Jamil M. and Yang X.-S. “A literature survey of benchmark functions for global optimization problems,” **Int. Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimization**, vol. 4, pp. 150-194, Aug. 2013.
- [42] Andre J. “**Mathematical Functions for Testing Optimization Algorithms**,” [Online]. Available : mech.fsv.cvut.cz/~anicka/testfunc.html. Feb. 2009.
- [43] Pan D. and Liu Z. “A second-order and Double-subgroup Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Crossover Operation,” **Journal of Information & Computational Science**, vol. 5, pp. 1155-1166, May. 2012.
- [44] Spears W. M. “Simple subpopulation schemes,” **Proceedings of the Evolutionary Programming Conference**, vol. 3, pp. 296-307, Jun. 1994.
- [45] Rajakumar B. R. and George A. “APOGA: An Adaptive Population Pool Size Based Genetic Algorithm,” **AASRI Conference on Intelligent Systems and Control**, vol. 4, pp. 288-296, Apr. 2013.
- [46] Koljonen J. and Alander J. T. “Effect of population size and relative elitism on optimization speed and reliability of genetic algorithm,” **In Proceedings of the 12th Finnish Artificial Intelligence Conference STeP**, pp. 26-27, Oct. 2006.
- [47] Costa N. R. P. “Simultaneous Optimization of Mean and Standard Deviation.” **Quality Engineering**, vol. 22, pp. 140-149, Jun. 2010.
- [48] Mhudtongon N., Phongcharoenpanich C. and Kawdungta S. “Linear Array Antenna Optimization for Maximum Directivity Using FOA Method,” **Ladkrabang Engineering Journal**, vol. 32, pp. 1-6, Dec. 2015.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [49] Balanis C. A. **Antenna Theory Analysis and Design**. 3rd ED. New York, USA: John Wiley and Sons, Inc. 2010.
- [50] Recioui A., Azrar A., Bentarzi H., Dehmas M. and Chalal M. "Synthesis of Linear Arrays with Sidelobe Level Reduction Constraint using Genetic Algorithm," **International Journal of Microwave and Optical Technology**, vol. 3, pp. 524-530, Nov. 2008.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณฟังก์ชันค่าความหนาแน่นกลืน สำหรับการค้นหาแหล่งอาหาร ของแมลงหวี่ด้วยฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น

เมื่อทำการกำหนดให้ฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน สำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่ ฟังก์ชันของตัวแปรอิสระที่มีการแพร่กระจายของตัวแปรสุ่มแบบสม่ำเสมอภายในช่วง $[0,10]$

$$S_i = \frac{1}{\sqrt{(a+m)^2 + (b+n)^2}} \quad (\text{ก.1})$$

โดย $0 \leq S_i \leq 10$

ดังนั้นฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืนจะมีค่าเท่ากับ

$$P(S_i \leq 1) = \frac{1}{10} \quad (\text{ก.2})$$

จากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการคำนวณค่าความหนาแน่นกลืน สำหรับการค้นหาแหล่งอาหารของแมลงหวี่ มีค่าเท่ากับ

$$P(S_i \leq 1) = P\left(\frac{1}{\sqrt{m^2 + n^2}} \leq 1\right) \quad (\text{ก.3})$$

$$= \int_{-1}^1 \int_{-\sqrt{1-m^2}}^{\sqrt{1-m^2}} f(m,n) d_n d_m + \int_{-5}^{-1} \int_{-5}^5 f(m,n) d_n d_m + \int_1^5 \int_{-5}^5 f(m,n) d_n d_m \quad (\text{ก.4})$$

เมื่อ

$$f(m,n) = f(m)f(n) = \frac{1}{100} \quad (\text{ก.5})$$

$$= \int_{-1}^1 \int_{-\sqrt{1-m^2}}^{\sqrt{1-m^2}} f(m,n) d_n d_m + \int_{-5}^{-1} \int_{-5}^5 \frac{1}{100} d_n d_m + \int_1^5 \int_{-5}^5 \frac{1}{100} d_n d_m \quad (\text{ก.6})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการพิจารณาพจน์ที่ 1 ของสมการที่ (ก.6) เมื่อฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมของตัวแปร Z จะมีค่าเท่ากับ

$$F_Z(z) = \int_{y=-z}^z \int_{x=-\sqrt{z^2+y^2}}^{\sqrt{z^2+y^2}} f_{XY}(x,y) dx dy \quad (\text{ก.7})$$

ดังนั้นจากกฎการหาค่าอนุพันธ์แบบ Leibnitz's จะสามารถทำการหาค่าฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง Z ได้ดังสมการ

$$\frac{dH(z)}{dz} = \frac{db(z)}{dz} h(b(z), z) - \frac{da(z)}{dz} h(a(z), z) + \int_{a(z)}^{b(z)} \frac{\partial h(x, z)}{\partial z} dx \quad (\text{ก.8})$$

ดังนั้น

$$f_Z(z) = \frac{dF_Z(z)}{dz} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\int_{X, Y \in D_z} f_{XY}(x, y) dx dy \right) \quad (\text{ก.9})$$

$$= \int_{-z}^z \left(\frac{z}{\sqrt{z^2-y^2}} f_{XY}(\sqrt{z^2-y^2}, y) + \frac{z}{\sqrt{z^2-y^2}} f_{XY}(-\sqrt{z^2-y^2}, y) + \int_{-\sqrt{z^2-y^2}}^{\sqrt{z^2-y^2}} \frac{\partial f_{XY}(x, y)}{\partial z} dx \right) dy \quad (\text{ก.10})$$

$$= \int_{-z}^z \left(\frac{z}{\sqrt{z^2-y^2}} f_{XY}(\sqrt{z^2-y^2}, y) + \frac{z}{\sqrt{z^2-y^2}} f_{XY}(-\sqrt{z^2-y^2}, y) \right) dy \quad (\text{ก.11})$$

$$= \int_{-z}^z \left(\frac{z}{\sqrt{z^2-y^2}} \times \frac{1}{100} + \frac{z}{\sqrt{z^2-y^2}} \times \frac{1}{100} \right) dy \quad (\text{ก.12})$$

$$= \int_{-z}^z \left(\frac{1}{50} \frac{z}{\sqrt{z^2-y^2}} \right) dy \quad (\text{ก.13})$$

ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P(S_i \leq 1) = \int_{-1}^1 \frac{1}{50} \frac{1}{\sqrt{1-m^2}} d_m + \int_{-5}^{-1} \frac{1}{100} d_n d_m + \int_1^5 \frac{1}{100} d_n d_m \quad (\text{ก.14})$$

$$= \frac{\pi}{50} + 0.4 + 0.4 \quad (\text{ก.15})$$

$$= 0.8628 \quad (\text{ก.16})$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายณัฐเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน
วัน เดือน ปีเกิด	6 กันยายน 2527
ที่อยู่	74/3 หมู่ที่ 2 ตำบลปากคม อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง 92130
ประวัติการศึกษา	
ปริญญาตรี	2551 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ (เกียรตินิยม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญาโท	2553 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทุนการศึกษา	โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษกรุ่นที่ 11
รางวัล	Best Student Paper Bronze Award จากการประชุมวิชาการ 2009 IEEE International Conference on Antennas, Propagation and System (INAS 2009)

วารสารที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] N. Mhudtongon, C. Phongcharoenpanich, and S. Kawdungta, "Modified Fruit Fly Optimization Algorithm for Analysis of Large Antenna Array," *International Journal of Antennas and Propagation (IJAP 2015)*, Hindawi Publishing Corporation. pp. 11. June 2015.

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] N. Mhudtongon, C. Phongcharoenpanich, and K. Phaebua, "The GA/Fminsearch Optimization Design of Linear Antenna Array with Maximum Directivity," *Thailand-Japan Microwave 2014, (TJMW 2014)*, King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang, Thailand, November 2014.
- [2] N. Mhudtongon, C. Phongcharoenpanich, and S. Kawdungta, "The FOA Design for Linear Antenna Array Optimization Problem," *Thailand-Japan Microwave 2015, (TJMW 2015)*, Chulalongkorn University, Thailand, August 2015.