

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของขนาดวงกบแบบขยับที่วางเหนือขดลวดสำหรับ  
ระบบระบุตัวตนระยะทางไกลในย่านความถี่ต่ำโดยกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ

OPTIMIZATION OF LOOP ANTENNAS WITH SHIFTED GATE  
FOR LF-RFID SYSTEM BY EVOLUTION STRATEGIES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

EMITL-2009-EN-M 010-060

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงที่วางเหลื่อมล้ำสำหรับ  
ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุผ่านความถี่ต่ำโดยกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ

OPTIMIZATION OF LOOP ANTENNAS WITH SHIFTED GATE  
FOR LF-RFID SYSTEM BY EVOLUTION STRATEGIES



T105146



สรายูท ทดนาที

SARAYOOT TODNATEE

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 105146  
วัน เดือน ปี..... 1.6 พ.ย. 2552

b. 12166418  
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ KMITL-2009-EN-M-010-069 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**OPTIMIZATION OF LOOP ANTENNAS WITH SHIFTED GATE  
FOR LF-RFID SYSTEM BY EVOLUTION STRATEGIES**

**SARAYOOT TODNATEE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2009**

**KMITL-2009-EN-M-010-069**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2009**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงที่วางเหลื่อมล้ำสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำโดยกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ

Thesis Title Optimization of Loop Antennas with Shifted Gate for LF-RFID System by Evolution Strategies

นักศึกษา นายสรายุทธ ทคนาที


รหัสประจำตัว 50060912

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-010-069

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาคีพงษ์	
ศ.ดร.โมไนย	ไกรฤกษ์	
ผศ.ดร.दनัย	ต.รุ่งเรือง	
รศ.ดร.สมผล	โกศลวิตร	
ผศ.ดร.ชวงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 17.00-19.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRBANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงที่วาง  
เหลื่อมล้ำสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่  
ต่ำโดยกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ

นักศึกษา

นายสรายุทธ ทดนาที

รหัสประจำตัว

50060912

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมโทรคมนาคม

พ.ศ.

2552

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ. ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผศ. ดร. คณัย ต.รุ่งเรือง

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอกระบวนการคิดแบบวิวัฒนาการเชิงธรรมชาติ ที่เรียกว่า กลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ (Evolution Strategies) เพื่อใช้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงสำหรับการประยุกต์ใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID) ที่ย่านความถี่ต่ำ 134.2 kHz กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการสามารถหาค่าที่เหมาะสมจากผลการจำลองของสายอากาศด้วยโปรแกรมแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลข (Numerical Electromagnetic Code : NEC) ซึ่งทำการวิเคราะห์โครงสร้างสายอากาศแบบบ่วงที่มีการติดตั้งแบบประจูดินผ่านและการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำสุดท้ายได้วิเคราะห์โครงสร้างสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประจูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำโดยใช้กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบสามบ่วงติดตั้งแบบประจูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำโดยพิจารณาจากความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กด้วยค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรจากผลการคำนวณที่ได้ถูกนำไปสร้างสายอากาศต้นแบบและทำการทดสอบสายอากาศต้นแบบพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้งสามแนวแกนหลักที่ตั้งฉากกันมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร เท่ากับ 100% ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองด้านเท่ากับ 100 เซนติเมตร

<b>Thesis Title</b>	Optimization of loop antennas with shifted gate for LF-RFID system by evolution strategies
<b>Student</b>	Mr. Sarayoot Todnatee
<b>Student ID.</b>	50060912
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Telecommunications Engineering
<b>Year</b>	2009
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Chuwong Phongcharoenpanich
<b>Thesis Co-advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Danai Torrungrueng

### ABSTRACT

This thesis presents the process of evolution in nature with the so-called “Evolution Strategies (ES)” to optimize the loop antenna of Radio Frequency Identification (RFID) system at low frequency band of 134.2 kHz. The Evolution Strategies is used to optimize the antenna parameters that are simulated by Numerical Electromagnetic Code. Subsequently, structural analysis of loop antenna in walk-through gate arrangement and shifted gate techniques are described. Finally, three loop antennas in walk-through arrangement with shifted gate are optimized by Evolution Strategies. The consideration of antenna ability is carried out by the percentage of volume that is used to evaluate the communication performance between reader and tags. The optimized results are useful for guideline of the antenna design. The prototype antenna was fabricated and measured. It is found that the measured percentages of volume are 100% at distance between gate antennas of 100 cm.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากอาจารย์ที่ปรึกษา ศศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญ พานิชย์ และ ศศ.ดร. ดนัย ต.รุ่งเรือง เป็นผู้ให้โอกาสทั้งในด้านการศึกษาและแนวความคิดหลักในงานวิจัยนี้รวมทั้งคำปรึกษาและคำแนะนำ ซึ่งข้าพเจ้าได้รับคำชี้แนะที่เป็นประโยชน์มากในทุก ๆ ด้าน ขอขอบคุณ คุณสุภกิต แก้วดวงตา ผู้ซึ่งให้แนวความคิดในการวิจัย คำแนะนำในการวิเคราะห์ และทดสอบพร้อมเทคนิควิธีการในการหาคำตอบ ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ จากห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจที่ทำให้ข้าพเจ้ามีผลกำลังในการทำงานเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณโสภิตา กระจ่ายานาค ผู้ซึ่งเป็นกำลังใจและอยู่เคียงข้างข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมา และขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสัมฤทธิ์ กระจ่ายานาค และ คุณแม่ศรีสุดา กระจ่ายานาค ผู้ซึ่งให้การสนับสนุนในการศึกษาและการเดินทางที่ไกลแสนไกล

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณพ่อสงวน ทดนาท บิดา และคุณแม่รำไพ ทดนาท มารดา ที่ให้การสนับสนุนในทุกสิ่งทุกอย่างและกำลังใจที่เอื้อล้นเต็มดวงใจของข้าพเจ้า ผู้ที่ทำให้ข้าพเจ้าไม่เคยท้อต่ออุปสรรคทั้งปวง หากคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็ขอมอบความดีทั้งหลายแด่ ผู้มีพระคุณ ซึ่งเป็นที่รักยิ่งของข้าพเจ้า ด้วยเทอญ

สรายุทธ ทดนาท

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูปภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 ความสำคัญของงานวิจัย.....	6
1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	7
1.4 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	7
บทที่ 2 หลักการของระบบ RFID และการวิเคราะห์การกระจายความเข้ม ของสนามแม่เหล็กของสายอากาศ.....	9
2.1 บทนำ.....	9
2.2 ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	9
2.2.1 แท็ก.....	10
2.2.1.1 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ.....	10
2.2.1.2 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอ็กทีฟ.....	10
2.2.2 ประเภทของแท็กในระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	11
2.2.2.1 แท็กแบบจานและเหรียญ (Disk and coin) .....	11
2.2.2.2 แท็กแบบกระเปาะแก้ว (Glass housing) .....	11
2.2.2.3 แท็กแบบพลาสติก (Plastic housing) .....	12
2.2.2.4 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ.....	12
2.2.2.5 แท็กแบบพวงกุญแจ (Key and key fob) .....	12
2.2.2.6 แท็กแบบนาฬิกา.....	13
2.2.2.7 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ด แบบไร้การสัมผัส.....	13
2.2.2.8 แท็กแบบ Smart label.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อเผยแพร่เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.2.9 แท้กแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-chip).....	14
2.2.3 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader) .....	14
2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	15
2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation type).....	15
2.3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ Full duplex ( FDX ).....	15
2.3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ Half duplex ( HDX ).....	16
2.3.2 ปริมาณข้อมูล (Data quantity).....	16
2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable ability) .....	16
2.3.4 แหล่งพลังงาน (Power supply) .....	17
2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency range) .....	17
2.4 ข้อพิจารณาการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	18
2.4.1 ความถี่ใช้งาน.....	18
2.4.2 ระยะทำการ.....	18
2.4.3 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย.....	19
2.4.3.1 การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล.....	19
2.4.3.2 การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์.....	19
2.4.4 ขนาดของหน่วยความจำ.....	20
2.5 เทคโนโลยีของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ใช้การสื่อสารแบบ Inductive Coupling.....	20
2.5.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังแท็ก.....	21
2.5.2 การส่งข้อมูลจากแท็กมายังเครื่องอ่านข้อมูล.....	22
2.5.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation.....	22
2.6 การวิเคราะห์การกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศ.....	23
2.6.1 กฎของ Biot-Savart.....	23
2.6.2 ผลการวิเคราะห์ของสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	25
2.6.3 ผลการวิเคราะห์ของสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบประตูเดินผ่าน.....	26
2.6.4 ผลการวิเคราะห์ของสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการวางแบบเหลื่อมล้ำ...27	
2.6.5 ผลการวิเคราะห์ของสายอากาศแบบวงคู่แบบประตูเดินผ่าน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่อนุญาติให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านใด ๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.6.6 ผลการวิเคราะห์ของสายอากาศแบบสามบ่วงแบบประตูดินผ่าน ที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ.....	31
2.7 บทสรุป.....	32
<b>บทที่ 3 กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมและผลกระทบของ</b>	
กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์.....	33
3.1 บทนำ.....	33
3.2 การออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม.....	34
3.3 กระบวนการเชิงวิวัฒนาการสำหรับการหาค่าที่เหมาะสม (Evolutionary algorithms for optimization).....	35
3.4 กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ (Evolution Strategies).....	36
3.4.1 ยีนส์ (Genes).....	36
3.4.2 โครโมโซม (Chromosome).....	36
3.4.3 กลุ่มสมาชิก (Population).....	37
3.4.4 จำนวนครั้งการทำงาน (Generation number).....	37
3.4.5 สมาชิกต้นแบบ (Parent).....	37
3.4.6 สมาชิกใหม่ (Offspring).....	37
3.4.7 ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function : $F(x)$ ).....	37
3.5 หลักการของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์.....	38
3.5.1 กระบวนการ Mutation ของพารามิเตอร์เป้าหมาย.....	38
3.5.1.1 การกระจายแบบปกติ (Normal distribution).....	39
3.5.2 กระบวนการ Mutation กับการดัดแปลงขนาดสแต็ป.....	40
3.5.3 ลำดับการทำงานของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์.....	43
3.6 การวิเคราะห์ผลกระทบจากตัวปฏิบัติการของ กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์.....	45
3.7 กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์กับสายอากาศแบบบ่วง.....	45
3.8 การวิเคราะห์ผลกระทบจากจำนวนสมาชิก.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.9 การวิเคราะห์ผลกระทบของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์กับกระบวนการคิดแบบสี่ทิศทางพันธุกรรม.....	53
3.10 บทสรุป.....	55

## บทที่ 4 การจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วง

ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านด้วยการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ.....	56
4.1 บทนำ.....	56
4.2 โครงสร้างของสายอากาศแบบสามบ่วง ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการวางแบบเหลี่ยมล้ำ.....	56
4.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ.....	58
4.3.1 กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์.....	58
4.3.2 การหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์.....	59
4.4 ผลการจำลองของสายอากาศ.....	62
4.4.1 สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่จัดวางแบบประตูเดินผ่าน.....	62
4.4.2 สายอากาศแบบสามบ่วงคู่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูและสายอากาศบ่วงคู่แบบต่าง ๆ.....	66
4.4.3 สายอากาศแบบบ่วงคู่แบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ.....	74
4.4.3.1 สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำแบบที่ 1.....	74
4.4.3.1 สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำแบบที่ 2.....	77
4.4.4 สายอากาศแบบสามบ่วงแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ.....	80
4.5 การวิเคราะห์ความสามารถของจำนวนครั้งการอ่านข้อมูล.....	84
4.6 บทสรุป.....	89

## บทที่ 5 ผลการทดสอบสายอากาศ.....

5.1 บทนำ.....	90
5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสายอากาศ ของเครื่องอ่านข้อมูลเบื้องต้นและทดลองในสภาพการใช้งานจริง.....	90

## 5.3 การทดสอบสายอากาศ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.4 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่าน.....	91
5.5 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวาง แบบเหลี่ยมล้ำรูปแบบที่ 1.....	94
5.6 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวาง แบบเหลี่ยมล้ำรูปแบบที่ 2.....	96
5.7 ผลการทดสอบสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่าน ที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ.....	98
5.9 บทสรุป.....	100
บทที่ 6 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	101
6.1 สรุปเนื้อหาโดยรวม.....	101
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	102
บรรณานุกรม.....	103
ภาคผนวก.....	105
ภาคผนวก ก. การผสมผสานกันของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมระหว่างกระบวนการ คิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์และกระบวนการคิดแบบพันธุกรรม.....	106
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	114
ประวัติผู้เขียน.....	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ขีดจำกัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน.....	19
2.2 ขีดจำกัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป.....	20
4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุด มีเฟสตรงกัน.....	62
4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุด มีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	63
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่ ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน.....	67
4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่ กรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ลักษณะการสื่อสารข้อมูลระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก.....	2
1.2 สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	3
1.3 สายอากาศแบบบ่วงคู่ทรงสี่เหลี่ยมคางหมู.....	4
1.4 สายอากาศแบบสามบ่วงที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ.....	5
2.1 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ.....	10
2.2 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอ็กทีฟ.....	11
2.3 แท็กแบบจานและเหรียญ.....	11
2.4 แท็กแบบกระดาษแก้ว.....	11
2.5 แท็กแบบพลาสติก.....	12
2.6 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ.....	12
2.7 แท็กแบบพวงกุญแจ.....	13
2.8 แท็กแบบนาฬิกา.....	13
2.9 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส.....	14
2.10 แท็กแบบ Smart label.....	14
2.11 ส่วนประกอบของเครื่องอ่านข้อมูล.....	15
2.12 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex.....	16
2.13 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กเป็นการรับพลังงานไฟฟ้า จากเครื่องอ่านข้อมูล.....	21
2.14 การคำนวณตามกฎของ Biot-Savart.....	24
2.15 สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	25
2.16 ผลการวิเคราะห์แบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วง สี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ระยะ $x$ เท่ากับ 0.5 เมตร.....	25
2.17 การกระตุ้นกระแสสำหรับสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน.....	26
2.18 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดิน ผ่านเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน ที่ระยะ $y$ เท่ากับ 0.5 เมตร.....	27
2.19 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดิน ผ่านเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ที่ระยะ $y$ เท่ากับ 50 เซนติเมตร.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.20 สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน ที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ.....	28
2.21 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำมี $d_1$ เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน ที่ระยะ $y$ เท่ากับ 50 เซนติเมตร.....	29
2.22 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำมี $d_1$ เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ที่ระยะ $y$ เท่ากับ 50 เซนติเมตร.....	29
2.23 สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	30
2.24 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำมี $d_1$ เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ที่ระยะ $y$ เท่ากับ 50 เซนติเมตร.....	30
2.25 สายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	31
2.26 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำมี $d_1$ เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ที่ระยะ $y$ เท่ากับ 50 เซนติเมตร.....	32
3.1 การออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม.....	35
3.2 ลักษณะ โคร โม่ โชมของกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ.....	38
3.3 กระบวนการ Mutation ของกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ.....	40
3.4 กระบวนการ Mutation กับการคัดแปลงสเต็มของกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ.....	41
3.5 Pseudo-code ของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการกับการคัดเลือกสมาชิกแบบ (1+1)-ES พร้อมทั้งการปรับสเต็มของกระบวนการด้วย กฎ 1/5-success.....	42
3.6 ลำดับการทำงานของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ.....	44
3.7 พารามิเตอร์และขอบเขตการหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศ.....	46
3.8 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20.....	47
3.9 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาที่กำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20 เมื่อ $P = 1/5$ .....	47

เอกสารนี้ 3.10 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาที่กำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20 เมื่อ  $P > 1/5$  โดยนับด้วยเวลา.....48

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 ผลกระทบของกระบวนการค้นหากำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20 เมื่อ $P < 1/5$ .....	48
3.12 ผลกระทบของกระบวนการค้นหากำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40 .....	49
3.13 ผลกระทบของกระบวนการค้นหากำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40 เมื่อ $P = 1/5$ .....	49
3.14 ผลกระทบของกระบวนการค้นหากำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40 เมื่อ $P > 1/5$ .....	50
3.15 ผลกระทบของกระบวนการค้นหากำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40 เมื่อ $P < 1/5$ .....	50
3.16 ผลกระทบของกระบวนการค้นหากำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 60.....	51
3.17 ผลกระทบของกระบวนการค้นหากำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 60 เมื่อ $P = 1/5$ .....	52
3.18 ผลกระทบของกระบวนการค้นหากำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 60 เมื่อ $P > 1/5$ .....	52
3.19 ผลกระทบของกระบวนการค้นหากำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 60 เมื่อ $P < 1/5$ .....	53
3.20 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาของ GA กำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20.....	54
3.21 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาของ GA กำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40.....	54
3.22 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาของ GA กำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 60.....	55
4.1 โครงสร้างสายอากาศแบบสามบ่วง.....	57
4.2 สายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ.....	57
4.3 แผนผังการทำงานของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการกับ โปรแกรม NEC2.....	59
4.4 การพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นที่ขนานกับระนาบ $xz$ .....	61
4.5 การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร.....	61
4.6 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน.....	64
4.7 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่าง สายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน.....	64
4.8 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา...65	65
4.9 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่าง สายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	66
4.10 โครงสร้างสายอากาศแบบบ่วงคู่สี่เหลี่ยมคางหมู.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบสี่เหลี่ยมคางหมูเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา .....	68
4.12 การจัดวางสายอากาศบ่วงคู่แบบประตูดินผ่าน.....	69
4.13 โครงสร้างของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ได้จากกระบวนการคิดแบบพันธุกรรม.....	69
4.14 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสเท่ากันองศา .....	71
4.15 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	72
4.16 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่เกิดจากกระบวนการคิดเชิงพันธุกรรมในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน.....	73
4.17 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่เกิดจากกระบวนการคิดเชิงพันธุกรรมในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	73
4.18 โครงสร้างสายอากาศทั้งสองด้านที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ และมีการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	75
4.19 โครงสร้างสายอากาศที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางเหลื่อมล้ำเมื่อมองด้านของสายอากาศมีระยะ $d_1$ เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	75
4.20 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำมี $d_1$ เท่ากับ 40 เซนติเมตรเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	76
4.21 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำมี $d_1$ เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ที่ระยะ $D$ เท่ากับ 100 เซนติเมตร.....	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 โครงสร้างสายอากาศทั้งสองด้านที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ และมีการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา .....	78
4.23 โครงสร้างสายอากาศที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำเมื่อมองด้านข้างของสายอากาศมีระยะ $d_1$ เท่ากับ 32.5 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา .....	78
4.24 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำมี $d_1$ เท่ากับ 32.5 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา .....	79
4.25 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำมี $d_1$ เท่ากับ 32.5 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ที่ระยะ $D$ เท่ากับ 100 เซนติเมตร .....	80
4.26 โครงสร้างสายอากาศที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบสามบ่วง ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำมีระยะ $d_1$ เท่ากับ 45 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา .....	82
4.27 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบสามบ่วง ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำมี $d_1$ เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา .....	83
4.28 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำมี $d_1$ เท่ากับ 45 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ที่ระยะ $D$ เท่ากับ 100 เซนติเมตร .....	84
4.29 ทิศทางการเคลื่อนที่ของแท็กตามแนวแกน $x$ .....	85
4.30 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศแสดงเป็นจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลเมื่อแท็กวางตัวในแนวแกน $x$ ของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ .....	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.31 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศแสดงเป็นจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลเมื่อแท็กวางตัวในแนวแกน $y$ ของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมด้า.....	87
4.32 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศแสดงเป็นจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลเมื่อแท็กวางตัวในแนวแกน $z$ ของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมด้า.....	88
5.1 เครื่องอ่านข้อมูล RFID ความถี่ 134.2 kHz.....	91
5.2 ชนิดของแท็กที่ใช้ในการทดสอบสายอากาศ.....	91
5.3 ภาพถ่ายของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน โดยมีระยะ $D$ เท่ากับ 100 เซนติเมตร.....	92
5.4 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด โบลัส (ใช้กับ โค) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุด มีเฟสตรงกัน โดยมีระยะ $D$ เท่ากับ 100 เซนติเมตร.....	92
5.5 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิดติดหู ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุด มีเฟสตรงกัน โดยมีระยะ $D$ เท่ากับ 100 เซนติเมตร.....	93
5.6 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด โบลัส (ใช้กับ โค) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุด มีเฟสต่างกัน 180 องศา โดยมีระยะ $D$ เท่ากับ 100 เซนติเมตร.....	94
5.7 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิดติดหู ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุด มีเฟสต่างกัน 180 องศา โดยมีระยะ $D$ เท่ากับ 100 เซนติเมตร.....	94
5.8 ภาพถ่ายของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 .....	95

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด โบลัส (ใช้กับ โค) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศ แบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางเหล็กลมัลารูปแบบที่ 1.....	95
5.10 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิดติดหู ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศ แบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางเหล็กลมัลารูปแบบที่ 1.....	96
5.11 ภาพถ่ายของสายอากาศแบบสามบ่วงแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหล็กลมัล้า.....	97
5.12 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด โบลัส (ใช้กับ โค) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศ แบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางเหล็กลมัล้ารูปแบบที่ 2.....	97
5.13 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิดติดหู ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศ แบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางเหล็กลมัล้ารูปแบบที่ 2.....	98
5.14 ภาพถ่ายของสายอากาศแบบสามบ่วงแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหล็กลมัล้า.....	99
5.15 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด โบลัส (ใช้กับ โค) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศ แบบสามบ่วงแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหล็กลมัล้ามี $d_1$ เท่ากับ 45 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดต่างเฟสกัน 180 องศา โดยมีระยะ $D$ เท่ากับ 100 เซนติเมตร.....	99
5.16 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิดติดหู ในแต่ละเส้นทางใน แนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบ ประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหล็กลมัล้ามี $d_1$ เท่ากับ 45 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้ สายอากาศทั้งสองชุดต่างเฟสกัน 180 องศาโดยมีระยะ $D$ เท่ากับ 100 เซนติเมตร.....	100

# บทที่ 1

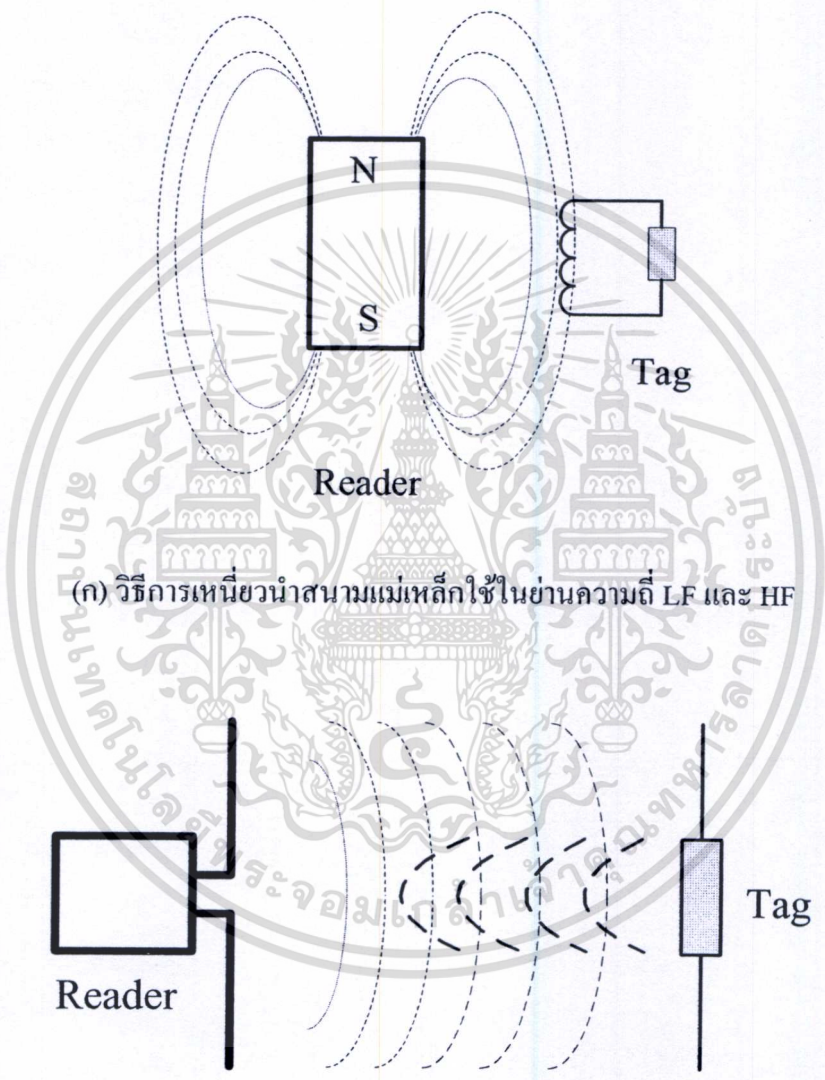
## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

เทคโนโลยีการระบุตัวตนอัตโนมัติ หรือที่เรียกว่า Automatic Identification (Auto-ID) เป็นเทคโนโลยีที่มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ระบุตัวตนของมนุษย์ สัตว์ สินค้า และวัตถุดิบต่างๆ เป็นระบบที่ประกอบด้วยส่วนที่รับและอ่านข้อมูลโดยอัตโนมัติ แล้วทำการประมวลผลข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์โดยไม่ต้องมีคนช่วยเมื่อกล่าวถึงระบบ Auto-ID ที่คนส่วนใหญ่คุ้นเคยที่สุด ก็คงหนีไม่พ้นระบบบาร์โค้ด (Barcode) ซึ่งมีลักษณะเป็นกลุ่มรหัสแท่งขนาดต่างๆ โดยเฉพาะกรณีการซื้อสินค้าตามห้างสรรพสินค้า ที่พนักงานขายใช้เครื่องอ่านบาร์โค้ดอ่านรหัสของสินค้าแต่ละชิ้นที่ซื้อเพื่อรวมราคาสุทธิ แล้วส่งข้อมูลไปยังระบบฐานข้อมูลสินค้าคงคลัง เพื่อตัดยอดสินค้าออกตามจำนวนที่ถูกซื้อไปนอกจากเทคโนโลยีบาร์โค้ดแล้ว Auto-ID ยังมีการนำไปใช้ในสิ่งต่างๆ ได้แก่ เทคโนโลยีบัตรเอนกประสงค์ (Smart card) เทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์ เช่น ระบบรู้จำเสียงพูด (Voice recognition) ระบบพิมพ์ลายนิ้วมือ (Fingerprint scan) ระบบสแกนม่านตา (Iris scan) เทคโนโลยีการรู้จำตัวอักษร (OCR: Optical character recognition) เทคโนโลยีบ่งชี้วัตถุด้วยคลื่นความถี่วิทยุ หรือ อาร์เอฟไอดี (RFID) จากที่กล่าวมา เทคโนโลยี Auto-ID มีอยู่หลายประเภท บางประเภทต้องใช้การสัมผัสกับเครื่องอ่านข้อมูล (Contacted Auto-ID) ในขณะที่มีอีกหลายประเภทที่ใช้โดยไม่สัมผัสกับเครื่องอ่านข้อมูล ในปัจจุบันได้เกิดมาตรฐาน Auto-ID ที่ใช้งานแบบไร้สัมผัส ซึ่งช่วยลดการสึกหรอของหน้าสัมผัส และเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน รวมถึงศักยภาพในการส่งข้อมูล อีกทั้งช่วยลดปัญหาความไม่เที่ยงตรง และคลาดเคลื่อนในการอ่านเขียนข้อมูล เมื่อเทียบกับการใช้งานแบบสัมผัสมาตรฐานดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า Radio Frequency Identification หรือ RFID

เทคโนโลยีของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification (RFID) System) เป็นเทคโนโลยีระบุข้อมูลที่แสดงเอกลักษณ์ของวัตถุหรือบุคคลด้วยคลื่นความถี่วิทยุ วัตถุประสงค์หลัก คือนำไปใช้ในการบ่งชี้วัตถุระยะไกลได้ โดยมีจุดเด่นคือสามารถอ่านข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายได้หลายๆ เครื่องลูกข่าย แบบไร้สัมผัส และสามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้นแรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก และสามารถจะอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในเครื่องลูกข่าย ซึ่งหลักการของระบบนั้นจะนำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาห์ เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูล ระหว่างอุปกรณ์สองชนิดคือ เครื่องลูกข่ายหรือแท็ก (Tag) และเครื่องอ่านข้อมูล (Reader) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless communications) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่ง มาทำการมอดูเลต (Modulation) กับ

คลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูล การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างแท็กและเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีแรกเป็นวิธีการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) วิธีที่สองเป็นวิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งานในระบบ RFID [1]-[4] ดังแสดงในรูปที่ 1.1



(ก) วิธีการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กใช้ในย่านความถี่ LF และ HF

(ข) วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใช้ในย่านความถี่ UHF และ Microwave

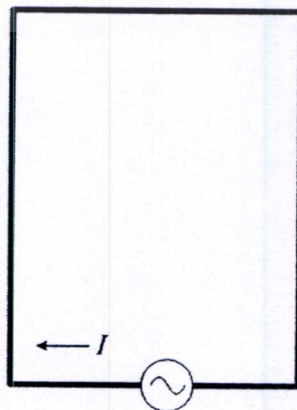
รูปที่ 1.1 การสื่อสารข้อมูลระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับสายอากาศของแท็ก [1][13]

ระบบ RFID ย่านความถี่ต่ำมีความสำคัญในงานด้านการลงทะเบียนสัตว์และการจัดการฟาร์ม อันจะทำให้เป็นการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้กับอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ของประเทศ และเป็นระบบพื้นฐานให้กับโครงการระบบตรวจสอบย้อนกลับของอาหาร (Food

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น และผู้จัดทำขอสงวนลิขสิทธิ์ไว้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

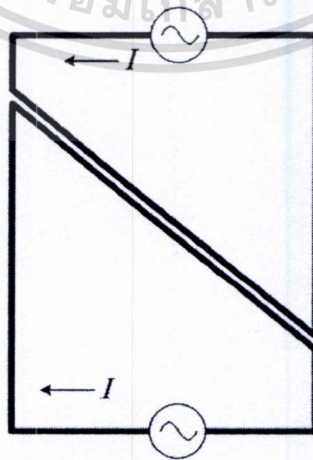
traceability) และ โครงการอาหารปลอดภัย (Food safety) ในระบบ RFID สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญเพราะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กที่ติดอยู่กับตัวสัตว์ โดยที่แท็กส่วนใหญ่สำหรับการลงทะเบียนสัตว์จะเป็นแบบพาสซีฟ (Passive tag) ซึ่งไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอก และมีทิศทางการวางตัวที่ไม่แน่นอนในการทำงานจริง

สำหรับสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล RFID ในย่านความถี่ต่ำที่ความถี่ 134.2 kHz ในการประยุกต์ใช้งานในระบบการบ่งชี้และติดตามสัตว์โดยทั่วไปมีรูปร่างเป็นแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular loop) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 หรือเป็นแบบวงวงกลม (Circular loop) [1]-[2] ซึ่งบ่วงลักษณะนี้ใช้งานกับแท็กได้ในบางลักษณะการจัดวางเท่านั้น ซึ่งถ้าสายอากาศของแท็กไม่ได้วางตัวอยู่ในแนวขนานกับระนาบสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลก็จะทำให้ประสิทธิภาพของการติดต่อสื่อสารด้อยลง [1]-[2] นอกจากนี้รูปแบบของสายอากาศก็จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมกับการใช้งานในด้านต่างๆ ซึ่งลักษณะการติดตั้งสายอากาศแบบที่นิยมใช้ทั่วไปเช่น สายอากาศแบบมีลักษณะเป็นประตูด้านเดียว (แบบติดตั้งที่ผนังเดียว) และสายอากาศแบบประตูเดินผ่าน (Walk-through gate) สายอากาศแบบประตูเดินผ่านที่ใช้กันส่วนใหญ่มีโครงสร้างประกอบไปด้วยบ่วงสองบ่วง (บ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือบ่วงวงกลม) และช่องทางสำหรับเดินผ่านจะอยู่ระหว่างบ่วงทั้งสอง สายอากาศลักษณะนี้สามารถติดต่อกับแท็กได้ในบางลักษณะการจัดวางเท่านั้น จากงานวิจัยของ ชาวลาธวัช หมั่นทรัพย์และคณะ ได้ทำการออกแบบสายอากาศบ่วงคู่ทรงสี่เหลี่ยมคางหมู [11] ดังแสดงในรูปที่ 1.3 มีข้อดีคือสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้หลากหลายลักษณะการจัดวาง พร้อมทั้งงานวิจัยของ สุภกิต แก้วดวงตา ได้นำเสนอการหาตำแหน่งที่เหมาะสมโดยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม (Genetic-Algorithm (GA) optimization)[13]ซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วงคู่ซึ่งพัฒนาสายอากาศสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กให้ได้ระยะที่ไกลที่สุดในทุกแนวแกนที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาใช้ประโยชน์ของตนเอง ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

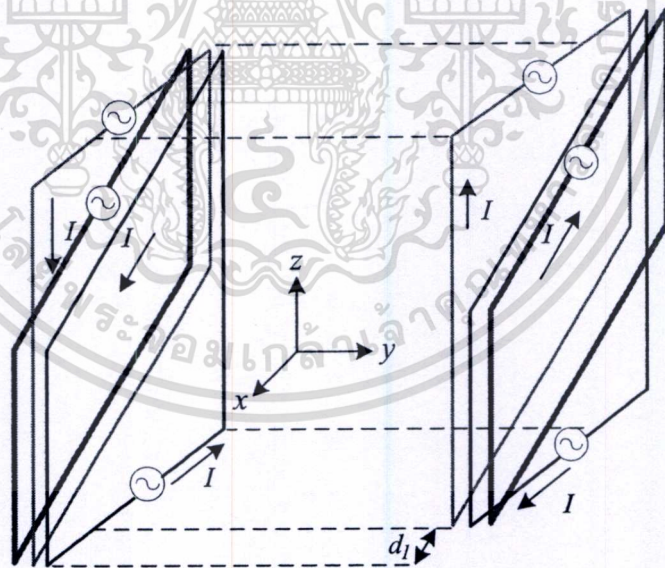
สำหรับสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ทำการออกแบบและทำการติดตั้งแบบประตูเดินผ่าน ที่ได้ทำการหาค่าที่เหมาะสม โดยกระบวนการคิดแบบสี่ทศพันธุกรรม ซึ่งมีประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กชนิดโบลัสสำหรับโค ดังนี้คือ ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณในสามแนวแกนหลักที่ได้จากการทดสอบ  $P_{v,H_1}$  เท่ากับ 100%  $P_{v,H_2}$  เท่ากับ 98.63% และ  $P_{v,H_3}$  เท่ากับ 96.70% [13] ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ 70 เซนติเมตร และได้ใช้เทคนิคการสวิตช์ระหว่างสายอากาศแบบบ่วงคู่ ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านสองชุดเพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด ISO Card ได้ทุกทิศทางซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณในสามแนวแกนหลักที่ได้จากการทดสอบเท่ากับ 100% [12] ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ 100 เซนติเมตร แต่มีข้อเสียคือต้องใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมการสลับการทำงานของสายอากาศทั้งสองชุด ดังนั้นการออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้สายอากาศมีโครงสร้างที่เหมาะสมกับการใช้งานในสถานที่ที่มีลักษณะการติดตั้งแบบต่างๆ และในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอหลักการหาค่าเหมาะสมอีกแบบของกระบวนการเชิงธรรมชาติเพื่อใช้ในการค้นหาลักษณะ โครงสร้างสายอากาศที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาที่เหมาะสมพร้อมทั้งวิเคราะห์โครงสร้างสายอากาศแบบบ่วงคู่เพื่อเพิ่มความเข้มข้นแม่เหล็กในการติดต่อสื่อสาร สายอากาศแบบบ่วงคู่และสายอากาศแบบสามบ่วง ที่มีการติดตั้งแบบประตูเดินผ่าน อีกทั้งเทคนิคการจัดวางสายอากาศทั้งสองด้านแบบเหลื่อมล้ำกันเพื่อหลีกเลี่ยงการหักล้างกันของความเข้มข้นแม่เหล็ก และใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบใหม่ซึ่งถูกเรียกว่ากระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ ซึ่งเป็นกระบวนการคิดแบบเชิงธรรมชาติที่มีความเร็วในการหาค่าที่เหมาะสมและได้ค่าที่เหมาะสมที่มีค่าสูง ซึ่งทำให้เครื่องอ่านข้อมูลและแท็กสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ในทุกลักษณะการจัดวางในระยะทางการติดต่อสื่อสารที่ไกลมากขึ้นและเพียงพอกับความต้องการของระบบการลงทะเบียนสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ ทั้งนี้เพื่อลดเวลาและความผิดพลาดในการลงทะเบียนสัตว์



รูปที่ 1.3 สายอากาศแบบบ่วงคู่ทรงสี่เหลี่ยมคางหมู [11] และ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ ต้องการแนวความคิดแบบใหม่ของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม ที่จะให้ได้สายอากาศที่มีโครงสร้างที่เหมาะสม พร้อมทั้งการใช้เทคนิคการจัดวางสายอากาศแบบเหลื่อมล้ำกันเป็นการเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็กในบางแนวแกน วิเคราะห์กับโครงสร้างสายอากาศแบบบ่วง บ่วงคู่ และสามบ่วง เพื่อประยุกต์ใช้งานในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โดยที่มีราคาถูกกว่าและมีประสิทธิภาพทัดเทียมกับหรือดีกว่าสายอากาศที่นำเข้าจากต่างประเทศ รวมทั้งสามารถนำไปใช้ในระบบลงทะเบียนสัตว์เช่น โค และกระบือ เป็นต้น ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นสำหรับการออกแบบสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อนมากและสามารถใช้ในการติดต่อสื่อสารได้ดี ในงานวิจัยฉบับนี้ ได้ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการกับสายอากาศแบบสามบ่วงซึ่งเป็นอีกแนวความคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพสายอากาศ สำหรับใช้ในระบบ RFID ในย่านความถี่ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 1.4 โดยที่ลักษณะของบ่วงประกอบด้วย บ่วงสี่เหลี่ยมคางหมูและสี่เหลี่ยมใดๆ ซึ่งการวิเคราะห์แบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กและคุณลักษณะต่างๆ สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม NEC2 (Numerical Electromagnetic Code) [8] รวมทั้งการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศชนิดนี้โดยใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ (Evolution Strategy: ES) [4] และ [5]



รูปที่ 1.4 สายอากาศแบบสามบ่วงที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ

เมื่อเครื่องอ่านข้อมูลทำการติดต่อกับแท็กนั้นจะส่งผ่านข้อมูลโดยใช้สนามแม่เหล็กที่ออกจากสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลและการที่เครื่องอ่านข้อมูลจะสามารถติดต่อกับแท็กได้นั้น

เอกสารนี้แท็กจะต้องสามารถรับความเข้มสนามแม่เหล็กอย่างน้อยเท่ากับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กกระตุ้น  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Activation magnetic field strength) ซึ่งค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่แท็กจะสามารถรับได้นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวางของแท็กด้วย การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูล เริ่มจากการพิจารณาแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กก่อน จากนั้นจึงนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร (Percentage of Volume:  $P_v$ ) ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรสามารถหาได้จากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิว (Percentage of Surface:  $P_s$ ) และค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น (Percentage of Line:  $P_l$ ) โดยที่ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรเป็นค่าคุณสมบัติที่บอกลถึงความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กในบริเวณหรือปริมาตรที่พิจารณา เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมีค่าสูง เครื่องอ่านข้อมูลและแท็กสามารถติดต่อสื่อสารได้อย่างทั่วถึง อย่างไรก็ตามลักษณะการจัดวางของแท็กก็มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร ดังนั้นในทางปฏิบัติการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรจะทำการวิเคราะห์สำหรับการจัดวางของแท็กในสามทิศทางหลักที่ตั้งฉากกัน คือค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $x$  ( $P_{v,H_x}$ ) ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $y$  ( $P_{v,H_y}$ ) และค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $z$  ( $P_{v,H_z}$ ) โดยที่สายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลที่ต้องการให้ติดต่อสื่อสารได้อย่างทั่วถึงนั้นจะต้องมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรเหล่านี้ที่สูงในทุกแนวแกน อย่างไรก็ตามกระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศต้องการระเบียบขั้นตอนที่มีความยืดหยุ่นเพียงพอสำหรับการลงทะเบียนสัตว์แต่ละชนิด เนื่องจากพารามิเตอร์ของสายอากาศมีหลายตัวแปร ดังนั้นการนำเสนอการหาค่าความเหมาะสมโดยกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ (Evolution Strategy Optimization : ES) เพราะกระบวนการนี้สามารถค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับฟังก์ชันที่มีความซับซ้อนได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งเป็นแนวความคิดใหม่ในการหาค่าที่เหมาะสมที่มีแนวความคิดในเชิงธรรมชาติ พร้อมทั้งความรวดเร็วในการหาค่าที่เหมาะสมและความละเอียดของค่าที่เหมาะสมที่สูง

## 1.2 ความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากการออกแบบงานด้านวิศวกรรมเพื่อให้ได้ผลงานที่มีลักษณะตามความต้องการมีความยุ่งยาก โดยเฉพาะงานด้านวิศวกรรมการออกแบบสายอากาศเพราะเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของตัวสายอากาศและคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและเกี่ยวเนื่องกับรูปร่างของสายอากาศ ฉะนั้นหากสายอากาศมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากก็ยิ่งทำให้เกิดจำนวนตัวแปรที่ต้องทำการออกแบบมากขึ้นเป็นเหตุให้การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศทำได้ยาก จากการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงคู่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านสำหรับระบบลงทะเบียนสัตว์และการจัดการฟาร์มเพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมากที่สุดในทุกแนวแกนนั้นมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายตัวทำให้การหาค่าพารามิเตอร์ที่



ในการเลือกใช้อุปกรณ์ การวิเคราะห์โครงสร้างสายอากาศในรูปแบบต่าง ๆ เทคนิควิธีการเพิ่มความสามารถสายอากาศในการให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมากที่สุด

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการการหาค่าที่เหมาะสมด้วยกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์และผลกระทบเมื่อนำกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์มาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดทำเปรียบเทียบกับการบวนการคิดแบบพันธุกรรม

บทที่ 4 ในบทนี้ได้อธิบายถึงการจำลองสายอากาศในรูปแบบต่าง ๆ อีกทั้งวิเคราะห์สายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่าน สายอากาศแบบบ่วงคู่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่าน การปรับปรุงสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ได้ค่าที่เหมาะสมจากกระบวนการคิดเชิงพันธุกรรม สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำโดยใช้กระบวนการคิดแบบพันธุกรรมและสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ จำลองแบบและหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบสามบ่วงด้วยกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิวและค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร เป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสายอากาศแบบบ่วง

บทที่ 5 ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กของสายอากาศบ่วงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า อีกทั้งสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านและการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ และสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านด้วยการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ

บทที่ 6 สรุปเนื้อหาทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

## บทที่ 2

# หลักการของระบบ RFID และการวิเคราะห์การกระจายความ เข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศ

### 2.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทั่วไปของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่อ่านความถี่ต่ำ [1] [2] และ [13] ซึ่งประกอบด้วย ประเภทของแท็กแบบต่าง ๆ หลักการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ กับแท็ก หลักการสื่อสารแบบ Inductive Coupling และการวิเคราะห์การกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กในรูปแบบต่าง ๆ

### 2.2 ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID) ย่อมาจาก Radio Frequency Identification เป็นระบบระบุลักษณะของวัตถุด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำไปใช้งานแทนระบบบาร์โค้ด (Barcode) โดยจุดเด่นของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุอยู่ที่สามารถ อ่านข้อมูลจากแท็ก (Tag) ได้หลาย ๆ แท็กแบบไร้สัมผัส และสามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือนการกระทบกระแทก และสามารถจะอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก

ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะมีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือแท็ก ที่ใช้ติดกับวัตถุต่าง ๆ ที่เราต้องการ โดยแท็กที่ว่าจะเป็นที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ เอาไว้ ส่วนที่สองก็คือเครื่องสำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อความเข้าใจจึงขอเปรียบเทียบกับระบบบาร์โค้ด เพื่อให้เห็นภาพชัดเจน แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุก็คือ ตัวบาร์โค้ดที่ติดกับฉลากของสินค้า และเครื่องอ่านในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุก็คือเครื่องอ่านบาร์โค้ด โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบคือ ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุจะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านหรือเขียน ส่วนระบบรหัสแท่งจะใช้แสงเลเซอร์ในการอ่าน โดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ด คือหลักการอ่านเป็นการใช้แสงในการอ่านรหัสแท่งซึ่งจะต้องอ่านรหัสแท่งที่ไม่มีอะไรปกปิดหรือต้องอยู่ในเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกน และอ่านวัตถุได้ทีละชิ้น ในระยะใกล้ ๆ แต่ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุจะแตกต่าง โดยสามารถอ่านแท็กได้โดยไม่ต้องเห็นแท็ก หรือแท็กนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับคลื่น เพียงแต่อยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุยังสามารถอ่านได้หลาย ๆ แท็กในเวลาเดียวกัน

### 2.2.1 แท็ก

โครงสร้างภายในของแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของไมโครชิป (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุเช่นรหัสสินค้า โดยทั่วไปแท็กอาจอยู่ในชนิดทั้งเป็น กระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำไปติด และมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคลปซูล เป็นต้น แต่โดยหลักการอาจแบ่งแท็ก ที่มีใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในเรื่องของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงาน ซึ่งจะขอล่าวถึงและอธิบายแยกเป็นหัวข้อดังนี้

#### 2.2.1.1 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ แบบพาสซีฟ

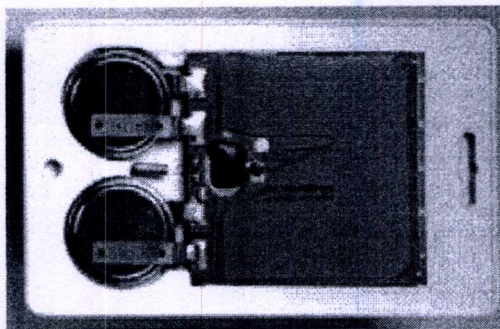
แท็กชนิดนี้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใด ๆ แสดงตามรูปที่ 2.1 เพราะภายในแท็กจะมีวงจรกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็ก เป็นแหล่งจ่ายไฟในตัวอยู่ทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก ขึ้นอยู่กับความแรงของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ ขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.1 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ [13]

#### 2.2.1.2 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอ็กทีฟ

แท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรเครื่องส่งภายในแท็กซึ่งแท็กชนิดนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ส่งสัญญาณได้ไกล มีอายุการใช้งานสั้นและมีราคาแพง มักนิยมใช้กับเครื่องอ่านย่านความถี่ UHF หรือ ไมโครเวฟ



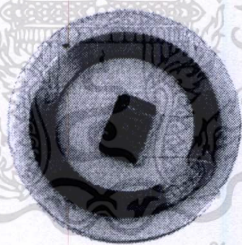
รูปที่ 2.2 แท้กของระบบลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอ็กทิฟ [13]

### 2.2.2 ประเภทของแท้กในระบบลักษณะทางคลื่นวิทยุ

อุปกรณ์แท้กในระบบลักษณะทางคลื่นวิทยุ ประเภทต่าง ๆ ที่มีการผลิตใช้งานในกิจการต่าง ๆ ในปัจจุบัน โดยแยกกล่าวตามความแตกต่างของโครงสร้างและการออกแบบเป็นสำคัญตามด้วยตัวอย่างประเภทของการประยุกต์ใช้งาน

#### 2.2.2.1 แท้กแบบจานและเหรียญ (Disk and coin)

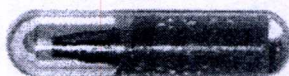
แท้กจะถูกบรรจุอยู่ใน โครงสร้างทรงกลมคล้ายจานหรือเหรียญและมีการเคลือบป้องกันไว้เป็นอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท้กชนิดนี้มีตั้งแต่ไม่กี่มิลลิเมตรไปจนถึง 10 เซนติเมตร



รูปที่ 2.3 แท้กแบบจานและเหรียญ [13]

#### 2.2.2.2 แท้กแบบกระเปาะแก้ว (Glass housing)

เป็นแท้กที่ได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นสำหรับใช้ฝังไว้ใต้ผิวหนังของสัตว์เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแวดวงปศุสัตว์และการสาธารณสุข ตัวกระเปาะแก้วมีขนาดความยาวในช่วง 12-32 มิลลิเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.4 แท้กแบบกระเปาะแก้ว [13]  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2.3 แท็กแบบพลาสติก (Plastic housing)

นิยมเรียกกันในชื่อย่อว่า PP (Plastic package) ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในกิจการอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีความต้องการเฉพาะรูปแบบ แท็กแบบนี้มีขนาดบางและสามารถนำไปติดตั้งประกอบกับผลิตภัณฑ์หลาย ๆ ประเภท



รูปที่ 2.5 แท็กแบบพลาสติก [13]

### 2.2.2.4 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ

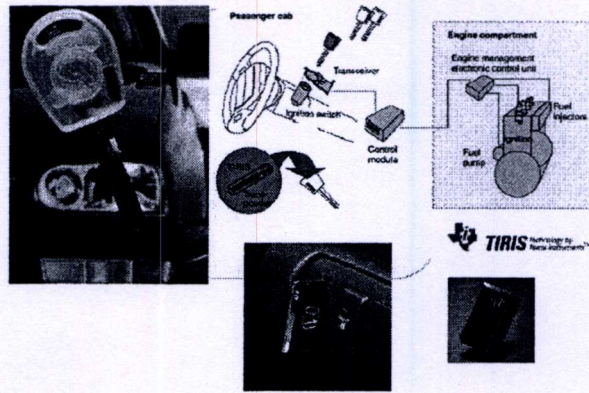
เป็นแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ สำหรับใช้งานในกรณีเฉพาะกิจ โดยมีการคิดค้นและพัฒนาเพื่อบรรจุแท็กลงใน โครงสร้าง และหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะ



รูปที่ 2.6 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ [13]

### 2.2.2.5 แท็กแบบพวงกุญแจ (Key and key fob)

แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สามารถได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปของกุญแจพิเศษที่ใช้ในการเปิดปิดประตู หรือใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยต่าง ๆ ซึ่งพวงกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ไม่มีลูกกุญแจ แต่กลับทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งอาจมีการนำเข้ารหัสเพื่อใช้ในการยืนยันตัวตนบุคคล



รูปที่ 2.7 แท็กแบบพวงกุญแจ [13]

#### 2.2.2.6 แท็กแบบนาฬิกา

แท็กแบบนาฬิกาได้รับการคิดค้นและพัฒนาตั้งแต่ พ.ศ. 2533-2535 โดยบริษัทสัญชาติ ออสเตรียที่มีชื่อว่า Sky-Data โดยผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นนาฬิกาสวมใส่ข้อมือและใช้เป็นอุปกรณ์ แสดงตัวตนในลักษณะช่องเซ็นเซอร์แบบไร้การสัมผัส (Contactless sensor) เพื่อผ่านเข้าสู่จุดเล่น สกีสำหรับนักสกีทั้งหลาย



รูปที่ 2.8 แท็กแบบนาฬิกา [13]

#### 2.2.2.7 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส

แท็กแบบ ID-1 มีรูปลักษณะภายนอกไม่ต่างจากบัตรเครดิตหรือบัตร โทรศัพท์ทั่วไป โดยมี ขนาดประมาณ 85.72 มิลลิเมตร กว้าง 54.03 มิลลิเมตร ความหนา 0.76 มิลลิเมตร เป็นแท็กที่ได้รับความนิยมนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติพิเศษก็คือระยะทำการรับส่งสัญญาณที่เหนือกว่า แท็กแบบอื่น ๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากพื้นที่หน้าตัดที่กว้างมากของตัวบัตร ทำให้สามารถจับวางระบบ สายอากาศที่มีแกนขนาดใหญ่ช่วยเพิ่มรัศมีทำการขึ้นได้อีกมาก



รูปที่ 2.9 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส [13]

#### 2.2.2.8 แท็กแบบ Smart label

เป็นแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ บางที่สุดที่ได้รับการออกแบบเป็นกระดาษบาง ๆ สามารถงอหรือทบได้ โดยขดลวดสำหรับรับส่งสัญญาณจะถูกออกแบบเป็นแถบพอยล์พลาสติกความหนาเพียง 0.1 มิลลิเมตร โดยใช้ขบวนการผลิตแบบพิมพ์สกรีน โดยทั่วไปแถบพอยล์เหล่านี้จะถูกเคลือบชั้นหนึ่งโดยเยื่อกระดาษและทับอีกชั้นหนึ่งด้วยสารยึดเกาะ เพื่อป้องกันการฉีกขาด



รูปที่ 2.10 แท็กแบบ Smart label [13]

#### 2.2.2.9 แท็กแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-Chip)

แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ชนิดนี้มีความแตกต่างจากแท็กแบบอื่น ๆ ซึ่งมีการแยกส่วนระหว่างแท็กกับขดลวดหรือสายอากาศอย่างชัดเจน แต่สำหรับแท็กแบบขดลวดบนชิปนั้นจะรวมส่วนที่เป็นขดลวดสายอากาศและตัววงจรประมวลผลเข้าด้วยกัน

#### 2.2.3 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader)

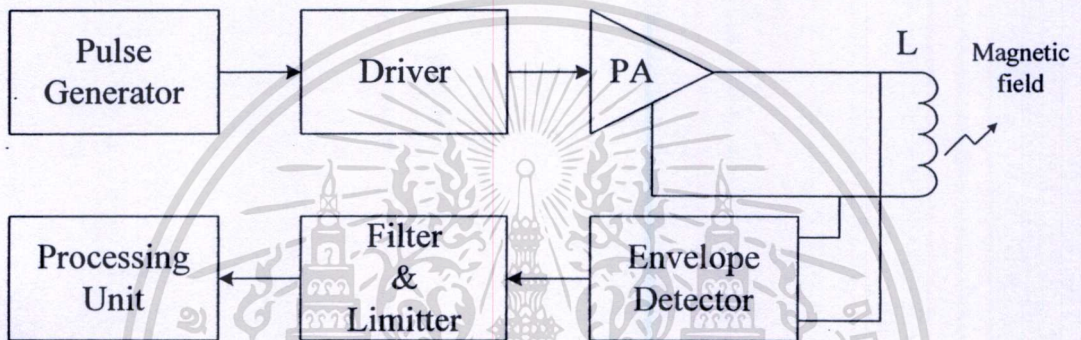
โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านแสดงดังรูปที่ 2.11 จะประกอบด้วย สายอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดงเพื่อใช้รับส่งสัญญาณ ภาครับ-ส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล จำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้ [1] [2] และ [13]

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 • ภาคสร้างสัญญาณพาหะ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรม จะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะขนาดและรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็กหรือติดผนัง จนถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของเครื่องอ่านข้อมูล [1] และ [13]

## 2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

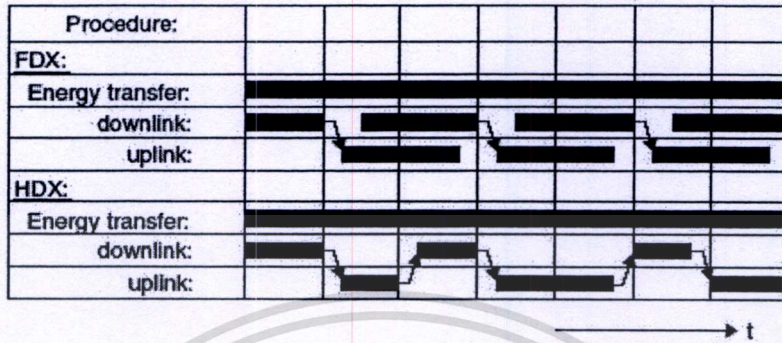
### 2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation type)

อุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID) ทั้งแท็ก (Tag) หรือเครื่องอ่านข้อมูล (Reader) จะมีรูปแบบการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างการรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex (FDX) / Half Duplex (HDX)

#### 2.3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex (FDX)

เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลออกตลอดเวลา ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านทางคลื่นวิทยุไปจ่ายให้กับแท็กที่อยู่ในบริเวณการใช้งานด้วย และเนื่องจากความแรงของคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่แท็กส่งออกมามีกำลังส่งต่ำ ทำให้มีแนวโน้มว่าสัญญาณอาจส่งไปไม่ถึงเครื่องอ่าน หรืออาจส่งไปถึงแต่มีระดับสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ด้วย เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นของตนเองทำให้ส่งสัญญาณออกมาได้สูงกว่า ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการสร้างความแตกต่างของสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีการส่งออกมาจากแท็กแต่ละเครื่อง ให้มีเอกลักษณ์ (Identity) ที่แตกต่างกัน เพื่อให้เครื่องอ่านสามารถแยกแยะแหล่งที่มาได้อย่างถูกต้อง โดยใช้มอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation ซึ่งการสื่อสารแบบ Full Duplex เครื่องอ่านข้อมูลจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงาน

ไฟฟ้าให้กับแท็กได้ตลอดเวลา การส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านข้อมูลไปยังแท็ก (Downlink) และการส่งข้อมูลจากแท็กกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูล (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex [1] และ [13]

### 2.3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ Half Duplex (HDX)

การสื่อสารแบบ Half Duplex เครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับแท็กตลอดเวลา ซึ่งการส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านไปยังแท็ก (Downlink) และการส่งข้อมูลจากแท็กกลับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) จะต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและแท็ก ดังรูปที่ 2.12

### 2.3.2 ปริมาณข้อมูล (Data quantity)

โดยทั่วไปอุปกรณ์แท็กในระบุนัลักษณ์ทางคลื่นวิทยุ จะมีขนาดของหน่วยความจำ หรือที่นิยมเรียกกันว่าขนาดความจุข้อมูล (Data capacity) ไล่ขนาดตั้งแต่ไม่กี่ไบต์ไปจนถึงหลาย ๆ กิโลไบต์ ตัวอย่างแท็กในระบุนัลักษณ์ทางคลื่นวิทยุ อีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาให้มีขนาดความจุเพียง 1 บิต (One-bit Transponder) ซึ่งแท็กแบบนี้มักมีราคาประหยัดและมีจุดประสงค์ในการนำไปใช้งานเพียงเพื่อการแจ้งสถานภาพเท่านั้น

### 2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable ability)

การจำแนกประเภทของแท็กในระบบระบุนัลักษณ์ทางคลื่นวิทยุ ตามขีดความสามารถในการโปรแกรมข้อมูล สามารถแบ่งออกได้เป็นแท็กที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ ซึ่งภายในจะมีการเขียนข้อมูลที่อาจเป็นรหัสเลขหมายใด ๆ ตามที่ได้รับคำสั่งข้างทำมาตั้งแต่สายการผลิตและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ อีกประเภทหนึ่งเป็นแท็กในระบบระบุนัลักษณ์ทางคลื่นวิทยุ ที่สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลผ่านทางเครื่องอ่านได้ การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence) ในกรณีของแท็กที่สามารถโปรแกรมได้นั้น ก็มีเทคนิคที่ใช้ในการจัดการประมวลผลข้อมูลให้เล็กลงพิจารณาเป็นเรื่องทางเทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 แหล่งจ่ายพลังงาน (Power supply)

เป็นคุณสมบัติทางเทคนิคที่มีความสำคัญมากในการพิจารณาเลือกใช้แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ทั้งนี้สามารถจำแนกประเภทของแท็กออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แบบพาสซีฟ (Passive transponder) ซึ่งเป็นแท็กที่ไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟบรรจุไว้ภายในตัว แต่จะอาศัยการแปลงสัญญาณพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่านมาเป็นไฟเลี้ยงเพียงอย่างเดียว กับอีกประเภทหนึ่ง คือ แบบแอ็กทีฟ (Active transponder) ซึ่งต้องการระบบจ่ายไฟภายในแท็กเพื่อใช้ป้อนจ่ายให้กับชิปประมวลผลที่ติดตั้งอยู่ภายใน

### 2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency range)

ความหมายของความถี่ใช้งาน (Operating frequency) ในมาตรฐานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ นั้นจะหมายถึงคลื่นความถี่วิทยุที่เครื่องอ่านทำการส่งออกไปเท่านั้น โดยจะไม่นับใจว่าแท็กจะส่งคลื่นความถี่ในย่านใดตอบกลับมา ยิ่งในบางกรณีแท็กอาจมีการส่งคลื่นความถี่กลับมาเป็นค่าความถี่เดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกไป โดยแยกแยะความแตกต่างกันด้วยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation ประเด็นของคลื่นความถี่จากแท็กจึงไม่ใช่สาระสำคัญในการนำมาพิจารณา ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-Scientific-Medical band) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสาร โดยทั่วไปมีความถี่ใช้งาน สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบ่งออกได้เป็น 4 ย่านความถี่ หลักได้แก่

- ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LF) ต่ำกว่า 150 kHz
- ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) 13.56 MHz
- ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) 433/868/915 MHz
- ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) 2.4/5.8 GHz

ในแง่การใช้งานสองย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ (LF ระยะอ่านประมาณ 1 เซนติเมตร จนถึง 1 เมตร และ HF ระยะอ่านประมาณ 1 เมตร) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่าน UHF จะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร) เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน และในปัจจุบันระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการระยะอ่านที่ไกลกว่า 10 เมตร เป็นต้น

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้วระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด และมีราคา

แพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วนระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ใช้คลื่นพาหะในอีกสองย่านความถี่แรกจะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

## 2.4 ข้อพิจารณาการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

### 2.4.1 ความถี่ใช้งาน

อุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ที่ใช้ย่านความถี่ในช่วง 100 kHz ถึง 30 MHz จะใช้รูปแบบส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลระหว่างแท็กกับเครื่องรับเป็นแบบเหนี่ยวนำ (Inductive Coupling) ในขณะที่อุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ที่มีการสื่อสารโดยใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟซึ่งอยู่ในช่วง 2.45-5.8 GHz จะใช้การส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การดูดซับคลื่นสัญญาณของตัวนำที่เป็นน้ำ ที่ความถี่ใช้งาน 100 kHz จะมีค่าต่ำกว่าการใช้งานที่ความถี่ 1 GHz ถึง 100,000 เท่า การเลือกใช้งานอุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ที่ความถี่สูงระดับ 1 GHz ในกรณีที่มีฝนตกย่อมจะเกิดปัญหาการลดทอนสัญญาณระหว่างแท็กและเครื่องอ่านซึ่งอยู่กลางแจ้งมากกว่าการใช้งานแบบเดียวกันที่ความถี่ 100 kHz การเลือกใช้อุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ทำงานที่ความถี่ในย่าน HF น่าจะให้ผลดีในการแพร่กระจายคลื่นในระยะทางกว้าง

ส่วนการเลือกใช้งานความถี่ไมโครเวฟนั้น โดยทั่วไปจะให้ผลดีในเรื่องของระยะทางที่ไกลกว่าการเหนี่ยวนำโดยใช้คลื่นความถี่ต่ำ แต่อุปกรณ์แท็กที่ทำงานในย่านไมโครเวฟนั้นจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟสำรองไฟฟ้าทำให้ต้องมีขนาดใหญ่และมีข้อจำกัดในการพกพาหลาย ๆ ประการ สิ่งที่ควรพิจารณาประการหนึ่งสำหรับการใช้งานอุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ในย่านความถี่ต่ำก็คือ การที่ระบบอาจถูกรบกวนจากการเดินเครื่องมอเตอร์ที่อยู่ใกล้เคียงได้ เนื่องจากเป็นการรับส่งข้อมูลที่ใช้การเหนี่ยวนำ ทำให้มีความนิยมใช้งานการสื่อสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟแทนในกรณีของการใช้งานภายในโรงงานอุตสาหกรรม

### 2.4.2 ระยะทำการ

ปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องโดยตรงต่อระยะทำการในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและแท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประการคือ ตำแหน่งของแท็กหรือระยะห่างขั้นต่ำระหว่างแท็กแต่ละตัวกับเครื่องอ่านข้อมูล ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปแล้วแต่ประเภทของการใช้งาน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแท็ก และความเร็วในการอ่าน/เขียนข้อมูลของแท็ก

### 2.4.3 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย

#### 2.4.3.1 การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล

การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจยืนยันแท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ และการเข้ารหัสข้อมูลที่จะถูกส่งผ่านทางคลื่นวิทยุ กระบวนการหรือความต้องการใช้งานในกรณีนั้น ๆ จำเป็นต้องใช้มาตรการรักษาความปลอดภัยหรือไม่ หรือหากต้องการใช้จะเป็นเพียงระดับใด เพื่อให้การลงทุนเป็นไปอย่างเหมาะสมที่สุด

#### 2.4.3.2 การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์

การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์ ที่ความถี่ 9 kHz – 300 GHz สำหรับใช้ในการกำกับดูแลการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม และการตั้งสถานีวิทยุคมนาคม เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากเครื่องวิทยุคมนาคม โดยแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกคือกลุ่มของผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน (Occupational exposure) หมายถึง กลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องวิทยุคมนาคม อันเป็นผลมาจากหน้าที่การงาน กลุ่มที่สอง กลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป (General public exposure) หมายถึง กลุ่มประชาชนทั่วไปที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องวิทยุคมนาคม โดยไม่รวมถึงบุคคลในกลุ่มแรก ซึ่งขีดจำกัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงานและกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป จะต้องมามีค่าไม่เกินค่าดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ ในตารางทั้งสองนั้น  $f$  หมายถึง ความถี่ มีหน่วยเป็นเมกะเฮิรตซ์ (MHz)

ตารางที่ 2.1 ขีดจำกัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน [17] และ [18]

ความถี่	ความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)	ความเข้มสนามแม่เหล็ก (A/m)
9 kHz - 65 kHz	610	24.4
65 kHz - 1 MHz	610	$1.6/f$
1 MHz - 10 MHz	$610/f$	$1.6/f$
10 MHz - 400 MHz	61	0.16
400 MHz - 2 GHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$
2 GHz - 300 GHz	137	0.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ขีดจำกัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป [17] และ [18]

ความถี่	ความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)	ความเข้มสนามแม่เหล็ก (A/m)
9 kHz - 150 kHz	87	5
150 kHz - 1 MHz	87	$0.73/f$
1 MHz - 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$
10 MHz - 400 MHz	28	0.073
400 MHz - 2 GHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$
2 GHz - 300 GHz	61	0.16

จากตารางที่ 2.1 และ 2.2 ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำที่ความถี่ 134.2 kHz นั้น ต้องมีความเข้มสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามแม่เหล็กดังต่อไปนี้ สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงาน ต้องมีความเข้มของสนามไฟฟ้าไม่เกิน 610 V/m และความเข้มสนามแม่เหล็กไม่เกิน 11.92 A/m และสำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป ต้องมีความเข้มของสนามไฟฟ้าไม่เกิน 87 V/m และความเข้มสนามแม่เหล็กไม่เกิน 5 A/m [17] และ [18]

#### 2.4.4 ขนาดของหน่วยความจำ

ต้นทุนของแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ย่อมมีความสัมพันธ์กับลักษณะและขนาดของหน่วยความจำที่บรรจุอยู่ภายใน การใช้งานในระดับสาธารณะ เช่น ระบบขนส่งจึงนิยมใช้แท็กที่มีหน่วยความจำน้อย หรือในบางกรณีอาจใช้แท็กแบบ โปรแกรมไม่ได้ เพื่อควบคุมต้นทุนของบัตร โดยอาจใช้บัตรหรือแท็กทำหน้าที่ส่งข้อมูลแสดงหมายเลข แล้วให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นใช้งานภายในระบบหรือเครือข่ายขนส่งทำหน้าที่ตรวจสอบแทน โดยไม่ต้องเก็บข้อมูลไว้ในบัตร

## 2.5 เทคโนโลยีระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ใช้การสื่อสารแบบ

### Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็ก โครงสร้างของแท็กประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่เก็บบันทึกข้อมูลต่าง ๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ

ดังนั้นในการออกแบบระบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่านข้อมูล และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่แท็ก มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและแท็ก

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของแท็กจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลดลงเช่นกัน ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 125 kHz-134.2 kHz จะต้องมีการพันขดลวดสายอากาศที่แท็กในช่วง 100-1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 MHz ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3-10 รอบเท่านั้น ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์แท็กลงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามเหล็กในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะทางในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์ Inductive Coupling จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของแท็กและระยะทางที่ต้องการใช้งานตรวจจับเป็นสำคัญ เพื่อใช้กำหนดเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ใช้งาน

สิ่งที่ควรให้ความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบสัญลักษณ์ทางคลื่นวิทยุแบบ Inductive Coupling ก็คือพฤติกรรมการกินกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ชิปที่ติดตั้งอยู่บนแท็ก เนื่องจากค่อนข้างมีความหลากหลายและสัมพันธ์กับรูปแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งาน การเลือกค่าความถี่พื้นฐานในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กระยะทางพื้นที่ใช้งาน และขนาดของอุปกรณ์อื่นเนื่องมาจากจำนวนรอบของขดลวดสายอากาศ จึงจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับประเภทของการใช้งานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

## 2.5.2 การส่งข้อมูลจากแท็กมายังเครื่องอ่าน

มาตรฐานของระบบระบบสัญลักษณ์ทางคลื่นวิทยุแบบ Inductive Coupling กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากแท็กมายังเครื่องอ่านข้อมูล หรือ Uplink Communication โดยใช้เทคโนโลยีที่เป็นการส่งกระจายคลื่นความถี่วิทยุคือ Load Modulation จะมีหลักการทำงานดังนี้

### 2.5.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation

พฤติกรรมในการส่งสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของแท็กมีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศไม่ใช่โลหะดังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป แต่การใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กห่างกันไม่เกิน  $0.16$  เท่าของค่าความยาวคลื่น ( $0.16\lambda$ ) ซึ่งหากคิดกรณีที่ใช้ความถี่ในย่าน 125 kHz ที่มีความยาวคลื่น 2,400 เมตร ก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายความว่า จะวางแท็กกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน  $0.16 \text{ คูณ } 2,400 = 384$  เมตร [3] และ [13]

หากมีการนำแท็กซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ ตรงกันกับค่าความถี่เรโซแนนซ์ของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากเครื่องอ่าน แท็กย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้ว เครื่องอ่านจะมองเห็นแท็กเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $Z_T$  ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์  $Z_T$  ที่เครื่องอ่านอย่างแน่นอน เนื่องจากในแง่ของวงจรเรโซแนนซ์ที่เกิดจากขดลวด และตัวเก็บประจุ บนแท็กย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่และไม่มี การจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับความถี่เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน  $Z_T$  นี้ ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน โดยปริยาย ซึ่งเป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากแท็กมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex นั้นขึ้นอยู่กับกรออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องที่ต้อง รายละเอียดไปในการออกแบบ

## 2.6 การวิเคราะห์การกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศ

การวิเคราะห์การกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศในแบบต่าง ๆ โดยใช้กฎของ Biot-Savart [6] และ [7] และโปรแกรม NEC2 [8] ที่ความถี่ 134.2 kHz ซึ่งวิเคราะห์การกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ถัดมาจะวิเคราะห์การกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กสายอากาศสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่าน ถัดมาวิเคราะห์การกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กสายอากาศแบบบ่วงคู่แบบประตูเดินผ่าน พร้อมทั้งวิเคราะห์การกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่มีจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำและสุดท้ายกับการวิเคราะห์สายอากาศแบบสามบ่วงแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ

### 2.6.1 กฎของ Biot-Savart

โดยทั่วไปกฎของ Biot-Savart [6] [7] [16] และ [17] นั้นจะใช้ในการคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเท่านั้น แต่ในโครงการนี้จะนำเสนอการวิเคราะห์การกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศโดยใช้กฎของ Biot-Savart ซึ่งในการวิเคราะห์ที่สามารถใช้กฎนี้ได้ก็เพราะว่าจากสมการของ Maxwell ในโดเมนเชิงความถี่ (Frequency Domain) [6] และ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

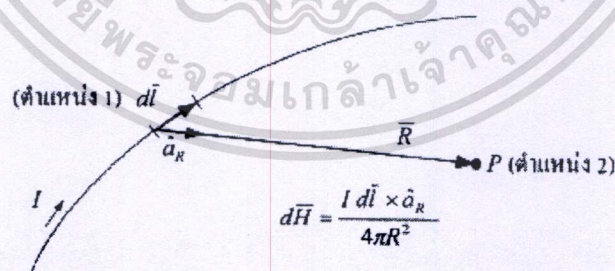
$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + j\omega\epsilon_0\vec{E} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $\vec{J}$  คือความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเชิงปริมาตร (Electric Volume Current Density)  $\vec{E}$  คือความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric Field Intensity)  $\vec{H}$  คือความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Intensity)  $\omega$  คือความถี่เชิงมุม (Angular Frequency) และ  $\epsilon_0$  คือค่าสภาพยอมไฟฟ้าของช่องว่างอิสระ (Free Space Permittivity) โดยที่  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$  F/m เนื่องจากความถี่ที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ 134.2 kHz ซึ่งอยู่ในย่านความถี่ต่ำ สังเกตได้ว่า  $\omega = 8.432 \times 10^5$  rad/s ที่ความถี่นี้เพราะฉะนั้นพจน์ของ  $\omega\epsilon_0\vec{E}$  จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ  $\vec{J}$  ( $\omega\epsilon_0 = 7.466 \times 10^{-6}$  S/m) ดังนั้น จึงประมาณได้ว่า

$$\nabla \times \vec{H} \approx \vec{J} \quad (2.2)$$

จะเห็นได้ว่า สมการ (2.2) สามารถนำมาใช้ในการหาความเข้มสนามแม่เหล็ก  $\vec{H}$  ได้โดยประมาณ ในย่านความถี่ต่ำ ดังนั้นการคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กในโครงการนี้สามารถใช้กฎของ Biot-Savart ได้ จากรูปที่ 2.1  $d\vec{H}$  ที่จุด  $P$  (ตำแหน่ง 2) ที่เกิดจากส่วนของกระแส  $I$  ที่ไหลในตัวนำที่มีความยาว  $d\vec{l}$  ซึ่งมีทิศทางตามเวกเตอร์  $d\vec{l}$  (ตำแหน่ง 1) เมื่อระยะทางระหว่างตำแหน่ง 1 และตำแหน่ง 2 เป็น  $R$  และมีทิศทางของเวกเตอร์เป็น  $\hat{a}_R$  ดังนั้น  $d\vec{H}$  สามารถทำได้จากกฎของ Biot-Savart ดังต่อไปนี้ [6] และ [17]

$$d\vec{H} = \frac{I d\vec{l} \times \hat{a}_R}{4\pi R^2} \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.14 การคำนวณตามกฎของ Biot-Savart [17]

ดังนั้นความเข้มสนามแม่เหล็กรวมที่จุด  $P$  สามารถคำนวณได้โดยการอินทิเกรต (Integration) ตลอดเส้นทาง  $C$  ที่กระแสไหลผ่าน นั่นคือ

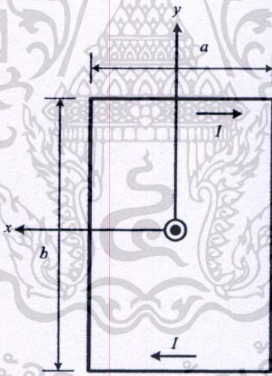
$$\vec{H} = \oint_C \frac{I d\vec{l} \times \hat{a}_R}{4\pi R^2} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ  $C$   $4\pi R^2$  เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

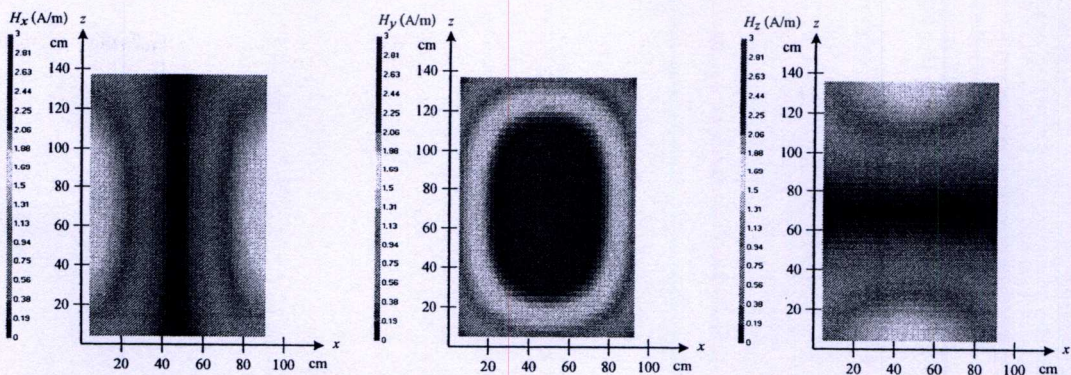
## 2.6.2 ผลการวิเคราะห์ของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

จากสมการความเข้มสนามแม่เหล็กที่ได้ขึ้นเนื่องจากโปรแกรม NEC2 [8] ให้ผลการคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กสอดคล้องกับผลที่ได้จากกฎของ Biot-Savart [6] และ [7] ให้ความสะดวกในการจำลองรูปแบบของสายอากาศมากกว่า [11] และ [16] จึงใช้โปรแกรม NEC2 ในการคำนวณหาความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศรูปแบบต่าง ๆ

การวิเคราะห์สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยความถี่ที่ใช้วิเคราะห์คือ 134.2 kHz ดังแสดงในรูปที่ 2.15 โดยขนาดของด้าน  $a$  และ  $b$  ที่ใช้ในการศึกษานี้เท่ากับ 90 เซนติเมตร และ 135 เซนติเมตร ตามลำดับ ป้อนกระแสเท่ากับ 1 A และพล็อตความเข้มสนามแม่เหล็กในระนาบ  $xy$  ที่ระยะ  $z$  เท่ากับ 0.5 เมตร โดยค่าแกน  $x$  เริ่มจาก -0.45 เมตร ถึง 0.45 เมตร และค่าแกน  $y$  เริ่มจาก -0.675 เมตร ถึง 0.675 เมตร ซึ่งความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 3 แอมแปร์ต่อเมตร (A/m) ผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม NEC2 ดังแสดงในรูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาความเข้มสนามแม่เหล็กทั้งสามแนวแกนหลักนั้นพบว่า สามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลได้ในแนวแกน  $y$  เท่านั้นแต่ก็ไม่เต็มระนาบ  $xy$  และในแนวแกนของ  $x$  และ  $y$  นั้นมีความเข้มสนามแม่เหล็กจะมีค่าน้อยมาก เป็นผลทำให้เมื่อนำไปใช้งานเครื่องอ่านข้อมูลไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้



รูปที่ 2.15 สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า [16]

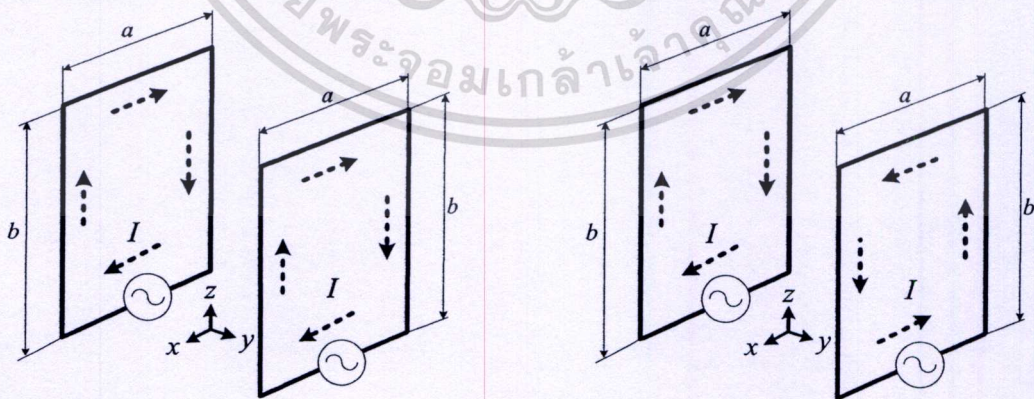


รูปที่ 2.16 ผลการวิเคราะห์แบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ระยะ  $x$  เท่ากับ 0.5 เมตร หากท่านนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.3 ผลการวิเคราะห์ของสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบประตูดินผ่าน

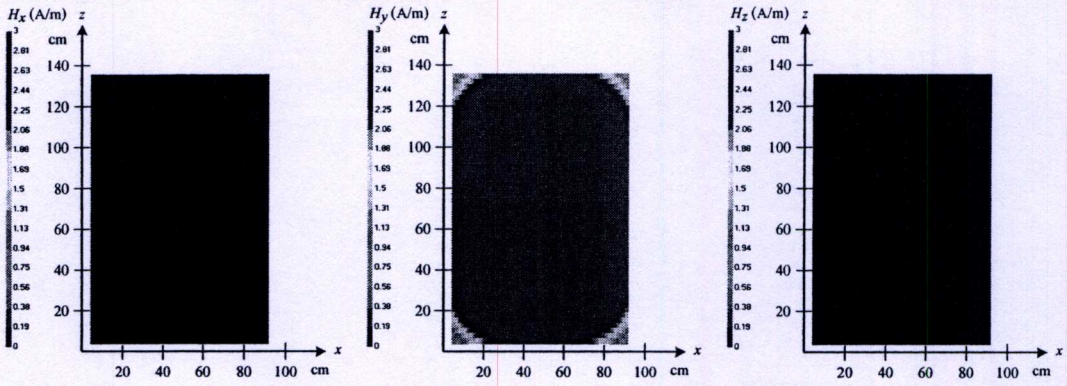
จากการวิเคราะห์สายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน โดยความถี่ที่ใช้วิเคราะห์คือ 134.2 kHz โดยขนาดของด้าน  $a$  และ  $b$  ที่ใช้ในการศึกษานี้เท่ากับ 90 เซนติเมตร และ 135 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งขนาดของสายอากาศนี้เป็นขนาดที่ออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในระบบลงทะเลเบียดสัตว์ใหญ่ ที่เดินผ่านสายอากาศเข้ามาทางแนวแกน  $x$  จากนั้นป้อนกระแสเท่ากับ 1 A ซึ่งทำการวิเคราะห์สายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านอยู่สองกรณี คือกรณีของการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองมีเฟสเดียวกันและกรณีของการป้อนกระแสให้ต่างเฟสกัน 180 องศา โดยการวิเคราะห์สายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าในกรณีแรกที่มีการกระตุ้นสายอากาศแบบเฟสตรงกัน ทิศทางของกระแสที่ไหลวนในบ่วงทั้งสองจะมีทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.17 (ก) คือ โครงสร้างสายอากาศที่ป้อนกระแสในทิศเดียวกันทำให้เกิดการหักล้างของสนามแม่เหล็กในทิศ  $x$  และทิศทางของแนวแกน  $z$  แต่ให้สนามที่มีความเข้มสูงเต็มระนาบในแนวแกน  $y$  ซึ่งแสดงแบบรูปการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการป้อนกระแสที่มีเฟสตรงกัน ซึ่งที่ระยะ  $y$  มีค่าเท่ากับ 50 เซนติเมตร แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.18 สำหรับกรณีที่สองถ้าสายอากาศทั้งสองด้านมีการกระตุ้นกระแสแบบต่างเฟสกัน 180 องศา ทิศทางของกระแสที่ไหลวนในบ่วงทั้งสองจะมีทิศที่ตรงข้ามกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.17 (ข) ทำให้เกิดการหักล้างของสนามแม่เหล็กในทิศ  $y$  ทั้งระนาบ  $xz$  บริเวณกึ่งกลางของประตูดินผ่าน ส่วนสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $z$  บริเวณตรงกลางของโครงสร้างสายอากาศมีค่าน้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ซึ่งเป็นแบบรูปการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กทั้งสามแนวแกนหลักที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร



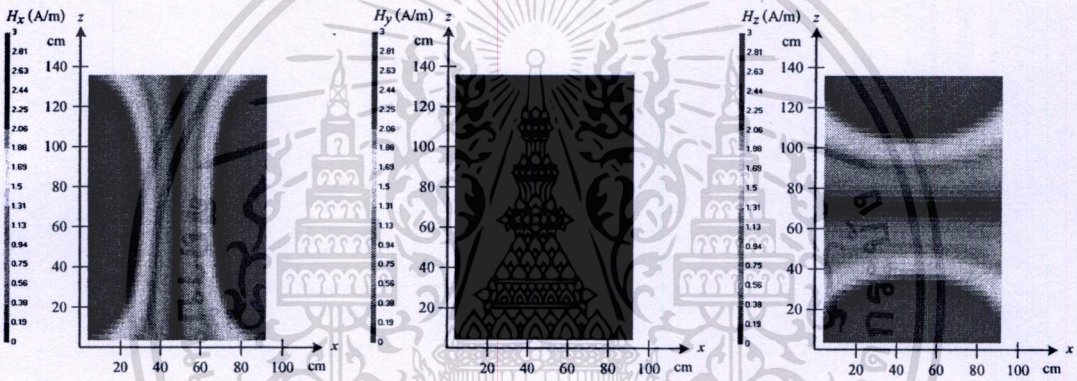
(ก) กระตุ้นแบบเฟสตรงกัน

(ข) กระตุ้นแบบต่างเฟส 180 องศา

รูปที่ 2.17 การกระตุ้นกระแสสำหรับสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน [17]



รูปที่ 2.18 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบ  
 ประตูดินผ่านเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ  
 50 เซนติเมตร [17]

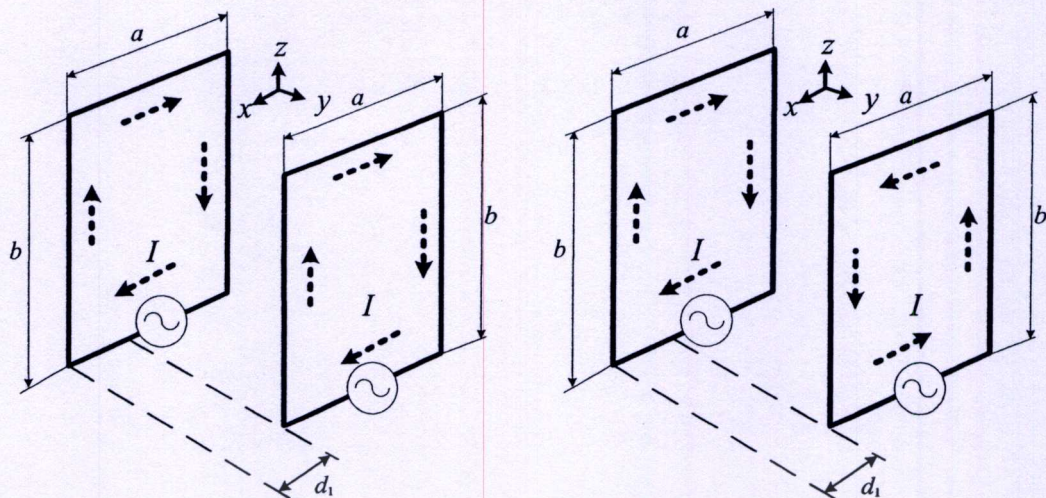


รูปที่ 2.19 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบ  
 ประตูดินผ่านเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ที่ระยะ  
 $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร [17]

2.6.4 ผลการวิเคราะห์ของสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ

การวิเคราะห์สายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีจัดวางสายอากาศแบบประตูดินผ่านที่  
 ตรงกันการ โดยมีการกระตุ้นกระแสทั้งสองกรณีนั้นยังคงให้การกระจายสนามแม่เหล็กยังน้อยบาง  
 แนวแกนจึงทำการวิเคราะห์การวางสายอากาศแบบเหลี่ยมล้ำโดยขนาดของด้าน  $a$  และ  $b$  ที่ใช้ใน  
 การวิเคราะห์โครงสร้างสายอากาศเท่ากับ 90 เซนติเมตร และ 135 เซนติเมตร เพื่อที่จะลดการ  
 หักล้างของสนามแม่เหล็กที่กระจายออกมาจากสายอากาศทั้งสองด้านการเพิ่มการเหลี่ยมล้ำของ  
 สายอากาศแต่ละด้านกำหนดระยะเหลี่ยมล้ำเป็น  $d_1$  ซึ่งในการพิจารณาระยะเหลี่ยมล้ำนี้จะมีค่า  
 เท่ากับ 40 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ซึ่งเป็นการติดตั้งแบบประตูดินผ่านด้วยการวางแบบ  
 เหลี่ยมล้ำ ซึ่งมีการพิจารณาอยู่สองกรณี คือ กรณีแรกคือการกระตุ้นสายอากาศทั้งสองด้านให้มี  
 เฟสตรงกันและกรณีที่สองคือลักษณะการที่กระตุ้นกระแสเฟสต่างกัน 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



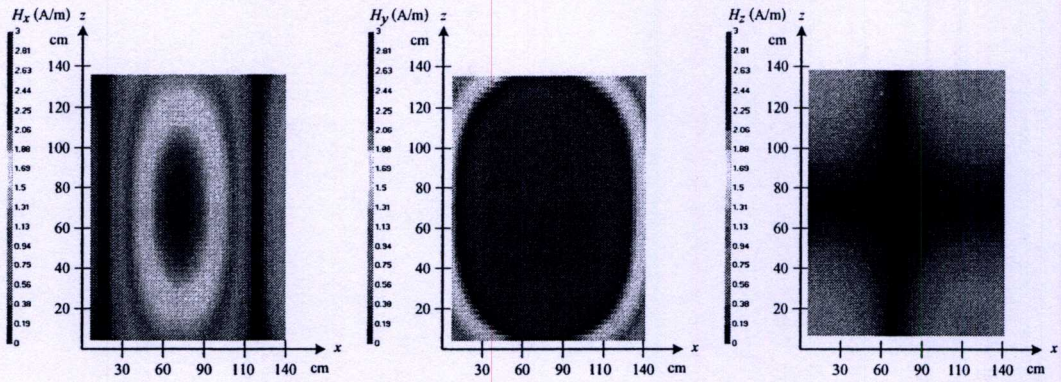
(ก) กระตุ้นแบบเฟสตรงกัน

(ข) กระตุ้นแบบต่างเฟส 180 องศา

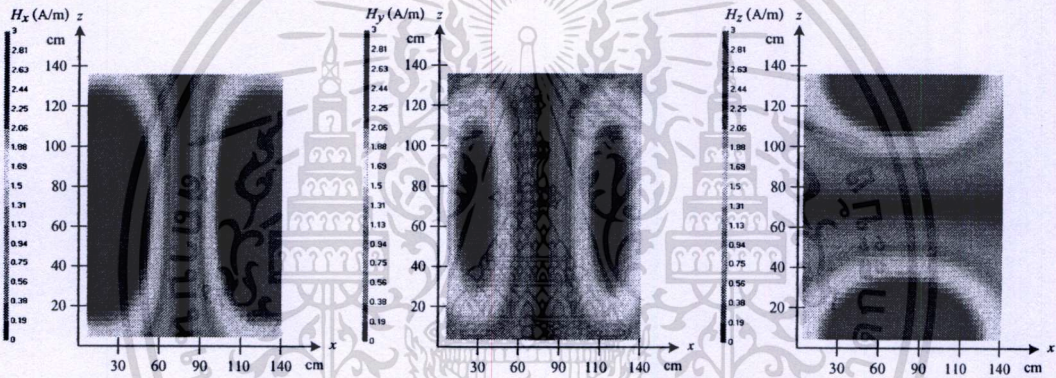
รูปที่ 2.20 สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางเหลื่อมล้ำ [17]

การวิเคราะห์จากการกระจายสนามแม่เหล็กในกรณีแรกที่กระตุ้นสายอากาศแต่ละด้านให้มีเฟสตรงกัน ที่ระยะห่างกึ่งกลางของสายอากาศทั้งสองด้าน นั้นเมื่อทำการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำที่ระยะ  $d_1$  เท่ากับ 40 เซนติเมตร แล้ว สนามแม่เหล็กทิศทางในแนวแกน  $x$  และแนวแกน  $z$  ของรูปการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับการติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่ไม่มีการเหลื่อมล้ำ และก็ยังคงค่าความเข้มการกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $y$  คงเดิม ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.21 สำหรับกรณีที่สองคือการกระตุ้นกระแสให้สายอากาศแต่ละด้านมีเฟสต่างกัน 180 องศา และมีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำโดยมีระยะ  $d_1$  เท่ากับ 40 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน เมื่อทำการพิจารณาที่บริเวณกึ่งกลางระหว่างสายอากาศ พบว่าความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $y$  ที่เคยโดนหักล้างกันจนติดต่อกันไม่ได้ทั้งระนาบนั้นมีค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นที่สูงกว่าเดิมมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่ไม่มีการเหลื่อมล้ำ สายอากาศโดยยังคงรักษาความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $x$  และในแนวแกน  $z$  นั้นยังคงมีค่าที่สูงอย่างเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ซึ่งเป็นแบบรูปการแพร่กระจายของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้งสามแนวแกนหลักเมื่อทำการวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างสายอากาศที่  $y$  มีค่าเท่ากับ 50 เซนติเมตร

ความเด่นชัดของการแพร่กระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศทั้งสองกรณี โครงสร้างของการป้อนกระแสให้สายอากาศในแต่ละด้านนั้นมีความแตกต่างกันออกไปเมื่อมีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ สิ่งที่แสดงให้เห็นนั้นก็คือความพยายามเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็กในทิศทางที่อ่อนและยังคงรักษาการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กในทิศอื่นเอาไว้จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการป้อนกระแสให้สายอากาศแต่ละด้านมีความต่างเฟสกัน 180 องศา พร้อมทั้งการจัดวางสายอากาศแบบเหลื่อมล้ำเข้ามาด้วยนั้นจะทำให้แบบรูปการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กมีค่าที่สูงทั้งสามแนวแกนหลัก



รูปที่ 2.21 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบ ประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมลำมี  $d_1$  เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสเส ให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร

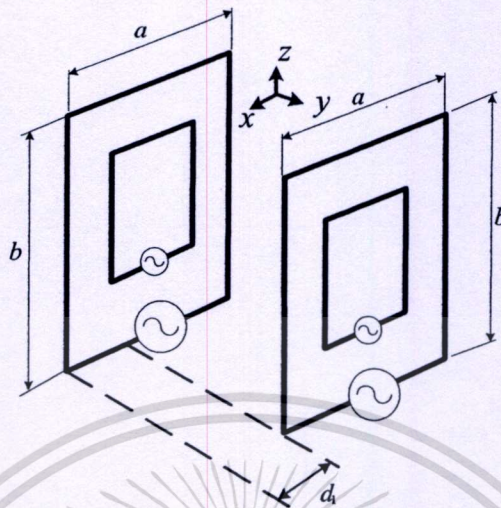


รูปที่ 2.22 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบ ประตูดินผ่านที่มีการวางแบบเหลี่ยมลำมี  $d_1$  เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสเสให้ สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร [17]

### 2.6.5 ผลการวิเคราะห์ของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมลำ

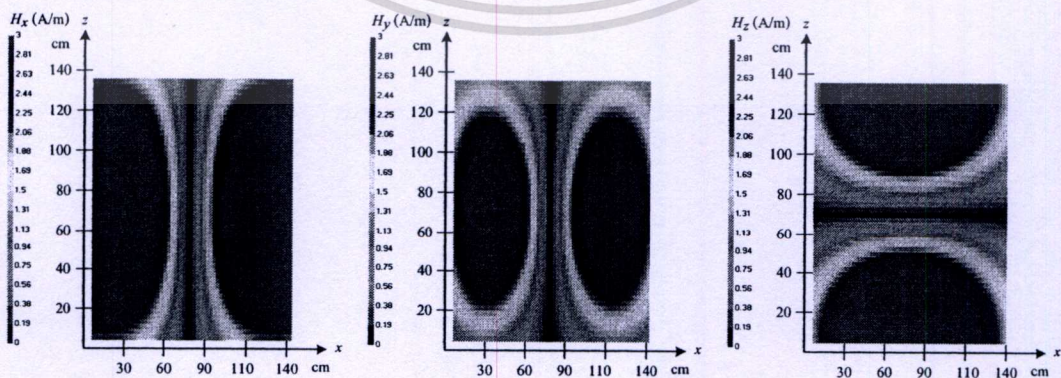
จากแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมลำนั้น จะเห็นได้ว่าสนามแม่เหล็กที่กระจายในทิศทาง  $z$  ยังมีการกระจายไม่ทั่วทั้งระนาบ จึงได้ทำการเพิ่มบ่วงอีกหนึ่งบ่วงให้กับสายอากาศทั้งสองชุด เพื่อที่จะให้บ่วงดังกล่าวช่วยเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็กในทิศทางตามแนวแกน  $z$  ให้ดีขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.23 โดยที่บ่วงเล็กที่ทำการเพิ่มขึ้นมามีขนาดกว้างเท่ากับ 45 เซนติเมตร และสูงเท่ากับ 67.5 เซนติเมตร โดยที่บ่วงใหญ่มีขนาด  $a$  เท่ากับ 90 เซนติเมตร และ  $b$  มีค่าเท่ากับ 135 เซนติเมตร จัดวางที่ศูนย์กลางของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ของบ่วงเล็กที่ได้ทำการเพิ่มเข้าไปสามารถที่จะช่วยเพิ่มการกระจายสนามแม่เหล็กในทิศทาง  $z$  โดยมีการติดตั้ง

สายอากาศแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำโดยมีระยะเหลื่อมล้ำในการวิเคราะห์คือ  $d_1$  เท่ากับ 40 เซนติเมตร เช่นเดิม



รูปที่ 2.23 สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา [17]

รูปที่ 2.24 จะเห็นได้ชัดว่าการเพิ่มบ่วงเข้ามามีการทำงานร่วมกันของสายอากาศทั้งสองด้านทำให้โอกาสของแบบรูปการแพร่กระจายมีค่าสูงขึ้นนั้นแสดงให้เห็นว่าการจัดวางสายอากาศที่มีการเหลื่อมล้ำนั้นเป็นการลดการหักล้างกันของสนามแม่เหล็กที่ตรงกลางสายอากาศและการเพิ่มสายอากาศให้เป็นแบบบ่วงคู่ก็เป็นการเพิ่มความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ดียิ่งขึ้นสังเกตจากแบบรูปการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูงทั้งสามแนวแกนหลักของสายอากาศที่มีการติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำซึ่งทำการวิเคราะห์ที่ระนาบกึ่งกลางสายอากาศ



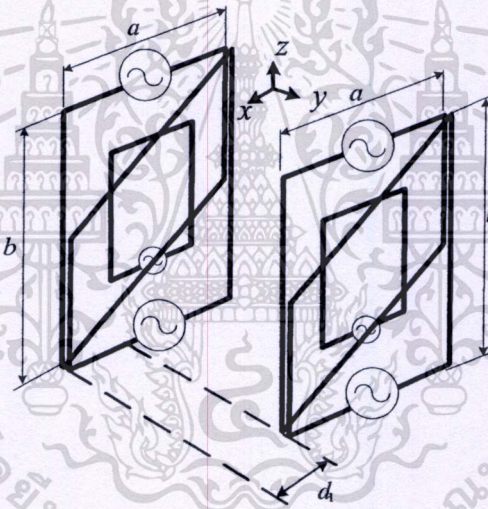
รูปที่ 2.24 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดิน

ผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำมี  $d_1$  เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

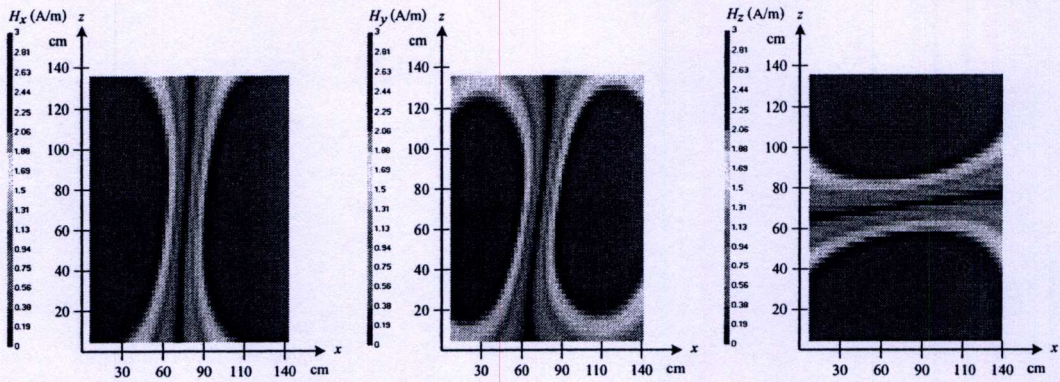
## 2.6.6 ผลการวิเคราะห์ของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ

อีกวิธีการแก้ปัญหาของสายอากาศของที่สนามแม่เหล็กที่กระจายในทิศทาง  $z$  ไม่ทั่วทั้งระนาบ การเพิ่มจำนวนบ่วงของสายอากาศก็เป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็กในทิศทางตามแนวแกน  $z$  ให้ดีขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.25 โดยการแบ่งบ่วงใหญ่ที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าออกเป็นสองบ่วงที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยที่ยังคงบ่วงเล็กขนาดกว้างเท่ากับ 45 เซนติเมตร และสูงเท่ากับ 67.5 เซนติเมตร เอาไว้โดยที่สายอากาศมีขนาด  $a$  เท่ากับ 90 เซนติเมตร และ  $b$  มีค่าเท่ากับ 135 เซนติเมตร ซึ่งการวิเคราะห์โครงสร้างนี้นั้นจะรวมเอาการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำเข้ามาร่วมด้วยเพราะเป็นการหักลดการหักล้างกันของสนามแม่เหล็กที่กึ่งกลางของสายอากาศโดยมีระยะเหลื่อมล้ำในการวิเคราะห์ของสายอากาศเท่ากับ  $d_1$  เท่ากับ 40 เซนติเมตร และการป้อนกระแสให้สายอากาศในแต่ละด้านนั้นก็กำหนดให้มีความต่างเฟสกัน 180 องศา



รูปที่ 2.25 สายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา

จากรูปที่ 2.27 แบบรูปการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กทั้งสามแนวแกนหลัก อีกการแก้ปัญหาของการเบี่ยงของการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศในแนวแกน  $z$  โดยการเพิ่มบ่วงที่สามพร้อมการติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำจะสังเกตเห็นถึงการกระจายสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $z$  ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร แนวแกน  $z$  จะถูกบีบให้แคบมากยิ่งขึ้นเพื่อลดช่องว่างของการกระจายสนามแม่เหล็กที่อ่อนและจากรูปจะแสดงให้เห็นถึงแบบรูปการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กที่ระนาบตรงการของแนวแกน  $z$  กระจายเต็มพื้นที่ในแนวแกนมากขึ้น



รูปที่ 2.26 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมด้าน  $d_1$  เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร

## 2.7 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะและประเภทของแท่ง การทำงานของเครื่องอ่าน ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ การสื่อสารแบบ Inductive Coupling ที่ได้กล่าวถึง Load Modulation นอกจากนี้ได้กล่าวถึงการคำนวณการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กโดยใช้กฎของ Biot-Savart และการวิเคราะห์โครงสร้างสายอากาศด้วยโปรแกรม NEC2 สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างสายอากาศที่เริ่มมาตั้งแต่โครงสร้างแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วนำมาติดตั้งแบบประตูดินผ่านเพื่อความสะดวกในการลงทะเบียนสัตว์ วิเคราะห์การจัดวางสายอากาศแบบที่ไม่มีกรงเหล็กโดยป้อนกระแสให้สายอากาศแต่ละด้านมีเฟสตรงกันและต่างเฟสกันและการจัดวางสายอากาศที่มีการเหลื่อมล้ำเพื่อเพิ่มความสามารถในการติดต่อสื่อสาร พร้อมทั้งการเพิ่มบ่วงสายอากาศแบบบ่วงคู่และแบบสามบ่วงสำหรับการเพิ่มความสามารถในการติดต่อสื่อสารอีกเช่นเดียวกันซึ่งจากการวิเคราะห์จากแบบรูปการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กแล้วพบว่าการกระจายของสนามแม่เหล็กทั้งสามแนวแกนหลักที่สูงทั้งสามแนวแกน

## บทที่ 3

# กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมและผลกระทบของกระบวนการคิด แบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์

### 3.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีการหาค่าที่เหมาะสมด้วยกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ ซึ่งเป็นแนวความคิดในเชิงธรรมชาติในการหาค่าที่เหมาะสมที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งได้นำเสนอหลักการแนวความคิดของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่ใช้แก้ปัญหของเวกเตอร์จำนวนจริงและความสามารถในการค้นหาที่เหมาะสม โดยการเปลี่ยนแปลงค่าการปรับเปลี่ยนของเวกเตอร์เป้าหมาย โดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งได้นำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลจากการกำหนดค่าของสมาชิกของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ว่ามีผลอย่างไรกับกระบวนการค้นหาที่เหมาะสม ซึ่งใช้กระบวนการคิดนี้ ค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วงโดยวิเคราะห์โครงสร้างของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์จากฟังก์ชันค่าความเหมาะสมของคำตอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมของสมาชิกที่ถูกกำหนดขึ้นที่เป็นไปตามกฎของความสำเร็จ [4] [5] และ [19] และสรุปความสามารถในการหาค่าสูงสุดโดยการเปรียบเทียบกับกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม โดยการกำหนดขอบเขตของพารามิเตอร์ที่ต้องการหาค่าเหมาะสมเหมือนกันพร้อมทั้งจำนวนสมาชิกของพารามิเตอร์มีจำนวนเท่ากับกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการของกระบวนการ ว่ามีความเหมาะสมเท่าใดเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในการหาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุเพียงใด ซึ่งปัจจุบันกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมเริ่มนิยมนำมาใช้งานด้านการออกแบบทางวิศวกรรมมากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวกและรวดเร็ว รวมทั้งความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีความเร็วสูงขึ้น

จากการนำกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมอย่างกว้างขวางนั้นจะมีจุดประสงค์ที่แน่นอนคือ ต้องการออกแบบเพื่อให้ได้สิ่งที่ดีที่สุดตัวอย่างเช่น การออกแบบด้านวิศวกรรมการบิน ใช้ออกแบบเครื่องบินเพื่อให้ได้น้ำหนักรวมของเครื่องบินที่น้อยที่สุด หรือเบาที่สุด หรือการออกแบบด้านวิศวกรรมสายอากาศในวิทยานิพนธ์นี้ใช้กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ในการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กมากที่สุด ในสามแนวแกนหลัก

เนื่องจากสายอากาศแบบบ่วงนั้นมีค่าพารามิเตอร์หลายตัวและค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแต่ละเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวยังมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสายอากาศด้วยจึงจำเป็นต้องอาศัยหลักการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเข้ามาช่วย

### 3.2 การออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม

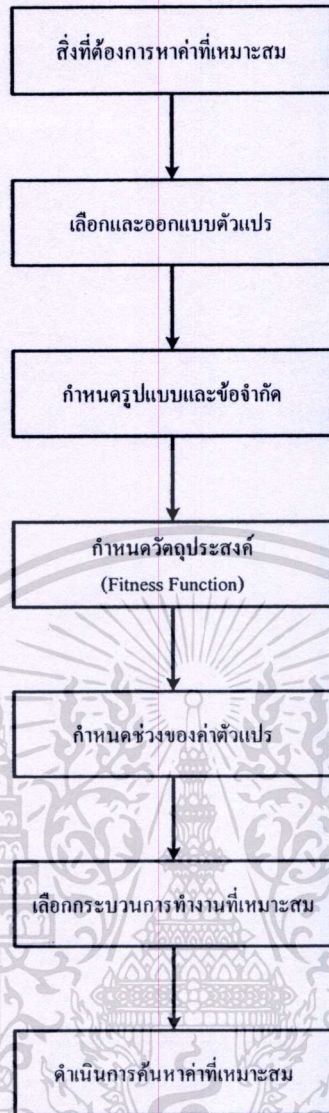
รูปแบบการหาค่าที่เหมาะสมนั้นมีความสัมพันธ์ต่อการออกแบบกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อที่จะใช้ในการหาที่เหมาะสม ซึ่งการประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์รูปแบบใดรูปแบบหนึ่งนั้นเป็นไปได้ยากในทางวิศวกรรม เพราะปัญหาทางวิศวกรรมนั้นเป็นปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงไปไม่มีรูปแบบตายตัว ขึ้นอยู่กับรูปแบบของสิ่งที่ต้องการออกแบบ จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคที่แตกต่างกันในการแก้ปัญหา ในหัวข้อนี้จึงนำเสนอลำดับการออกแบบกระบวนการทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นเพื่อใช้ในการออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมให้เหมาะสมกับปัญหาด้านวิศวกรรม

จากรูปที่ 3.1 อันดับแรกที่ต้องทำการออกแบบคือการเลือกตัวแปร (Variables) ที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสมจากปัญหาที่ต้องการออกแบบ ค่าเหล่านี้เป็นค่าที่จะถูกเปลี่ยนแปลงระหว่างการหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งค่าตัวแปรแต่ละตัวมีความสำคัญกับการออกแบบไม่เท่ากันบางตัวมีผลกระทบมากกว่าปัญหาแบบหนึ่งแต่มีผลกระทบน้อยกว่าอีกแบบหนึ่ง ดังนั้นจึงควรทำการกำหนดตัวแปรที่ต้องการออกแบบให้เหมาะสมก่อน

อันดับที่สองคือการศึกษเกี่ยวกับข้อบังคับหรือข้อจำกัดที่จะใช้ในการออกแบบ ซึ่งสิ่งนี้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการออกแบบตัวแปรและค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ทำการออกแบบด้วยเช่น เมื่อเราต้องการสายอากาศแบบบ่วงที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูงแต่ยังคงต้องการขนาดของสายอากาศเท่าเดิม ฉะนั้นขนาดของสายอากาศคือข้อบังคับของปัญหานี้

อันดับที่สามคือการกำหนดวัตถุประสงค์ หรือ ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function) ซึ่งเป็นพจน์ที่บอกถึงวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม โดยทั่วไปเทอมนี้จะถูกแทนที่ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นผลมาจากค่าตัวแปรที่ทำการออกแบบ ถูกแบ่งออกเป็นสองชนิดคือ การค้นหาค่าความเหมาะสมที่มีค่ามากที่สุด และ การค้นหาค่าความเหมาะสมที่มีค่าน้อยที่สุด

อันดับที่สี่คือการกำหนดช่วงของตัวแปรที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมบางกระบวนการนั้นอาจไม่ต้องการข้อมูลนี้ หลังจากที่เราทราบแล้วว่าต้องการหาค่าที่เหมาะสมของอะไร มีวัตถุประสงค์อย่างไร ต่อไปก็เป็นการเลือกกระบวนการหรือกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับปัญหาที่ต้องการ แล้วจึงดำเนินการหาค่าที่เหมาะสมตามกระบวนการ



รูปที่ 3.1 การออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม [13]

### 3.3 กระบวนการเชิงวิวัฒนาการสำหรับการหาค่าที่เหมาะสม (Evolutionary algorithms for optimization)

ในหัวข้อนี้จะแนะนำหลักการพื้นฐานของ อัลกอริทึมเชิงวิวัฒนาการ โดยจะกล่าวถึง รูปแบบเทคนิควิธีการ คำนวณเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary computation)[4] โดยให้คอมพิวเตอร์ สร้างโปรแกรมที่ตัวเองต้องการได้ด้วยตัวเองโดยอาศัยกลไกการคัดเลือกที่คล้ายธรรมชาติและ การถ่ายทอดทางพันธุกรรมด้วยวิธีการต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น กระบวนการเลือกสมาชิก Reproduction, กระบวนการ Crossover และ กระบวนการ Mutation เป็นต้น ในปัจจุบันได้มีการ พัฒนาการวิธีต่าง ๆ ของการคำนวณเชิงวิวัฒนาการที่เลียนแบบธรรมชาติขึ้นมาเพื่อใช้ในการ แก้ปัญหาซับซ้อนกรณีวิธีเลียนแบบธรรมชาติที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ จะใช้ทฤษฎีทางชีววิทยาที่

อธิบายถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยกลไกการคัดเลือกโดยธรรมชาติและ การถ่ายทอดทางพันธุกรรม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ (Evolution Strategies)

แนวความคิดเกี่ยวกับกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ได้ถูกพัฒนาขึ้นที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีของเบอร์ลิน (Technical University of Berlin : TUB) ในปี ค.ศ. 1964 โดย Rothenberg และ Schwefel เป็นผู้คิดค้นและได้นำเสนอแนวความคิดนี้ขึ้นมา เป็นเทคนิควิธีการของการหาค่าที่เหมาะสม การที่เรียก (1+1)-ES [4] และ [19] เป็นการทำงานขั้นพื้นฐานของ ของสองสมาชิก (Individuals) ซึ่งเป็นการเริ่มต้นด้วยการมีประชากร 1 ประชากร สร้างประชากรอีก 1 หรือที่เรียกว่า สมาชิกต้นแบบ (Parent) สร้างสมาชิกใหม่ (Offspring) ให้เป็นสมาชิกรุ่นต่อไป โดยที่สมาชิกใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นมานั้น โดยการแจกแจงการผันผวนในการกระทำทางคณิตศาสตร์ จากนั้นสมาชิกใหม่ก็กลายเป็นสมาชิกต้นแบบเข้าสู่กระบวนการ (1+1)-ES ซึ่งเปลี่ยนแปลงสมาชิกต้นแบบด้วยกระบวนการแจกแจงแบบปกติ Rothenberg ได้พัฒนาหลักทฤษฎีของการลู่เข้าที่รวดเร็วของ (1+1)-ES ได้มาซึ่งกฎสำหรับการตัดแปลงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ Mutation ซึ่งถูกเรียกว่า กฎความสำเร็จ 1/5 (1/5-Success rule) [19]

สำหรับกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ในการหาค่าสูงสุดของกระบวนการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ที่อาศัยการจำลองแบบในเชิงธรรมชาตินั้นก็จะมีโครงสร้างของข้อมูลต่างๆ ที่ถูกจำลองเพื่อใช้ในการคำนวณในเชิงพันธุกรรมเช่นเดียวกันแต่กระบวนการของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่จะถูกนำมาพัฒนานั้นจะมีโครงสร้างอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์นี้จะเป็กระบวนการอย่างง่ายที่จะนำสมาชิกที่ถูกสร้างขึ้นมาเปลี่ยนแปลงซึ่งปราศจากกระบวนการผสมผสานกันของสมาชิกจะมีเพียงการกลายพันธุ์ ของสมาชิกเท่านั้น กระบวนการของ โครงสร้างข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงในการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมก็จะมีรูปแบบดังนี้

#### 3.4.1 ยีนส์ (Genes)

ในกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์นั้นยีนจะถูกใช้แทนค่าพารามิเตอร์ที่มีขอบเขตของสายอากาศโดยกระบวนการที่ได้มาของยีนแต่ละตัวนั้นก็เกิดจากกระบวนการสุ่มแบบสม่ำเสมอในการกำหนดค่าเริ่มต้นซึ่งจะมีขอบตั้งแต่ค่าสูงสุดจนถึงค่าต่ำสุดในการหาค่าของสายอากาศ

#### 3.4.2 โครโมโซม (Chromosome)

โครโมโซม (Chromosome) คือ ลำดับของยีนส์ที่เรียงกัน ซึ่งจะเรียงจากลำดับของการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการออกแบบ เมื่อยีนส์ถูกเลือกในการเรียงลำดับของการหาค่าแล้วจะถูกเรียกว่า โครโมโซม ซึ่งโครโมโซมที่ถูกเรียงลำดับด้วยยีนส์นั้นเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สมาชิก (Individual) ซึ่งสมาชิกนี้ ก็จะเข้าสู่กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการต่อไป

### 3.4.3 กลุ่มสมาชิก (Population)

กลุ่มสมาชิก (Population) คือ กลุ่มของโครโมโซมหลาย ๆ ตัว ที่อยู่ในกระบวนการหาค่า หรือที่ได้จากกระบวนการที่ผ่านมา ของกระบวนการการกลายพันธุ์ และกระบวนการคัดเลือก สมาชิก โดยกลุ่มสมาชิกนั้นจะเป็นสิ่งที่ใช้ในการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการและ ยกระดับกลุ่มสมาชิกโดยเปรียบเทียบกับค่าความเหมาะสมในจำนวนครั้งการทำงานต่อไป

### 3.4.3 จำนวนครั้งการทำงาน (Generation number)

ในการทำงานแต่ละวงรอบนั้นจะเรียกว่า จำนวนครั้งการทำงาน (Generation number) ซึ่ง ในหนึ่งวงรอบการทำงานจะคำนวณสมาชิกให้หมดทั้งกลุ่มสมาชิกที่มีอยู่ โดยสมาชิกที่จำนวน การเลือกครั้งต่อไปจะประกอบด้วยกระบวนการเลือกสมาชิกภายในกลุ่มสมาชิก (Selection) และ Mutation แล้วนำไปแทนที่สมาชิกเดิมที่มีอยู่เพื่อใช้ในวงรอบการทำงานใหม่

### 3.4.4 สมาชิกต้นแบบ (Parent)

สมาชิกต้นแบบ (Parent) คือสมาชิกที่ถูกเลือกมาโดยการกำหนดขึ้นและกระบวนการ เลือกสมาชิก เพื่อเป็นสมาชิกต้นแบบในการหาสมาชิกใหม่ ซึ่งจะเป็นสมาชิกที่มีค่าความ เหมาะสมสูงเพื่อที่จะนำมาสร้างสมาชิกใหม่ในวงรอบการทำงานถัดไป

### 3.4.5 สมาชิกใหม่ (Offspring)

สมาชิกใหม่ (Offspring) คือสมาชิกที่ถูกสร้างมาจากกลุ่มของสมาชิกต้นแบบด้วย กระบวนการ Mutation และสมาชิกใหม่นั้นจะต้องมีค่าความเหมาะสมที่สูงเท่านั้นถึงจะอยู่รอด เป็นสมาชิกต้นแบบในการหาสมาชิกใหม่ในวงรอบต่อไป

### 3.4.6 ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function : $F(x)$ )

ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness) คือค่าที่บ่งบอกถึงความเหมาะสมของชุดตัวแปรหรือ สมาชิก ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ว่าจะต้องการให้เป็นอะไร ตัวอย่างเช่นต้องการ ออกแบบสายอากาศแบบบ่วงให้มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่อง อ่านข้อมูลกับแท็กให้มีค่ามากที่สุด ฉะนั้นฟังก์ชันความเหมาะสมคือ ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรใน การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งการหาค่าที่มากที่สุดและการหา ค่าที่น้อยที่สุด

$$F(x) = \frac{1}{1 + f(x)} \quad (\text{สำหรับการหาค่าที่น้อยที่สุดของฟังก์ชัน}) \quad (3.1)$$

$$F(x) = f(x) \quad (\text{สำหรับการหาค่าที่มากที่สุดของฟังก์ชัน}) \quad (3.2)$$

เนื่องจากฟังก์ชันความเหมาะสมนั้นใช้เป็นตัวบอกว่าค่าตัวแปรค่าใดเหมาะสมหรือไม่

ฉะนั้นในการกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสมจึงเปรียบเสมือนการกำหนดความต้องการหรือ เอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนเวียนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูาตเหนาเปไซประเษณดานการค้า เป้าหมายในการออกแบบ ไม่ว่าจะกรณเเต่ๆทงสน อักทงหามมเ้ด้ดแปลงเนือหา และดอ้จอ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกคร้ังที่ม่การนำเปไซ

### 3.5 หลักการของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์

เครื่องมือการคำนวณของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ใช้เวกเตอร์ของจำนวนจริงเป็นหลักของโครงสร้างข้อมูลของการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับจำนวน  $n$  พารามิเตอร์ที่จะทำการคัดแปลง กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ที่ทำงานกับเวกเตอร์  $g$  ตามสมการข้างล่าง

$$g = (p_1, p_2, \dots, p_n) : p_i \in R \quad (3.3)$$

ซึ่ง  $g$  เป็นเวกเตอร์สัญลักษณ์ของจำนวนจริง ซึ่งเป็นลักษณะของยีนส์ที่ปรากฏอยู่ในแต่ละโครโมโซมซึ่งจะถูกปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซมในการกลายพันธุ์ของกระบวนการ สำหรับการหาค่าที่ซับซ้อนของกระบวนการจะทำการขยายพารามิเตอร์เป้าหมาย  $(p_1, p_2, \dots, p_n)$  (Object parameter) พารามิเตอร์โดยกลยุทธ์  $(s_1, s_2, \dots, s_n)$  (Strategy parameter) ซึ่งเป็นการเพิ่มพารามิเตอร์ที่ไม่เหมือนกันกับพารามิเตอร์เป้าหมายหรือการใช้ความผันผวนสำหรับควบคุมในเรื่องของขนาดสเต็ม Mutation สำหรับแต่ละพารามิเตอร์เป้าหมาย ดังนั้น กลยุทธ์เชิงวิวัฒน์โครโมโซมสามารถเขียนได้โดยเวกเตอร์คู่

$$g = (p, s) = ((p_1, p_2, \dots, p_n), (s_1, s_2, \dots, s_n)) : p_i, s_i \in R \quad (3.4)$$

ในการควบคุมพารามิเตอร์  $s$  (พารามิเตอร์กลยุทธ์) เป็นการพิจารณาภายในแบบจำลองของสภาวะ (โครงสร้างสายอากาศ) ในการคัดแปลงในส่วนจำนวนเต็มของพารามิเตอร์ควบคุมของการค้นหาค่าสูงสุดของพารามิเตอร์เป้าหมายซึ่งยกตัวอย่างของ กลยุทธ์เชิงวิวัฒน์โครโมโซมในรูปที่ 3.2 ซึ่งจะสมมุติการหาค่าสูงสุดของ 5 พารามิเตอร์

พารามิเตอร์เป้าหมาย — พารามิเตอร์กลยุทธ์

$p$ : 

p1	p2	p3	p4	p5
----	----	----	----	----

 $s$ : 

s1	s2	s3	s4	s5
----	----	----	----	----

รูปที่ 3.2 ลักษณะโครโมโซมของกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์

#### 3.5.1 กระบวนการ Mutation ของพารามิเตอร์เป้าหมาย

คุณลักษณะของกระบวนการ Mutation ของกระบวนการค้นหาคำตอบ จะทำให้คำตอบของสมาชิกเกิดการกระจายในพื้นที่ที่ค้นหาการกระจายของคำตอบจะมากหรือน้อยขึ้นกับค่าของความน่าจะเป็นของการคัดแปลงภายในโครโมโซม ซึ่งกระบวนการ Mutation ของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์นั้น แสดงดังรูปที่ 3.3 ซึ่งจะทำการคัดแปลงพารามิเตอร์

เป้าหมายทุกพารามิเตอร์ โดยการดัดแปลงพารามิเตอร์จะทำการบวกส่วนประกอบของเวกเตอร์สองจำนวนคือ เวกเตอร์ของพารามิเตอร์เป้าหมายกับจำนวนการแจกแจงการสุ่มแบบปกติ ซึ่งเป็นค่าของเวกเตอร์ที่มีจำนวน  $n$  เท่ากัน ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของสมาชิกด้วยสมการที่ 3.5 เป็นลักษณะของเวกเตอร์  $p$  ของสมาชิกเดิมถูกเปลี่ยนแปลงด้วยกระบวนการแจกแจงการสุ่มแบบปกติด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $s$  ซึ่งจะมีค่าเท่ากับเวกเตอร์คู่ที่ถูกเปลี่ยนแปลงพร้อมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\omega_{mut}(p, s) = p_{mut} = p + N_0(s) \quad (3.5)$$

สำหรับสมการที่ (3.6) แสดงถึงการที่เวกเตอร์ของพารามิเตอร์เป้าหมายที่ถูกดัดแปลงค่าของเวกเตอร์ด้วยค่าของความน่าจะเป็นที่ตำแหน่งใด ๆ ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ตำแหน่งต่าง ๆ เป็นจำนวน  $n$  สมการที่ (3.7) เป็นเวกเตอร์ที่เกิดจากของจำนวนการสุ่มแบบปกติกับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ  $s$ ,

$$p_{mut} = (p_1 + N_0(s_1), \dots, p_n + N_0(s_n)) \quad (3.6)$$

$$N_0(s) = (N_0(s_1), \dots, N_0(s_n)) \quad (3.7)$$

ค่าของพารามิเตอร์เป้าหมายของโครโมโซมที่เป็นสมาชิกเดิม  $p$  (Parent) เมื่อเข้าสู่กระบวนการ Mutation ของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการโครโมโซมจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นสมาชิกใหม่  $p_{mut}$  (Offspring) ซึ่งจะแสดงอยู่ในสมการที่ (3.8) เป็นลักษณะของเวกเตอร์คู่ของพารามิเตอร์เป้าหมายที่ถูกควบคุม โดยเซตของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $s$

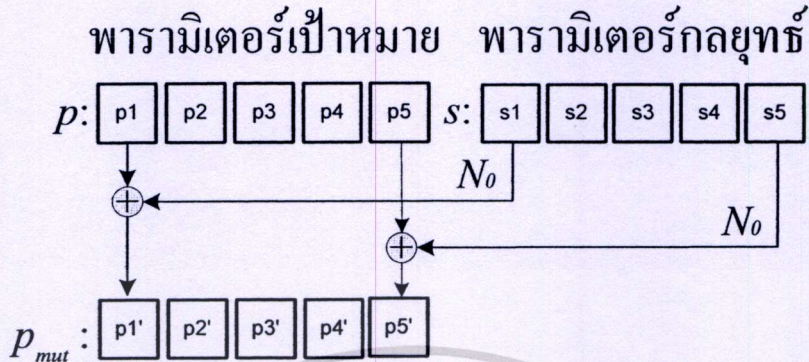
$$g_{mut} = (p_{mut}, s) \quad (3.8)$$

### 3.5.1.1 การกระจายแบบปกติ (Normal distribution)

ลักษณะการกระจายดังกล่าวจะเป็นแบบระฆังคว่ำบางครั้งเราเรียกการกระจายดังกล่าวว่าการกระจายของเกาส์ (Gaussian distribution) ถ้าให้การกระจายแบบปกติมีค่าเฉลี่ย  $\mu$  และค่าผันแปรของประชากร  $\sigma^2$  ตามลำดับแล้ว สมการของการกระจายสามารถเขียนได้เป็น

$$N_\mu(\sigma) = \frac{x}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (3.9)$$

ในการใช้งานของการกระจายแบบปกตินั้นจะใช้ค่าเฉลี่ยที่มีค่าเท่ากับ 0 และใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ  $s$ , ซึ่งเป็นพารามิเตอร์กลุยุทธ์ที่ใช้ในการกลายพันธุ์ของสมาชิกต้นแบบ



รูปที่ 3.3 กระบวนการ Mutation ของกลุยุทธ์เชิงวิวัฒน์

### 3.5.2 กระบวนการ Mutation กับการตัดแปลงขนาดสเกล

การสร้างประชากรใหม่ของกระบวนการคิดแบบกลุยุทธ์เชิงวิวัฒน์ไม่ได้มีเพียงการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์ของพารามิเตอร์เป้าหมายเพียงอย่างเดียวการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์ของพารามิเตอร์กลุยุทธ์สำหรับการตัดแปลงสมาชิกนั้นก็ถูกเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังสมการที่ 3.12 และสมการที่ 3.4 เป็นลักษณะของเวกเตอร์คู่ที่เกิดจากการกระบวนการ Mutation ของเวกเตอร์พารามิเตอร์เป้าหมายและเวกเตอร์กลุยุทธ์ที่ถูกตัดแปลงค่าเช่นเดียวกัน

$$g_{mut} = (p_{mut}, s_{mut}) \quad (3.11)$$

$$p_{mut} = p + N_0(s), s_{mut} = \alpha(s) \quad (3.12)$$

การเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์ของพารามิเตอร์กลุยุทธ์นั้นเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการคัดเลือกสมาชิกของกระบวนการคิดแบบกลุยุทธ์เชิงวิวัฒน์แบบ (1+1)-ES คือ จะต้องมีการปรับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนหรือการปรับขนาดพารามิเตอร์กลุยุทธ์ โดยจะทำการคูณค่าคงที่เข้าไปในเวกเตอร์ของพารามิเตอร์กลุยุทธ์ให้มีการกระจายของผลกระทบให้มากขึ้นเพื่อค้นหาค่าคำตอบที่เหมาะสม ซึ่งได้แสดงโดยสมการที่ 3.13 และ Rothenberg ได้เสนอกฎความสำเร็จ 1/5 (1/5 success rule) [19] สำหรับการปรับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไว้ดังสมการที่ 3.14

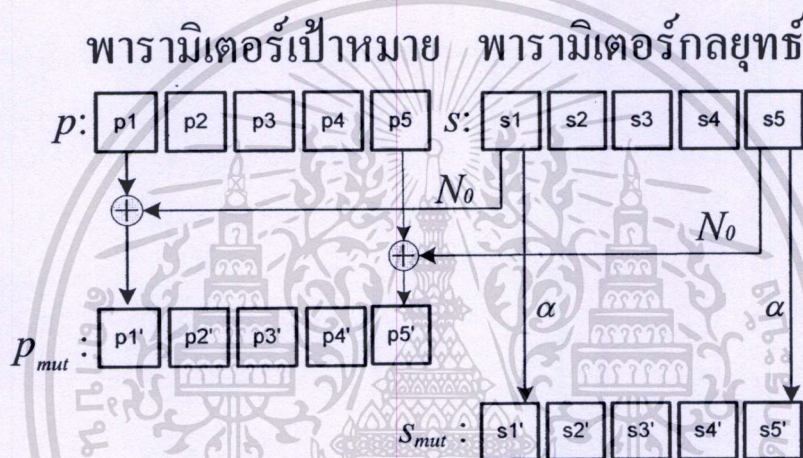
$$s_{mut} = (s_1 \xi_1, \dots, s_n \xi_n) \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\xi_i = \begin{cases} s_i \div 0.817 & \text{if } (p > 1/5) \\ s_i \times 0.817 & \text{if } (p < 1/5) \\ s_i & \text{if } (p = 1/5) \end{cases} \quad (3.14)$$

เมื่อ  $s_i$  คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือเวกเตอร์ของพารามิเตอร์กลุยุทธ์  
 $p$  คือ อัตราส่วนที่กลายพันธุ์แล้วนำไปสู่คำตอบที่ดีขึ้นในการทำงานที่ผ่านมา

การเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์ของพารามิเตอร์สมาชิกแสดงโครงสร้างของกระบวนการ Mutation ของเวกเตอร์พารามิเตอร์เป้าหมายและเวกเตอร์พารามิเตอร์กลุยุทธ์ที่จำนวน  $n$  เท่ากับ 5 ตามรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กระบวนการ Mutation กับการคัดแปดงสเต็มของกลุยุทธ์เชิงวิวัฒน์

สำหรับโครงสร้าง pseudo-code (1+1)-ES ของกระบวนการคิดแบบกลุยุทธ์เชิงวิวัฒน์อย่างง่าย ในการทำงานของการหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการ โดยมีการปรับสเต็มของกระบวนการ ที่เป็นไปตามกฎ 1/5-success เพื่อค้นหาค่าของคำตอบ โดยกระบวนการทำงานของ pseudo-code เริ่มต้นที่ การกำหนดจำนวนรอบเริ่มต้นและทำการสร้างเวกเตอร์สองจำนวนมี  $n$  ตำแหน่ง ทำการหาค่าเริ่มต้นของกระบวนการด้วยการเอาเวกเตอร์  $x(t)$  มาหาค่าความเหมาะสมโดยฟังก์ชันความเหมาะสมและเข้าสู่กระบวนการ Mutation ที่จำนวนรอบที่กำหนดตั้งแต่ 1 ไปจนถึง จำนวนรอบสูงสุด คัดแปลงเวกเตอร์  $x(t)$  ด้วยกระบวนการ Mutation เปรียบเทียบค่าความเหมาะสมของเวกเตอร์ทั้งสองพร้อมทั้งแทนค่าเวกเตอร์ที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด แล้วทำการตรวจสอบเงื่อนไขความสำเร็จว่าสำเร็จหรือไม่ ถ้าไม่สำเร็จก็จะเข้าสู่กระบวนการเปรียบเทียบเพื่อปรับปรุงขนาดของสเต็มของพารามิเตอร์กลุยุทธ์ ที่เรียกว่า กฎ 1/5-success แล้วเข้าสู่จำนวนรอบการทำงานต่อไปจนกว่าจะครบจำนวนรอบสูงสุดที่ทำการกำหนดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Begin**

Generation = 0

Create a random initial solution ( $x[t_n], s[t_n]$ )

Evaluate  $f(x[t_n])$

**For** Generation =1 **to** MAX\_GENERATIONS

**Mutations parent and selection using:**

$$x_{Mut}[t_n] = x[t_n] + N_0(s[t_n])$$

Evaluate  $f(x_{Mut}[t_n])$

**If** ( $f(x_{Mut}[t_n]) \geq f(x[t_n])$ ) **then**

$$x[t_n] = x_{Mut}[t_n]$$

**Else if** ( $f(x_{Mut}[t_n]) < f(x[t_n])$ ) **then**

$$x[t_n] = x[t_n]$$

**End if**

**If** (criterion is fulfilled) **then**

**END Process**

**End if**

**Comparison Individual using:**

$$p = (x_{mut}[t_n] > x[t_n]) / x[t_n]$$

**If** ( $p > 1/5$ ) **Then**

$$s[t_n] = s[t_n] / c$$

**Else if** ( $p < 1/5$ ) **Then**

$$s[t_n] = s[t_n] * c$$

**Else if** ( $p = 1/5$ ) **Then**

$$s[t_n] = s[t_n]$$

**End if**

**Next Generation**

**End**

รูปที่ 3.5 pseudo-code ของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการกับการคัดเลือกสมาชิกแบบ

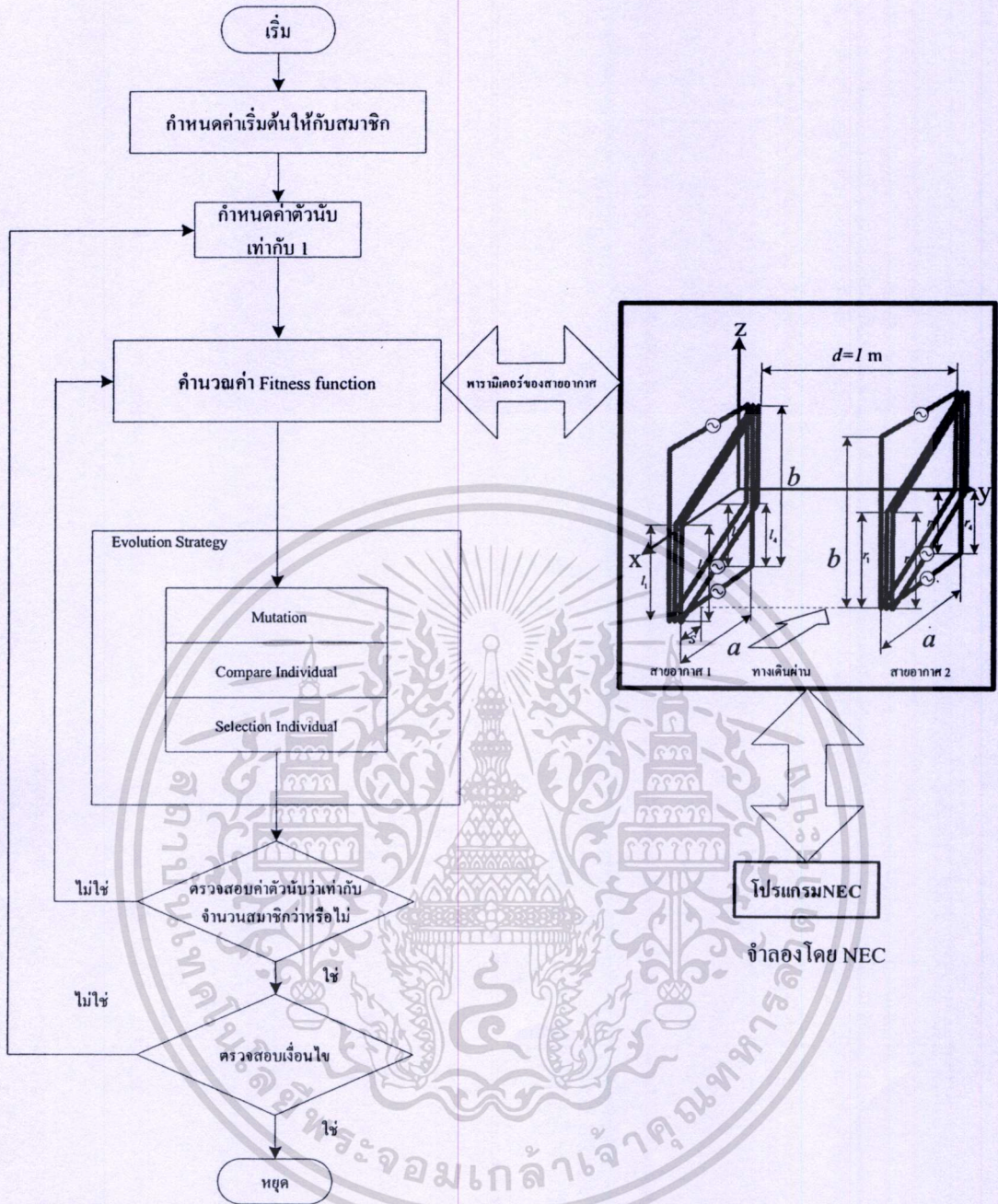
(1+1)-ES พร้อมทั้งการปรับสเกลของกระบวนการด้วย กฎ 1/5-success

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3 ลำดับการทำงานของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำหลักการทำงานของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการอย่างง่ายมาประยุกต์ใช้งานในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วงเพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรสูงที่สุด โดยจะเชื่อมต่อกับโปรแกรม NEC (Numerical Electromagnetic Code) เพื่อใช้ในการจำลองแบบของสายอากาศแบบบ่วง ซึ่งกระบวนการนี้จะมีตัวปฏิบัติการ Mutation สำหรับสร้างสมาชิกใหม่และกระบวนการคัดเลือกสมาชิกของกระบวนการ ที่เรียกว่า (1+1)-ES แสดงผังรูปที่ 3.6 มีลำดับการทำงานดังนี้

1. เริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้กับสายอากาศเพื่อหาค่าเหมาะสมของสายอากาศ ซึ่งเป็นการจัดเรียงยีนส์ของโคโมโซมในการคัดแปลงของกระบวนการ Mutation กำหนดจำนวนสมาชิกและฟังก์ชันความเหมาะสม
2. ในวงรอบการทำงานครั้งแรกกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ จะเริ่มทำการกำหนดค่าสมาชิกในกลุ่มของสมาชิกโดยการสุ่ม แล้วคำนวณค่าความเหมาะสมของกลุ่มสมาชิก โดยส่งไปจำลองแบบที่โปรแกรม NEC แล้วรับค่าความเหมาะสมกลับมา
3. นำค่าความเหมาะสมของสมาชิกแต่ละสมาชิกมาเก็บไว้ รอการเปรียบเทียบจากสมาชิกใหม่ที่ได้จากการสร้างสมาชิกในกระบวนการ Mutation
4. นำสมาชิกที่ถูกเลือกมาเก็บไว้ใน Mating Pool
5. ทำการสร้างสมาชิกใหม่ที่มีค่าความเหมาะสมสูงขึ้นด้วย ตัวปฏิบัติการ Mutation โดยใช้สมาชิกต้นแบบจาก Mating Pool โดยรับค่าการเปรียบเทียบเพื่อเข้าสู่กฎ 1/5-success
6. คำนวณค่าความเหมาะสมของสมาชิกที่ได้จากการสร้างสมาชิกใหม่จากกระบวนการ Mutation แล้วส่งค่าความเหมาะสมของสมาชิกใหม่ให้กับกระบวนการเลือก
7. เข้าสู่กระบวนการเลือก โดยการรวมสมาชิกใหม่จากการสร้างด้วยตัวปฏิบัติการ Mutation และสมาชิกเดิมที่ถูกเลือกซึ่งอยู่ภายใน Mating Pool การเก็บสมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมสูงไว้ใน Mating Pool
8. ทำการคัดเลือกสมาชิกจากทั้งหมดด้วยค่าความเหมาะสมเป็นสำคัญ โดยที่สมาชิกใดมีค่าความเหมาะสมสูงจะอยู่รอดและสมาชิกใดมีค่าความเหมาะสมน้อยจะถูกคัดออก
9. ทำการตรวจสอบค่าความเหมาะสมของสมาชิกว่าได้ที่ตรงตามต้องการแล้วหรือไม่ หากได้ค่าที่ตรงตามต้องการแล้วก็สามารถที่จะหยุดการทำงานได้ แต่ถ้าหากยังไม่ได้ค่าความเหมาะสมที่ตรงตามความต้องการก็ให้กลับไปทำงานในขั้นตอนที่ 3 ใหม่เรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ค่าความเหมาะสมตามต้องการ



รูปที่ 3.6 ลำดับการทำงานของกระบวนการคิดแบบกลยุทธิ์เชิงวิวัฒน์

เงื่อนไขของการหยุดการทำงานของกระบวนการคิดแบบกลยุทธิ์เชิงวิวัฒน์ เมื่อไม่พบค่าความเหมาะสมตามที่ต้องการ

1. ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การการลู่เข้าของค่าความเหมาะสมว่าลู่เข้าค่าใดค่าหนึ่งหรือไม่ โดยสามารถกำหนดให้อยู่ในช่วง 90% ถึง 100% ก็สามารถสรุปได้ว่าเป็นค่าความเหมาะสมค่า นั้นเป็นค่าที่ดีที่สุด

2. กำหนดจำนวนครั้งของวงรอบการทำงานหากกระบวนการค้นหานั้นไม่พบค่าความเหมาะสมที่ต้องการและไม่ลู่เข้าค่าใดค่าหนึ่งก็จะสามารถที่จะหยุดการทำงานได้เมื่อทำไปจนถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

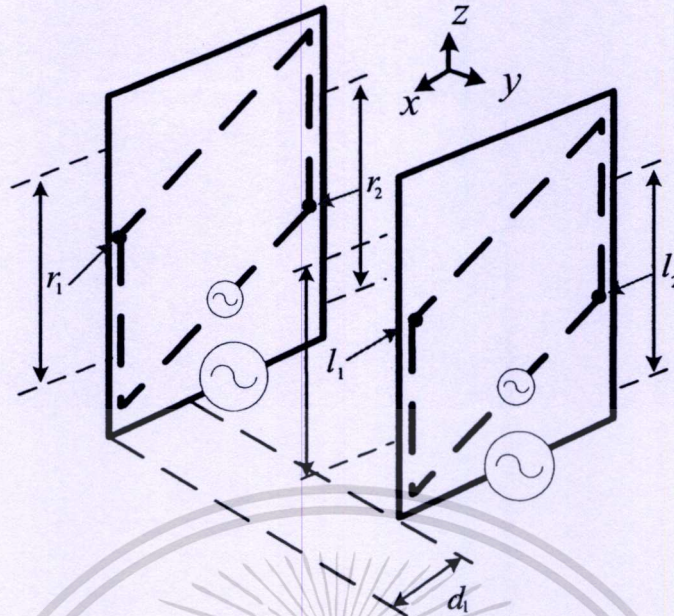
### 3.6 การวิเคราะห์ผลกระทบจากตัวปฏิบัติการของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์

ในหัวข้อนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลจากการกำหนดค่าของสมาชิกของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ว่ามีผลอย่างไรกับกระบวนการค้นหาที่เหมาะสม ซึ่งใช้กระบวนการคิดนี้ค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วงโดยวิเคราะห์โครงสร้างของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์จากฟังก์ชันค่าความเหมาะสมของคำตอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมของสมาชิกที่ถูกกำหนดขึ้นที่เป็นไปตามกฎของความสำเร็จ [4] และ [19] และสรุปความสามารถในการหาค่าสูงสุดโดยการเปรียบเทียบกับกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมโดยการกำหนดขอบเขตของพารามิเตอร์ที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสมเหมือนกันพร้อมทั้งจำนวนสมาชิกของพารามิเตอร์มีจำนวนเท่ากันกับกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลู่เข้าของกระบวนการ ว่ามีความเหมาะสมเท่าใดเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในการหาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

### 3.7 กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์กับสายอากาศแบบบ่วง

กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์อย่างง่ายได้นำมาประยุกต์ใช้งานในการหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์สายอากาศแบบบ่วงนั้นประกอบไปด้วยตัวปฏิบัติการหลัก คือ กระบวนการแบบ Mutation เพียงอย่างเดียวที่ใช้ดัดแปลงค่าโครโมโซมของสมาชิก โดยหลักการของกระบวนการแบบ Mutation ในแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์นี้จะเปลี่ยนแปลงค่าโครโมโซมของสมาชิกทุกโครโมโซมของพารามิเตอร์สายอากาศแบบบ่วง โดยให้ความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการกระจายแบบปกติและมีการเปรียบเทียบค่าของฟังก์ชันค่าความเหมาะสมของสมาชิก เพื่อทำการปรับขนาดโครงสร้างของกระบวนการ Mutation ในการเปลี่ยนแปลงค่าโครโมโซมโดยการลดหรือขยายขนาดสเกลที่เป็นไปตามกฎของความสำเร็จ (1/5-success) [19] และใช้ลักษณะการเลือกค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์อย่างง่ายคือ (1+1)-ES ที่นำค่าสมาชิกที่มีการเปลี่ยนแปลงสมาชิกทั้งโครโมโซมนำมาเปรียบเทียบกับค่าเดิมว่าดีกว่าหรือไม่ ถ้าดีกว่า นำค่าที่ดีกว่ามาพัฒนาอีกครั้งหนึ่ง โดยหาค่าเหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วงโดยกำหนดทั้งหมด 5 พารามิเตอร์ซึ่งบ่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงคือบ่วงเล็กที่เป็นเส้นประ มีพารามิเตอร์  $r_1$  กำหนดขอบเขตการหาค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 60 เซนติเมตร ถัดมาพารามิเตอร์  $r_2$  กำหนดขอบเขตการหาค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 60 เซนติเมตร ถัดมา  $l_1$  กำหนดขอบเขตการหาค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 60 เซนติเมตร อีกทั้ง  $l_1$  กำหนดขอบเขตการหาค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 60 เซนติเมตร และระยะ  $d_1$

เอกสารมีค่าเท่ากับ 90 เซนติเมตร ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

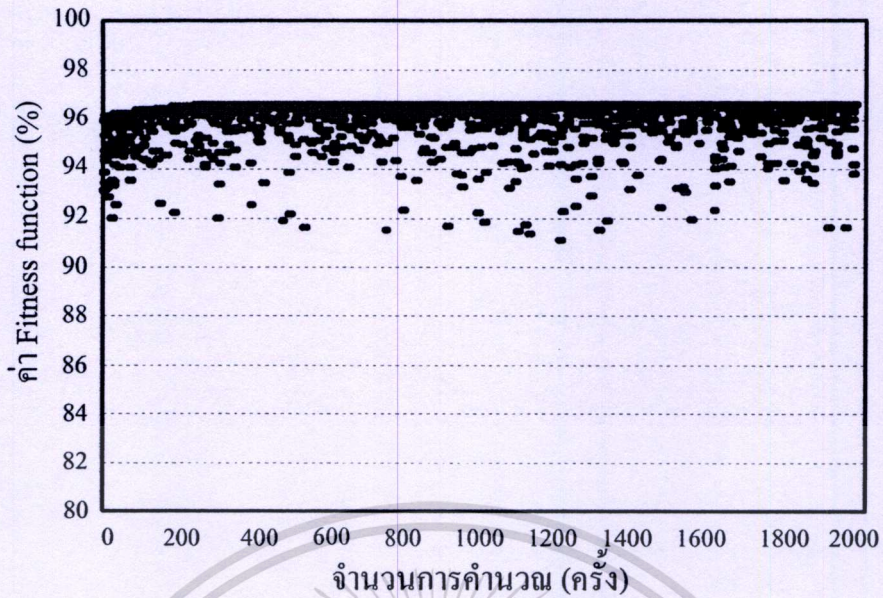


รูปที่ 3.7 พารามิเตอร์และขอบเขตการหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศ

### 3.8 การวิเคราะห์ผลกระทบจากจำนวนสมาชิก

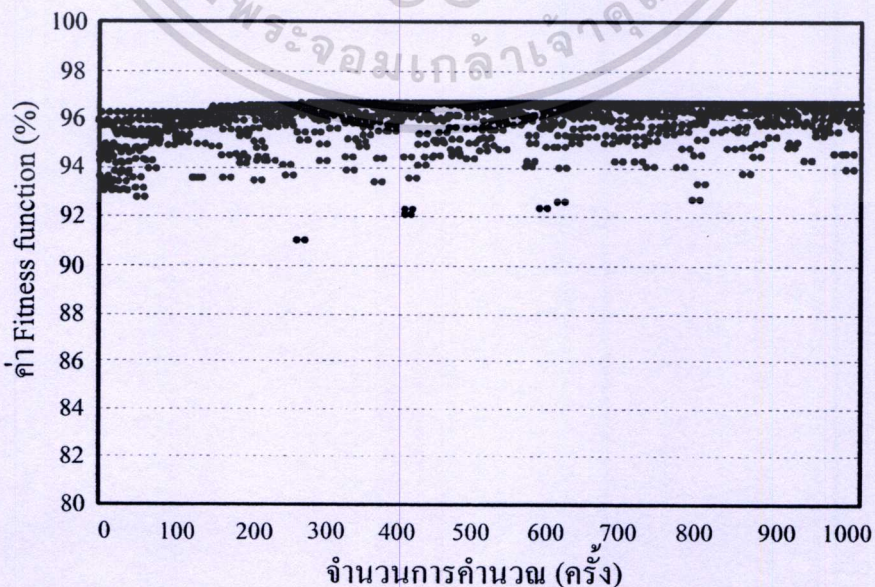
ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดจากจำนวนสมาชิกซึ่งจะทำการศึกษาโดยทำการปรับเปลี่ยนจำนวนสมาชิกของกระบวนการตั้งแต่ 0 ถึง 60 สมาชิก และทำการกำหนดขอบเขตของพารามิเตอร์ให้มีค่าเท่ากัน จำนวนการรอบการคำนวณเพื่อให้ได้คำตอบมีจำนวนรอบค่าเท่ากัน โดยใช้กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์แล้วตรวจสอบคุณค่าของคำตอบเหมาะสมที่มีค่าสูงสุดและการคู่เข้าอยู่ในช่วงวนรอบการคำนวณที่เท่าใด

รูปที่ 3.8 ผลกระทบของกระบวนการค้นหากระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์โดยกำหนดค่าสมาชิกในการหาคำตอบเท่ากับ 20 สมาชิก ซึ่งเป็นค่าคำตอบของฟังก์ชันความเหมาะสมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ Mutation ของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ที่อยู่ในขั้นตอนของการเปรียบเทียบสมาชิกเดิม โดยที่รวมสมาชิกเดิมจากการกำหนดค่าเริ่มต้นและสมาชิกใหม่ที่เกิดจากกระบวนการ Mutation และเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกสมาชิกของอัลกอริทึม โดยคัดเลือกจากคำตอบของฟังก์ชันความเหมาะสมสูงสุด เป็นสมาชิกรุ่นต่อไป แล้วนำสมาชิกที่ถูกเลือกไปผ่านกระบวนการคัดแปลงพารามิเตอร์จากกระบวนการ Mutation ต่อไปเรื่อย ๆ

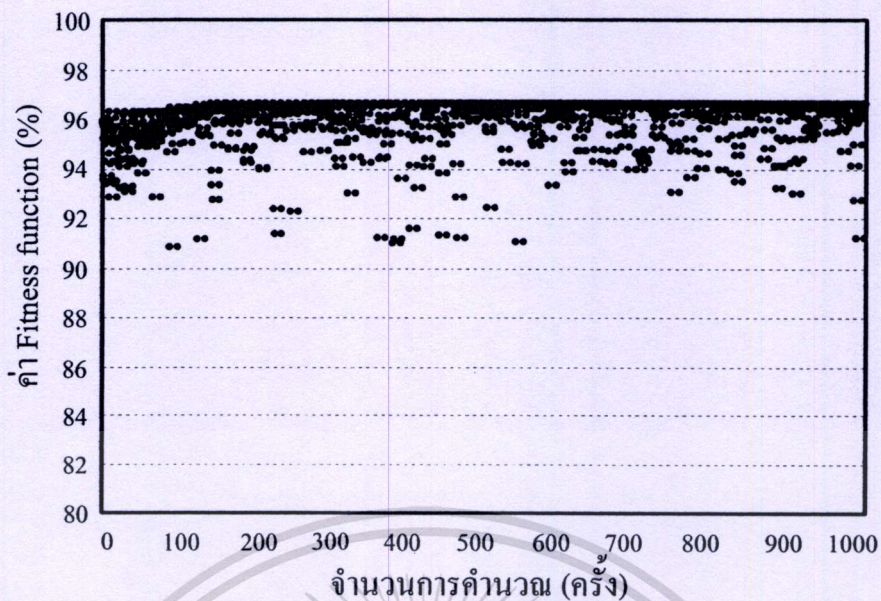


รูปที่ 3.8 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20

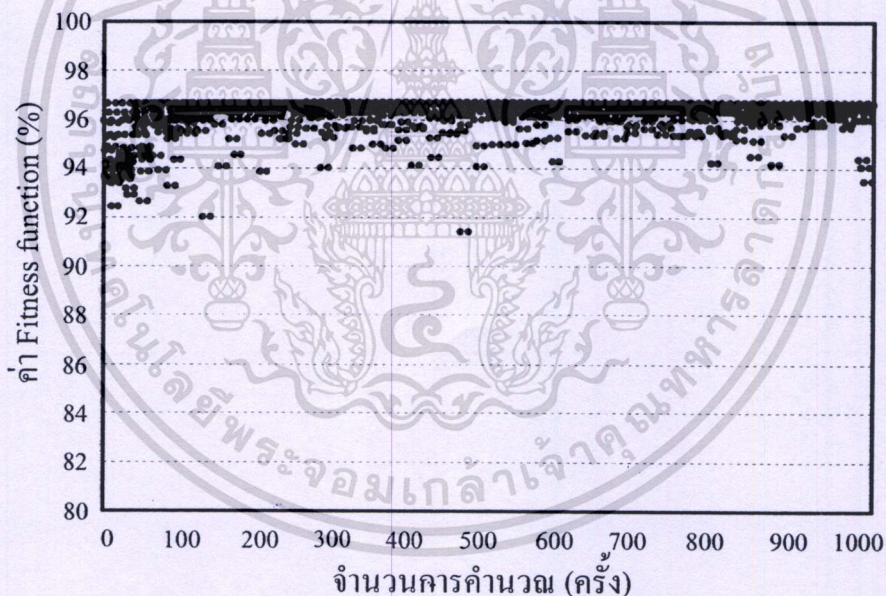
รูปที่ 3.9 ถึง 3.11 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาทั้งกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกระบวนการ ซึ่งรูปที่ 3.9 เป็นโครงสร้างของกระบวนการซึ่งค่าเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่กลายพันธุ์แล้วนำไปสู่คำตอบที่ดีขึ้นในการทำงานที่ผ่านมา มีค่าเท่ากับ  $1/5$  ส่วนรูปที่ 3.10 เป็นโครงสร้างของกระบวนการซึ่งค่าเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่กลายพันธุ์แล้วนำไปสู่คำตอบที่ดีขึ้นในการทำงานที่ผ่านมา มีค่ามากกว่า  $1/5$  และรูปที่ 3.11 เป็นโครงสร้างของกระบวนการซึ่งค่าเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่กลายพันธุ์แล้วนำไปสู่คำตอบที่ดีขึ้นในการทำงานที่ผ่านมา มีค่าน้อยกว่า  $1/5$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 3.9** ผลกระทบของกระบวนการค้นหาที่กำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20 เมื่อ  $P = 1/5$   
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาที่กำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20 เมื่อ  $P > 1/5$

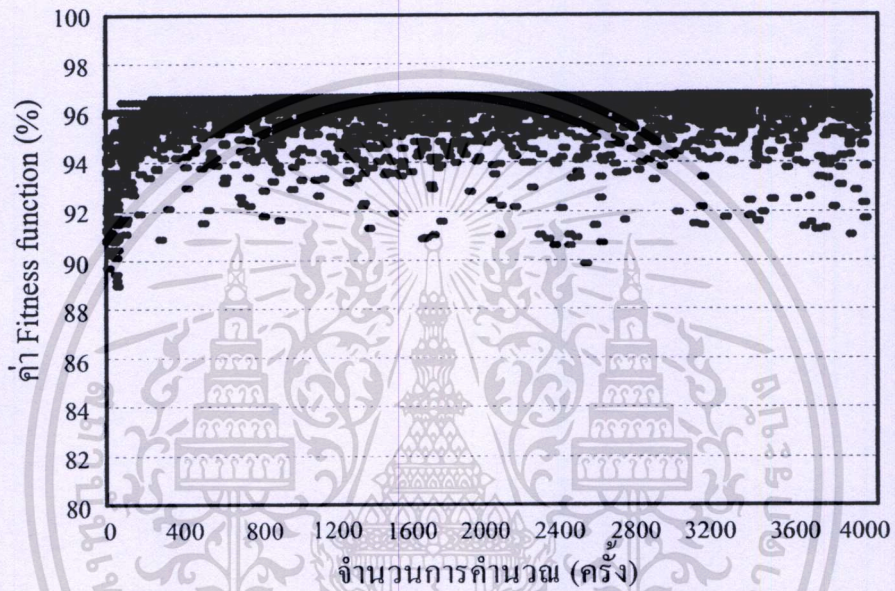


รูปที่ 3.11 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาที่กำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20 เมื่อ  $P < 1/5$

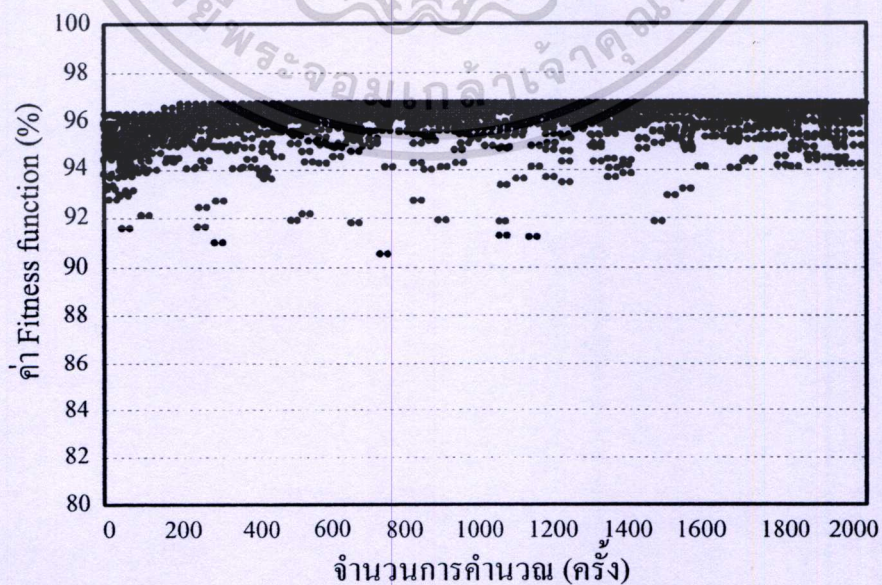
จากรูปที่ 3.9 ถึง 3.11 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของผลกระทบจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20 แต่ละโครงสร้างของกระบวนการ Mutation จะมีการกระจายค่าความเหมาะสมอยู่สามลักษณะเมื่อค่า  $P = 1/5$  นั้นการกระจายตัวสม่ำเสมอในช่วงประมาณ 94%-96% ถ้าค่า  $P > 1/5$  การกระจายตัวนั้นขยายเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อยที่ 92%-96% ของผลกระทบและเมื่อค่า  $P < 1/5$  การกระจายของผลกระทบจะใกล้เคียงค่าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 ผลกระทบของกระบวนการค้นหากระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์โดยกำหนดค่าสมาชิกในการหาคำตอบเท่ากับ 40 สมาชิก ซึ่งเป็นค่าคำตอบของฟังก์ชันความเหมาะสมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ Mutation ของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ที่อยู่ในขั้นตอนของการเปรียบเทียบสมาชิกเดิม โดยที่รวมสมาชิกเดิมจากการกำหนดค่าเริ่มต้นและสมาชิกใหม่ที่เกิดจากกระบวนการ Mutation และเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกสมาชิกของอัลกอริทึม โดยคัดเลือกจากค่าคำตอบของฟังก์ชันความเหมาะสมสูงสุด เป็นสมาชิกรุ่นต่อไป แล้วนำสมาชิกที่ถูกเลือกไปผ่านกระบวนการตัดแปลงพารามิเตอร์จากกระบวนการ Mutation ต่อไป

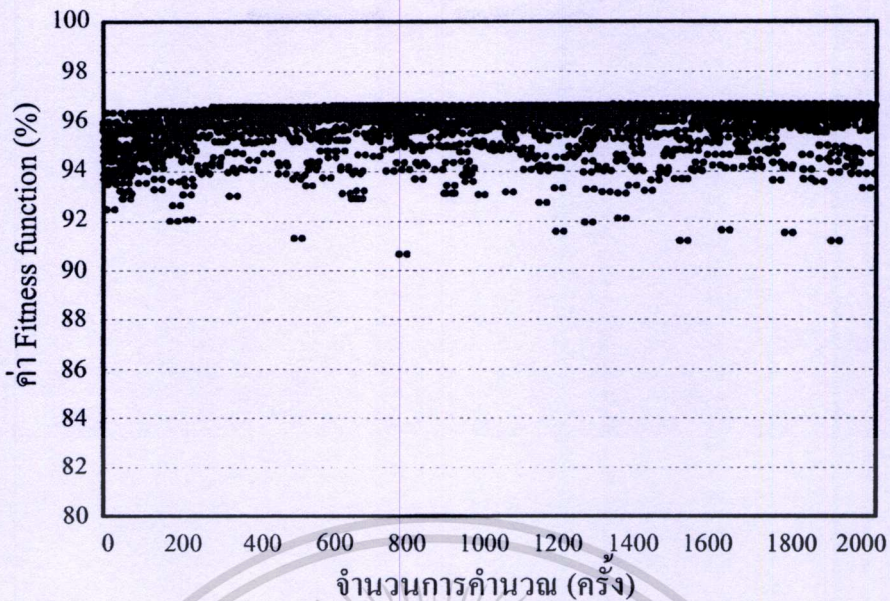


รูปที่ 3.12 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40

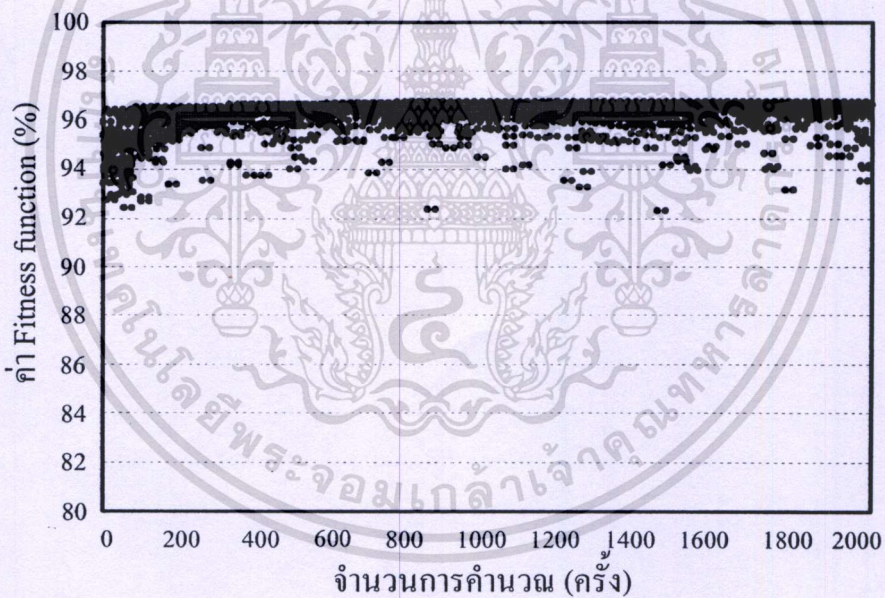


รูปที่ 3.13 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40 เมื่อ  $P = 1/5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาที่กำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40 เมื่อ  $P > 1/5$

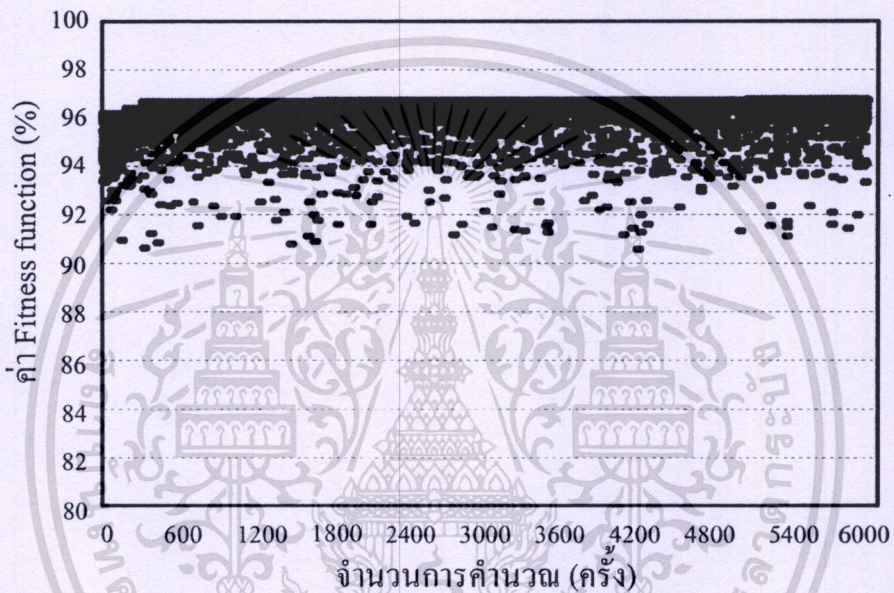


รูปที่ 3.15 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาที่กำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40 เมื่อ  $P < 1/5$

สำหรับการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนที่กลายพันธุ์แล้วนำไปสู่คำตอบที่ดีขึ้นในการทำงานที่ผ่านมา (รูปที่ 3.13 ถึง 3.15) จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของผลกระทบจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40 ของโครงสร้างกระบวนการ Mutation เมื่อค่า  $P = 1/5$  นั้นการกระจายสม่ำเสมอในช่วงคำตอบประมาณ 95%-96% ถ้าค่า  $P > 1/5$  การกระจายตัวนั้นขยายตัวจะเพิ่มมากขึ้นสม่ำเสมอที่คำตอบเท่ากับ 92% ถึงค่าสูงสุด และเมื่อค่า  $P < 1/5$  การกระจายสม่ำเสมอใกล้เคียงค่าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 แสดงผลกระทบของกระบวนการค้นหาหากระบวนการคิดแบบกลยุทธิ์เชิงวิวัฒน์ โดยกำหนดค่าสมาชิกในการหาคำตอบเท่ากับ 60 สมาชิก ซึ่งเป็นค่าคำตอบของฟังก์ชันความเหมาะสมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ Mutation ของกระบวนการคิดแบบกลยุทธิ์เชิงวิวัฒน์ที่อยู่ในขั้นตอนของการเปรียบเทียบสมาชิกเดิม โดยที่รวมสมาชิกเดิมจากการกำหนดค่าเริ่มต้นและสมาชิกใหม่ที่เกิดจากกระบวนการ Mutation และเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกสมาชิกของอัลกอริทึม โดยคัดเลือกจากค่าคำตอบของฟังก์ชันความเหมาะสมสูงสุด เป็นสมาชิกรุ่นต่อไป แล้วนำสมาชิกที่ถูกเลือกไปผ่านกระบวนการคัดแปลงพารามิเตอร์จากกระบวนการ Mutation ต่อไป



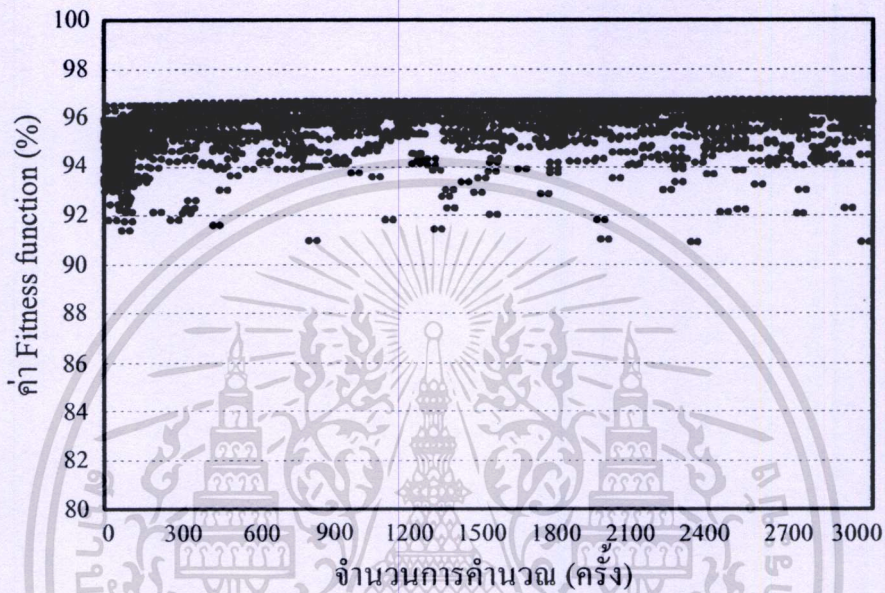
รูปที่ 3.16 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 60

รูปที่ 3.17 ถึง 3.19 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาทั้งกระบวนการคิดแบบกลยุทธิ์เชิงวิวัฒน์ในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกระบวนการ ซึ่งรูปที่ 3.17 เป็นโครงสร้างของกระบวนการซึ่งค่าเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนที่กลายพันธุ์แล้วนำไปสู่คำตอบที่ดีขึ้นในการทำงานที่ผ่านมา มีค่าเท่ากับ  $1/5$  นั้นการกระจายตัวของผลกระทบจะสม่ำเสมออยู่ในช่วง 95%-96% ส่วนรูปที่ 3.18 เป็นโครงสร้างของกระบวนการซึ่งค่าเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนที่กลายพันธุ์แล้วนำไปสู่คำตอบที่ดีขึ้นในการทำงานที่ผ่านมา มีค่ามากกว่า  $1/5$  การกระจายตัวจะหนาแน่นอย่างสม่ำเสมอในช่วงประมาณ 94%-96% และรูปที่ 3.19 เป็นโครงสร้างของกระบวนการซึ่งค่าเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนที่กลายพันธุ์แล้วนำไปสู่คำตอบที่ดีขึ้นในการทำงานที่ผ่านมา มีค่าน้อยกว่า  $1/5$  จะพบกลุ่มของผลกระทบจะมีค่าใกล้เคียงค่าสูงสุดของกระบวนการนั้นแสดงให้เห็นถึงการกระจายผลกระทบอยู่ในช่วงแคบ ๆ ของความผันผวนกลุ่มสมาชิก

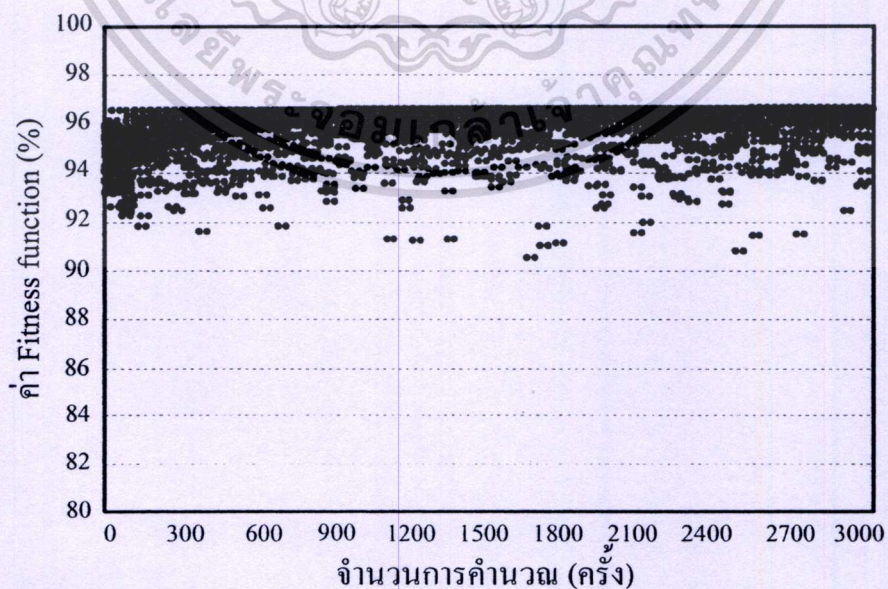
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการตัดสินใจอื่น ๆ ได้

สำหรับผลกระทบของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลยุทธิ์เชิงวิวัฒน์แสดงถึงค่าคำตอบที่มีความเป็นไปได้ในกระบวนการ Mutation ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ในการกลายพันธุ์

เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของโครงสร้างสายอากาศโดยนำเสนอวิธีการปรับขนาดของคำตอบค่าความเหมาะสมที่ได้ด้วยการปรับค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ Mutation สำหรับอัตราส่วนการกลายพันธุ์แล้วนำไปสู่ค่าคำตอบที่ดีขึ้นนั้น เป็นการปรับระดับกลุ่มสมาชิกในการหาค่าที่เหมาะสมอยู่สามระดับการปรับ ซึ่งมีกรณีสำหรับค่าความน่าจะเป็นที่มากกว่า  $1/5$  ค่าความน่าจะเป็นที่น้อยกว่า  $1/5$  และค่าความน่าจะเป็นที่มีค่าเท่ากับ  $1/5$

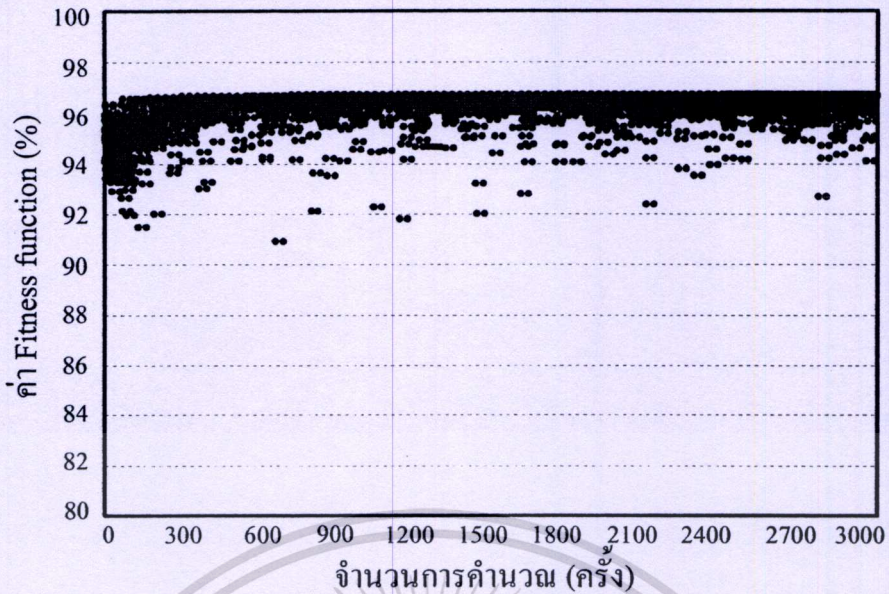


รูปที่ 3.17 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาที่กำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 60 เมื่อ  $P = 1/5$



รูปที่ 3.18 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาที่กำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 60 เมื่อ  $P > 1/5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

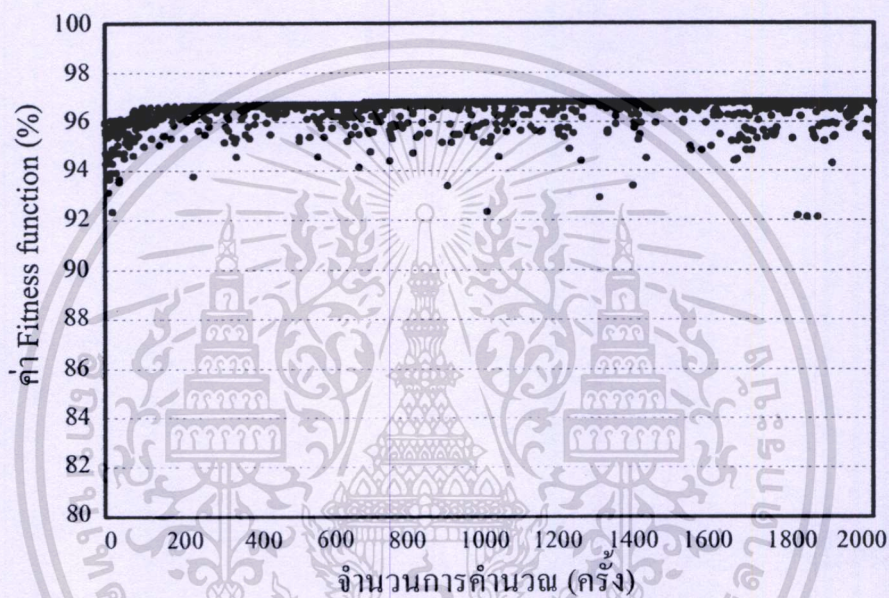


รูปที่ 3.19 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาจำนวนสมาชิกเท่ากับ 60 เมื่อ  $P < 1/5$

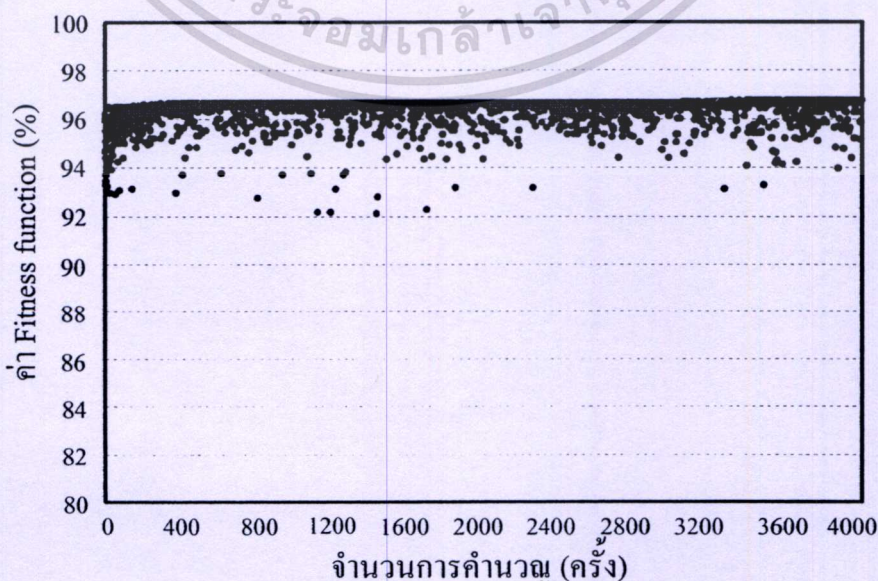
### 3.9 การวิเคราะห์ผลกระทบของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการกับกระบวนการคิดแบบสืบทอดทางพันธุกรรม

รูปที่ 3.20 ถึง 3.22 ผลกระทบของกระบวนการค้นหากระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมเพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมและกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ โดยกำหนดค่าสมาชิกในการหาค่าตอบของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมให้เหมือนกันทั้งสองกระบวนการมีค่าเท่ากับ 0 ถึง 60 สมาชิก โดยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมนั้นใช้ตัวปฏิบัติการเลือกสมาชิก (Reproduction operator หรือ Selection operator) ในที่นี้ได้ใช้กระบวนการการเลือกค่าแบบหมุนวงล้อ (Selection wheel) ในการคัดเลือกสมาชิกที่จะนำมาเข้าสู่กระบวนการ Crossover ตัวปฏิบัติการแบบ Crossover มีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องทำการกำหนดค่าเพื่อใช้เปรียบเทียบคือ ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover มีค่าเท่ากับ 80 % [14] ใช้เป็นตัวตัดสินใจว่ากลุ่มสมาชิกที่ถูกเลือกมาจะถูกกระทำด้วยตัวปฏิบัติการนี้ หลังจากที่ผ่านมากระบวนการ Crossover แล้วก็จะเข้าสู่ตัวปฏิบัติการแบบ Mutation ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องทำการกำหนดค่าที่ใช้เปรียบเทียบคือ ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation มีค่าเท่ากับ 5% [14] ใช้เป็นตัวตัดสินใจว่ากลุ่มสมาชิกที่ถูกเลือกมาจะถูกกระทำด้วยตัวปฏิบัติการนี้ ถัดมาจะเข้าสู่ตัวปฏิบัติการ Elitism คือจำนวนของกลุ่มสมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดที่ต้องการคงค่าไว้ใน Mating Pool ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมตามตัวปฏิบัติการต่าง ๆ เมื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนการคำนวณของทั้งสองกระบวนการแล้วพบว่ากระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการค้นหาค่าที่เหมาะสมสูงสุดเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20 ได้ 96.657% ที่จำนวนรอบ 541 รอบการคำนวณ ส่วน

กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมค้นหาค่าที่เหมาะสมได้ 96.657% ได้ที่ 1053 รอบการคำนวณ เมื่อเพิ่มจำนวนสมาชิกเป็น 40 สมาชิก กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการค้นหาค่าที่เหมาะสมสูงสุดที่ 96.753% ที่จำนวนรอบ 3001 รอบ ส่วนกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมค้นหาค่าที่เหมาะสมสูงสุดที่ 96.721% ที่จำนวนรอบ 3317 รอบการคำนวณ แต่เมื่อทำการเพิ่มจำนวนสมาชิกเป็น 60 สมาชิก กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมสามารถคำนวณจำนวนรอบได้ที่ 553 รอบ แต่ค้นหาค่าที่เหมาะสมสูงสุดที่ 96.689% ส่วนกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการได้ค่าสูงสุดที่ 96.753% ที่จำนวนรอบ 5041 รอบ

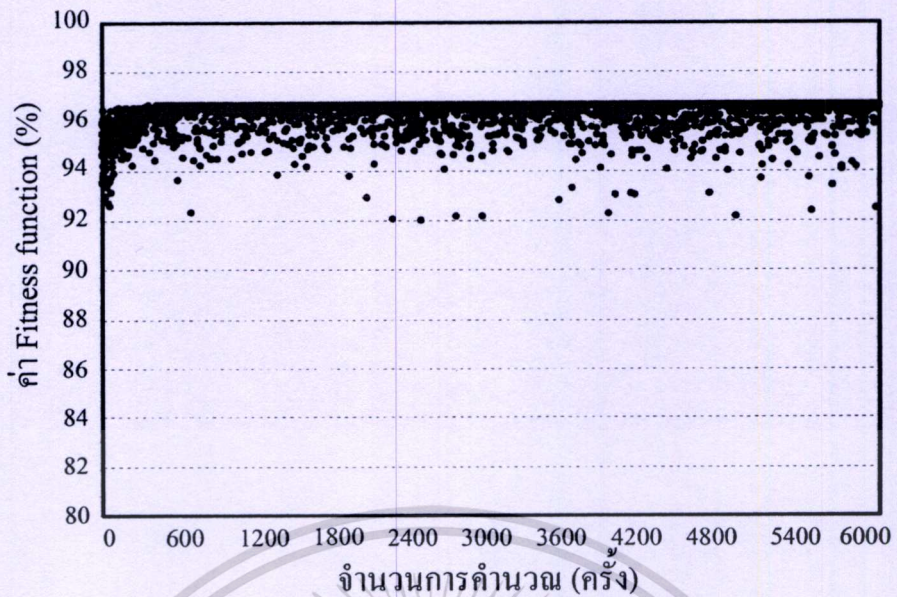


รูปที่ 3.20 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาของ GA เมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20



รูปที่ 3.21 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาของ GA เมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาของ GA เมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 60

### 3.10 บทสรุป

จากการวิเคราะห์ผลกระทบของสมาชิกของกระบวนการคิดแบบกลยุทธิ์เชิงวิวัฒน์ด้วยจำนวนสมาชิกที่มีจำนวนแตกต่างกันตั้งแต่ 0 ไปถึง 60 จะแสดงให้เห็นได้ว่ากระบวนการค้นหา นั้นได้หาค่าที่เหมาะสมของคำตอบที่รวดเร็วเนื่องมาจากการสุ่มค่าเริ่มต้นของจำนวนสมาชิกนั้นมีค่าคำตอบของฟังก์ชันความเหมาะสม มีค่าที่สูงและใกล้เคียงค่าสูงสุดจึงทำให้กระบวนการหาค่าความเหมาะสมนั้นได้ค่าที่รวดเร็ว และการวิเคราะห์โครงสร้างของกระบวนการคิดแบบกลยุทธิ์เชิงวิวัฒน์ที่สามารถปรับระดับค่าของโครงสร้างกระบวนการ Mutation ของการเปลี่ยนแปลงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานออกเป็นสามส่วนด้วยความน่าจะเป็นของอัตราส่วนการกลายพันธุ์ที่ดีขึ้นต่อจำนวนสมาชิกเดิมในการทดสอบการเปรียบเทียบของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม และกระบวนการแบบกลยุทธิ์เชิงวิวัฒน์ในการหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศจากกระบวนการเมื่อทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์เท่ากับ 5 พารามิเตอร์ กระบวนการคิดแบบกลยุทธิ์เชิงวิวัฒน์นั้นหาค่าที่เหมาะสมได้เท่ากับและดีกว่าในทุกกลุ่มสมาชิก แต่เมื่อกลุ่มสมาชิกมากขึ้นกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้เร็วกว่า เนื่องจากกระบวนการคิดแบบกลยุทธิ์เชิงวิวัฒน์นั้นมีกระบวนการ Mutation เพียงอย่างเดียว การหาค่าที่เหมาะสมที่สูงและรวดเร็วอาจจะต้องใช้กระบวนการผสมกันระหว่างสมาชิกเข้าช่วยหาค่าหรือที่เรียกว่า Crossover จะทำให้ได้ค่าความเหมาะสมที่เกิดจากความแตกต่างของสมาชิก และจะทำให้หาค่าที่เหมาะสมได้สูงและรวดเร็วสำหรับจำนวนรอบการคำนวณ

## บทที่ 4

# การจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบ บ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านด้วยการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ

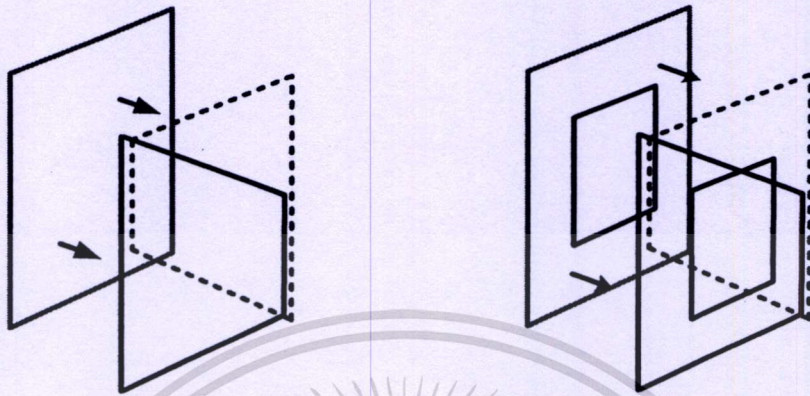
### 4.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอการจำลองแบบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลในย่านความถี่ต่ำ โดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท่งของสายอากาศแบบบ่วง ซึ่งใช้กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านด้วยการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ รวมทั้งนำเสนอผลการวิเคราะห์สายอากาศด้วยโปรแกรม NEC2[8] เพื่อหาคุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศ

### 4.2 โครงสร้างของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ

โครงสร้างสำหรับสายอากาศแบบสามบ่วงนั้นเกิดขึ้นจากแนวคิดของการเพิ่มบ่วงสายอากาศเพื่อเพิ่มความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งในทิศทางของแนวแกน  $z$  ให้มากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งอาศัยการจัดวางแบบประตูดินผ่านที่วางเหลื่อมล้ำกันเพื่อลดการหักล้างกันของสนามแม่เหล็กที่ตรงกลางของสายอากาศนั้นคือการรักษาความสามารถในการติดต่อสื่อสารในทิศทางแนวแกน  $x$  และ  $y$  ด้วย เริ่มจากลักษณะบ่วงหลักที่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 1 บ่วงที่ให้คุณลักษณะทางการวิเคราะห์ในแนวแกน  $x$  และ  $y$  เป็นหลัก ทำการแยกให้กลายเป็น 2 บ่วงที่เป็นลักษณะของสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งให้คุณลักษณะแนวแกน  $z$  เข้ามาร่วมด้วย ในขณะที่บ่วงที่ 3 เป็นบ่วงสี่เหลี่ยมใด ๆ ที่มีลักษณะทางกายภาพที่มีแนวเฉียงเพื่อเพิ่มทิศทางความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $z$  เป็นหลัก โดยทั้งสามบ่วงของสายอากาศกำหนดให้มีการกระตุ้นให้เฟสตรงกันสำหรับสายอากาศหนึ่งด้าน เมื่อทำการติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำแล้วนั้นจะกำหนดให้สายอากาศในแต่ละด้านต่างเฟสกัน 180 องศา ซึ่งการวางสายอากาศที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ มาแก้ปัญหาเพื่อที่ไม่ให้สนามแม่เหล็กเกิดการหักล้างบริเวณกึ่งกลางของประตูดินผ่านมากเกินไป โดยที่ระยะการวางแบบเหลื่อมล้ำนั้นต้องเป็นระยะที่เหมาะสมซึ่งสามารถหาได้จากกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ

สายอากาศแบบบ่วงคู่รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูที่เกิดจากสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังรูปที่ 4.1(ก) และได้ทำการเพิ่มบ่วงแบบสี่เหลี่ยมใด ๆ เข้าไปยังสายอากาศทั้งสองด้านเพื่อช่วย ในการกระจายสนามแม่เหล็กในทิศทาง  $x$  และ  $z$  ได้ดีขึ้นดังรูปที่ 4.1(ข)

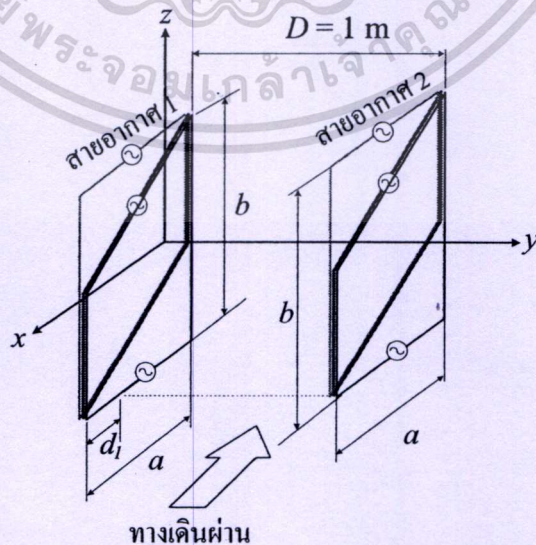


(ก) หนึ่งบ่วงเป็นสองบ่วง

(ข) บ่วงคู่เป็นสามบ่วง

รูปที่ 4.1 โครงสร้างของสายอากาศแบบสามบ่วง

จากนั้นนำสายอากาศแบบสามบ่วงสองชุดมาติดตั้งแบบประตูดินผ่าน โดยที่สายอากาศ ทั้งสองชุดวางเหลื่อมล้ำกันด้วยระยะ  $d$ , ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ขนาดสายอากาศมีความกว้างของ บ่วงเท่ากับ  $a$  ความสูงของบ่วงเท่ากับ  $b$  นำบ่วงคู่ดังกล่าวมาวางขนานกันและติดตั้งเป็นแบบประตูดิน ผ่าน โดยมียุทธศาสตร์ห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองด้านเท่ากับระยะ  $D$  และสายอากาศทั้งสองวาง เหลื่อมล้ำกันในทิศ  $x$



รูปที่ 4.2 สายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เชิงพาณิชย์ การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับขนาดของสายอากาศเบื้องต้นจะกำหนดให้ความกว้าง  $a$  เท่ากับ 90 เซนติเมตร และความสูง  $b$  เท่ากับ 135 เซนติเมตร ซึ่งเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับสัณฐานขนาดใหญ่ เช่น กระจับปือ และ พ่อและแม่พันธุ์ของโค เป็นต้น โดยที่รูปร่างของบ่วงรองและระยะ  $d$ , จะใช้กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการในการหาค่าที่เหมาะสม

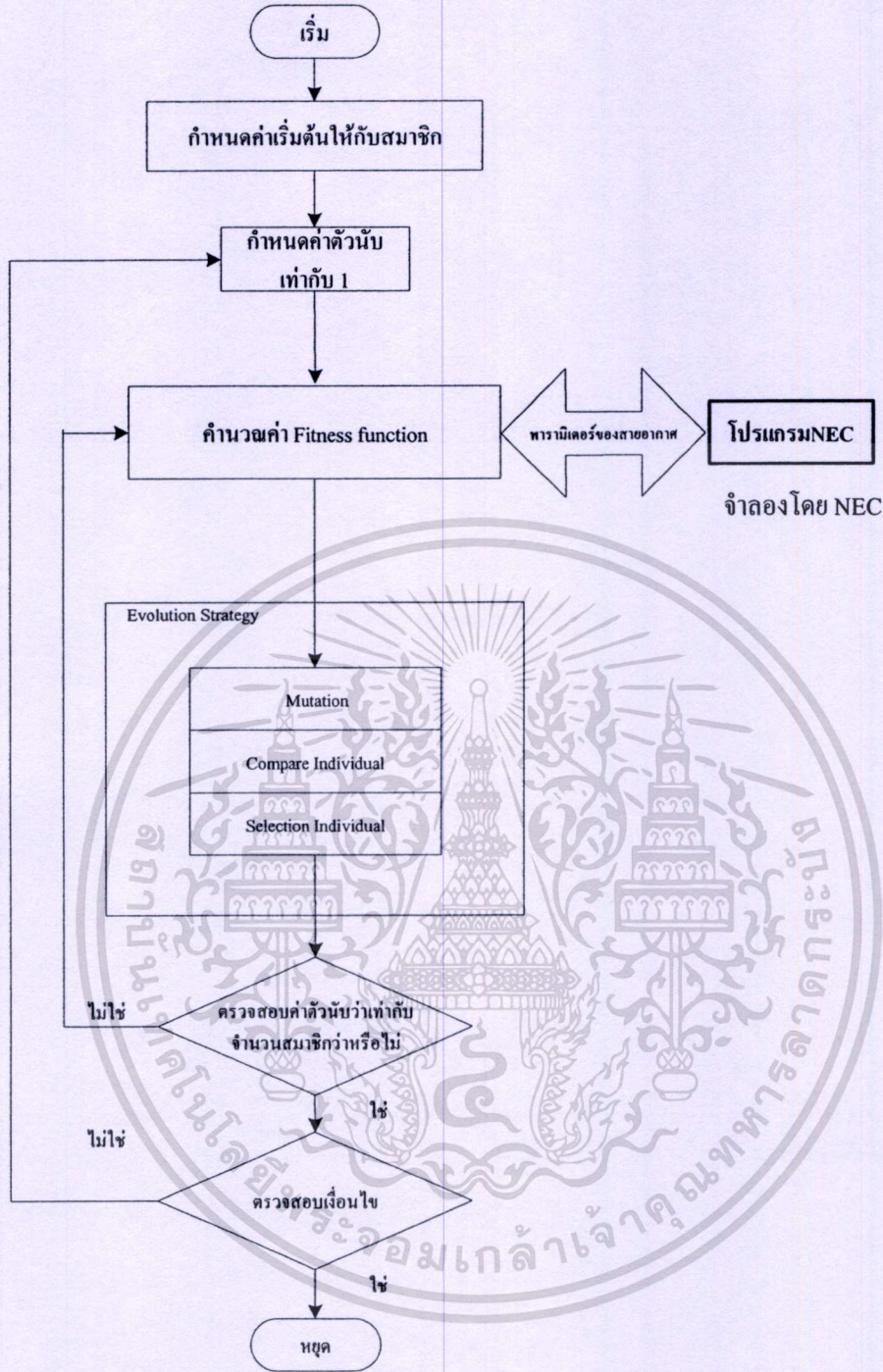
### 4.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ

ในหัวข้อนี้กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการจะนำมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบสามบ่วงที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมด้านเนื่องจากกระบวนการนี้สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศที่มีความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความรวดเร็วในการหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศ

#### 4.3.1 กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ

กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการเป็นกระบวนการค้นหาค่าตัวแปรโดยอาศัยหลักการของธรรมชาติโดยการคัดเลือกซึ่งสมาชิกที่ดีที่สุดที่จะอยู่รอด ซึ่งนำสมาชิกใหม่เข้ามาเปรียบเทียบกับสมาชิกเก่า โดยการสร้างสมาชิกใหม่ด้วยกระบวนการ Mutation ในวิวัฒนาการนี้จะอธิบายเพียงหลักการทำงานของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการอย่างง่าย (1+1)-ES ซึ่งจะมีเพียงกระบวนการ Mutation เพียงอย่างเดียว โดยแสดงแผนผังการทำงานของกระบวนการดังรูปที่ 4.3 ซึ่งประกอบด้วยตัวปฏิบัติการดังต่อไปนี้คือ

กระบวนการ Mutation เป็นกระบวนการสร้างสมาชิกใหม่ให้มีค่าที่เหมาะสมกว่าต้องอาศัยกระบวนการตัดแปลงค่าพารามิเตอร์เป้าหมาย ที่อยู่ในชุดโครโมโซมของสมาชิกแต่ละตัว โดยอาศัยอาศัยความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่องหรือการสุ่มแบบเกาส์ เป็นตัวเปลี่ยนแปลงค่าของสมาชิก โดยกระบวนการ Mutation เองก็มีกระบวนการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์แบบอัตโนมัติ ค่าตัวแปรแต่ละค่าของสมาชิกจะถูกนำมาคำนวณค่าฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ค่าฟังก์ชันเป้าหมายคือ ค่าที่ใช้เป็นตัวตัดสินว่าสมาชิกตัวใดเป็นตัวที่ดีกว่าหรือแย่กว่าโดยเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกสมาชิกเพื่อเปรียบเทียบค่าความเหมาะสมของฟังก์ชันเป้าหมาย สมาชิกที่มีค่าของความน่าจะเป็นสูงสุดเท่านั้นถึงจะถูกเลือกให้เป็นกลุ่มสมาชิกในวงรอบการทำงานต่อไป โดยจะนำสมาชิกแต่ละตัวจากกลุ่มสมาชิกที่ได้นั้นไปคำนวณในโปรแกรม NEC2 ซึ่งเป็นโปรแกรมคำนวณหาค่าฟังก์ชันเป้าหมาย แล้วส่งค่าที่ได้จากการคำนวณกลับมาเข้าสู่กระบวนการเพื่อคัดเลือกสมาชิกในการพัฒนาต่อไป



รูปที่ 4.3 แผนผังการทำงานของกระบวนการคิดแบบกลยุทธิ์เชิงวิวัฒน์กับ โปรแกรม NEC2

#### 4.3.2 การหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการคิดแบบกลยุทธิ์เชิงวิวัฒน์

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศนั้น เริ่มจากการพิจารณาแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กก่อน จากนั้นจึงนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิว และค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศ การพิจารณาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นและค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิว จะใช้แบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กขององค์ประกอบในแต่ละ

เอกสาคูทิศทางในระนาบ xy มาพิจารณา ซึ่งพื้นผิวที่ใช้จะมี ความกว้าง 125 เซนติเมตร และ ความสูง 135 มม. ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนติเมตร โดยการแบ่งระยะตามแนว  $z$  ออกเป็นส่วนย่อยๆ จำนวน  $N$  ส่วนดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งในแต่ละเส้นของ  $z_n$  นั้นจะแบ่งย่อยระยะตามแนว  $x$  ออกเป็นส่วนๆ เป็นจำนวน  $K$  ส่วน เพื่อให้ผลลัพธ์เกิดการลู่เข้า (Converge) โดยแต่ละจุดห่างกัน 2 เซนติเมตร และทำการพิจารณาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในแต่ละส่วน  $H(x_k)$  เปรียบเทียบกับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กกระตุ้น  $H_c$  โดยที่ค่า  $H_c$  นี้สามารถหาได้จากการทดสอบร่วมกับการจำลอง โดยวัฏระยะการอ่านที่ไกลที่สุดจากแท็กไปยังเครื่องอ่านข้อมูลแล้วนำระยะอ่านที่ไกลที่สุดนี้ไปจำลองเพื่อหาค่า  $H_c$  [14] ซึ่งพบว่ามีความเท่ากับ 3 A/m (สำหรับแท็กชนิด โบลัสสำหรับ โค) ในกรณีที่สมมติการป้อนแหล่งจ่ายกระแสของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลเท่ากับ 1 A [11] และ [14] สาเหตุที่ต้องใช้การสมมุติกระแสที่แหล่งจ่ายเพราะไม่สามารถวัดกระแสที่ป้อนให้แก่สายอากาศได้โดยตรง เนื่องจากเครื่องมือวัดมีผลกระทบต่อระยะการอ่านของเครื่องอ่านข้อมูลเป็นอย่างมาก ดังนั้นผลที่ได้จะมีความผิดพลาดมาก การหาค่า  $H_c$  โดยใช้วิธีนี้มีความน่าเชื่อถือได้ เพราะได้ทดสอบกับสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลที่มีลักษณะหลายแบบหลายรูปทรง พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกันดี

ดังนั้นการพิจารณาของฟังก์ชันเป้าหมาย ( $F$ ) สำหรับการออกแบบสายอากาศคือ

$$F = [P_{v,H_x}, P_{v,H_y}, P_{v,H_z}] \quad (4.1)$$

โดยที่  $P_{v,H_x}$ ,  $P_{v,H_y}$  และ  $P_{v,H_z}$  เป็นค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในทิศ  $xy$  และ  $z$  ตามลำดับ

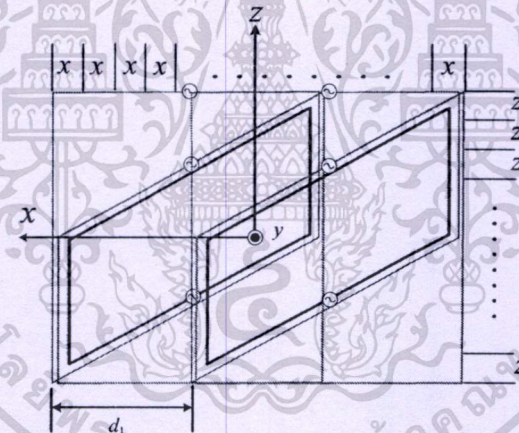
ในการหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร [11] และ [14] นั้นจำเป็นต้องรู้ค่าของเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น ( $P_l$ ) ก่อน [11] และ [14] โดยพิจารณาจากแท็กที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านในแนวเส้นตรงจากทางเข้าไปยังทางออก ในแนวแกน  $x$  ซึ่งเดินทางจากทิศทาง  $-x$  ไปทิศทาง  $+x$  ถ้ามีตำแหน่งใดในแนวเส้นตรงนั้นที่มีความเข้มสนามแม่เหล็ก  $H(x,y,z) \geq H_c$  ( $H(x,y,z)$  (ฟังก์ชันความเข้มสนามแม่เหล็กในแต่ละแนวแกน) จะทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นเท่ากับ 100% โดยที่  $H_c$  เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็กที่น้อยที่สุดที่ทำให้แท็กสามารถทำงานได้ อย่างไรก็ตาม ถ้าไม่มีตำแหน่งใดในแนวเส้นตรงนั้นที่ทำให้  $H(x,y,z) \geq H_c$  แสดงว่าในแนวเส้นตรงนั้นจะมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นเท่ากับ 0% ในการจำลองนั้น จะใช้ค่า  $H_c$  เท่ากับ 3 A/m สำหรับแท็กชนิด โบลัสที่นำมาใช้กับ โคหรือกระบือ เมื่อรู้ค่า  $P_l$  แล้วจะคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ระยะ  $y_m$  ( $P_s(y_m)$ ) ได้จาก [11]

$$P_s(y_m) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_l(z_n) \quad (4.2)$$

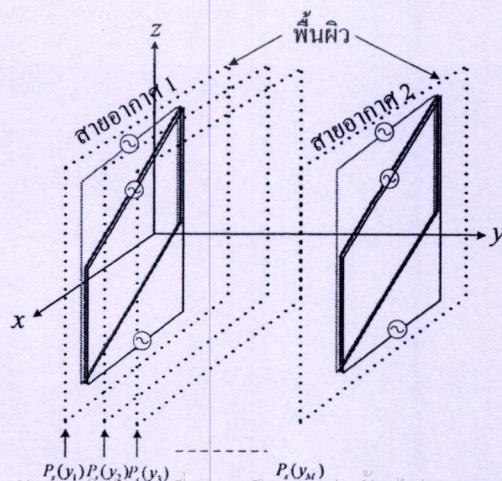
โดยที่  $P_s(z_n)$  เป็นค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นที่ระยะ  $z_n$  และ  $N$  เป็นจำนวนของแนวเส้นตรงที่แบ่งในแนวแกน  $z$  ทั้งหมด การแบ่งส่วนตามแนวแกน  $x$  และ  $z$  แสดงดังรูปที่ 4.4 เมื่อรู้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิวแล้ว ก็จะสามารถคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร ( $P_v$ ) ได้ดังนี้ [11] และ [14]

$$P_v = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M P_s(y_m) \quad (4.3)$$

โดยที่  $M$  เป็นจำนวนพื้นผิวที่พิจารณาขนานกับระนาบ  $xz$  ทั้งหมดที่อยู่ระหว่างสายอากาศที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 โดยนิยามแล้วค่า  $P_s(y_m)$  และ  $P_v$  ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100% นอกจากนี้ ปริมาตรที่นำมาพิจารณานั้นควรจะครอบคลุมบริเวณใช้งานที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่อยู่ระหว่างสายอากาศแบบประตูดินผ่านทั้งสองข้าง ในงานวิจัยนี้ บริเวณที่นำมาพิจารณานั้นจะเป็นปริมาตรที่เกิดจากสายอากาศแบบประตูดินผ่าน นั่นก็คือ -80 เซนติเมตร ถึง 45 เซนติเมตร ในแนวแกน  $x$  และ 0 ถึง 100 เซนติเมตร ในแนวแกน  $y$  และ -67.5 เซนติเมตร ถึง 67.5 เซนติเมตร ในแนวแกน  $z$



รูปที่ 4.4 การพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นที่ขนานกับระนาบ  $xz$



รูปที่ 4.5 การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 ผลการจำลองของสายอากาศ

### 4.4.1 สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบประตูเดินผ่าน

จากผลการวิเคราะห์สายอากาศแบบประตูเดินผ่าน โดยใช้สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ขนาด  $135 \times 90 \text{ cm}^2$ ) พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กมีค่า ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 [17] โดยตารางที่ 4.1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดเฟสตรงกัน สำหรับแท่งชนิดโบลัสใช้กับโค ( $H_t$  เท่ากับ 3 A/m) พบว่าค่า  $P_{v,H_y}$  จะมีค่าสูงสุดเป็น 100 % และค่า  $P_{v,H_z}$  มีค่าต่ำที่สุดและมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กของในทิศ  $x$  และ  $y$  นอกจากนี้ได้พิจารณาในกรณีที่ค่า  $H_t$  ลดลงและเพิ่มขึ้นอีก 500 mA/m ด้วย (เนื่องจากแท่งแต่ละชนิดมีขนาดไม่เท่ากัน ทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กกระตุ้นนั้นมีค่าต่างกัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อค่า  $H_t$  เปลี่ยนไป เพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้งานด้วย) พบว่าเมื่อค่า  $H_t$  ลดลง ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อค่า  $H_t$  เพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กมีแนวโน้มลดลง ในกรณีที่สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา พบว่าค่า  $P_{v,H_x}$  จะมีค่าสูงสุดและ  $P_{v,H_z}$  จะมีค่าต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.2

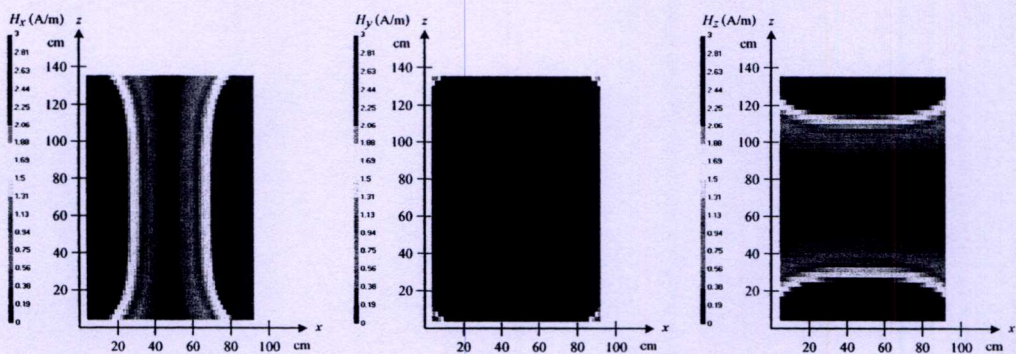
ตารางที่ 4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน [17]

$H_t$ (A/m)	$P_{v,H_x}$ (%)	$P_{v,H_y}$ (%)	$P_{v,H_z}$ (%)
2.5	66.73	100	22.75
3	60.75	100	18.70
3.5	55.35	100	16.58

ตารางที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสต่างกัน 180 องศา [17]

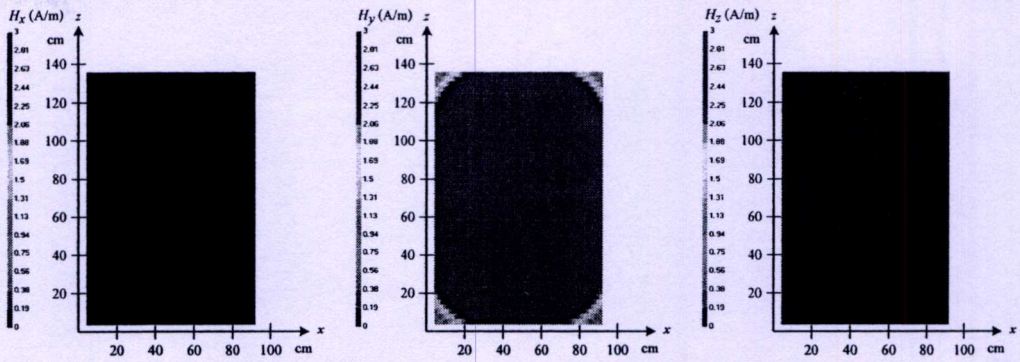
$H_t$ (A/m)	$P_{v,H_x}$ (%)	$P_{v,H_y}$ (%)	$P_{v,H_z}$ (%)
2.5	100	68.08	53.03
3	100	66.53	46.57
3.5	98.16	64.03	40.98

รูปที่ 4.6 แสดงแบบรูปการกระจายของสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสตรงกัน ได้จากการจำลองของโปรแกรม NEC2 ซึ่งแสดงลักษณะการกระจายสนามแม่เหล็กแต่ละเส้นทางที่แท็กเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงจากประตูด้านเข้า ไปยังประตูด้านออกในบริเวณระหว่างสายอากาศ ( $135 \times 90 \times 100 \text{ cm}^3$ ) รูปที่ 4.7 แสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศ เมื่อ  $P_{I,H_x}$ ,  $P_{I,H_y}$  และ  $P_{I,H_z}$  คือค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นของความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$  ตามลำดับ แกนตั้งแสดงระยะทางในแนวความสูงของสายอากาศ โดยเริ่มระยะที่ 0 เซนติเมตร คือตำแหน่งด้านบนสุดของสายอากาศ และระยะ 135 เซนติเมตร คือตำแหน่งด้านล่างสุดของสายอากาศ และแกนนอนคือระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสองขั้ว การพิจารณาในรูปที่ 4.7 คือถ้าเส้นทางนั้นมีค่าเป็น 1 (สีขาว) แสดงว่าในเส้นทางนั้นสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้หรือมีค่า  $P_i$  เท่ากับ 100% และถ้าเส้นทางนั้นมีค่าเป็น 0 (สีดำ) แสดงว่าในเส้นทางนั้นไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้หรือมีค่า  $P_i$  เท่ากับ 0% ซึ่งจากรูปพบว่าทุกเส้นทางของความเข้มสนามแม่เหล็กในทิศ  $y$  มีค่าเป็น 1 ทั้งหมดหรือมีค่า  $P_{v,H_y}$  เท่ากับ 100% ส่วน  $P_{I,H_x}$  และ  $P_{I,H_z}$  บริเวณตรงกลางระหว่างสายอากาศมีค่าเป็น 0 ทำให้ค่า  $P_{v,H_x}$  มีค่าเพียง 60.75% และค่า  $P_{v,H_z}$  เท่ากับ 18.70%

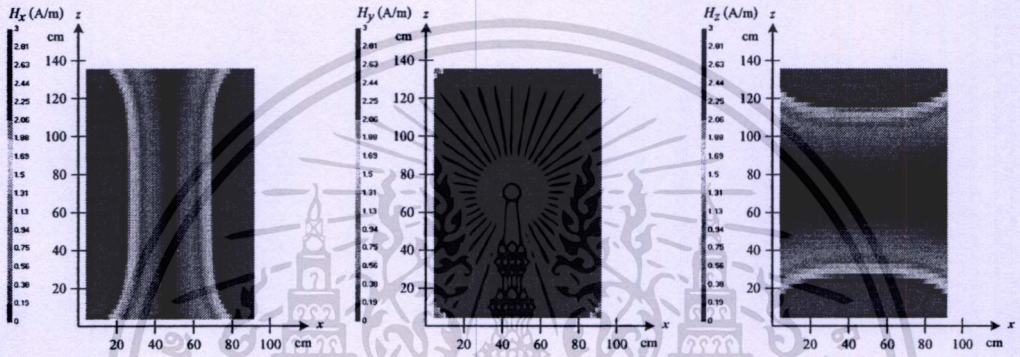


(ก) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 20 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

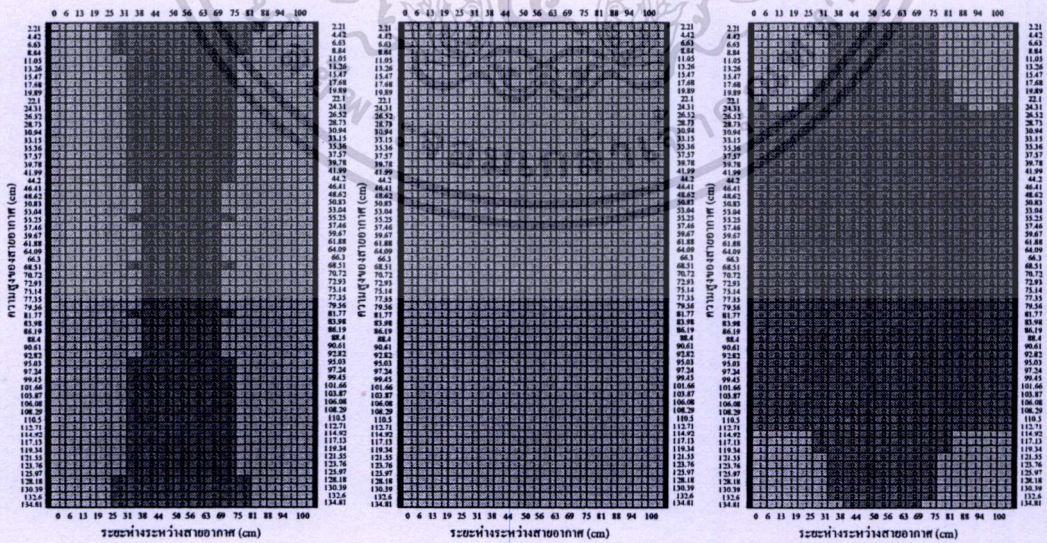


(จ) ที่ระยะ y เท่ากับ 50 เซนติเมตร



(ค) ที่ระยะ y เท่ากับ 80 เซนติเมตร

รูปที่ 4.6 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบ  
ประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสตรงกัน [17]



(ก)  $P_{1,H_x}$

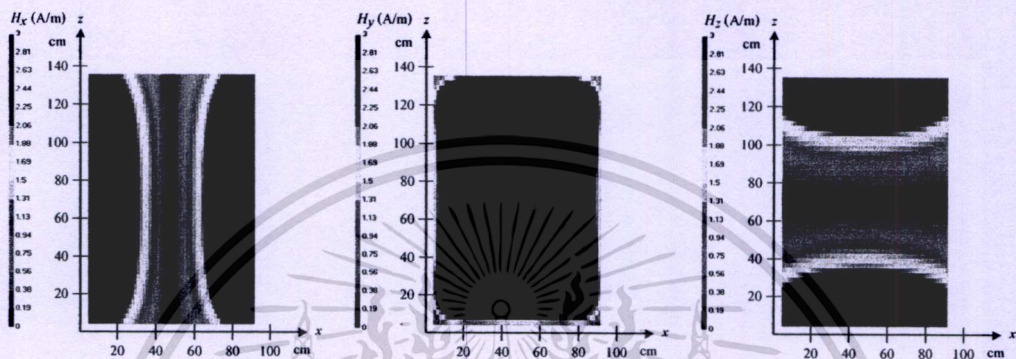
(ข)  $P_{1,H_y}$

(ค)  $P_{1,H_z}$

รูปที่ 4.7 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณ  
ระหว่างสายอากาศทั้งสองขั้วของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน  
เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสตรงกัน [17]

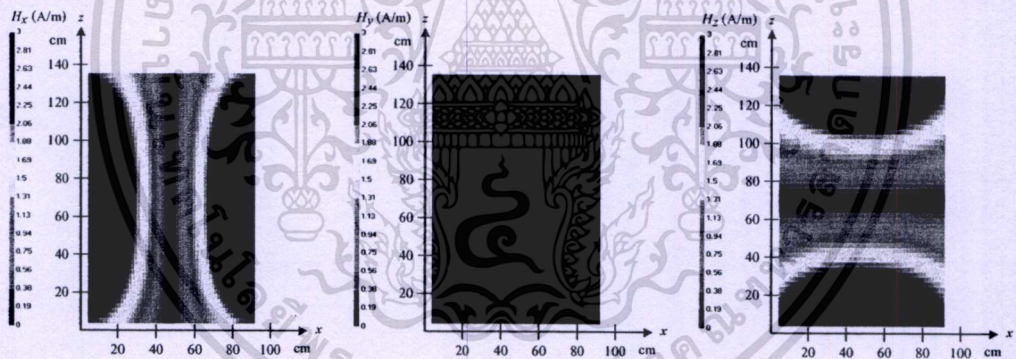
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการศึกษากายเท่านั้น ไม่ได้อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 แสดงแบบรูปการกระจายของสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสมีเฟสต่างกัน 180 องศา ได้จากการจำลองแบบของโปรแกรม NEC2 ที่ระยะ  $y$  ที่สนใจ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.7 กับรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นกรณีที่ป้อนกระแสให้มีเฟสตรงกันและการป้อนกระแสให้เฟสต่างกัน 180 องศา พบว่าการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสต่างกัน 180 องศา จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร โดยเฉลี่ยทั้งสามแกนสูงกว่า



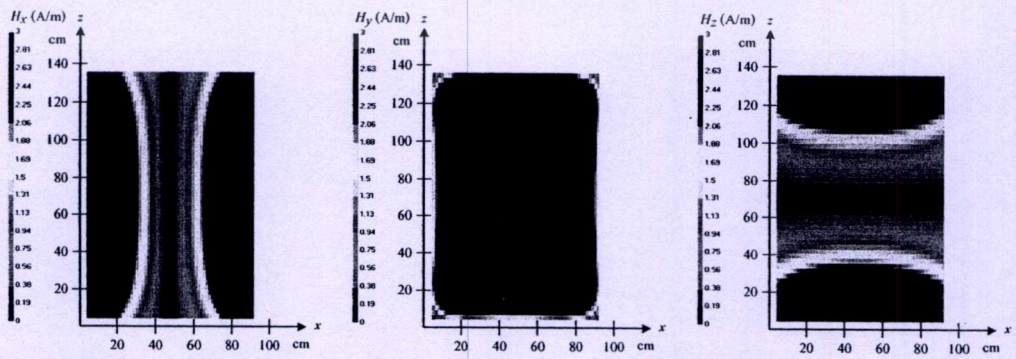
(ก) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 20 เซนติเมตร

(ข)



(ค) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร

(ง)



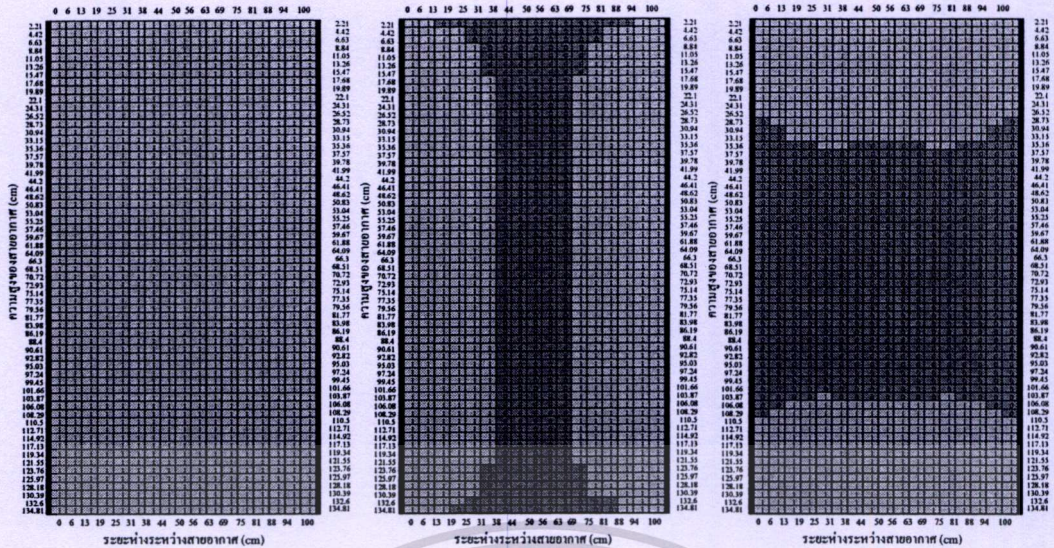
(ค) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 80 เซนติเมตร

รูปที่ 4.8 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบ

เอกรสารแบบออสโตรรัฟจิงส์บนระนาบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสต่างกัน 180 องศา ไม่ว่าจะกรณีใดๆก็ตาม

ประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสต่างกัน 180 องศา จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร โดยเฉลี่ยทั้งสามแกนสูงกว่า

การนำไปใช้



(ก)  $P_{l,H_x}$

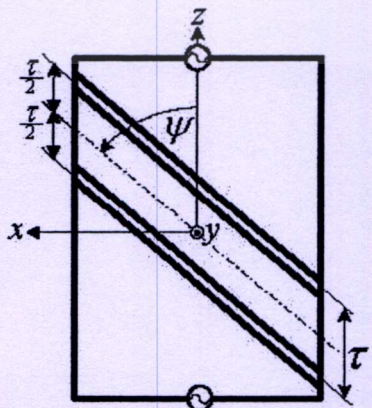
(ข)  $P_{l,H_y}$

(ค)  $P_{l,H_z}$

**รูปที่ 4.9** ความสามารถในการติดต่อดึงสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา

**4.4.2** สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมคางหมูและสายอากาศบ่วงคู่แบบต่าง ๆ

สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีการป้อนกระแสให้มีเฟสเท่ากันและเฟสต่างกัน 180 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มข้นแม่เหล็กน้อยในบางทิศทาง ดังนั้นงานวิจัยที่มีมาก่อน [10] และ [11] ได้มีการสร้างสายอากาศเป็นแบบบ่วงคู่ โดยโครงสร้างสายอากาศประกอบด้วยบ่วงคู่ 2 บ่วงวางต่อกัน โดยที่ลักษณะของบ่วงคู่ประกอบด้วย บ่วงสี่เหลี่ยมคางหมูกับบ่วงสี่เหลี่ยมคางหมู มีการจัดกระแสทั้งสองบ่วงต่างเฟสกัน 180 องศา เพื่อให้กระแสที่ไหลในตัวนำแนวเฉียงทั้งสองมีทิศทางเดียวกัน



**รูปที่ 4.10** โครงสร้างสายอากาศบ่วงคู่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในการจำลองผลของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบสี่เหลี่ยมคางหมูได้ทำการเปลี่ยนค่ามุม  $\psi$  และระยะ  $\tau$  เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่ดีที่สุด [11] และ [16] จากค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก  $H_x$ ,  $H_y$  และ  $H_z$  ที่กระจายอยู่ระหว่างสายอากาศ ผลลัพธ์ที่ได้มีอยู่ 2 กรณี คือ กรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดเฟสตรงกัน และกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดเฟสต่างกัน 180 องศา ผลที่ได้จากการจำลองของการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของโครงสร้างสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมคางหมูโดยจุดที่เหมาะสมที่สุดคือ  $\tau$  เท่ากับ 24 เซนติเมตร และ  $\psi$  เท่ากับ 30 องศา [11] และ [16]

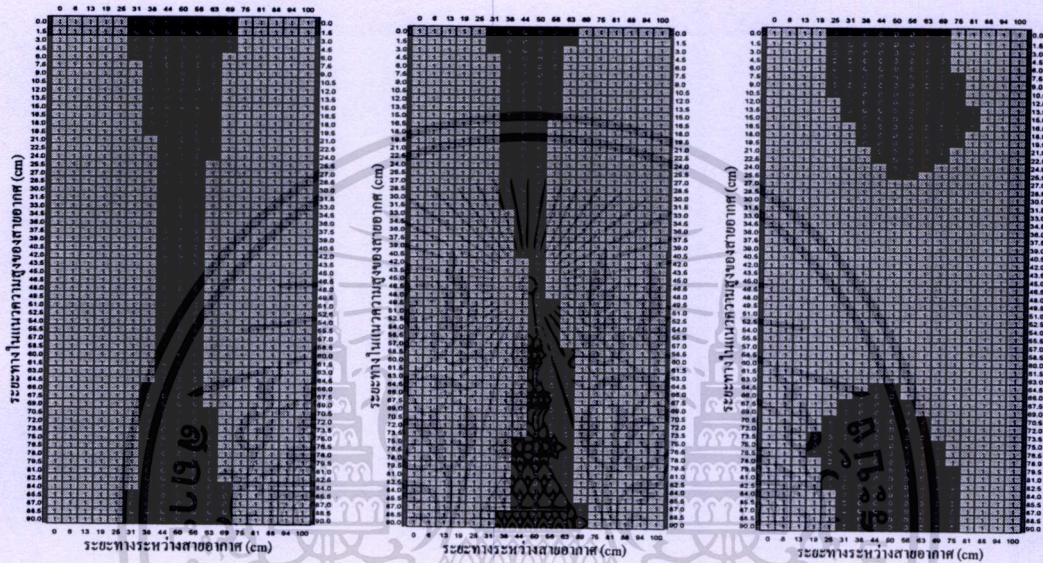
สำหรับในส่วนของกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 ทิศทางหลักที่ตั้งฉากกันมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยจุดที่เหมาะสมที่สุดคือ  $\tau$  เท่ากับ 20 เซนติเมตร และ  $\psi$  เท่ากับ 40 องศา [11] และ [16] ซึ่งจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็ก สำหรับค่า  $H_i$  ต่างๆ ในกรณีที่ค่า  $H_i$  เท่ากับ 175 mA/m นั้นเมื่อพิจารณาความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดที่ป้อนกระแสให้มีเฟสต่างกัน 180 องศา จากผลการวิเคราะห์พบว่าสายอากาศแบบประตูดินผ่าน โดยใช้บ่วงคู่ที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา นั้นจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กในสามทิศทางหลักที่ตั้งฉากกันมีการกระจายสม่ำเสมอมากกว่ากรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าพบว่าสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสามารถติดต่อสื่อสารกับแท่งในลักษณะการจัดวางแบบต่างๆ ได้ดีกว่าสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศแบบบ่วงคู่สี่เหลี่ยมคางหมูที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองมีเฟสตรงกัน โดยกำหนดค่าของ  $H_i$  ตั้งแต่ 125 , 175 และ 225 mA/m ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.1 และค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศแบบบ่วงคู่สี่เหลี่ยมคางหมูที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองมีเฟสต่างกัน 180 องศา แสดงในตารางที่ 4.2 ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.3** ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน [11][13] และ [16]

$H_i$ (mA/m)	$P_{v,H_x}$ (%)	$P_{v,H_y}$ (%)	$P_{v,H_z}$ (%)
125	88	100	76
175	70	98	62
225	55	93	53

ตารางที่ 4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มข้นแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่กรณี  
ที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสต่างกัน 180 องศา [11][13] และ [16]

$H_t$ (mA/m)	$P_{v,H_x}$ (%)	$P_{v,H_y}$ (%)	$P_{v,H_z}$ (%)
125	97	90	84
175	74	81	74
225	62	70	65



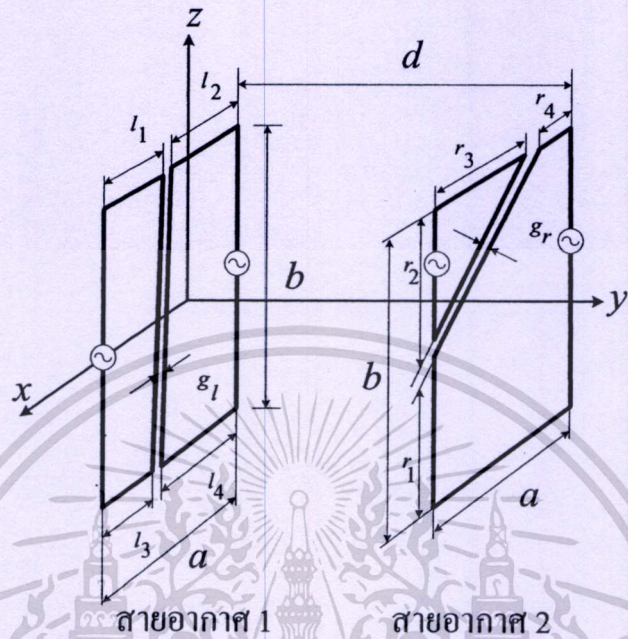
(ก)  $P_{I,H_x}$                       (ข)  $P_{I,H_y}$                       (ค)  $P_{I,H_z}$

รูปที่ 4.11 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณ  
ระหว่างสายอากาศทั้งสองขั้วของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบสี่เหลี่ยมคางหมูเมื่อ  
ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสต่างกัน 180 องศา [11][13] และ [16]

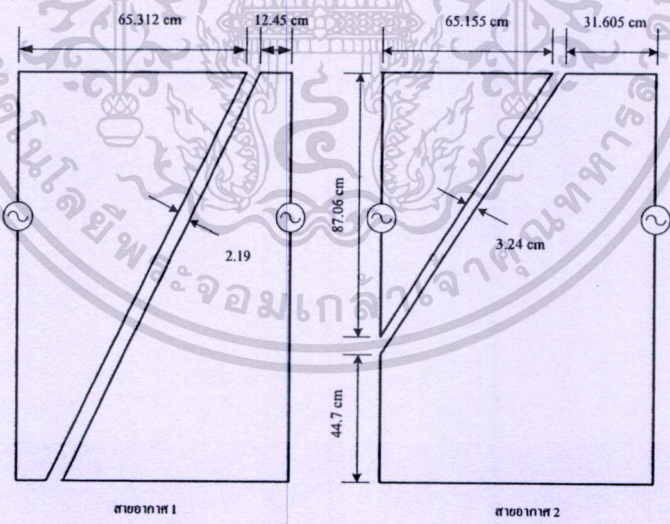
ในงานวิจัยก่อนหน้าสายอากาศบ่วงคู่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้ออกแบบจนเหมาะสม  
ที่สุด พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มข้นแม่เหล็กในสามทิศทางหลักที่ตั้งฉากกัน  
คือ  $P_{v,H_x}$  เท่ากับ 74%  $P_{v,H_y}$  เท่ากับ 81% และ  $P_{v,H_z}$  เท่ากับ 74% (โดยใช้ค่า  $H_t$  เท่ากับ 175 mA/m  
แท็กแบบ ISO การ์ด) [10] และ [11] และมีงานวิจัยอีกฉบับได้พัฒนาการออกแบบสายอากาศแบบ  
บ่วงคู่แบบต่าง ๆ โดยใช้กระบวนการคิดเชิงพันธุกรรม[9][12] และ [13] เป็นสายอากาศขนาด  
ใหญ่ (ขนาด  $135 \times 90 \text{ cm}^2$ ) เพื่อเพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรให้สูงขึ้น โดยจำแนกสายอากาศแบบ  
บ่วงคู่ในแบบต่าง ๆ โดยที่โครงสร้างสายอากาศที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมากที่สุดที่เกิดจาก  
กระบวนการคิดเชิงพันธุกรรมได้รูปแบบโครงสร้างดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 โดยที่รูปที่ 4.12 เป็น  
การจัดตั้งของสายอากาศแบบบ่วงคู่แบบประตูดินผ่าน สำหรับในส่วนของรูปที่ 4.13 นั้นเป็น  
สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่เกิดจากกระบวนการคิดเชิงพันธุกรรม จากนั้นนำสายอากาศแบบบ่วงคู่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งออกเป็นอีก 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสตรงกัน กรณีที่ 2 ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสต่างกัน 180 องศา



รูปที่ 4.12 การจัดวางสายอากาศบ่วงคู่แบบประตูเดินผ่าน [13]



รูปที่ 4.13 โครงสร้างของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ได้จากกระบวนการคิดแบบพันธุกรรม [13]

จากผลการคำนวณ โดยกรณีของการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสตรงกัน โดยใช้เท็กชนิด โบลัส (สำหรับใช้กับโค) ซึ่งมีค่า  $H_f$  เท่ากับ 3 A/m ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร มีค่า  $P_{v,H_x}$  เท่ากับ 75.317%,  $P_{v,H_y}$  เท่ากับ 100% และ  $P_{v,H_z}$  เท่ากับ 56.055% และในกรณีของการป้อนกระแส

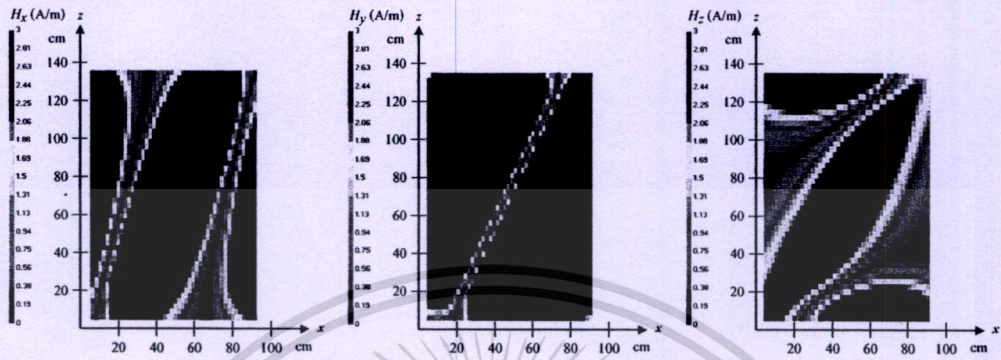
ให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสต่างกัน 180 องศา โดยใช้เท็กชนิด โบลัส ซึ่งมีค่า  $H_f$  เท่ากับ 3 A/m ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร มีค่า  $P_{v,H_x}$  เท่ากับ 98.155%,  $P_{v,H_y}$  เท่ากับ 93.426% และ  $P_{v,H_z}$

เท่ากับ 78.413% เมื่อทำการพิจารณาจากการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีการป้อนกระแสให้สายอากาศที่ตรงกันและที่แตกต่างกัน 180 องศา แล้วพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ได้จากกระบวนการคิดเชิงพันธุกรรมนั้นคือกรณีที่ป้อนกระแสที่แตกต่างกัน 180 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นดังแบบรูปการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 4.14 และ รูปที่ 4.15 ที่การป้อนกระแสของสายอากาศแบบมีเฟสตรงกันและมีเฟสที่แตกต่างกัน 180 องศา ตามลำดับ ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร ที่ได้จากการจำลองนั้น สำหรับในแนวแกน  $x$  และ  $z$  นั้นจะเบาบางจนไม่สามารถติดต่อได้ ในการป้อนกระแสให้มีเฟสตรงกัน ส่วนแบบรูปการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่มีการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา นั้น ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร ที่ระดับ 3 A/m จะสามารถติดต่อสื่อสารได้ที่ตรงกลางสายอากาศแม้ว่าในแนวแกน  $z$  จะมีระดับการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กที่อ่อนก็ตาม สำหรับรูปที่ 4.16 และ รูปที่ 4.17 แสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ได้จากกระบวนการคิดเชิงพันธุกรรม ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน และความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ได้จากกระบวนการคิดเชิงพันธุกรรม ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 ตามลำดับ

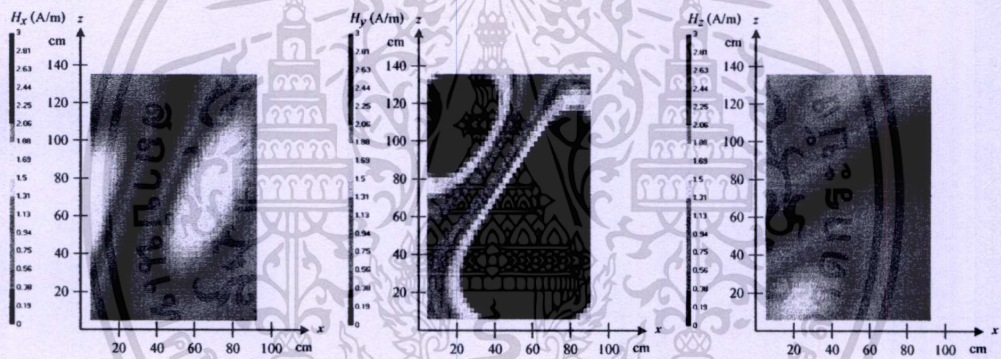
การออกแบบสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมคางหมูและสายอากาศแบบบ่วงคู่ต่าง ๆ สำหรับงานวิจัยที่มีมาก่อน ในแต่ละรูปแบบที่น่าเสนอ ผลที่ได้คือสายอากาศมีประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารดีขึ้นกว่าสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมคางหมูที่จัดตั้งแบบประตูดิน แสดงให้เห็นถึงวิวัฒนาการของการวิเคราะห์ โครงสร้างสายอากาศที่ต้องการปรับปรุงแก้ไขประสิทธิภาพสายอากาศ จากโครงสร้างของสายอากาศแบบบ่วงคู่สี่เหลี่ยมคางหมูเป็นโครงสร้างที่เกิดจากกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมแต่ก็ยังให้ประสิทธิภาพที่ดีแต่ไม่เพียงพอ รูปแบบที่ได้จากกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมนั้นพบว่าค่า  $P_{v,H_z}$  ยังมีค่าไม่สูงมากเมื่อเทียบกับ  $P_{v,H_x}$  และ  $P_{v,H_y}$  แต่เป็นโครงสร้างสายอากาศที่ดี ดังนั้นในงานวิจัยก่อนหน้านี้นี้ยังได้นำเสนอเทคนิคการสวิตช์เพื่อใช้สลับการทำงานเลือกติดต่อสื่อสารข้อมูลจากสายอากาศทั้ง 2 คู่ [12] และ [13] เพื่อช่วยในการเติมเต็มค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร โดยการผสมผสานกันระหว่างสายอากาศบ่วงคู่ที่เกิดจากกระบวนการคิดเชิงพันธุกรรมในแบบอื่น ๆ [13] เข้ามาร่วมกันเพื่อสลับการทำงานเพื่อแก้ไขจุดบกพร่องในส่วนของพื้นที่ที่ไม่สามารถติดต่อกับแท็กได้ โดยจะใช้สายอากาศแบบบ่วงทำงานกันเป็นคู่ ๆ เพื่อเลือกการติดต่อ สำหรับในส่วนของการสวิตช์นั้นจะออกแบบให้คาบเวลาในการสวิตช์ของสายอากาศในแต่ละคู่น้อยที่สุด เพื่อให้แท็กที่ต้องการติดต่อสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้งานลักษณะเฉพาะ (นั่นก็คือแท็กเคลื่อนที่ของแท็กด้วยความเร็วจำกัด)

หัวข้อต่อไปจะนำเสนอการจำลองสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่เกิดจากกระบวนการคิดเชิงพันธุกรรมในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศเช่นเดียวกัน โดยมีการจัดตั้งแบบประตูดินผ่าน

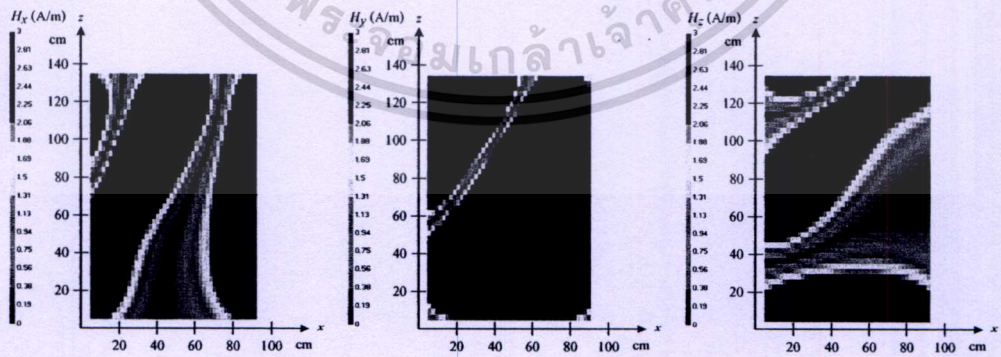
และมีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำซึ่งเป็นเทคนิควิธีการเพิ่มประสิทธิภาพสายอากาศเพื่อแก้ปัญห การหักล้างกันของสนามแม่เหล็กให้สามารถติดต่อกับแท่งได้ทุกแนวแกน จะสามารถทำให้เกิดค่า เฟอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่สูงตามมาด้วย



(ก) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 20 เซนติเมตร



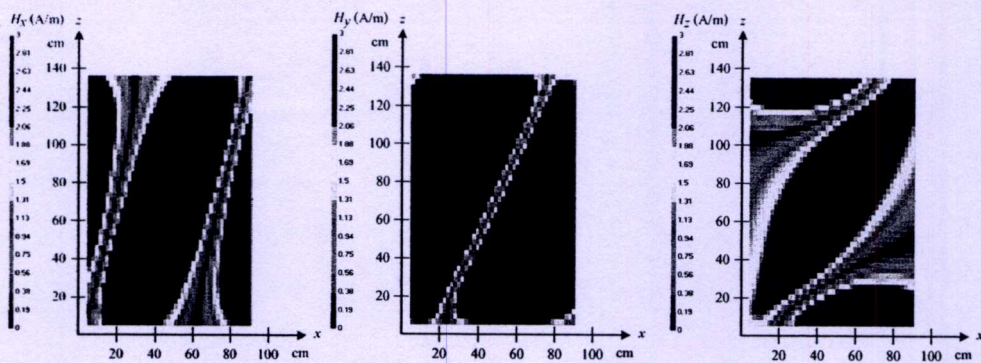
(ข) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร



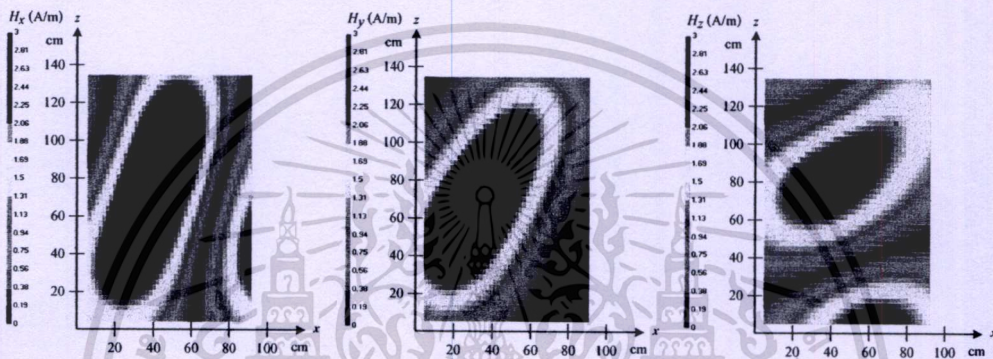
(ค) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 80 เซนติเมตร

**รูปที่ 4.14** แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดิน ผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสเท่ากัน

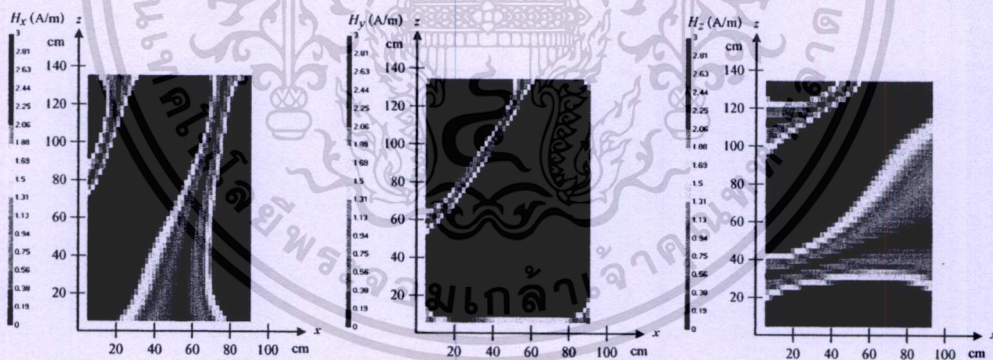
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 20 เซนติเมตร



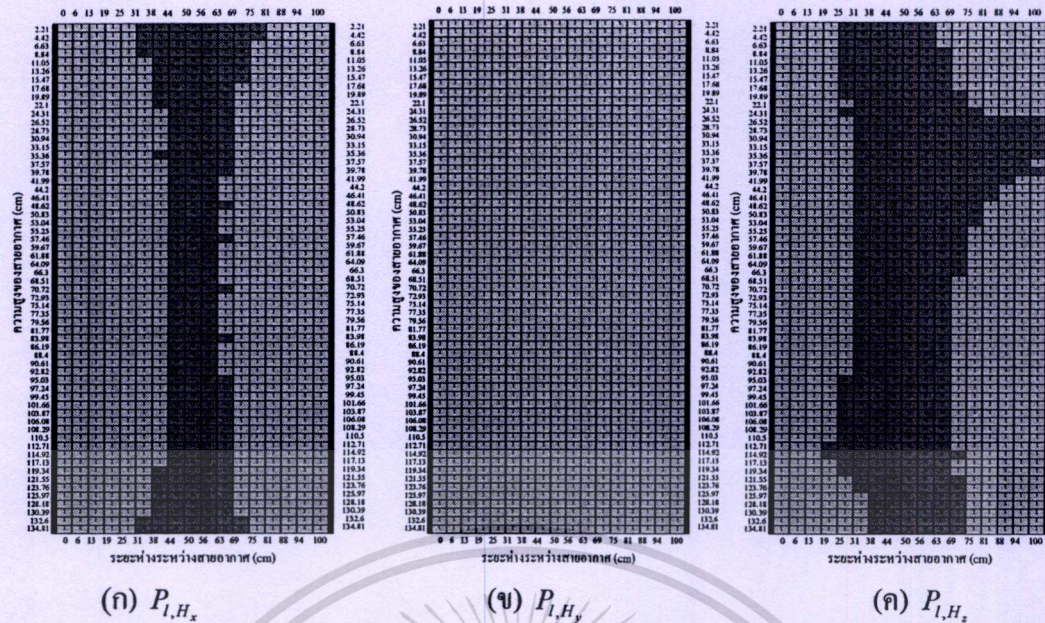
(ข) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร



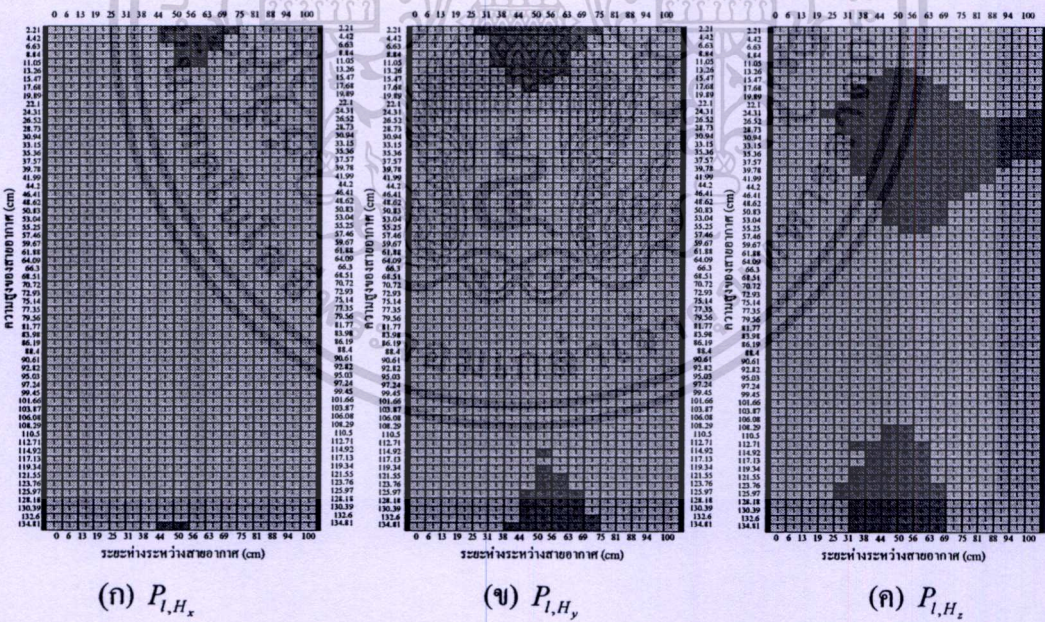
(ค) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 80 เซนติเมตร

รูปที่ 4.15 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบวงที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.16** ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่เกิดจากระบวนการคิดเชิงพันธุกรรมในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน



**รูปที่ 4.17** ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่เกิดจากระบวนการคิดเชิงพันธุกรรมในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

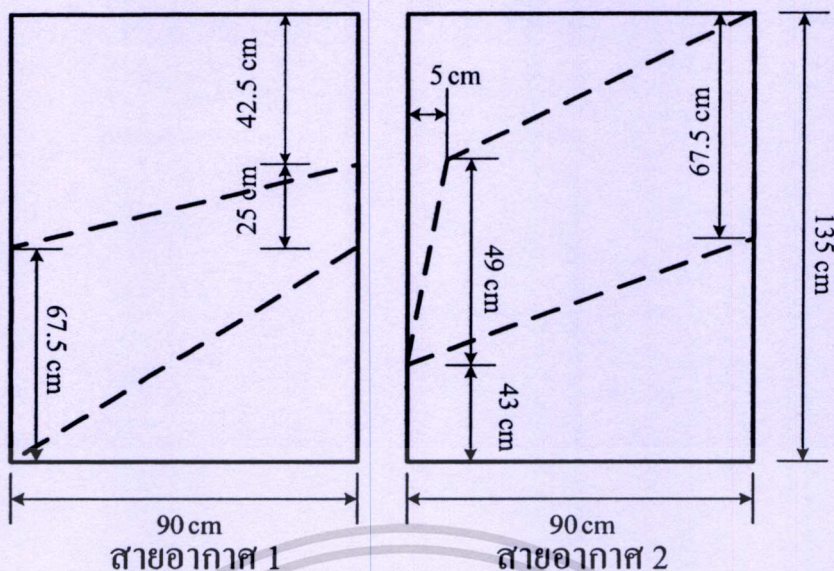
#### 4.4.3 สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ

สำหรับโครงสร้างสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำนั้น ได้มีการจำลอง โดยกระบวนการคิดเชิงพันธุกรรมมีการกำหนดรูปร่างอยู่สองแบบ แบบแรกจะเป็นการกำหนด รูปร่างของบ่วงหลักเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและบ่วงรองเป็นลักษณะของสี่เหลี่ยมใด ๆ แล้วทำ การคำนวณหาระยะการจัดวางเหลี่ยมล้ำสำหรับแบบที่สองเป็นลักษณะของบ่วงสี่เหลี่ยมและแบบ ห้าเหลี่ยม โดยคิดความสำคัญของบ่วงเท่ากันพร้อมคำนวณหาระยะที่จัดวางเหลี่ยมล้ำเช่นเดียวกัน โดยที่ขนาดสายอากาศทั้งสองรูปแบบมีขนาดเท่ากับ  $135 \times 90 \text{ cm}^2$  ซึ่งเป็นโครงสร้างสายอากาศ สำหรับลงทะเบียนสัตว์ใหญ่

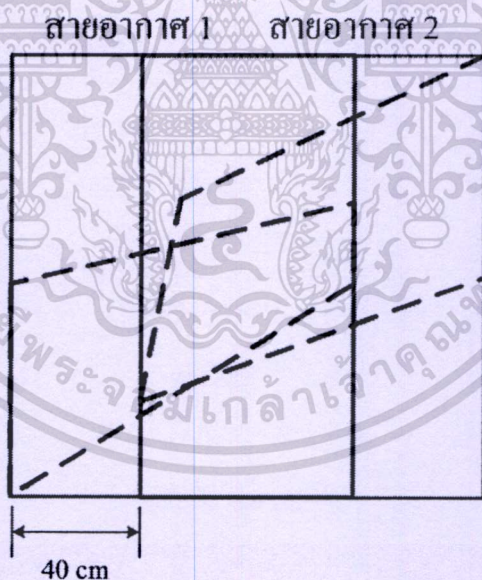
##### 4.4.3.1 สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านและมีการจัดวางแบบ เหลี่ยมล้ำแบบที่ 1

สายอากาศบ่วงคู่แบบที่ 1 กำหนดสายอากาศบ่วงแรกอยู่มีขนาดสายอากาศ เท่ากับ  $135 \times 90 \text{ cm}^2$  เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หลังจากทำการหาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศที่เหมาะสม โดยใช้ กระบวนการคิดเชิงพันธุกรรม แล้วพบว่าโครงสร้างของสายอากาศที่เหมาะสม มีค่า  $d$ , เท่ากับ 40 เซนติเมตร [15] คือระยะห่างของการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ โดยจากการวิเคราะห์ โครงสร้างที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำในบทก่อนหน้านี้ถ้ามีการป้อนกระแสให้กับวงสายอากาศมี ทิศทางเดียวกันทั้งสองบ่วงสำหรับกระแสที่ป้อนให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ผลที่ได้ของเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมีค่าที่สูง

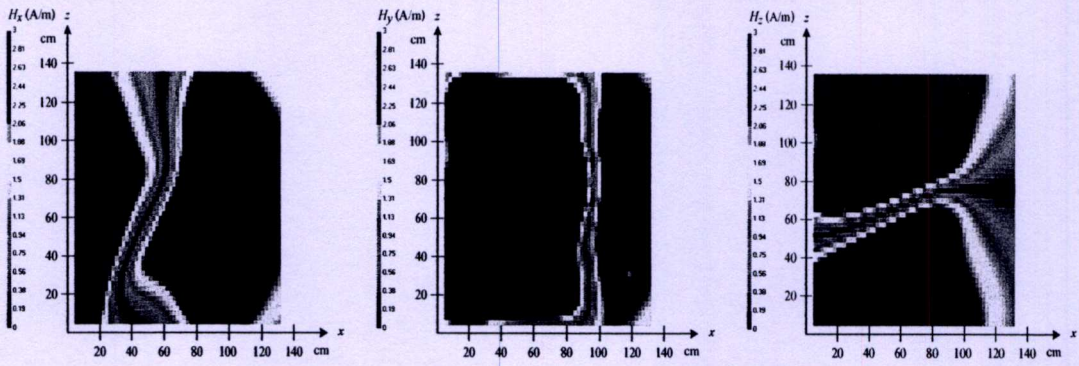
รูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 แสดงลักษณะโครงสร้างสายอากาศที่เหมาะสมที่ได้จาก กระบวนการคิดเชิงพันธุกรรมและระยะการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำของสายอากาศเมื่อมองจาก ด้านข้าง ตามลำดับ รูปที่ 4.20 นั้นแสดงแบบรูปการกระจายของสนามแม่เหล็กของสายอากาศ แบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำรูปแบบที่ 1 ที่ได้จากการจำลอง แบบของโปรแกรม NEC2 ที่ระยะ  $y$  ที่สนใจซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระจายสนามแม่เหล็กนั้น ครอบคลุมทั้งบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุด รูปที่ 4.21 แสดงความสามารถในการ ติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงที่ได้จากการจำลองของสายอากาศแบบบ่วง คู่รูปแบบที่ 1 ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่ระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร ซึ่งจากรูปพบว่าค่า เปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในทิศ  $x$ ,  $y$  และ  $z$  เท่ากับ 100% และ 96.54% และ 91.58% ตามลำดับ [15] ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสายอากาศรูปแบบที่ 1 นั้นสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ดีในทุก แนวแกน เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรสูงในทั้งสามแนวแกน



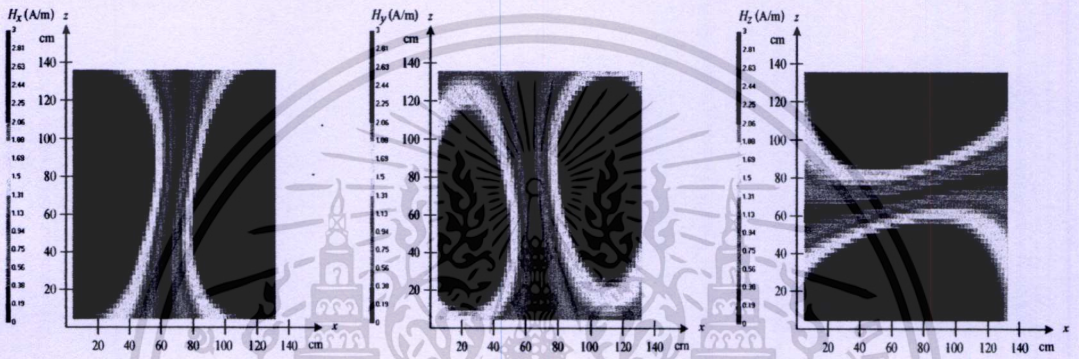
รูปที่ 4.18 โครงสร้างสายอากาศทั้งสองด้านที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางเหลื่อมล้ำ และมีการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา [15] และ [17]



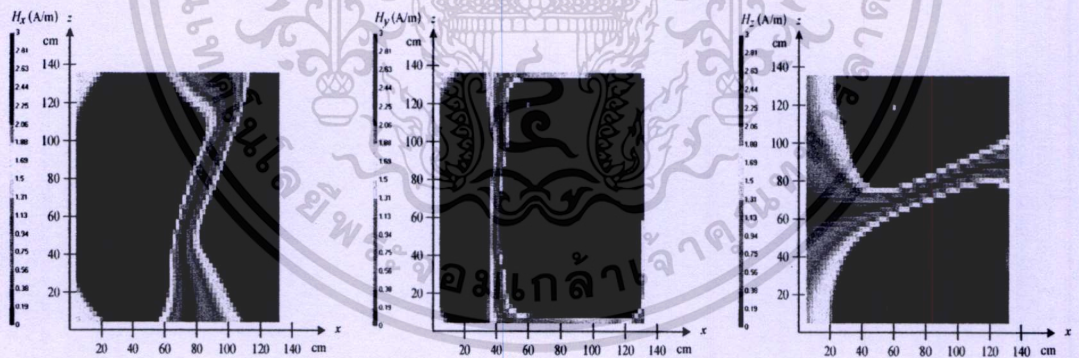
รูปที่ 4.19 โครงสร้างสายอากาศที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางเหลื่อมล้ำเมื่อมองด้านข้างของสายอากาศมีระยะ  $d_1$  เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา [15] และ [17]



(ก) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 20 เซนติเมตร

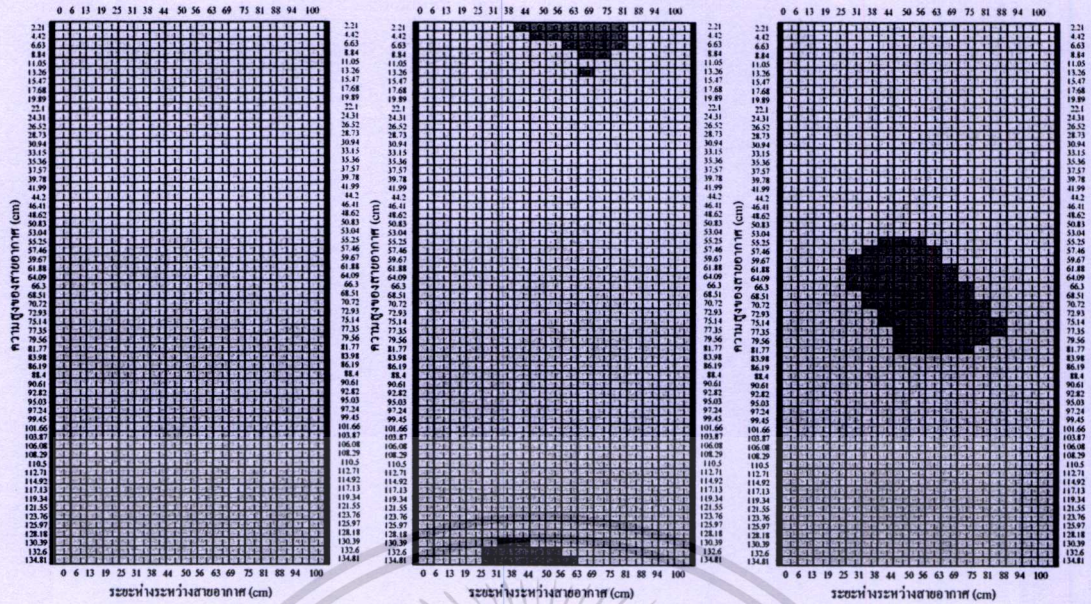


(ข) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร



(ค) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 80 เซนติเมตร

รูปที่ 4.20 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ที่ติดตั้งแบบ  
 ประตูดินผ่านที่มีจัดการเหลื่อมล้ำมี  $d_1$  เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้  
 สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสต่างกัน 180 องศา [17]



(ก)  $P_{I,H_x}$

(ข)  $P_{I,H_y}$

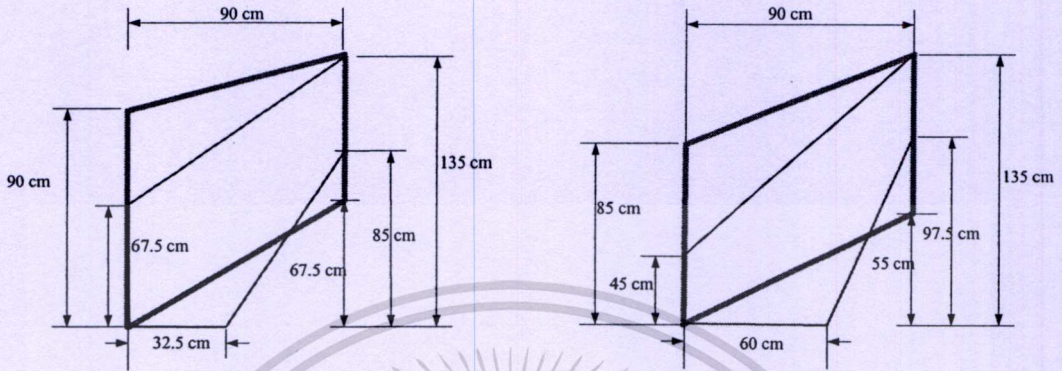
(ค)  $P_{I,H_z}$

**รูปที่ 4.21** ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมกลมี  $d_1$  เท่ากับ 40 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ที่ระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร [17]

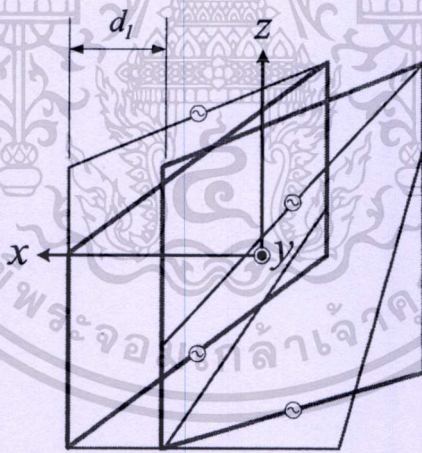
**4.4.2.2 สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมกลแบบที่ 2**

สายอากาศบ่วงคู่แบบที่ 2 เป็นลักษณะ โครงสร้างสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมและห้าเหลี่ยม [14] กำหนดขนาดสายอากาศทั้งสองบ่วงมีขอบเขตขนาดสายอากาศ เท่ากับ  $135 \times 90 \text{ cm}^2$  เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หลังจากทำการหาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการคิดเชิงพันธุกรรมเช่นกัน แล้วพบว่า โครงสร้างของสายอากาศที่เหมาะสม มีค่า  $d_1$  เท่ากับ 32.5 เซนติเมตร คือระยะห่างของการจัดวางแบบเหลี่ยมกล โดยจากการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมกลในบทก่อนหน้านี้ถ้ามีการป้อนกระแสให้บ่วงสายอากาศมีทิศทางเดียวกันทั้งสองบ่วงสำหรับกระแสที่ป้อนให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ผลที่ได้ของเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมีค่าที่สูงเช่นกัน โดยที่รูปที่ 4.22 แสดงโครงสร้างสายอากาศบ่วงคู่แบบสี่เหลี่ยมและห้าเหลี่ยมที่ได้จากการกระบวนการคิดเชิงพันธุกรรมและรูปที่ 4.23 เป็นโครงสร้างสายอากาศเมื่อมองจากด้านข้างด้วยวิธีการจัดวางแบบเหลี่ยมกลด้วยระยะมีค่าเท่ากับ 32.5 เซนติเมตร ถัดมาเป็นการจำลองผลของสายอากาศแบบที่ 2 ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมกลโดย รูปที่ 4.24 แสดงแบบรูปการกระจายของสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 ที่ได้จากการจำลองแบบของโปรแกรม NEC2 ที่ระยะ  $y$  ที่สนใจ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระจายสนามแม่เหล็กนั้นยังคงกระจายตัวได้ดี รูปที่ 4.25 แสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงที่ได้จากการจำลองของสายอากาศ

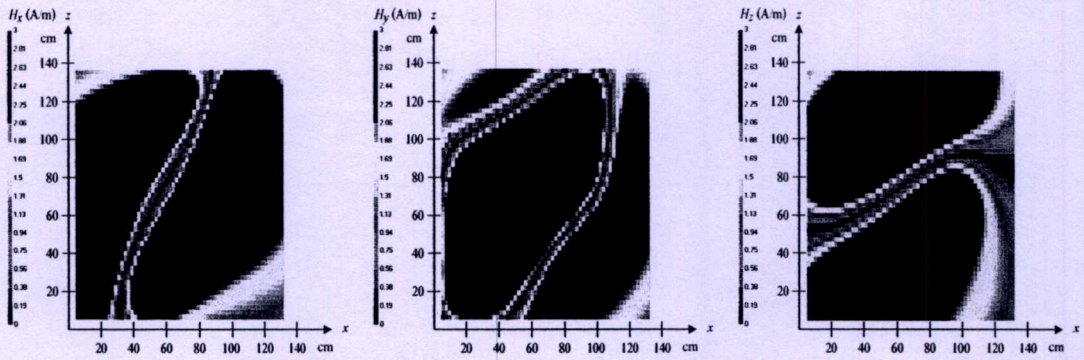
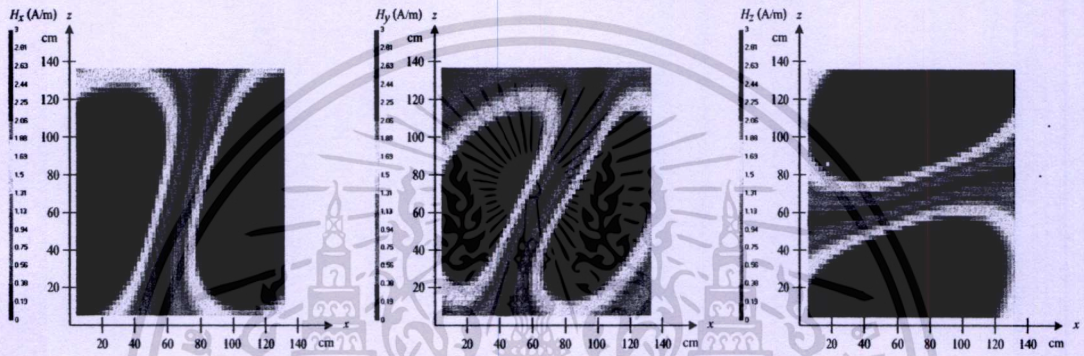
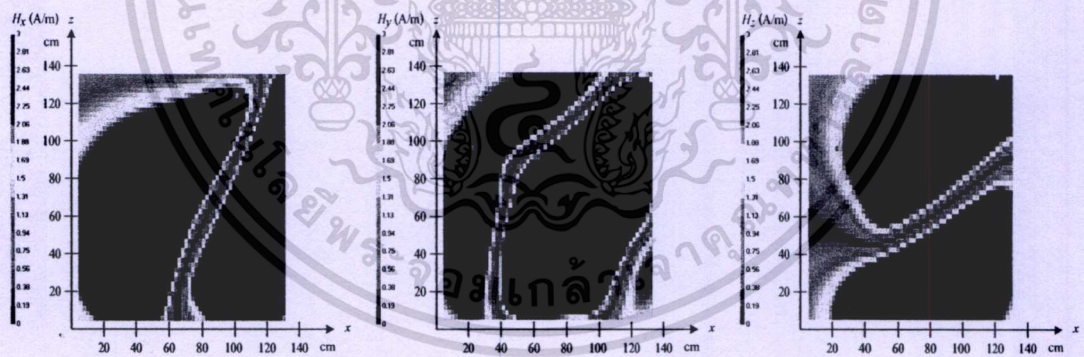
แบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่ระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร ซึ่งจากรูปพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในทิศ  $x$   $y$  และ  $z$  เท่ากับ 99.193%, 91.696% และ 95.848 % ตามลำดับ [14]



รูปที่ 4.22 โครงสร้างสายอากาศทั้งสองด้านที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมดัด และมีการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา [14]



รูปที่ 4.23 โครงสร้างสายอากาศที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางเหลี่ยมดัดเมื่อมองด้านข้างของสายอากาศมีระยะ  $d_1$  เท่ากับ 32.5 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา [14]

(ก) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 20 เซนติเมตร(ข) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร(ค) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 80 เซนติเมตร

**รูปที่ 4.24** แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 ที่ติดตั้งแบบ  
 ประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้มี  $d_1$  เท่ากับ 32.5 เซนติเมตร เมื่อป้อน  
 กระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา



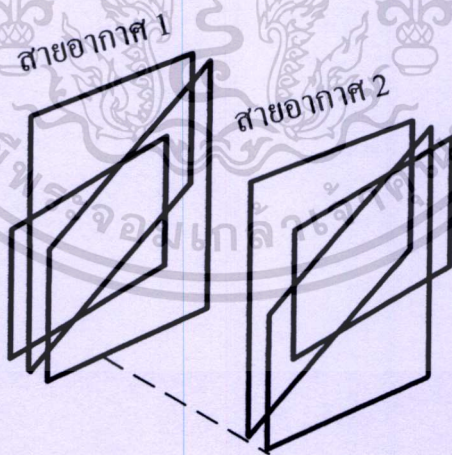
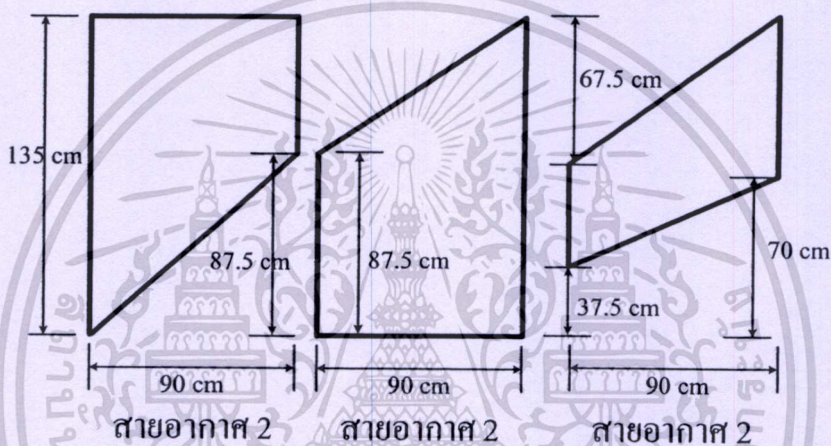
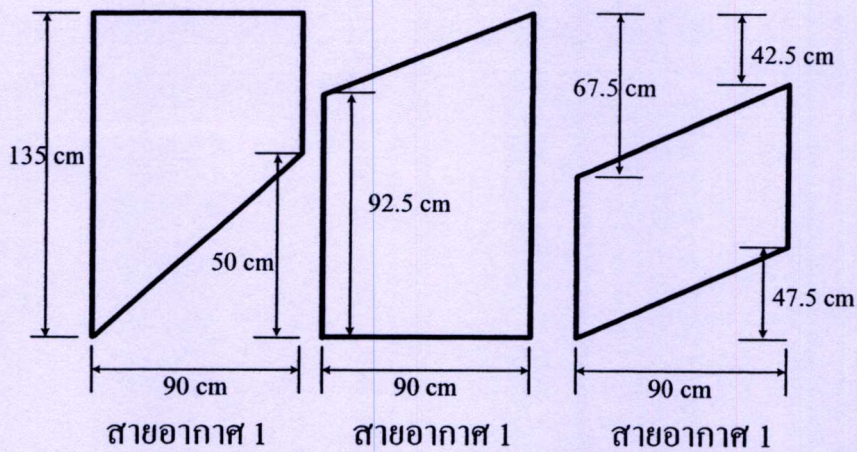
ที่สุดโดยใช้กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการนั้นขอบเขตของสายอากาศกำหนดให้คงที่มีขนาดเท่ากับ  $135 \times 90 \text{ cm}^2$  โดยเป็นโครงสร้างสำหรับลงทะเลเป็นสัตว์ใหญ่ ตัวอย่างเช่น โคกระบือ หลังจากทำการหาค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างสายอากาศที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ แล้วพบว่าโครงสร้างของสายอากาศที่เหมาะสม มีระยะเหลื่อมล้ำมีค่า  $d$ , เท่ากับ 45 เซนติเมตร และโครงสร้างสายอากาศด้านที่หนึ่งและด้านที่สองที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.26 ซึ่งมีลักษณะสายอากาศที่เป็นบ่วงมีลักษณะสี่เหลี่ยมคางหมูสองบ่วงกับลักษณะของบ่วงสี่เหลี่ยมใด ๆ และการติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางให้เป็นแบบเหลื่อมล้ำโดยมีการป้อนกระแสให้สายอากาศในแต่ละด้านมีเฟสตรงกัน และสายอากาศทั้งสองชุด มีเฟสต่างกัน 180 องศา

รูปที่ 4.27 เป็นแสดงแบบรูปการกระจายของสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ได้จากการจำลองแบบของโปรแกรม NEC2 ที่ระยะ  $y$  ที่สนใจซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระจายสนามแม่เหล็กนั้นครอบคลุมทั้งบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุด โดยแสดงให้เห็นในระยะสายอากาศที่ ระยะ 20 เซนติเมตรนั้นมีความหนาแน่นของการกระจายสนามแม่เหล็กอย่างชัดเจนและเต็มพื้นที่ สำหรับที่ระยะ 50 เซนติเมตร ในแนวแกน  $x$  และ  $z$  นั้นก็กระจายเต็มพื้นที่ส่วนในแนวแกน  $y$  ของสายอากาศนั้น สนามแม่เหล็กจะกระจายในลักษณะของช่วงบนและล่างและสุดท้ายที่ระยะ 80 เซนติเมตร ก็มีลักษณะการกระจายสนามแม่เหล็กที่เต็มพื้นที่อีกเช่นเดียวกัน จะสังเกตได้ว่าการกระจายสนามแม่เหล็กที่เต็มพื้นที่ของระยะในแนวแกน  $y$  ที่เราสนใจนั้นทำให้เปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมีค่าสูงตามมาด้วย รูปที่ 4.28 แสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงที่ได้จากการจำลองของสายอากาศแบบสามบ่วง ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่ระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร ซึ่งจากรูปพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในทิศ  $x$ ,  $y$  และ  $z$  เท่ากับ 100%, 98.385% และ 93.426% ตามลำดับ โดยในช่วงกลางของการจำลองในแนวแกน  $z$  นั้น จะไม่สามารถติดต่อได้จุดสี่เทาและในแนวแกน  $y$  นั้นจะติดต่อไม่ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นส่วนบนและล่างสายอากาศ แต่จะยังคงเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสายอากาศ นั้นสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ดีในทุกแนวแกน เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรสูงในทั้งสามแนวแกนเมื่อเทียบกับสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านหรือสายอากาศแบบบ่วงคู่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู

สายอากาศสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำเมื่อมองถึงโครงสร้างสายอากาศที่ได้นั้นก็ยังมีลักษณะโครงสร้างที่ชัดเจนสำหรับการกระจายความเข้มสายอากาศ ในบ่วงของสี่เหลี่ยมคางหมูที่ประกอปกกันของสองบ่วงแรกนั้นก็ให้เปอร์เซ็นต์ในแนวแกนทั้ง  $x$ ,  $y$  และ  $z$  คืออยู่แล้วการเพิ่มบ่วงที่สามเพื่อให้ทิศทางในแนวแกน  $z$  ที่เด่นชัดมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งการจัดวางในแบบเหลื่อมล้ำสายอากาศเพื่อลดการหักล้างกันของสายอากาศจึงทำให้สายอากาศมีเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่สูงทั้งสามแนวแกน

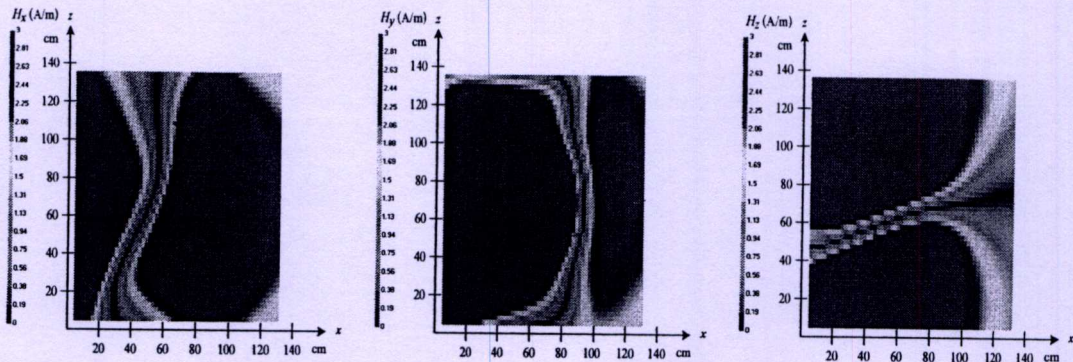
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

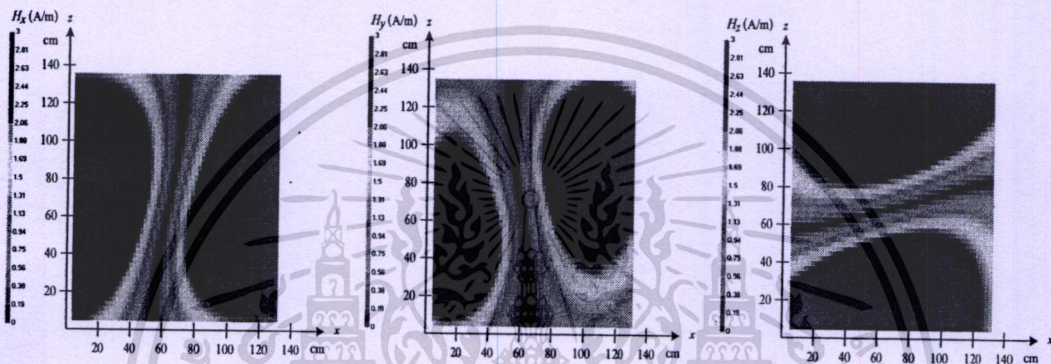


รูปที่ 4.26 โครงสร้างสายอากาศที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบสามบ่วง ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านด้วยการวางแบบเหลื่อมล้ำมีระยะ  $d_1$  เท่ากับ 45 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา

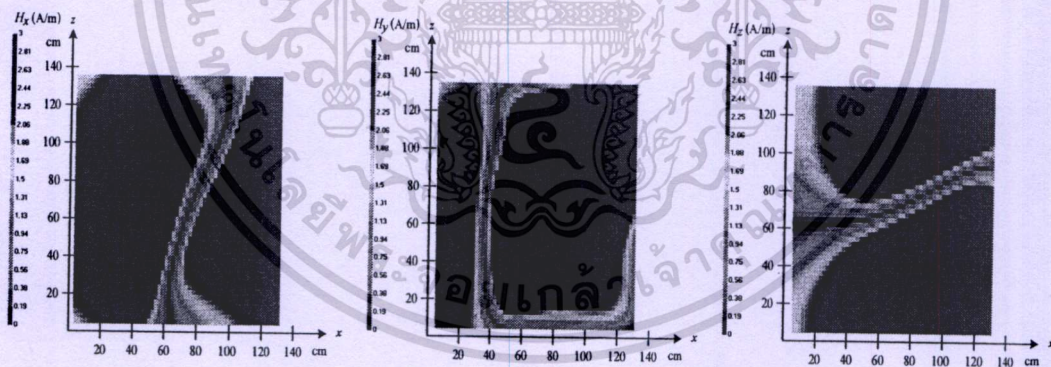
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 20 เซนติเมตร

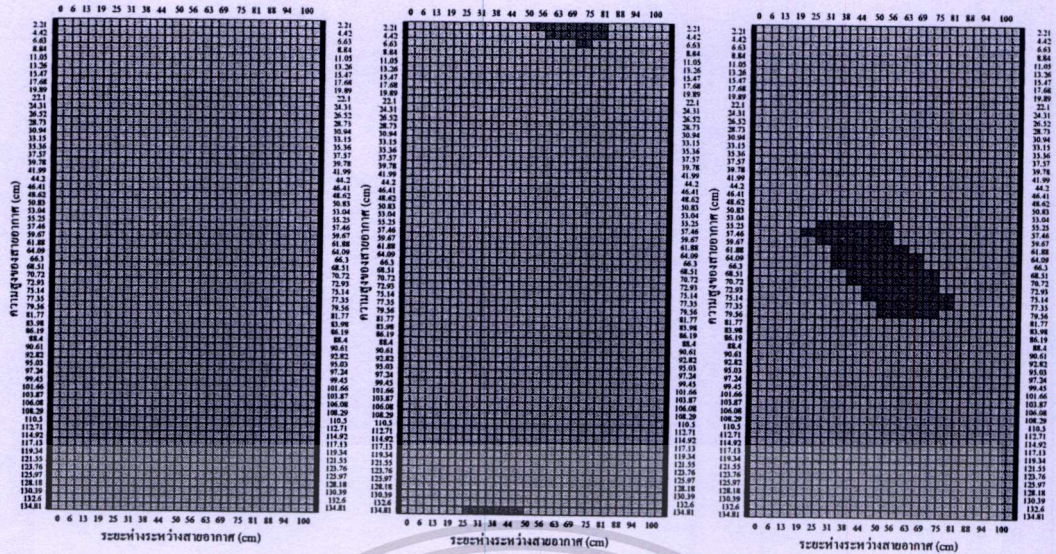


(ข) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 50 เซนติเมตร



(ค) ที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 80 เซนติเมตร

รูปที่ 4.27 แบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านด้วยการวางแบบเหลี่ยมามี  $d_1$  เท่ากับ 45 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา



(ก)  $P_{L,H_x}$

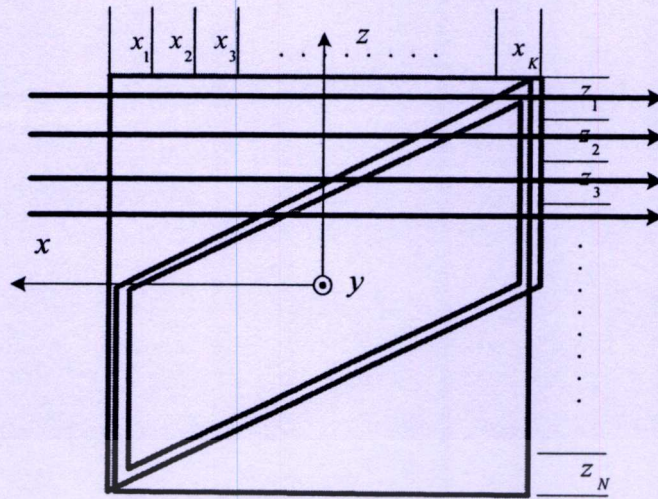
(ข)  $P_{L,H_y}$

(ค)  $P_{L,H_z}$

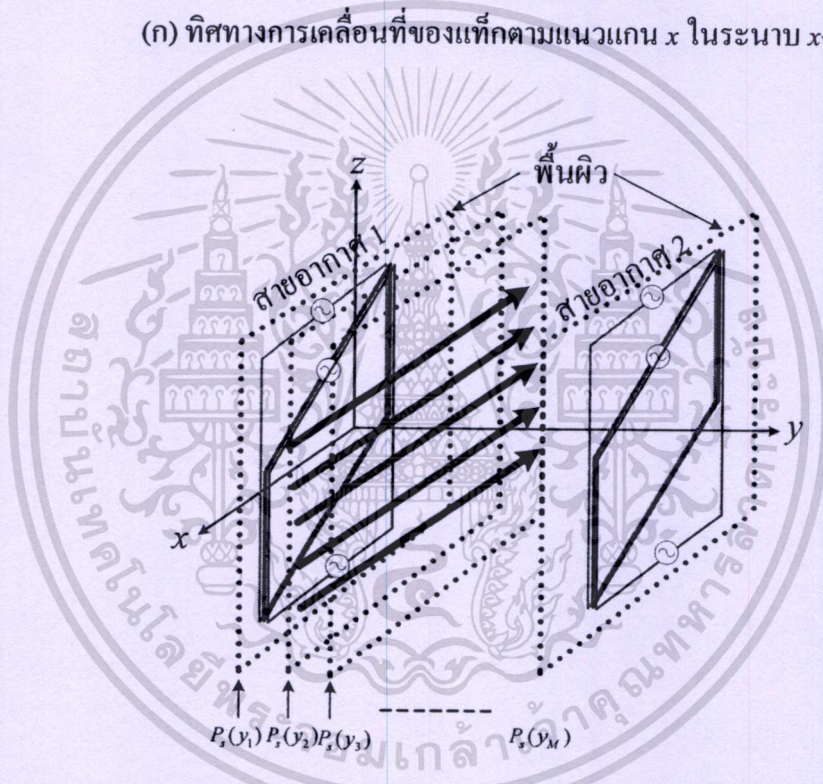
รูปที่ 4.28 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำมี  $d_1$  เท่ากับ 45 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ที่ระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร

### 4.5 การวิเคราะห์ความสามารถของจำนวนครั้งการอ่านข้อมูล

จากการวิเคราะห์สายอากาศแบบบ่วงในรูปแบบต่าง ๆ นั้นได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในแนวแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$  และความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศที่แสดงเฉพาะค่า 0 หรือ 1 เท่านั้น แต่ในการที่จะนำสายอากาศไปใช้งานจริงนั้นการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นนั้นควรจะทำการศึกษาทดสอบทุกจุดในแนวเส้นตรงเพื่อดูความแรงของสนามแม่เหล็กแต่ละจุดว่าสามารถที่จะทำให้เกิดการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็กได้กี่จุดในแนวเส้นตรง โดยที่จำนวนจุดที่มากที่สุดตลอดแนวเส้นตรงที่พิจารณาเท่ากับ 51 จุดตามแนวแกน  $x$  ดังแสดงในรูปที่ 4.29 ซึ่งแสดงการวิเคราะห์โดยใช้สายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ ที่รูปที่ 4.29 (ก) แสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน  $x$  เมื่อมองในรูปแบบสองมิติ หรือระนาบ  $x$ - $z$  ส่วนรูปที่ 4.29 (ข) แสดงการเคลื่อนที่ในแนวแกน  $x$  ที่เป็นระนาบพื้นผิวระหว่างสายอากาศซึ่งจำนวนแถวของการจำลองในแนวแกน  $x$  กำหนดให้เท่ากับ 61 แถวการจำลองและแบ่งจำนวนพื้นผิวที่จำลองมีค่าเท่ากับ 17 แถวระหว่างสายอากาศทั้งสอง



(ก) ทิศทางการเคลื่อนที่ของแท่งตามแนวแกน  $x$  ในระนาบ  $x-z$



(ข) ทิศทางการเคลื่อนที่ของแท่งตามแนวแกน  $x$  ในรูปแบบสามมิติ

รูปที่ 4.29 ทิศทางการเคลื่อนที่ของแท่งตามแนวแกน  $x$

จากการวิเคราะห์ความสามารถการติดต่อสื่อสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรง ในระนาบที่ตั้งฉากกับสาขาอากาศแสดงเป็นจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลตามการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นเมื่อแท่งวางตัวในแนวแกน  $x$   $y$  และ  $z$  แสดงในรูปที่ 4.30 ถึง 4.32 จากรูปจะแสดงจำนวนครั้งของความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลกับแท่งของแต่ละแนวเส้นตรง ซึ่งมีจำนวนครั้งการพิจารณาเท่ากับ 51 ครั้งในหนึ่งแนวเส้นตรง พบว่าในแนวเส้นตรงที่ทำการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นนั้นมีจำนวนครั้งที่สามารถอ่านข้อมูลจากแท่งหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครึ่งแสดงในเห็นว่ามีความเป็นไปได้สูงในการที่จะสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้เมื่อแท็กเคลื่อนที่ผ่านแนวเส้นตรงนั้น

	0	6	13	19	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94	100	
2.21	26	29	28	27	25	23	20	17	15	16	17	21	24	25	23	22	19	2.21
4.42	19	21	21	23	21	20	20	19	19	21	24	27	30	32	32	30	28	4.42
6.63	24	25	25	25	26	26	28	29	30	31	33	36	38	40	40	38	32	6.63
8.84	35	30	31	33	36	38	35	34	33	34	36	39	40	39	39	38	33	8.84
11.05	38	40	41	41	41	39	38	36	34	33	32	31	32	33	34	33	27	11.05
13.26	44	40	38	36	35	32	30	27	26	28	30	32	34	36	36	36	31	13.26
15.47	47	42	38	36	34	32	30	29	28	30	32	33	36	37	39	41	47	15.47
17.68	41	40	38	37	35	33	31	30	30	31	33	35	37	39	41	44	48	17.68
19.89	42	41	40	38	36	34	33	32	34	37	39	41	43	44	44	45	49	19.89
22.1	42	43	42	39	39	40	41	42	42	43	45	46	46	47	49	51	51	22.1
24.31	43	46	48	49	47	46	43	41	39	37	37	37	40	41	44	47	48	24.31
26.52	48	48	45	42	39	36	34	33	33	35	36	38	40	42	44	47	49	26.52
28.73	47	45	43	41	38	36	35	34	34	35	37	39	40	43	44	47	49	28.73
30.94	45	45	43	41	39	37	36	35	36	36	37	39	42	43	45	47	48	30.94
33.15	45	44	43	41	40	38	36	36	36	39	41	43	44	45	45	47	49	33.15
35.36	44	45	43	41	41	42	43	44	47	47	49	48	49	50	51	51	51	35.36
37.57	48	50	50	51	50	48	45	43	41	39	39	40	42	44	46	47	48	37.57
39.78	47	46	44	42	41	39	37	37	37	37	40	41	43	45	46	47	49	39.78
41.99	45	45	43	42	41	39	38	37	38	38	40	41	43	44	46	47	48	41.99
44.2	45	44	44	42	41	39	38	38	38	38	39	41	43	44	46	47	48	44.2
46.41	45	44	43	43	41	40	39	38	38	40	42	44	45	46	46	47	48	46.41
48.62	45	44	43	42	43	43	44	46	48	49	49	49	49	50	51	51	51	48.62
50.83	51	51	51	51	50	48	46	44	42	40	40	42	43	45	46	47	47	50.83
53.04	45	44	43	42	41	40	38	38	39	40	42	43	44	46	47	47	47	53.04
55.25	45	44	43	42	41	40	39	39	38	40	41	42	44	45	46	46	47	55.25
57.46	49	44	44	43	42	41	39	39	39	40	41	42	43	44	45	47	46	57.46
59.67	45	44	44	42	41	41	40	39	39	40	42	44	45	46	47	47	47	59.67
61.88	46	45	44	44	44	44	45	47	48	50	49	49	49	49	50	51	51	61.88
64.09	51	51	51	50	49	47	46	44	42	40	41	41	43	45	45	46	46	64.09
66.3	46	44	44	43	42	41	39	39	39	40	41	42	43	44	45	46	46	66.3
68.51	46	45	44	43	42	41	40	39	39	39	40	42	42	45	45	46	46	68.51
70.72	46	45	44	43	42	41	40	39	39	39	41	41	43	44	45	45	45	70.72
72.93	46	45	44	43	42	40	39	38	38	41	43	45	46	47	48	49	49	72.93
75.14	49	46	45	44	44	44	45	47	49	50	49	48	48	47	47	47	47	75.14
77.35	49	49	50	49	48	47	45	43	41	39	40	41	42	44	45	45	45	77.35
79.56	46	45	43	43	41	41	39	39	39	39	40	41	43	43	44	45	45	79.56
81.77	46	45	43	43	41	39	38	38	38	38	39	41	42	43	44	45	44	81.77
83.98	46	44	43	42	40	40	39	38	38	38	40	41	41	43	44	44	45	83.98
86.19	45	43	42	41	40	40	39	37	38	40	43	45	47	48	50	51	51	86.19
88.4	47	45	44	43	43	44	45	46	47	48	47	47	46	45	45	44	45	88.4
90.61	48	49	49	49	48	46	44	42	40	38	39	40	41	43	43	45	45	90.61
92.82	43	42	41	41	40	38	37	37	36	37	38	40	41	42	44	44	45	92.82
95.03	42	41	41	40	39	38	36	36	36	36	38	39	40	42	43	44	46	95.03
97.24	40	41	40	39	38	37	36	36	35	36	37	39	41	42	44	45	46	97.24
99.45	40	40	40	39	38	37	36	35	37	39	42	44	47	49	51	51	51	99.45
101.66	39	40	40	40	40	41	43	44	44	45	46	45	44	44	43	45	46	101.66
103.87	45	48	49	48	46	46	43	41	38	37	36	38	40	41	43	45	47	103.87
106.08	37	40	39	39	37	35	34	33	33	34	36	37	39	41	43	45	46	106.08
108.29	36	37	38	36	36	35	33	32	32	34	34	37	38	40	42	44	46	108.29
110.5	34	37	36	36	34	33	31	31	31	32	34	36	37	40	42	45	47	110.5
112.71	31	35	36	35	34	33	31	32	34	37	40	42	45	48	51	51	48	112.71
114.92	29	33	36	37	37	38	39	39	39	40	42	44	43	42	41	44	44	114.92
117.13	38	41	44	43	43	40	39	37	36	35	34	34	37	38	40	43	44	117.13
119.34	33	36	38	38	36	33	30	27	27	29	31	33	35	37	40	42	42	119.34
121.55	25	29	32	32	30	28	26	25	25	27	30	32	34	36	38	42	46	121.55
123.76	30	31	31	31	29	26	24	23	23	26	28	31	32	35	35	38	43	123.76
125.97	22	24	26	30	27	24	25	26	29	32	35	38	41	43	43	43	43	125.97
128.18	20	23	26	29	32	33	30	29	29	33	35	38	41	40	38	35	38	128.18
130.39	28	30	32	32	33	30	26	25	26	30	32	32	29	29	28	27	25	130.39
132.6	27	27	28	27	25	25	21	21	21	21	22	23	24	24	25	23	21	132.6
134.81	16	16	16	13	7	2	8	9	12	15	20	23	26	28	28	29	27	134.81

ความสูงของสายอากาศ (cm)

ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (cm)

รูปที่ 4.30 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบ

ที่ตั้งฉากกับสายอากาศแสดงเป็นจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลเมื่อแท็กวางตัวในแนวแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารนี้ทุกครั้งหากมีการใช้

	0	6	13	19	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94	100	
2.21	18	19	13	15	15	13	11	10	9	9	9	9	10	12	15	16		2.21
4.42	18	19	18	19	18	16	14	12	11	9	9	9	10	12	14	21		4.42
6.63	35	35	27	22	22	20	19	16	14	11	9	9	9	10	16	24	36	6.63
8.84	39	35	29	21	21	21	20	18	15	12	10	9	9	11	12	26	38	8.84
11.05	44	34	27	15	14	13	11	11	11	11	11	10	10	13	33	47	49	11.05
13.26	45	38	31	18	16	14	12	9	6	3	1	1	1	28	37	44	48	13.26
15.47	46	42	37	32	27	25	22	19	16	13	11	9	31	41	44	47	49	15.47
17.68	46	42	38	33	29	27	25	21	18	15	12	21	28	34	40	44	48	17.68
19.89	51	51	46	40	31	28	26	22	18	15	13	19	30	35	41	46	48	19.89
22.1	46	43	39	32	22	22	22	22	19	16	13	29	32	37	41	46	48	22.1
24.31	47	44	41	34	25	19	16	13	12	12	26	37	43	45	47	49	50	24.31
26.52	47	44	42	37	28	20	17	14	10	11	22	31	36	39	41	46	47	26.52
28.73	47	45	42	40	35	29	26	22	18	26	34	38	41	43	45	48	50	28.73
30.94	47	45	44	42	39	32	29	25	20	21	28	34	37	40	42	45	48	30.94
33.15	51	51	50	48	44	38	29	25	29	27	30	35	37	40	42	45	48	33.15
35.36	47	46	44	41	37	32	29	30	33	36	37	36	38	40	42	45	48	35.36
37.57	48	46	44	41	38	33	29	26	27	35	43	46	45	45	46	48	49	37.57
39.78	48	47	45	42	40	36	31	29	27	31	35	39	42	43	44	45	47	39.78
41.99	48	46	44	43	40	37	35	33	32	35	39	41	43	44	46	48	50	41.99
44.2	49	47	46	45	44	41	37	31	30	33	36	38	40	41	43	45	47	44.2
46.41	51	51	50	49	48	47	45	42	36	35	38	40	41	42	43	45	47	46.41
48.62	49	47	45	44	41	39	39	42	43	43	39	40	41	43	43	45	46	48.62
50.83	49	48	46	44	41	39	37	34	37	44	48	48	47	46	46	48	48	50.83
53.04	49	47	46	44	42	39	38	35	35	37	40	44	45	46	46	45	47	53.04
55.25	49	47	46	44	42	40	38	35	36	37	40	42	43	45	46	48	49	55.25
57.46	49	48	46	44	42	38	36	36	37	40	41	44	44	44	44	45	47	57.46
59.67	51	51	51	50	49	50	48	42	36	38	40	41	44	44	45	46	47	59.67
61.88	50	48	47	45	42	41	42	45	45	42	40	41	44	45	45	46	47	61.88
64.09	49	48	46	45	42	41	38	37	41	47	49	47	47	47	49	49	49	64.09
66.3	49	48	47	45	43	41	38	36	36	37	42	45	48	49	49	48	48	66.3
68.51	49	48	47	45	43	41	39	36	36	38	40	41	43	45	47	48	50	68.51
70.72	49	48	47	45	43	41	39	37	36	38	39	41	43	44	47	48	49	70.72
72.93	51	51	51	51	51	50	45	39	35	38	39	41	43	45	47	48	48	72.93
75.14	49	48	47	45	43	42	44	45	43	39	39	41	43	45	47	49	49	75.14
77.35	50	48	46	44	42	40	38	38	44	47	47	46	46	47	48	50	51	77.35
79.56	49	48	46	43	42	41	38	36	35	39	43	46	48	49	49	49	49	79.56
81.77	49	47	46	45	43	40	37	35	35	36	38	41	43	45	46	48	49	81.77
83.98	49	47	46	44	42	40	37	34	34	36	38	41	43	45	46	48	50	83.98
86.19	51	51	51	51	50	46	40	34	34	36	38	40	42	44	47	48	50	86.19
88.4	49	48	46	44	43	44	45	44	39	36	38	39	42	44	46	47	49	88.4
90.61	49	47	46	43	41	39	37	41	44	45	44	44	45	46	48	50	51	90.61
92.82	49	47	45	44	41	38	34	33	36	40	44	46	48	49	49	49	49	92.82
95.03	49	47	45	43	40	37	34	32	33	34	36	39	41	43	46	48	49	95.03
97.24	48	47	45	42	39	36	33	31	32	34	35	38	41	43	45	48	49	97.24
99.45	51	50	49	48	44	40	34	30	30	32	35	37	41	43	45	47	49	99.45
101.66	48	47	46	45	45	44	41	38	33	31	33	37	39	42	45	47	49	101.66
103.87	49	46	44	41	38	37	39	37	36	37	39	41	43	45	47	49	51	103.87
106.08	48	46	43	41	37	33	29	30	32	32	35	45	47	48	49	49	49	106.08
108.29	48	45	43	40	36	32	29	27	26	29	32	35	38	42	44	47	49	108.29
110.5	48	45	43	40	35	30	25	21	17	21	24	30	37	41	44	47	48	110.5
112.71	49	48	46	43	38	31	24	14	17	20	23	26	36	41	44	47	48	112.71
114.92	49	47	47	43	36	29	22	22	22	22	25	34	40	44	47	49		114.92
117.13	48	45	42	37	36	31	20	23	26	30	32	32	36	43	46	48	49	117.13
119.34	48	45	42	36	28	21	20	23	26	29	32	34	36	47	48	50	51	119.34
121.55	48	45	41	35	28	22	19	21	24	27	30	32	34	38	43	48	49	121.55
123.76	47	45	40	32	21	7	9	11	14	17	19	22	24	34	42	45	49	123.76
125.97	49	46	42	31	16	11	11	11	13	15	18	20	22	32	41	45	49	125.97
128.18	50	49	43	27	16	17	18	20	21	21	21	21	21	24	38	44	48	128.18
130.39	47	43	28	16	15	14	16	18	21	24	26	28	30	31	42	47	48	130.39
132.6	46	29	17	14	12	12	13	16	18	21	24	25	27	28	36	46	51	132.6
134.81	22	17	15	12				13	16	19	21	22	22	24	24	22		134.81

ความสูงของสายอากาศ (cm)

0 6 13 19 25 31 38 44 50 56 63 69 75 81 88 94 100  
ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (cm)

**รูปที่ 4.31** ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศแสดงเป็นจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลเมื่อแท็กวางตัวในแนวแกน  $y$  ของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0 6 13 19 25 31 38 44 50 56 63 69 75 81 88 94 100

2.21	49	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	50	48	46	45	2.21
4.42	41	41	42	44	45	47	48	49	51	51	51	51	51	51	50	48	46	45	4.42
6.63	40	41	43	44	45	47	48	50	51	51	51	51	51	51	50	48	46	45	6.63
8.84	40	41	43	44	46	47	48	50	51	51	51	51	51	51	49	48	46	45	8.84
11.05	40	41	43	44	46	47	48	50	51	51	51	51	51	51	49	48	46	44	11.05
13.26	40	41	43	44	46	47	48	50	51	51	51	51	51	50	50	50	50	50	13.26
15.47	49	50	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	50	48	47	45	15.47
17.68	42	42	43	44	46	47	48	50	51	51	51	51	51	51	50	48	47	45	17.68
19.89	40	41	43	44	46	47	48	50	51	51	51	51	50	49	48	46	45	43	19.89
22.1	40	41	43	44	45	47	48	50	51	51	51	51	49	48	47	46	44	43	22.1
24.31	40	41	43	44	45	47	48	49	51	51	50	48	47	46	45	44	43	43	24.31
26.52	39	41	42	44	45	46	48	49	51	50	49	49	49	49	49	49	49	49	26.52
28.73	47	49	50	51	51	51	51	51	51	51	51	49	48	47	46	45	44	44	28.73
30.94	43	43	43	43	44	46	47	49	49	48	47	46	45	44	43	43	41	40	30.94
33.15	39	41	42	43	44	45	47	46	47	46	45	44	44	43	42	42	41	41	33.15
35.36	36	38	40	41	42	43	43	44	43	44	43	43	42	42	41	41	40	40	35.36
37.57	33	35	36	37	38	39	39	40	41	42	41	41	41	40	40	40	39	39	37.57
39.78	36	36	37	38	39	40	42	43	45	47	48	48	48	48	48	48	48	48	39.78
41.99	39	40	42	42	42	43	44	43	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	41.99
44.2	31	32	32	32	31	31	30	32	33	35	36	36	37	37	38	38	38	38	44.2
46.41	28	23	24	23	24	24	24	26	28	31	33	34	35	35	36	36	36	36	46.41
48.62	28	25	19	18	18	17	18	20	23	26	29	31	32	33	34	35	35	35	48.62
50.83	36	34	24	22	22	23	24	27	30	33	36	37	37	37	37	37	37	37	50.83
53.04	28	28	27	20	19	16	15	19	24	30	34	38	39	40	41	42	43	43	53.04
55.25	33	29	22	14						24	26	28	30	32	33	34	34	34	55.25
57.46	35	31	23							8	15	21	23	24	26	26	28	28	57.46
59.67	26	21	19	14						7	12	17	20	21	23	23	24	24	59.67
61.88	31	25	22	19	11						18	25	26	26	26	26	26	26	61.88
64.09	16	15	15	15	15							21	26	28	30	31	31	31	64.09
66.3	20	18	16	13	8							15	23	25	27	28	28	28	66.3
68.51	28	27	25	22	18	12						7	14	17	19	20	20	20	68.51
70.72	37	36	34	31	28	22						9	12	18	25				70.72
72.93	36	36	36	35	32	28	18						13	15	23	29	32		72.93
75.14	30	29	27	26	26	24								24	30	32	34		75.14
77.35	32	31	30	28	25	22	17	11							17	24	29	31	77.35
79.56	34	33	32	30	28	25	22	16						14	22	32	35	37	79.56
81.77	39	38	37	36	34	32	30	28	25	20	18	20	21	24	32	36	38		81.77
83.98	46	46	45	44	42	41	39	36	31	28	26	26	27	28	33	34	34		83.98
86.19	37	37	37	37	37	37	37	37	34	31	29	28	28	27	31	37	39		86.19
88.4	37	36	36	35	34	33	31	30	27	25	24	23	23	23	24	31	34		88.4
90.61	37	37	37	36	35	34	34	33	32	30	28	28	27	27	27	27	34		90.61
92.82	38	38	38	37	37	36	36	35	35	34	32	32	32	31	31	31	31		92.82
95.03	41	41	41	41	41	41	41	41	41	42	42	43	44	44	43	43	42		95.03
97.24	48	48	48	48	48	48	48	48	48	47	45	44	43	42	41	40	39		97.24
99.45	38	39	39	39	39	39	39	40	41	42	40	40	39	38	37	36	34		99.45
101.66	38	39	39	40	40	41	41	42	43	44	44	43	43	42	41	39	37		101.66
103.87	39	39	40	41	41	42	43	44	45	46	47	47	46	45	44	43	41		103.87
106.08	41	42	43	44	45	46	48	49	51	51	51	51	51	51	51	51	51		106.08
108.29	49	49	49	49	49	49	49	49	49	50	51	50	48	47	45	44	42		108.29
110.5	39	40	41	43	44	45	47	48	50	51	51	50	48	47	46	44	42		110.5
112.71	39	39	42	43	45	46	48	50	51	51	51	51	50	49	47	46	44		112.71
114.92	39	41	42	44	45	47	49	51	51	51	51	50	49	47	46	44	42		114.92
117.13	40	42	44	45	47	49	51	51	51	51	51	51	50	49	47	46	44		117.13
119.34	39	41	42	44	46	48	50	51	51	51	51	50	49	47	46	44	42		119.34
121.55	40	42	44	45	47	49	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51		121.55
123.76	49	50	50	50	50	50	50	51	51	51	51	51	50	49	47	46	44		123.76
125.97	40	41	43	45	47	49	51	51	51	51	51	50	49	47	46	44	42		125.97
128.18	39	41	43	45	47	49	51	51	51	51	51	50	49	47	46	44	42		128.18
130.39	39	41	43	45	47	50	51	51	51	51	51	50	48	47	45	44	42		130.39
132.6	39	41	43	45	47	50	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51		132.6
134.81	39	41	43	45	47	50	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51		134.81

0 6 13 19 25 31 38 44 50 56 63 69 75 81 88 94 100

ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (cm)

รูปที่ 4.32 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศแสดงเป็นจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลเมื่อแท่งวางตัวในแนวแกน z ของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 บทสรุป

การจำลองและออกแบบสายอากาศที่นำเสนอในบทนี้ได้กล่าวถึงระเบียบวิธีการออกแบบสายอากาศที่เป็นไปอย่างมีขั้นตอน และวิวัฒนาการของสายอากาศเริ่มตั้งแต่การหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ การจำลองสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสเท่ากันและต่างกัน 180 องศา ถัดมาเป็นการจำลองสายอากาศแบบบ่วงคู่สี่เหลี่ยมคางหมูและสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาด้วยการหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการคิดเชิงพันธุกรรมเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ต่อมาสายอากาศแบบบ่วงคู่ 2 รูปแบบที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสม โดยกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ แบบแรกเป็นแบบบ่วงคู่แบบสี่เหลี่ยมใด ๆ แบบที่สองเป็นบ่วงคู่แบบสี่เหลี่ยมและห้าเหลี่ยมซึ่งให้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่สูง สุดท้ายการจำลองสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ ซึ่งหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์สายอากาศด้วยกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ ซึ่งสายอากาศแบบสามบ่วงนี้มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรสูงในทุกแนวแกน สุดท้ายการวิเคราะห์จำนวนครั้งของการอ่านข้อมูลทดสอบทุกจุดในแนวเส้นตรงของการจำลอง โดยจะจำลองกับสายอากาศแบบสามบ่วงที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการพบว่ายิ่งใกล้โครงสร้างสายอากาศมากเพียงใดการติดต่อสื่อสารกับแท็กก็ยิ่งมีค่ามากยิ่งขึ้น

## บทที่ 5

### ผลการทดสอบสายอากาศ

#### 5.1 บทนำ

จากการจำลองและวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างของสายอากาศเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ โดยเริ่มการวิเคราะห์จากสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ป้อนกระแสให้สายอากาศแบบเฟสตรงกัน และต่างเฟสกัน 180 องศา ซึ่งใช้เป็นสายอากาศพื้นฐานที่นำมาเปรียบเทียบ และวิเคราะห์การจัดวางสายอากาศแบบเหลื่อมล้ำ เพื่อลดการหักล้างกันของความเข้มสนามแม่เหล็ก พร้อมทั้งการเพิ่มบ่วงเพื่อเพิ่มความสามารถในการติดต่อสื่อสารในแนวแกนที่สนใจพร้อมการจัดวางสายอากาศที่เป็นแบบเหลื่อมล้ำกันจึงได้มาซึ่งสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่จัดวางแบบเหลื่อมล้ำกัน ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสายอากาศและการทดสอบสายอากาศ และผลของการทดสอบสายอากาศที่ได้จากการจำลองซึ่งประกอบด้วย สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่ป้อนกระแสให้สายอากาศแบบเฟสตรงกัน และต่างเฟสกัน 180 องศา และผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่และสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำกันโดยป้อนกระแสให้สายอากาศแต่ละด้านต่างเฟสกัน 180 องศา ตามลำดับ โดยสายอากาศทุกรูปแบบจะทดสอบกับแท่งชนิด โบลัส(ใช้กับ โค)และแท่งชนิดติดหู

#### 5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลเบื้องต้น และทดลองในสภาพการใช้งานจริง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องอ่านข้อมูล RFID 134.2 kHz ของบริษัท Silicon Craft รุ่น SIC-Pi80-05 จำนวน 1 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.1
2. แท่งชนิด โบลัส ความถี่ 134.2 kHz ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร และมีความยาว 70 มิลลิเมตร ใช้กับโค ดังแสดงในรูปที่ 5.2(ก)
3. แท่งชนิดติดหู ความถี่ 134.2 kHz ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.2 (ข)
4. มัลติมิเตอร์ (Multimeter) จำนวน 1 เครื่อง
5. สายนำสัญญาณ (Transmission Line) จำนวน 3 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 เครื่องอ่านข้อมูล RFID ความถี่ 134.2 kHz



(ก) แท็กชนิดโพลัสสำหรับ โค

(ข) แท็กชนิดติดหู

รูปที่ 5.2 ชนิดของแท็กที่ใช้ในการทดสอบสายอากาศ

### 5.3 การทดสอบสายอากาศ

สายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำมีขนาดที่ได้จากการจำลองมีขนาดความกว้าง 90 เซนติเมตร และความสูง 135 เซนติเมตร โดยสายอากาศขนาดนี้จะนำไปใช้ในการลงทะเบียนสัตว์ขนาดใหญ่ สำหรับขดลวดที่นำมาสร้างสายอากาศต้นแบบนั้นจะใช้ลวดเบอร์ 24 และพันขดลวดให้มีค่าความเหนี่ยวนำให้อยู่ในช่วง  $265-270 \mu\text{H}$  ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับใช้กับเครื่องอ่านข้อมูล RFID ของบริษัท Silicon Craft รุ่น SIC-Pi80-05 สำหรับส่วนของการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองด้านหรือบริเวณที่พิจารณาจะทำการทดสอบในแต่ละเส้นทางห่างกัน 5 เซนติเมตร และการทดสอบเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของแท็กในแต่ละแนวแกนนั้นจะอ้างอิงโดยใช้แกนที่ตั้งฉากกับระนาบขดลวดของแท็กในแต่ละชนิด

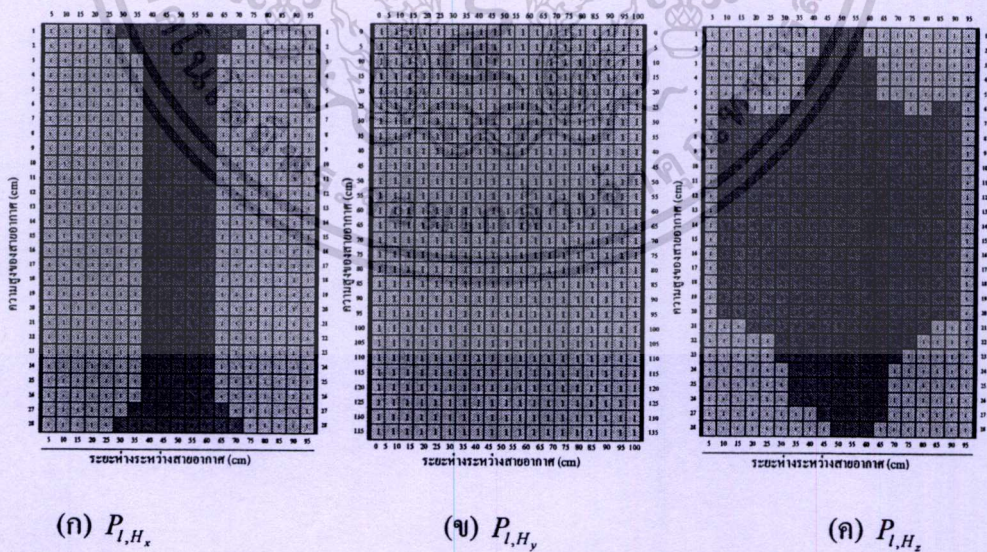
### 5.4 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่าน

การทดสอบสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านขนาดความกว้าง 90 เซนติเมตร และความสูง 135 เซนติเมตร ทดสอบกับแท็กชนิด โพลัส (ใช้กับ โค) และแท็กชนิดติดหู โดยระยะ  $D$  ของสายอากาศเท่ากับ 100 เซนติเมตร โดยการป้อนกระแสให้สายอากาศ

ทั้งสองชุดมีเฟสตรงกันในรูปแบบที่ 5.3 เป็นรูปสายอากาศจริงจากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่า ขดลวดของสายอากาศถูกพันบนโครงไม้เพื่อความสะดวกในการสร้าง ผลการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิดโบลัสและแท็กชนิดคิดู ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองด้านของสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน (135×90×100 cm<sup>3</sup>) ดังแสดงในรูปแบบที่ 5.4 และ 5.5 ตามลำดับ โดยป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน และมีระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร ซึ่งพบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในสามแนวแกนหลักสำหรับแท็กชนิดโบลัสเท่ากับ 71.42% 100% และ 37.59% ตามลำดับ และสำหรับ แท็กชนิดคิดูมีค่าเท่ากับ 78.76% 100% และ 32.71% ตามลำดับ

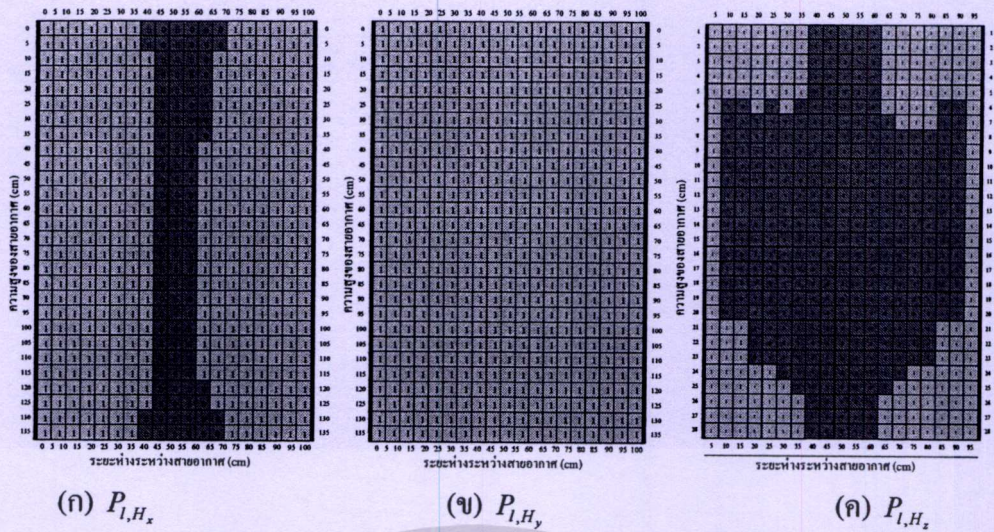


รูปที่ 5.3 ภาพถ่ายของสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน โดยมีระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร [17]



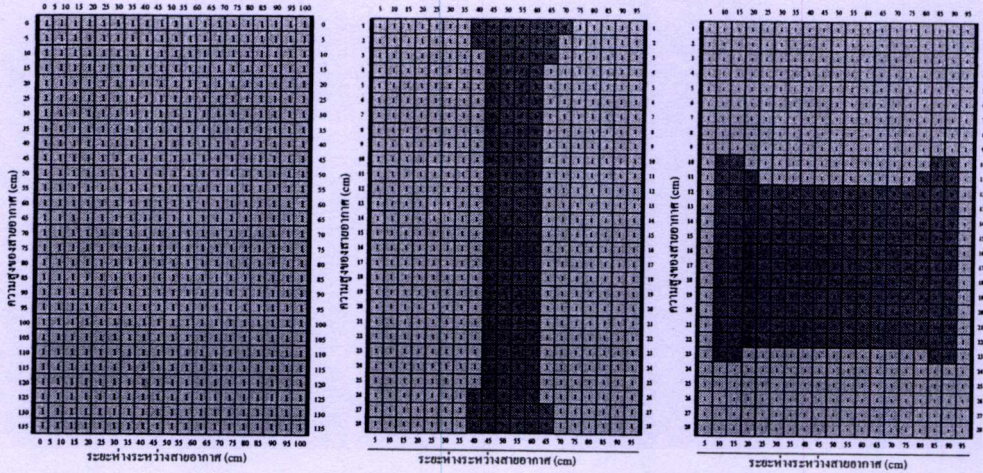
รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิดโบลัส (ใช้กับโค) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศ

ทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน โดยมีระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร [17] ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิดติดหู ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน โดยมีระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร [17]

ผลการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด โบลัส (ใช้กับ โค) และแท็กชนิดติดหู ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน โดยป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศหรือระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.6 เป็นผลการของการทดสอบของเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในสามแนวแกนหลักสำหรับแท็กชนิด โบลัส ในแนวแกน  $x$  เท่ากับ 100% แนวแกน  $y$  เท่ากับ 76.88% และ แนวแกน  $z$  เท่ากับ 62.21% และรูปที่ 5.7 เป็นผลการทดสอบของเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในสามแกนหลัก สำหรับแท็กชนิดติดหูมีค่า ในแนวแกน  $x$  เท่ากับ 100% แนวแกน  $y$  เท่ากับ 82.52% และแนวแกน  $z$  เท่ากับ 70.11% ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบทั้งสองแบบพบว่า มีแนวโน้มของผลที่สอดคล้องกันกับผลของการจำลอง ดังนั้นการจำลองแบบสายอากาศเป็นผลที่เชื่อถือได้ และสามารถนำไปใช้ในการออกแบบสายอากาศที่มีประสิทธิภาพที่ดีได้ จากผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้งสองกรณีพบว่า การป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองด้านในแบบเฟสตรงกันจะสามารถอ่านแท็กที่อยู่ในแนวแกน  $y$  ได้เต็มพื้นที่ของเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในแนวแกน และสำหรับการป้อนกระแสให้สายอากาศในแบบต่างเฟสกัน 180 องศา จะสามารถอ่านแท็กที่อยู่ในแนวแกน  $x$  ได้เต็มพื้นที่ของเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร ในแนวแกน

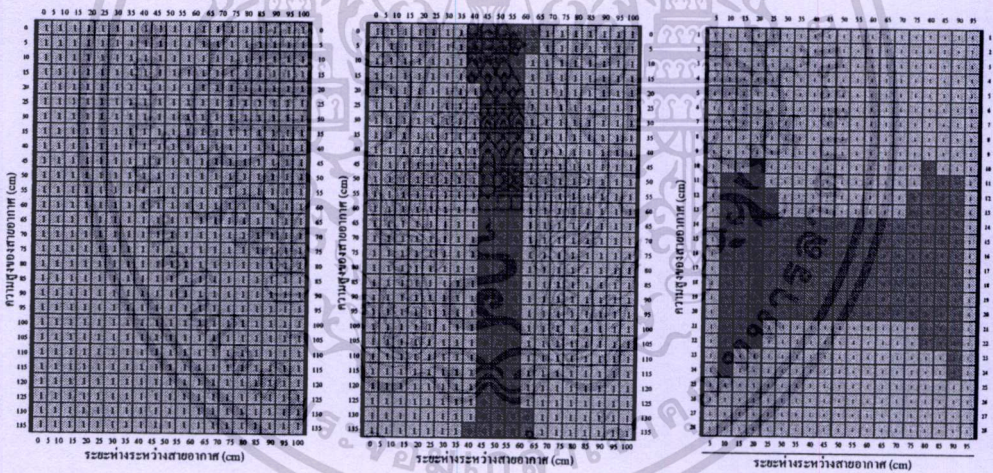


(ก)  $P_{I,H_x}$

(ข)  $P_{I,H_y}$

(ค)  $P_{I,H_z}$

**รูปที่ 5.6** ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิดโมบลัส (ใช้กับโค) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา โดยมีระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร [17]



(ก)  $P_{I,H_x}$

(ข)  $P_{I,H_y}$

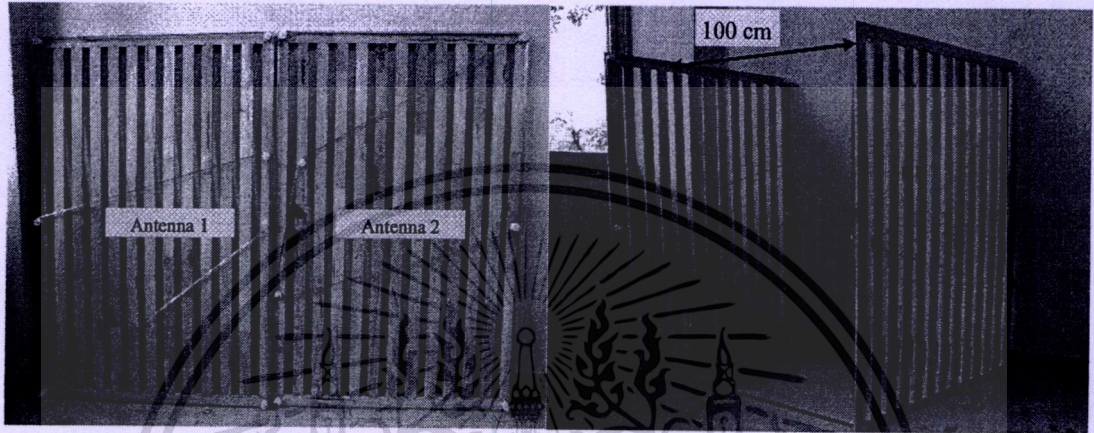
(ค)  $P_{I,H_z}$

**รูปที่ 5.7** ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิดติดหู ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา โดยมีระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร [17]

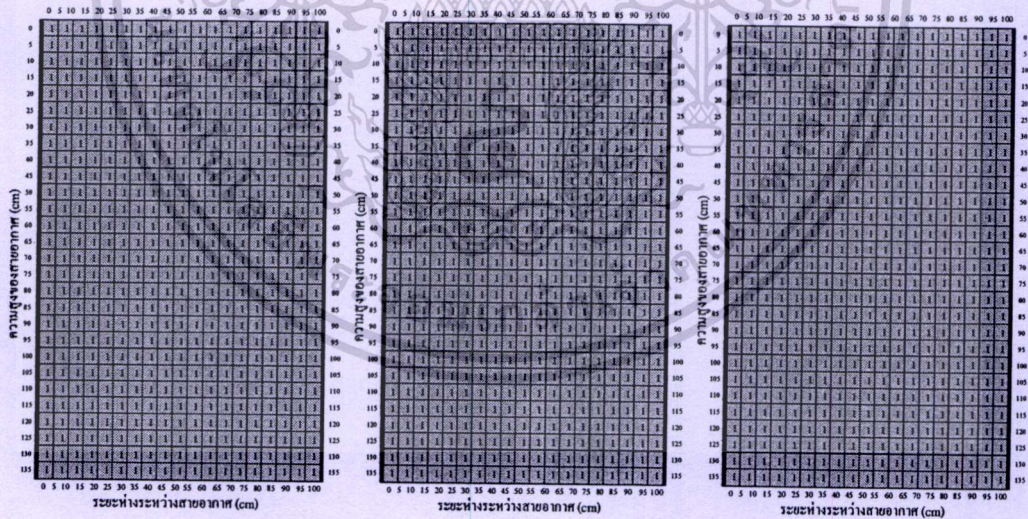
**5.5 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำรูปแบบที่ 1**

ลักษณะของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำการคำนวณค่ารูปแบบที่ 1 โดยป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองด้านต่างเฟสกัน 180 องศา โดยที่ทดสอบที่ระยะ

D เท่ากับ 100 เซนติเมตร ซึ่งโครงสร้างสายอากาศแต่ละด้านและการจัดวางสายอากาศนั้น แสดงดังรูปที่ 5.8 สำหรับผลของการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 5.9 และ รูปที่ 5.10 สำหรับแท็กชนิด โบลัส (ใช้กับ โค) และแท็กชนิดคิคุตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 ทิศทาง ( $P_{v,H_x}$ ,  $P_{v,H_y}$  และ  $P_{v,H_z}$ ) มีค่าเท่ากับ 100%



รูปที่ 5.8 ภาพถ่ายของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 [15]



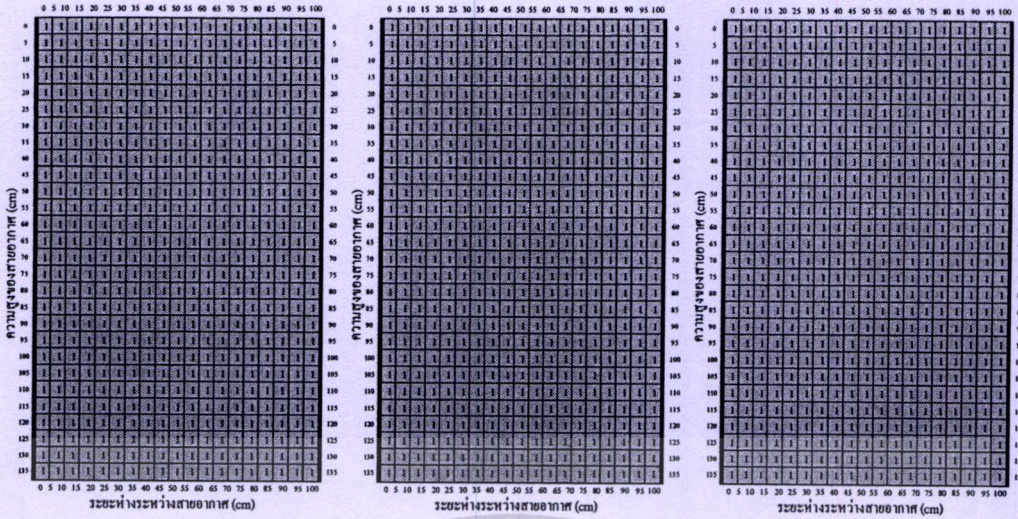
(ก)  $P_{I,H_x}$

(ข)  $P_{I,H_y}$

(ค)  $P_{I,H_z}$

รูปที่ 5.9 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด โบลัส (ใช้กับ โค) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางเหลื่อมล้ำรูปแบบที่ 1 [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)  $P_{1,H_x}$

(ข)  $P_{1,H_y}$

(ค)  $P_{1,H_z}$

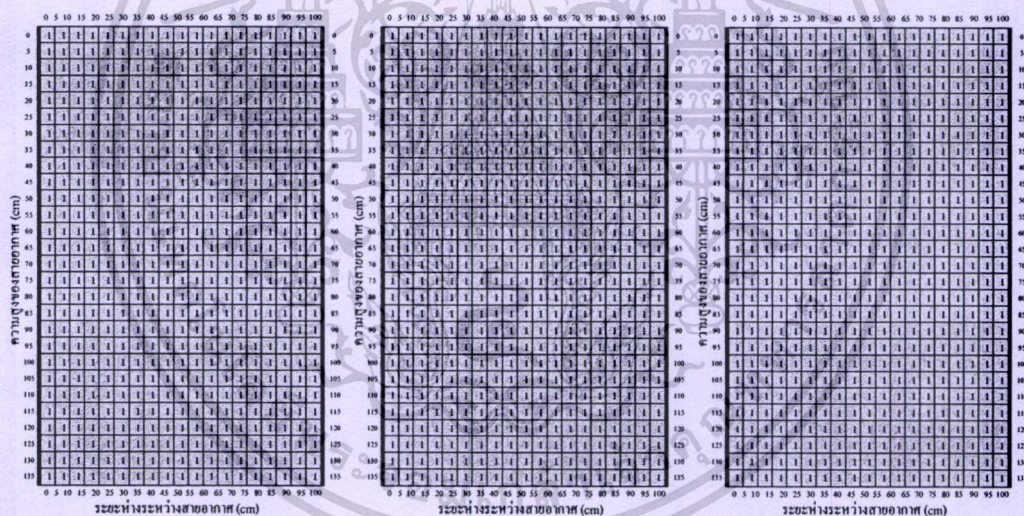
**รูปที่ 5.10** ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิดติดหู ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางเหล็กลมัลรูปแบบที่ 1 [17]

### 5.6 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหล็กลมัลรูปแบบที่ 2

การทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหล็กลมัลรูปแบบที่ 2 ที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมใดๆ และห้าเหลี่ยม โดยทดสอบที่ระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร มีการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองด้านต่างเฟสกัน 180 องศา แสดงดังรูปที่ 5.11 เป็นภาพถ่ายทั้งสองด้านของสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ โดยแท็กที่ใช้ทดสอบเป็นชนิดโบลัส (ใช้กับโค) ผลการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 5.12 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 ทิศทางหลักมีค่าเท่ากับ 100% ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดี สำหรับสายอากาศและสำหรับแท็กแบบติดหู ผลการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองก็เป็นในแนวทางเดียวกันคือ ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 ทิศทางหลักมีค่าเท่ากับ 100% เช่นเดียวกัน



รูปที่ 5.11 ภาพถ่ายของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2



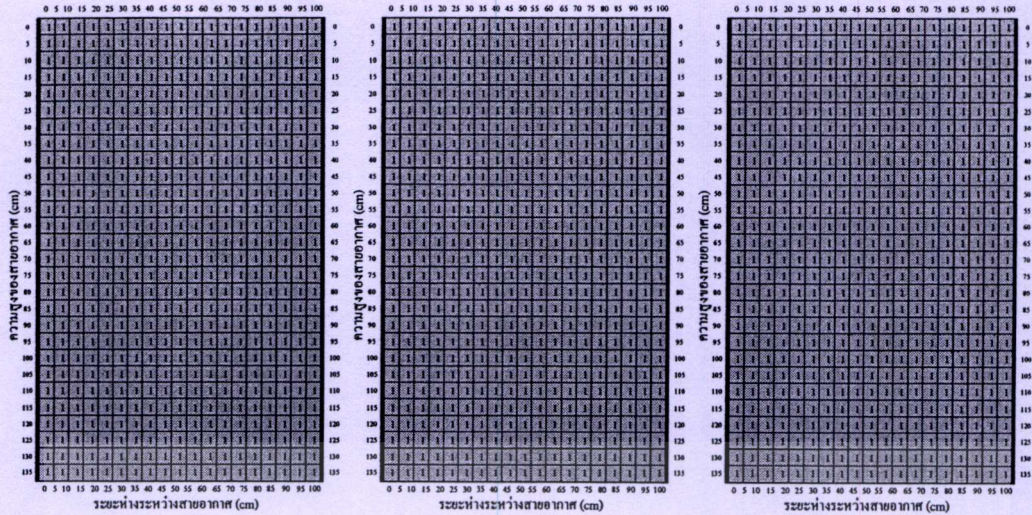
(ก)  $P_{I,H_x}$

(ข)  $P_{I,H_y}$

(ค)  $P_{I,H_z}$

รูปที่ 5.12 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด โบลัส (ใช้กับโค) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางเหลื่อมล้ำรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)  $P_{1,H_x}$

(ข)  $P_{1,H_y}$

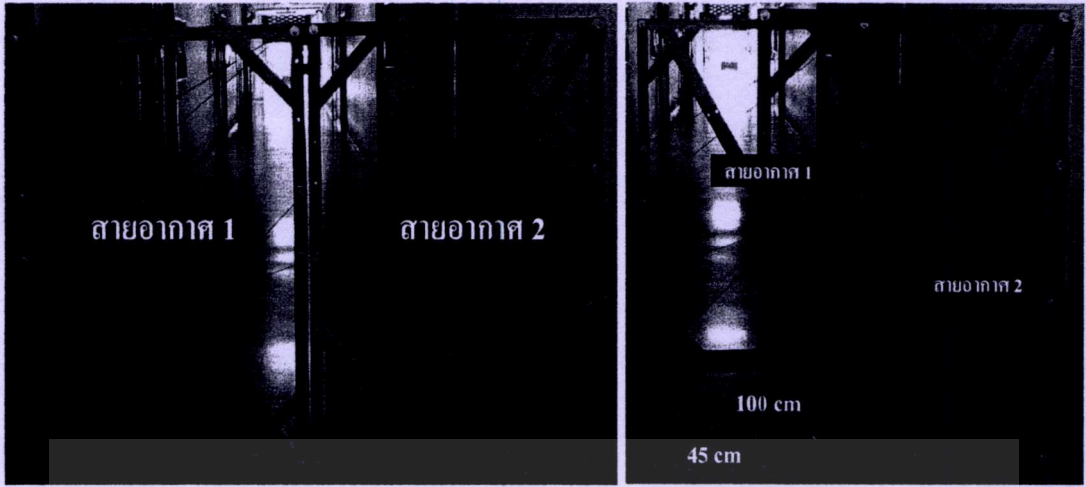
(ค)  $P_{1,H_z}$

รูปที่ 5.13 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งชนิดคิหนู ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางเหลื่อมล้ำรูปแบบที่ 2

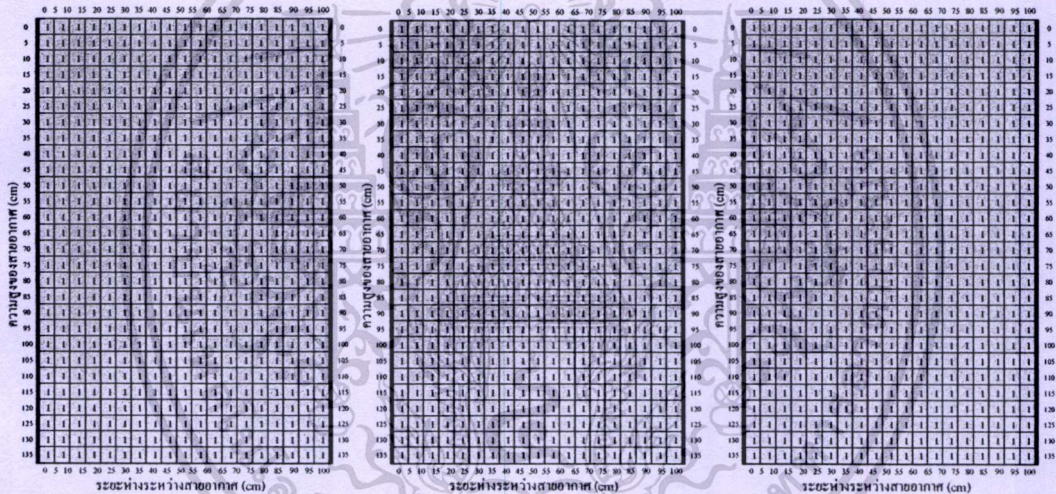
### 5.7 ผลการทดสอบสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ

การทดสอบสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านด้วยการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ มีขนาดความกว้าง 90 เซนติเมตร และความสูง 135 เซนติเมตร ทดสอบกับแท่งชนิดโบลัส (ใช้กับ โค) และแท่งชนิดคิหนู โดยระยะ  $D$  ของสายอากาศเท่ากับ 100 เซนติเมตร ลักษณะของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำจะแบ่งสายอากาศออกเป็นสองด้านเป็นสายอากาศด้านที่ 1 และสายอากาศด้านที่ 2 สายอากาศหนึ่งด้านจะมีบ่วงสามบ่วงซึ่งสายอากาศมีทั้งหมดสองด้าน ดังนั้นจะมีบ่วงสำหรับสายอากาศทั้งหมด 6 บ่วง โดยมีการป้อนกระแสให้บ่วงทั้งสามบ่วงมีเฟสที่ตรงกันสำหรับสายอากาศหนึ่งด้าน และให้สายอากาศด้านที่หนึ่งและด้านที่สองกลับเฟสกัน 180 องศา และทำการติดตั้งแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำมีโดยมีระยะเหลื่อมล้ำเท่ากับ 45 เซนติเมตร แสดงภาพถ่ายสายอากาศทั้งสองด้าน ดังในรูปที่ 5.14 โดยทดสอบที่ระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร ผลการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองด้านดังแสดงในรูปที่ 5.15 และ รูปที่ 5.16 สำหรับแท่งชนิดโบลัส(ใช้กับ โค) และแท่งชนิดคิหนู ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 ทิศทาง ( $P_{v,H_x}$ ,  $P_{v,H_y}$ , และ  $P_{v,H_z}$ ) มีค่าเท่ากับ 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 ภาพถ่ายของสายอากาศแบบสามบ่วงแบบประตูดินผ่านที่มีจั่ววางแบบเหลื่อมล้ำ



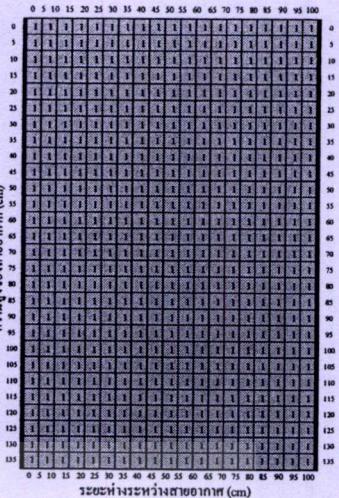
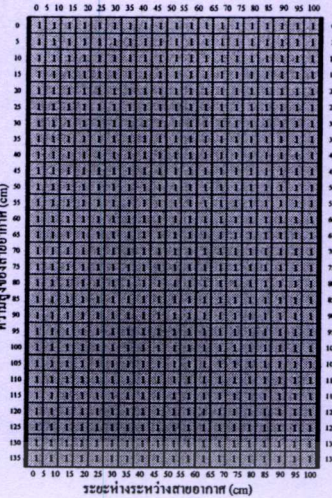
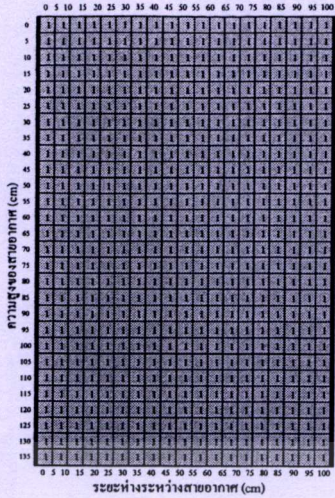
(ก)  $P_{I,H_x}$

(ข)  $P_{I,H_y}$

(ค)  $P_{I,H_z}$

รูปที่ 5.15 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิดโบลัส (ใช้กับโค) ใน

แต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบสามบ่วงแบบประตูดินผ่านที่มีการจั่ววางแบบเหลื่อมล้ำมี  $d_1$  เท่ากับ 45 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดต่างเฟสกัน 180 องศาโดยมีระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร



(ก)  $P_{I,H_x}$

(ข)  $P_{I,H_y}$

(ค)  $P_{I,H_z}$

รูปที่ 5.16 ผลการทดสอบของความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งชนิดคิหนู ในแต่ละ

เส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูคีนผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำมี  $d_1$  เท่ากับ 45 เซนติเมตร เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดต่างเฟสกัน 180 องศา มีระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร

5.8 บทสรุป

จากผลการทดสอบสายอากาศแสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกันกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์และการจำลอง ซึ่งในการทดสอบนี้จะใช้การทดสอบกับแท่งชนิดโบลัสและแท่งชนิดคิหนู สำหรับผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสายอากาศแบบบ่วงคู่และสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูคีนผ่านและมีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำนั้นได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศทั้งสามแนวแกนที่สูงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดตั้งแบบประตูคีนผ่านทั้งแบบการป้อนกระแสให้มีเฟสตรงกันและการป้อนกระแสให้ต่างเฟสกัน 180 องศา ของสายอากาศทั้งสองด้าน โดยทั้งสายอากาศแบบบ่วงคู่และแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูคีนผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำสามารถติดต่อสื่อสารกับแท่งทั้งชนิดโบลัสและแท่งชนิดคิหนู ในสามแนวแกนหลักได้ทั้งหมด 100% ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองด้านหรือที่ระยะ  $D$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ (Evolution Strategies) เพื่อใช้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วง ซึ่งใช้สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID) ย่านความถี่ต่ำ ที่ความถี่ 134.2 kHz โดยจุดประสงค์เพื่อสร้างกระบวนการคิดในเชิงธรรมชาติอีกวิธีคิดที่มีความรวดเร็วในการหาค่าที่เหมาะสมและสามารถค้นหาค่าที่เหมาะสมได้สูงที่สุด โดยนำกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการนี้มาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดมาสร้างสายอากาศที่สามารถใช้งานกับแท็กได้ทุกลักษณะการจัดวาง ถัดมาสร้างแนวความคิดในการปรับปรุงความสามารถของสายอากาศในรูปแบบต่าง ๆ โดยวิเคราะห์แนวความคิดที่นำเสนอและหลักการที่สามารถพัฒนาสายอากาศที่ใช้งานกับแท็กได้ในทุกลักษณะการจัดวางอีกเช่นเดียวกัน

ผลสรุปโดยรวมของวิทยานิพนธ์นี้ซึ่งประกอบไปด้วยผลจากกระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วง โดยมีการติดตั้งสายอากาศแบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ การศึกษาผลกระทบจากค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ

### 6.1 สรุปเนื้อหาโดยรวม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อธิบายถึงทฤษฎีและหลักการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ การวิเคราะห์และหลักการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ เพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่มีค่าสูง รวมถึงหลักการของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ

การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการเพื่อที่จะนำไปใช้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้หลักการคัดเลือกสมาชิกของกระบวนการที่เรียกว่า (1+1)-ES ซึ่งเป็นหลักการในเชิงวิวัฒนาการในการคัดเลือกสมาชิกโดยตัวปฏิบัติการของกระบวนการที่ใช้คัดแปลงสมาชิกจะมีเพียงกระบวนการ Mutation ซึ่งเปรียบเทียบกับหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมซึ่งให้ค่าที่ดีกว่าในทุกกลุ่มสมาชิกและรวดเร็วกว่าเมื่อค้นหาในกลุ่มสมาชิกไม่ใหญ่มาก

จากนั้นได้นำกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการมาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบสามบ่วงที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านด้วยการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำ โดยกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการนี้จะเชื่อมต่อกับ โปรแกรม NEC เพื่อจำลองแบบ

ของสายอากาศแล้วนำค่าความเข้มข้นแม่เหล็กที่ได้มาทำการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่จากนั้นจะนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรเพื่อใช้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสายอากาศ จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบสามที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่านด้วยการจัดวางแบบเหลี่ยมล้ำ ผลที่การทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มข้นแม่เหล็กทั้ง 3 ทิศทางมีในแนวแกน  $xy$  และ  $z$  มีค่าเท่ากับ 100% ของปริมาตรความเข้มข้นแม่เหล็กเมื่อทดสอบกับแท่งชนิด โบลต์กับแท่งชนิดติดหู

## 6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

ในกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการในผลการเปรียบเทียบกับกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมถึงแม้ว่ากระบวนการหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการจะได้ค่าที่เหมาะสมมากกว่ากระบวนการคิดแบบพันธุกรรมจากผลการสำรวจด้วยจำนวนสมาชิกตั้งแต่ 20 ถึง 60 สมาชิก แต่เมื่อทำการสำรวจด้วยสมาชิกที่มากแล้วกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมจะทำได้ดีกว่า (สำหรับค้นหาพารามิเตอร์สายอากาศ เท่ากับ 5 พารามิเตอร์) เนื่องจากว่ากระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการนั้นเป็นแบบอย่างง่ายที่ใช้เพียงกระบวนการ Mutation เพียงอย่างเดียวเท่านั้นในการเปลี่ยนแปลงค่าของสมาชิก โดยใช้วิธีการคัดเลือกสมาชิกแบบ (1+1)-ES แนวทางในการพัฒนานั้นอาจจะทำการเพิ่มกระบวนการในการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการผสมกันของสมาชิก หรือกระบวนการ Crossover เพื่อหาค่าที่เหมาะสมและกระบวนการคัดเลือกสมาชิกแบบอื่นที่อยู่ในกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการเพื่อให้สามารถหาค่าที่ดีที่สุดและรวดเร็วในการหาค่าที่เหมาะสม

## บรรณานุกรม


- [1] Klaus Finkenzeller, RFID Handbook, John Wiley & Sons, 2003.
- [2] Dominique Paret, RFID and Contactless Smart Card Applications, John Wiley & Sons, 2005.
- [3] AN678 RFID Coil Design, [Online]. Available: <http://www.microchip.com>
- [4] Christian Jacob, Illustrating Evolutionary Computation with Mathematica, Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [5] William M. Spears, Evolutionary Algorithms The Role of Mutation and Recombination, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2000.
- [6] W. H. Hayt Jr., Engineering Electromagnetics, fifth Edition, McGraw-Hill, New York, 1989.
- [7] โมไนย ไกรฤกษ์, วิศวกรรมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, พิมพ์สวย, กรุงเทพฯ, 2544
- [8] G. J. Burke and A. J. Poggio. Numerical Electromagnetics Code (NEC) Method of Moment, Part I-III. Lawrence Livermore Nat. Lab., Livermore, CA, 1981.
- [9] Yahya Rahmat-Samii, Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms, John Wiley & Sons, 1999.
- [10] C. Mansap, P. Wounchoum, C. Phongcharoenpanich, D. Torrungrueng, "Trapezoidal Dual Loop Antenna for Radio Frequency Identification (RFID) System at Low Frequency," *Proceedings of the 2006 Asia-Pacific Microwave Conference*, pp.1478 – 148, Dec. 2006.
- [11] Chawanthawat Mansap, "Trapezoidal Dual Loop Antenna for Radio Frequency Identification (RFID) System at Low Frequency," Master Thesis, King Mongkut' Institute of Technology Ladkrabang, 2006.
- [12] S. Kawdungta, P. Wounchoum, C. Phongcharoenpanich, D. Torrungrueng, "Improvement of Communication Performance for Trapezoidal Dual Loop Antennas by Switching Techniques," *Proceedings of 2007 Asia-Pacific Microwave Conference*, pp. 1 – 4, Dec. 2007.
- [13] Supakit Kawdungta, "Genetic Algorithm Optimization of Loop Antenna for Radio Frequency Identification (RFID) System at Low Frequency Band," Master Thesis, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2008.

- [14] สราวุธ ทคนาที, ศุภกิต แก้วดวงตา, ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ และ ดนัย ต. รุ่งเรือง, “การเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศแบบบ่วงคู่สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ,” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 31*, นครนายก, 29-31 ตุลาคม 2551, หน้า 761-764
- [15] S. Kawdungta, C. Phongcharoenpanich and D. Torrungrueng, “Novel Design of Double Loop Antennas by Using a Shifted Gate for LF-RFID System,” *Proceedings of the 2008 International Symposium on Antennas an Propagation*, pp.1418-1421, Oct. 2008.
- [16] ดนัย ต.รุ่งเรือง, ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์, ไพโรจน์ วุ่นชุม และคณะ “การออกแบบสายอากาศ RFID สำหรับระบบลงทะเบียนสัตว์,” รายงานการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549
- [17] ดนัย ต.รุ่งเรือง, ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์, ศุภกิต แก้วดวงตา และคณะ “การเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ RFID สำหรับระบบลงทะเบียนสัตว์,” รายงานการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2551
- [18] มาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม (กทข. มท. 5001 – 2550)
- [19] An Adaptation Of Evolutionary Strategies For Forecasting The Exchange Rate,[Online].Available:<http://www.cp.eng.chula.ac.th/~piak/paper/2004/es-ans8.pdf>



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก ก.**  
**การผสมผสานกันของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมระหว่างกระบวนการคิดแบบ**  
**กลยุทธ์เชิงวิวัฒน์และกระบวนการคิดแบบพันธุกรรม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การผสมผสานกันของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมระหว่าง กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์และกระบวนการคิดแบบ พันธุกรรม

## บทนำ

ในการนำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอในเรื่องของการหาค่าที่เหมาะสมสูงสุดของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ในการหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วงซึ่งมีข้อดีของกระบวนการคือการปรับเปลี่ยนของกระบวนการ Mutation ได้เองและมีการลู่เข้าสู่ค่าที่สูงสุดได้รวดเร็วซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบกับกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมซึ่งแสดงผลกระทบของกระบวนการในบทที่ 3 และในสิ่งที่ได้แม้จะสามารถหาค่าสูงสุดได้ดีกว่าในรอบที่ต่ำกว่าในกลุ่มสมาชิกเล็ก ๆ และการหาค่าที่เหมาะสมสูงกว่าแต่ก็ยังไม่ชัดเจนมากนักเนื่องจากคำตอบของรูปร่างสายอากาศเป็นเทคนิควิธีการที่ให้ค่าความเหมาะสมที่สูง และเมื่อกลุ่มสมาชิกมากขึ้นระยะเวลาในการคำนวณมากตามไปด้วยในการค้นพบค่าสูงสุด ซึ่งในส่วนนี้ได้นำเสนออีกหนึ่งแนวความคิดวิธีการของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่มีประสิทธิภาพ โดยการผสมผสานกันระหว่างกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมและกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์เพื่อช่วยกันหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในรอบการคำนวณที่ต่ำลงและการลู่เข้าสู่คำตอบที่มีความรวดเร็วมากขึ้น

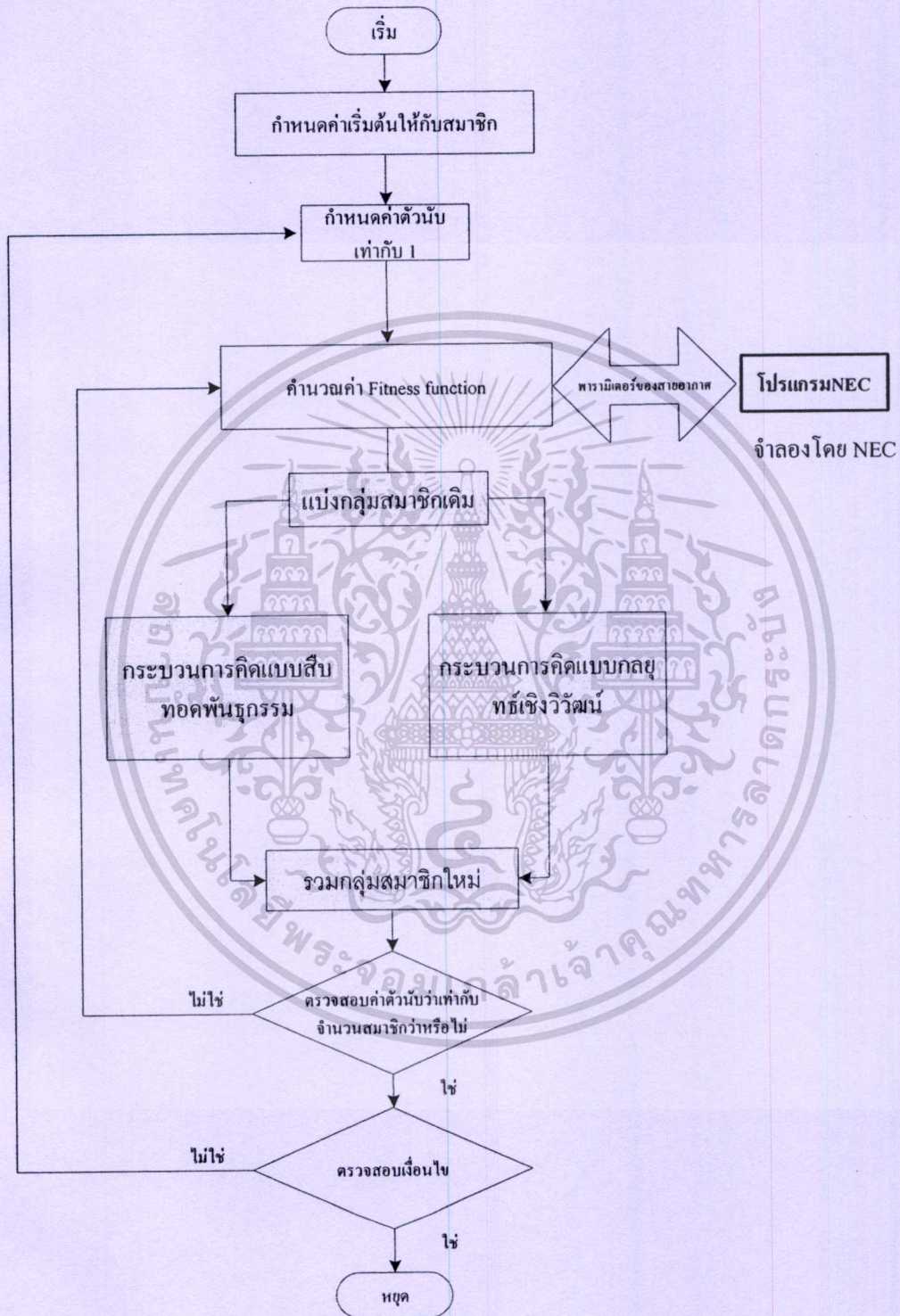
## การผสมผสานกันของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์และกระบวนการคิดแบบพันธุกรรม

สำหรับกระบวนการที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมกระบวนการที่ค่านั้นจะต้องค้นหาได้ทั่วทั้งบริเวณที่ต้องการค้นหาและสามารถค้นหาค่าที่เหมาะสมได้สูงและรวดเร็วอีกหนึ่งแนวความคิดในการพัฒนากระบวนการหาค่าที่เหมาะสมคือต้องการหาค่าที่เหมาะสมได้สูง ๆ และมีการค้นหาค่าที่เหมาะสมได้รวดเร็วหรือมีการลู่เข้าสู่ค่าสูงสุดได้รวดเร็วการผสมผสานกันของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมนั้นก็ป็นอีกวิธีสำหรับแนวความคิดสำหรับความต้องการในการหาค่าตอบ

สำหรับการผสมผสานกันของกระบวนการทั้งสองนั้นเริ่มต้นด้วยการกำหนดประชากรในการค้นหาโดยทำการแบ่งกลุ่มประชากรออกเป็นสองส่วนสำหรับกระบวนการค้นหาค่าที่เหมาะสมทั้งสอง โดยแบ่งประชากรส่วนแรกให้กับกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมและประชากรส่วนที่สองให้กับกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์ซึ่งประชากรทั้งสองส่วนเป็นอิสระต่อกัน

แยกส่วนแบ่งกันพัฒนาในกลุ่มประชากรเดิมแล้วนำกลุ่มประชากรใหม่ที่ได้จากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมมาแทนที่กลุ่มประชากรเดิมแล้วนำมาพัฒนาต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งครบจำนวนรอบการคำนวณ

ที่ตั้งไว้หรือค้นพบค่าที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการผสมผสานกันของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมทั้งสองนั้นแสดงให้เห็นดังรูปที่ 1



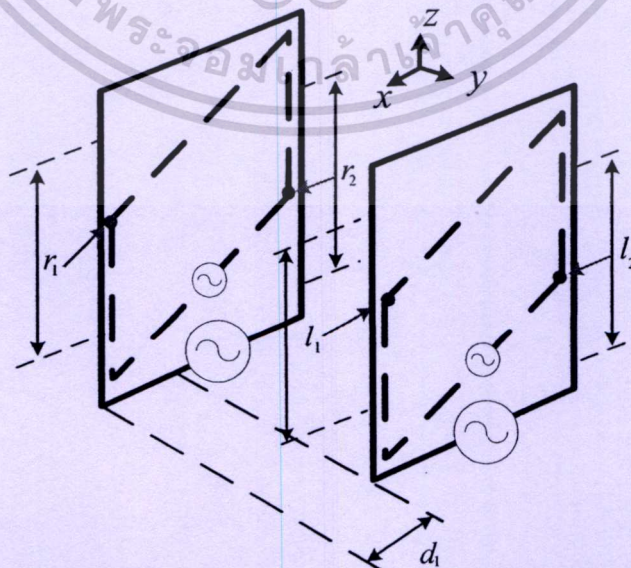
**รูปที่ 1** การผสมผสานกันของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมระหว่างกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการและกระบวนการคิดแบบพันธุกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมทั้งสองกระบวนการกำหนดตัวปฏิบัติการสำหรับหาค่าที่เหมาะสมดังต่อไปนี้ สำหรับกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบพันธุกรรมนั้นได้กำหนดตัวปฏิบัติการแบบ Crossover และ Mutation ที่ 80% และ 5% ตามลำดับ และตัวปฏิบัติการคงค่าสูงสุดของสมาชิกที่ 5 สมาชิก สำหรับกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการจะใช้การคัดเลือกประชากรแบบ (1+1)-ES ที่มีเพียงตัวปฏิบัติการ Mutation เพียงอย่างเดียวแต่มีการปรับระดับขนาดสเต็มด้วยค่าความน่าจะเป็นของกระบวนการ ด้วยกฎ 1/5-success

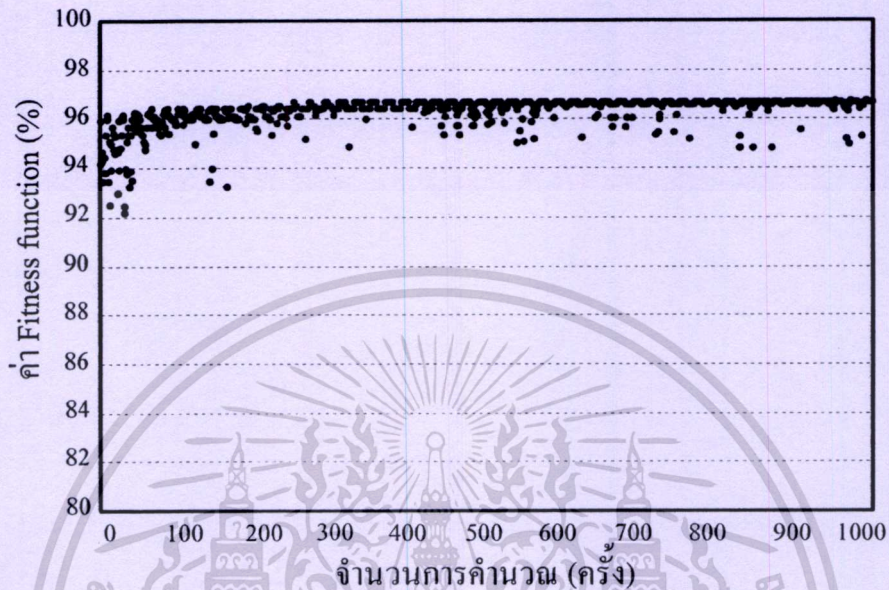
### ผลกระทบของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่เกิดจากการผสมผสาน

สำหรับกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมนั้นเราจะทำการวิเคราะห์ผลกระทบของกระบวนการในการหาค่าคำตอบที่ได้จากการพัฒนาต่อรอบการคำนวณ ว่ามีโครงสร้างคำตอบที่ได้จากกระบวนการเป็นอย่างไรซึ่งในการจำลองผลกระทบที่ได้จากกระบวนการนั้นจะทำการวิเคราะห์ผลกระทบของกระบวนการในกลุ่มประชากรอยู่สามกลุ่มจำนวน ซึ่งแบ่งออกเป็นกลุ่มประชากรที่มีค่าเท่ากับ 20 กลุ่มประชากรที่มีค่าเท่ากับ 40 และกลุ่มประชากรที่มีค่าเท่ากับ 60 ซึ่งจะทำการค้นหาพารามิเตอร์ของสายอากาศขั้วคู่แบบประตูเดินผ่านที่มีการจัดวางแบบเหลื่อมล้ำโดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์สายอากาศอยู่ 5 พารามิเตอร์ ซึ่งบ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงคือบ่วงเล็กที่เป็นเส้นประ มีพารามิเตอร์  $r_1$  กำหนดขอบเขตการหาค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 60 เซนติเมตร ถัดมาพารามิเตอร์  $r_2$  กำหนดขอบเขตการหาค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 60 เซนติเมตร ถัดมา  $l_1$  กำหนดขอบเขตการหาค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 60 เซนติเมตร อีกทั้ง  $l_1$  กำหนดขอบเขตการหาค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 60 เซนติเมตร และระยะ  $d_1$  มีค่าเท่ากับ 90 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2



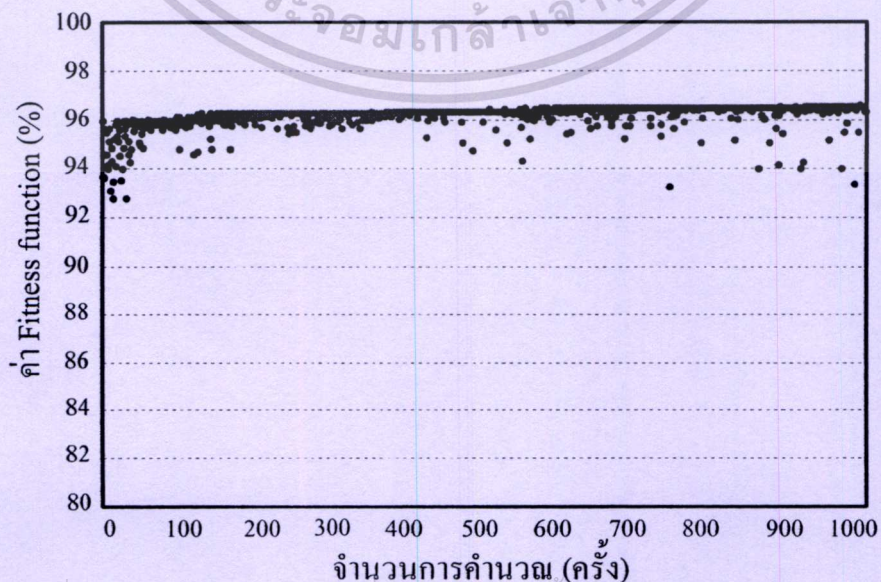
เอกสารนี้รูปที่ 2 พารามิเตอร์และขอบเขตการหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศสำหรับกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบผสมผสานเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบผสมผสานสำหรับสมาชิกเท่ากับ 20 แสดงดังรูปที่ 3 สามารถหาค่าที่สูงที่สุดของกระบวนการที่จำนวนรอบการคำนวณเท่ากับ 951 รอบ ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการเท่ากับ 96.689%



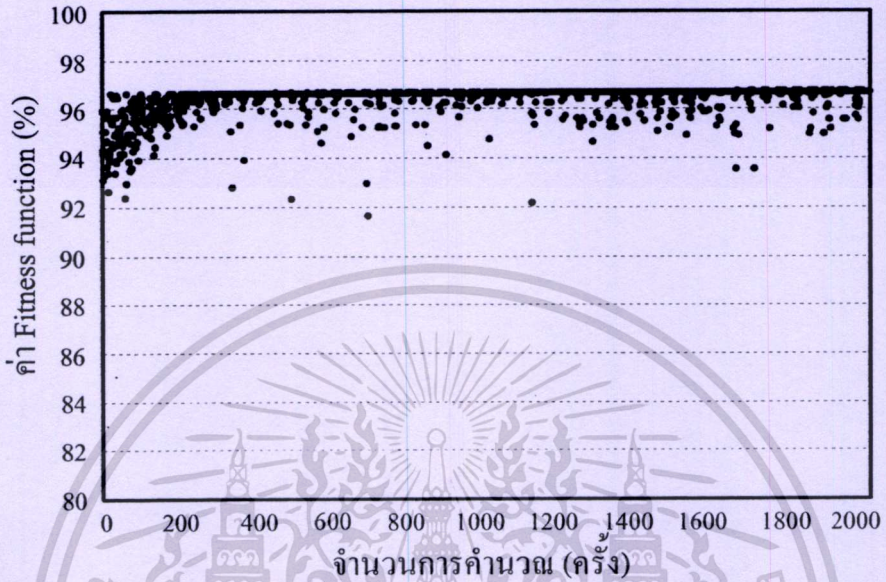
รูปที่ 3 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาแบบผสมผสานเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20

สำหรับผลกระทบของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบพันธุกรรมสำหรับสมาชิกเท่ากับ 20 แสดงดังรูปที่ 4 สามารถหาค่าที่สูงที่สุดของกระบวนการที่จำนวนรอบการคำนวณเท่ากับ 992 รอบ ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการเท่ากับ 96.56%



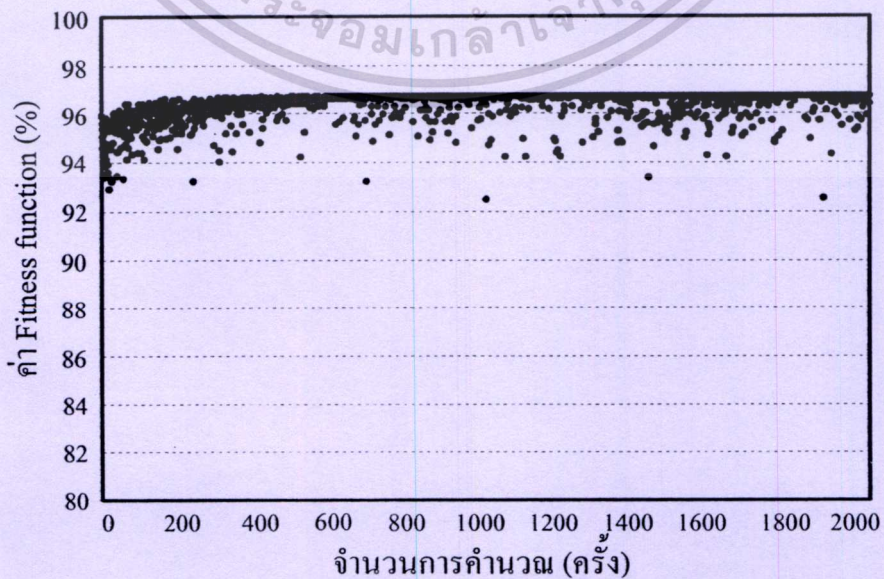
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณี **รูปที่ 4** ผลกระทบของกระบวนการค้นหาแบบพันธุกรรมเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20 ใช้

ผลกระทบของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบผสมผสานสำหรับสมาชิกเท่ากับ 40 แสดงดังรูปที่ 5 สามารถหาค่าที่สูงที่สุดของกระบวนการที่จำนวนรอบการคำนวณเท่ากับ 1656 รอบ ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการเท่ากับ 96.689%



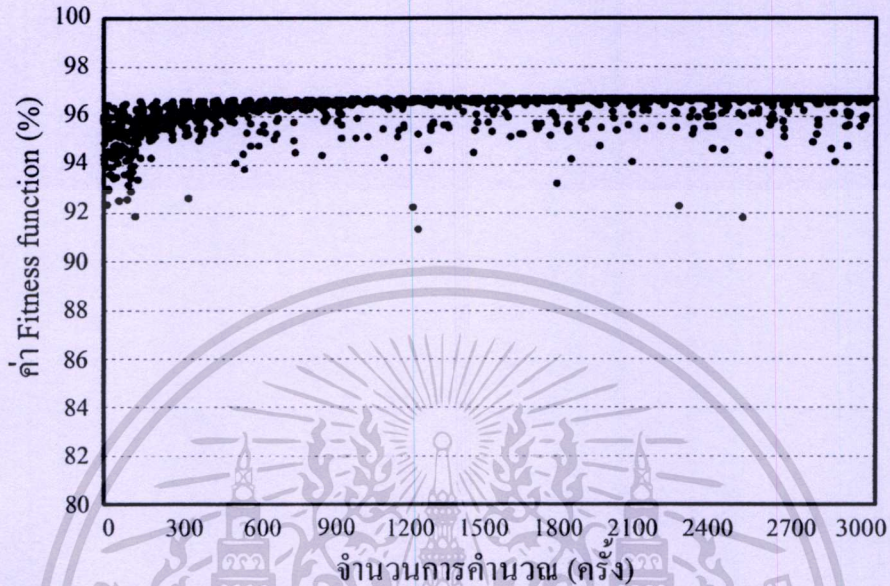
รูปที่ 5 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาแบบผสมผสานเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40

สำหรับผลกระทบของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบพันธุกรรมสำหรับสมาชิกเท่ากับ 40 แสดงดังรูปที่ 4 สามารถหาค่าที่สูงที่สุดของกระบวนการที่จำนวนรอบการคำนวณเท่ากับ 416 รอบ ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการเท่ากับ 96.689%



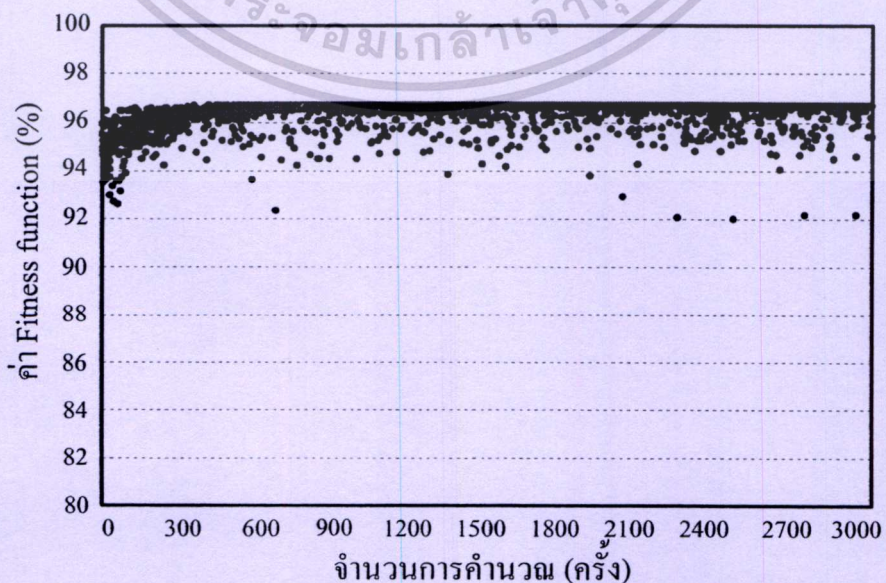
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 6 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาแบบพันธุกรรมเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40

ผลกระทบของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบผสมผสานสำหรับสมาชิกเท่ากับ 60 แสดงดังรูปที่ 7 สามารถหาค่าที่สูงที่สุดของกระบวนการที่จำนวนรอบการคำนวณเท่ากับ 2470 รอบ ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการเท่ากับ 96.689%



รูปที่ 7 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาแบบผสมผสานเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 60

สำหรับผลกระทบของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบพันธุกรรมสำหรับสมาชิกเท่ากับ 60 แสดงดังรูปที่ 8 สามารถหาค่าที่สูงที่สุดของกระบวนการที่จำนวนรอบการคำนวณเท่ากับ 553 รอบ ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการเท่ากับ 96.689%



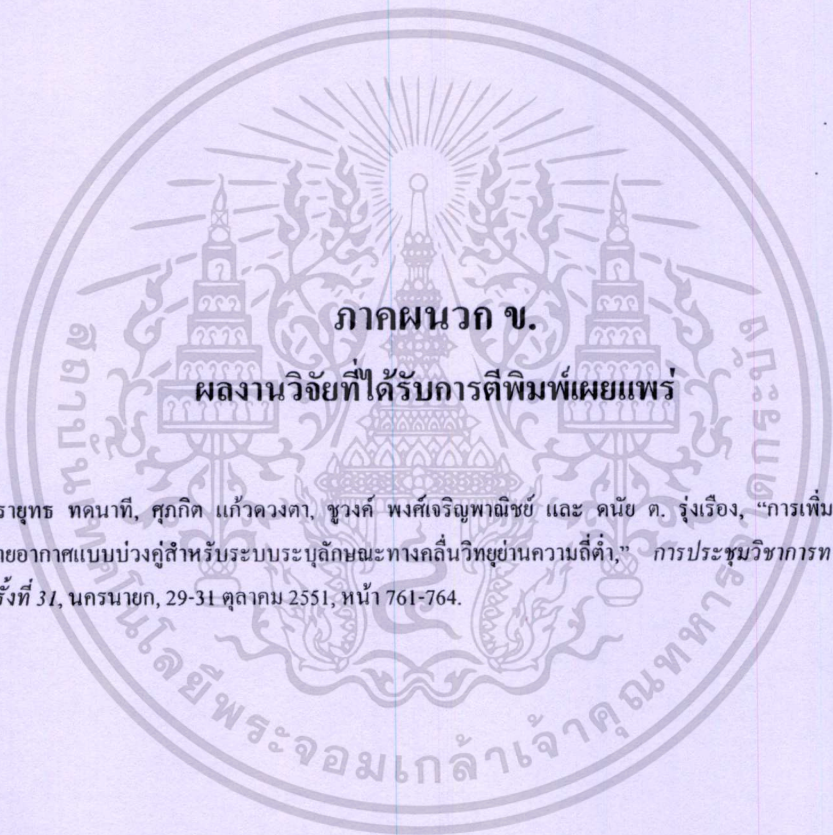
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 8 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาแบบพันธุกรรมเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 60 ใช้

## ผลสรุป

แนวความคิดในการผสมผสานกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมระหว่างกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์และกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมทั้งสองให้ทำงานร่วมกันเปรียบเทียบกับกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมเดิม ผลที่ออกมาสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศบ่วงคู่แบบประตูดินผ่านที่มีการจัดวางเหลื่อมล้ำทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจำนวน 5 พารามิเตอร์ โดยการกำหนดกลุ่มสมาชิกในการค้นหาค่าตอบอยู่สามกลุ่มจำนวนสมาชิก คือ 20 40 และ 60 สมาชิก พบว่าการหาค่าที่สูงที่สุดสำหรับกลุ่มสมาชิกที่มีค่าเท่ากับ 20 นั้นกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบผสมผสานพบค่าที่เหมาะสมสูงกว่าในจำนวนรอบที่ต่ำกว่ากระบวนการคิดแบบพันธุกรรม และกลุ่มสมาชิกที่มีค่าเท่ากับ 40 และ 60 สมาชิกนั้นได้ค่าที่เหมาะสมจากกระบวนการแบบผสมผสานและกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมเดิมเท่ากัน แต่จำนวนรอบการคำนวณของกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมนั้นต่ำกว่าและการเปรียบเทียบผลของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เพียงอย่างเดียวที่ได้จากผลกระทบของสมาชิกที่หาค่าพารามิเตอร์กับปัญหาเดียวกันคือ ค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ 5 พารามิเตอร์ กับการผสมผสานกันของกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์และกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมผลของการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าในแต่ละกลุ่มสมาชิกการหาค่าที่สูงที่สุดในจำนวนรอบการทำงานกระบวนการคิดแบบผสมผสานของกระบวนการหาค่าสูงสุดได้เร็วกว่ากระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์อย่างมากยกเว้นที่กลุ่มสมาชิกที่ 20 เท่านั้น ที่กระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์นั้นหาค่าได้สูงกว่าในจำนวนรอบที่เร็วกว่า

สำหรับการศึกษาผลกระทบของกระบวนการในการลู่เข้าสู่ค่าตอบที่รวดเร็วของกระบวนการแบบผสมผสานและกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมเดิมนั้นพบว่ากลุ่มสมาชิกที่เห็นชัดเจนว่ามีการลู่เข้าสู่ค่าตอบที่รวดเร็วคือกลุ่มสมาชิกที่มีค่าเท่ากับ 40 สมาชิก จากกระบวนการแบบผสมผสานเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมเดิมสำหรับกลุ่มสมาชิกอื่น ๆ จะมีค่าการลู่เข้าสู่ค่าตอบที่เป็นลักษณะเส้นตรงมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

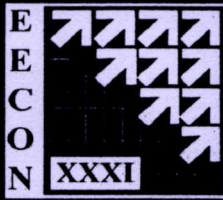
ในการพัฒนากระบวนการหาค่าที่เหมาะสมจากกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์มาพัฒนาด้วยหลักการผสมผสานกันระหว่างกระบวนการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์กับกระบวนการคิดแบบพันธุกรรมแสดงให้เห็นถึงการหาค่าที่เหมาะสมสูงสุดได้รวดเร็วมากขึ้นเมื่อกลุ่มสมาชิกมีขนาดใหญ่ขึ้นและในการพัฒนาผลก็คือมีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ดีขึ้นของรอบการคำนวณเมื่อเทียบกับกระบวนการการคิดแบบกลยุทธ์เชิงวิวัฒน์เดิม



ภาคผนวก ข.

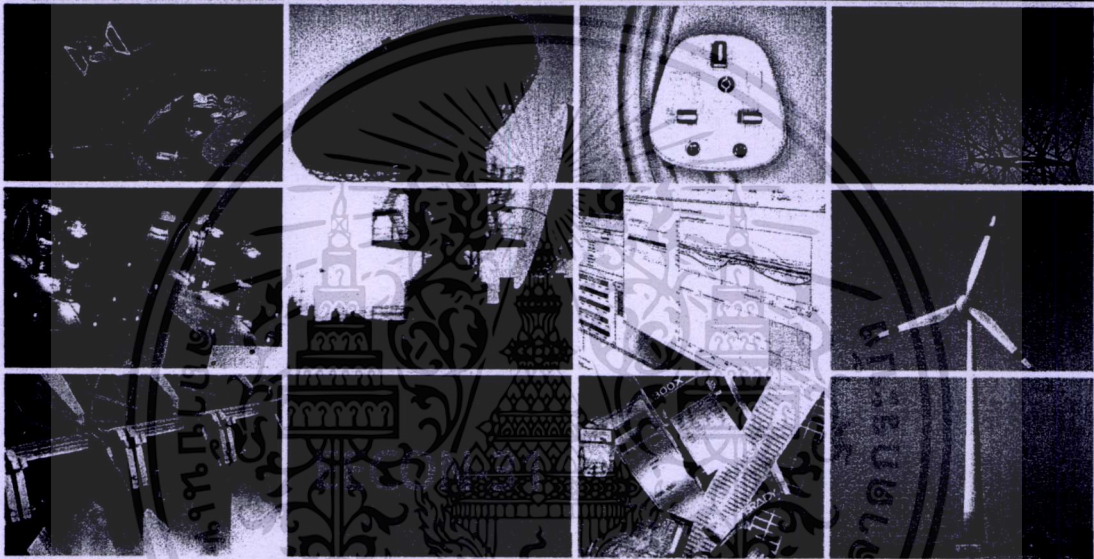
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. สรายุทธ ทดนาที, ศุภกิต แก้วดวงตา, ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ และ คณิศ ด. รุ่งเรือง, “การเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศแบบบ่วงคู่สำหรับระบบระบุทิศทางคลื่นวิทยุผ่านความถี่ต่ำ,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31, นครนายก, 29-31 ตุลาคม 2551; หน้า 761-764.



# การประชุมวิชาการ ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31

31<sup>st</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-31)



- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- คอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- ระบบควบคุม และการวัดคุม (CT)
- โฟโตนิกส์ (PH)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

29 - 31 ตุลาคม 2551

ณ โรงแรมอัสสัม กอล์ฟ รีสอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดนครนายก

ร่วมจัดโดย



มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

สนับสนุนโดย



Western  
Digital



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# การเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศแบบบ่วงคู่สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ความถี่ต่ำ

## Performance Enhancement of Dual Loop Antenna for Radio Frequency Identification System at Low Frequency

สารุทธร ทนทานที่<sup>1</sup> สุภกิต แก้วดวงคำ<sup>1</sup> ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์<sup>1</sup> และ ดนัย ด. รุ่งเรือง<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์: 0-2326-4111 ต่อ 3346 E-mail: kpchuwon@kmitl.ac.th

<sup>2</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาชิตยา ชลบุรี 20150

โทรศัพท์ : 038-253-700 E-mail: dtg@asianust.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศแบบบ่วงคู่สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID) ย่านความถี่ต่ำ (134.2 kHz) โดยที่สายอากาศจัดวางแบบประตูเดินผ่าน (Walk-through gate) ในลักษณะวางเหลื่อมล้ำ และสามารถติดตั้งกับเครื่องลูกข่ายได้ในทุกลักษณะการจัดวางที่อยู่ตามแนวแกน โดยใช้โปรแกรมการคำนวณเชิงเลข และกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศที่เหมาะสม จากผลการจำลองที่ได้ นำไปสร้างและทดสอบสายอากาศต้นแบบ พบว่าสายอากาศมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจริง

คำสำคัญ: “ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ”, “สายอากาศแบบบ่วงคู่”, “เปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร”, “กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม”

### Abstract

This paper proposes the performance enhancement technique of dual loop antenna for radio frequency identification (RFID) system at low frequency band (134.2 kHz). The antennas are arranged as a shifted gate in walk-through gate installation for communication with tags in every orientation along a line. The Numerical Electromagnetics Code (NEC) and the genetic algorithm (GA) are employed in analysis of antennas for suitable antenna characteristics. The antenna parameters obtained from simulations is fabricated and measured to confirm that the antenna performance is improved indeed.

Keywords: Radio Frequency Identification (RFID), dual loop antenna, percentage of volume, genetic algorithm (GA).

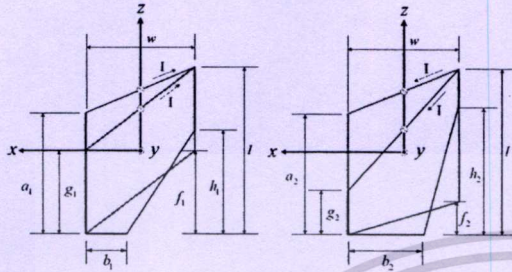
### 1. บทนำ

สายอากาศของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่ำ (Low-Frequency Radio Frequency Identification : LF-RFID) ที่ความถี่ 134.2 kHz มีความสำคัญในงานด้านการลงทะเบียนสัตว์ บ่งชี้ และติดตามสัตว์ โดยทั่วไปสายอากาศ RFID ของเครื่องอ่านข้อมูลในย่านความถี่ต่ำนี้จะมีลักษณะรูปร่างเป็นแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular loop) หรือแบบบ่วงวงกลม (Circular loop) [1] ซึ่งสายอากาศแบบบ่วงทั้งสองลักษณะสามารถใช้งานกับเครื่องลูกข่ายหรือแท็กได้ในบางลักษณะการจัดวางเท่านั้น ซึ่งถ้าสายอากาศไม่ได้วางตัวขนานกับระนาบสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลจะทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศด้อยลง นอกจากนี้ลักษณะการจัดวางของสายอากาศที่นิยมใช้เป็นแบบประตูเดินผ่านที่วางขนานกันและไม่เหลื่อมล้ำนี้ผลต่ออัตราการกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก [2] กล่าวคือความเข้มของสนามแม่เหล็กเกิดการหักล้างกันในบางแนวแกน ดังนั้นการออกแบบสายอากาศในบทความนี้จะใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศแบบบ่วงคู่โดยการจัดวางสายอากาศทั้งสองด้านแบบเหลื่อมล้ำกันเพื่อหลีกเลี่ยงการหักล้างกันของความเข้มสนามแม่เหล็กในบางแนวแกนเพื่อรักษาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศให้ยังคงมีค่าที่สูงเนื่องจากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการคิดคือสื่อระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านข้อมูลในแต่ละแนวแกน ตัวสายอากาศเองมีโครงสร้างที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในการลงทะเบียนสัตว์ ในฟาร์มสัตว์เลี้ยง โดยที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพที่ดี โดยใช้โปรแกรมการคำนวณเชิงเลข [3] และกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม [4] จำลองการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ

### 2. โครงสร้างสายอากาศที่เหมาะสม

โครงสร้างสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมของสายอากาศแต่ละด้าน มีลักษณะเป็นบ่วงคู่แบบสี่เหลี่ยมและห้าเหลี่ยม ซึ่งมีกรป้อนกระแสทั้งสองบ่วงให้มีเฟสตรงกันในแต่ละด้าน และให้กระแสต่างเฟสกัน 180 องศา สำหรับสายอากาศทั้งสองด้าน ดังแสดงตามรูปที่ 1 แล้วทำ

การจัดสายอากาศทั้งสองด้านให้มีลักษณะการวางเหลื่อมล้ำกันเพื่อลดการหักล้างกันของสนามแม่เหล็ก โดยที่ขนาดสายอากาศมีความกว้างและความยาวเท่ากับ 90 เซนติเมตร และ 135 เซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการลงทะเบียนสัตว์ขนาดใหญ่ เช่น โค และ กระบือ เป็นต้น ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศที่เหมาะสมที่สุดได้สรุปไว้ในตารางที่ 1



สายอากาศ 1

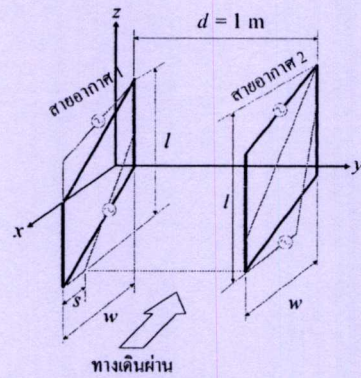
สายอากาศ 2

รูปที่ 1 สายอากาศแบบขั้วคู่ในแต่ละด้าน

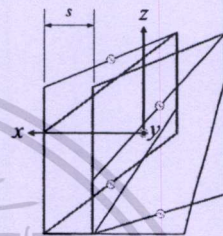
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของสายอากาศทั้งสองด้าน

พารามิเตอร์สายอากาศ 1	ขนาด (cm)	พารามิเตอร์สายอากาศ 2	ขนาด (cm)
$a_1$	90	$a_2$	85
$b_1$	32.5	$b_2$	60
$f_1$	67.5	$f_2$	55
$g_1$	67.5	$g_2$	45
$h_1$	85	$h_2$	97.5
$w$	90	$w$	90
$l$	135	$l$	135

หลังจากนั้นนำสายอากาศแบบขั้วคู่สี่เหลี่ยมและห้าเหลี่ยม ด้านที่ 1 และด้านที่ 2 จัดวางในลักษณะประตูเดินผ่าน (Walk-through gate) โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศสองด้านหรือระยะ  $d$  มีค่าเท่ากับ 100 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับการลงทะเบียนสัตว์ขนาดใหญ่ ตามรูปที่ 2 (ก) และทำการวางสายอากาศ 1 ให้นำหน้าสายอากาศ 2 หรือมีลักษณะเหลื่อมล้ำกันเป็นระยะ  $s$  ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 32.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) และระยะเหลื่อมล้ำ  $s$  ได้มาจากการคำนวณในกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมซึ่งทำให้เปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กมีค่าสูงทั้ง 3 แนวแกน



(ก) การจัดวางสายอากาศในลักษณะประตูเดินผ่านแบบเหลื่อมล้ำ

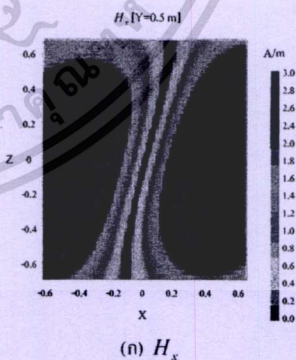


(ข) ลักษณะประตูเดินผ่านแบบเหลื่อมล้ำเมื่อมองจากด้านข้าง

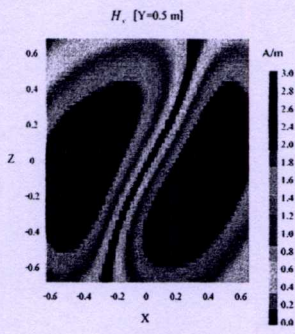
รูปที่ 2 สายอากาศที่วางในลักษณะประตูเดินผ่านแบบเหลื่อมล้ำ

### 3. การวิเคราะห์และการจำลอง

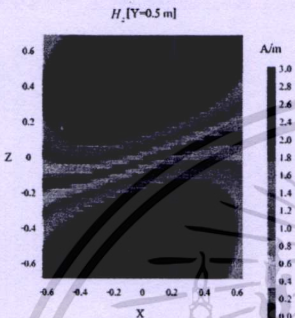
การจำลองแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กในแต่ละแกนในระนาบ  $xz$  ของสายอากาศคั่นแบบที่ระยะ  $y$  เท่ากับ 0.5 เมตร โดยที่ค่าในแนวแกน  $x$  เริ่มต้นที่ -0.6125 เมตร ไปจนถึง 0.6125 เมตร และค่าในแนวแกน  $z$  เริ่มต้นที่ -0.675 เมตร ไปจนถึง 0.675 เมตรเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3



(ก)  $H_x$



(ข)  $H_y$



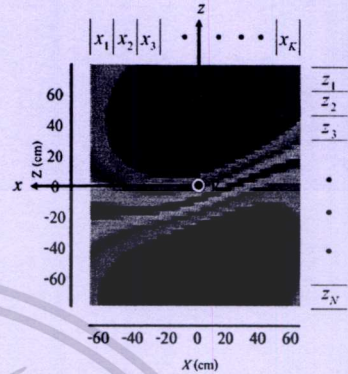
(ค)  $H_z$

รูปที่ 3 แบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศ  
ต้นแบบที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรมการคำนวณเชิงเลข

เมื่อพิจารณาแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กจาก โครงสร้าง  
สายอากาศต้นแบบ หลังจากนั้นจึงนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น ค่า  
เปอร์เซ็นต์เชิงผิว พร้อมทั้งค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรตามลำดับ[2] การ  
คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น  $P_l(z_n)$  จะพิจารณาถึงการนำเอา  
สายอากาศที่เคลื่อนที่ จากประตูด้านเข้าไปยังประตูด้านออกหรือไป  
ในทิศทางของแกน  $-x$  โดยแบ่งระยะความสูงในแนวแกน  $z$  ออกเป็น  
ส่วนย่อย ๆ เป็นจำนวน  $N$  เรียกว่าเส้น  $z_n$  ซึ่งแต่ละเส้นของ  $z_n$  ก็จะแบ่ง  
ตามระยะแนวแกน  $x$  ออกเป็นส่วน ๆ เป็นจำนวน  $K$  ส่วน เรียกว่า  $x_k$   
เพื่อให้เกิดผลลัพธ์เกิดการสุ่มจะใช้  $K$  เท่ากับ 25 ทำการพิจารณาความ  
เข้มสนามแม่เหล็กในแต่ละส่วนของ  $H(x_k)$  ดังแสดงในรูปที่ 4 โดย  
เปรียบเทียบกับค่าความแรงสนามแม่เหล็กกระตุ้น  $H$ , ถ้าจุดใดจุดหนึ่ง  
ในแนวเส้นตรงแกน  $x$  มีค่า  $H(x_k) \geq H$ , ค่า  $P_l(z_n) = 100\%$  ในทาง  
กลับกันถ้าจุดทุกจุดบนเส้นตรงในแนวแกน  $x$  จากประตูด้านเข้าเคลื่อนที่  
ไปยังประตูด้านออก มีค่า  $H(x_k) < H$ , ค่า  $P_l(z_n) = 0\%$  จากนั้นก็  
นำค่า  $P_l(z_n)$  มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิว  $P_s(y_m)$  ที่  
ตำแหน่ง  $y_m$  ดังสมการต่อไปนี้

$$P_s(y_m) = \frac{\sum_{n=1}^N P_l(z_n)}{N}; P_s(y_m) \leq 100\% \quad (1)$$

โดยใช้  $N=28$  เพื่อให้ผลลัพธ์เพียงพอสำหรับการสุ่มซ้ำ และ  $m$  เท่ากับ  
1,2,3,...,  $M$

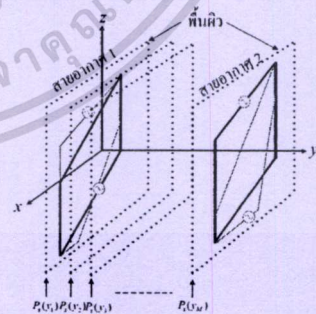


รูปที่ 4 การแบ่งระยะตามแนวแกน  $x$  และ แกน  $z$

การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร  $P_v$  เริ่มต้นพิจารณา  
จากกรณีทีละพื้นผิวจากตำแหน่ง  $y$  เท่ากับ 0 ไปจนถึง 100 เซนติเมตร  
มาคิดในกรณีทั้งปริมาตรระหว่างสายอากาศทั้งสองด้าน ดังสมการที่ 2

$$P_v = \frac{\sum_{m=1}^M P_s(y_m)}{M}; P_v \leq 100\% \quad (2)$$

เมื่อ  $M$  คือ จำนวนพื้นที่ผิวทั้งหมดที่แบ่งไปตามแนวแกน  $y$  เพื่อให้  
ผลลัพธ์สุ่มจะใช้  $M$  เท่ากับ 17 รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งของการคำนวณ  
เปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวตั้งแต่  $P_s(y_1)$  ไปจนถึง  $P_s(y_M)$  เพื่อคำนวณหา  
ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร



รูปที่ 5 การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร

ผลจากการจำลองสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรมการคำนวณเชิงเลข ซึ่งในการจำลองนั้นได้กำหนดค่าความแรงสนามแม่เหล็กกระตุ้น  $H_1$  เท่ากับ 3 A/m ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกนหลักทั้งสาม ดังต่อไปนี้ คือค่าในแนวแกน  $x$  ( $P_{1x}$ ) เท่ากับ 99.193 % ค่าในแนวแกน  $y$  ( $P_{1y}$ ) เท่ากับ 91.696 % และค่าในแนวแกน  $z$  ( $P_{1z}$ ) เท่ากับ 95.848 %

**4. ผลการทดสอบ**

การทดสอบสายอากาศได้นำโครงสร้างสายอากาศต้นแบบจากการจำลองด้วยโปรแกรมการคำนวณเชิงเลข มาวัดค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร ด้วยการพันขดลวดให้มีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าให้ใกล้เคียง 275  $\mu$ H เพื่อใช้กับเครื่องอ่านข้อมูล RFID ของบริษัท Silicon Craft Technology โมเดลรุ่น I-Read PI-80 ทดสอบกับแท็กชนิด Bolus โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสอง  $d$  เท่ากับ 100 เซนติเมตร และระยะการเหลื่อมล้ำ  $S$  เท่ากับ 32.5 เซนติเมตร พบว่ากรณีที่วางแท็กในแนวแกน  $x$  ( $P_{1x}$ ) แนวแกน  $y$  ( $P_{1y}$ ) และแนวแกน  $z$  ( $P_{1z}$ ) ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กเท่ากับ 100 % ครบทั้ง 3 แนวแกน

**5. สรุป**

ในบทความนี้ได้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศแบบบ่วงคู่สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุด้วยความถี่ต่ำโดยมีลักษณะการจัดวางของสายอากาศทั้งสองด้านเป็นแบบประตูดินผ่านที่วางเหลื่อมล้ำกันเพื่อหลีกเลี่ยงการหักล้างกันของความเข้มสนามแม่เหล็ก โดยที่สายอากาศสามารถคิดคือสื่อสารกับแท็กได้ในทุกลักษณะการจัดวาง โดยการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมการคำนวณเชิงเลข และการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองและทดสอบพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กของแนวแกน  $x$  ( $P_{1x}$ ) แนวแกน  $y$  ( $P_{1y}$ ) และแนวแกน  $z$  ( $P_{1z}$ ) มีค่าเท่ากับ 99.193 % 91.696 % และ 95.848 % ตามลำดับ สำหรับการทดสอบพบว่าทั้งสามแนวแกนเมื่อแท็กเคลื่อนที่ผ่านมีค่าเท่ากับ 100 % ทุกแนวแกน ที่ระยะห่างของตัวสายอากาศเท่ากับ 100 เซนติเมตร และระยะเหลื่อมล้ำของสายอากาศทั้งสองเท่ากับ 32.5 เซนติเมตร

**กิตติกรรมประกาศ**

บทความนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ภายใต้สัญญาเลขที่ 09/2551

**เอกสารอ้างอิง**

- [1] Klaus Finkenzeller, RFID Handbook, John Wiley& Son, 2003.
- [2] C.Mansap, P.Wounchoum, C.Phongcharoenpanich and D.Torrungrueng, "Trapezoidal dual loop antenna for Radio Frequency Identification (RFID) system at Low Frequency," *Proceedings of the 2006 Asia-Pacific Microwave Conference, Yokohama, vol.3, pp.1478-1481, Dec.2006.*
- [3] G. J. Burke and A. J. Poggio. Numerical Electromagnetics Code(NEC) Method of Moment, Part I-III.Lawrence LiverMore Nat. Lab., Livermore, CA, 1981.
- [4] Supakit Kawdungta, "Genetic Algorithm Optization of Loop Antenna for Radio Frequency Identification (RFID) System at Low Frequency Band," Master Thesis, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2008.

**ประวัติผู้เขียนบทความ**



สาวุทธ ทดนาที สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี 2549 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ศุภกฤต แก้วดวงตา สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต และวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี 2548 และ 2551 ตามลำดับ ปัจจุบันเป็นนักศึกษาระดับปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรศุภกฤตบัณฑิต จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี 2544 ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



คณัช ต.รุ่งเรือง สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2536 จากนั้น สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตและวิศวกรรมศาสตรศุภกฤตบัณฑิต จาก The Ohio State University ปี 2539 และ 2543 ตามลำดับ ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นายสรายุทธ ทดนาที  
 วัน เดือน ปีเกิด 15 กันยายน 2526  
 ที่อยู่ 39 หมู่ 2 บ้านโนนศรี ตำบลโนนภิบาล อำเภอแกดำ จังหวัดมหาสารคาม  
 ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2550 สำเร็จการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

### บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] สรายุทธ ทดนาที, สุภกิต แก้วดวงตา, ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ และ ดนัย ต. รุ่งเรือง, “การเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศแบบบ่วงคู่สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 31, นครนายก, 29-31 ตุลาคม 2551, หน้า 761-764.
- [2] S. Todnatee and C. Phongcharoenpanich, “Frequency Notched Ultra Wideband CPW-FED Ring Monopole Antenna,” *Proceedings of Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics*, Bangkok, Thailand, pp.94, July. 2008.
- [3] S. Todnatee and C. Phongcharoenpanich, “Characteristics of a CPW-Fed Ring Monopole Antenna for Frequency Notched Ultra Wideband Applications,” *Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics*, in press.