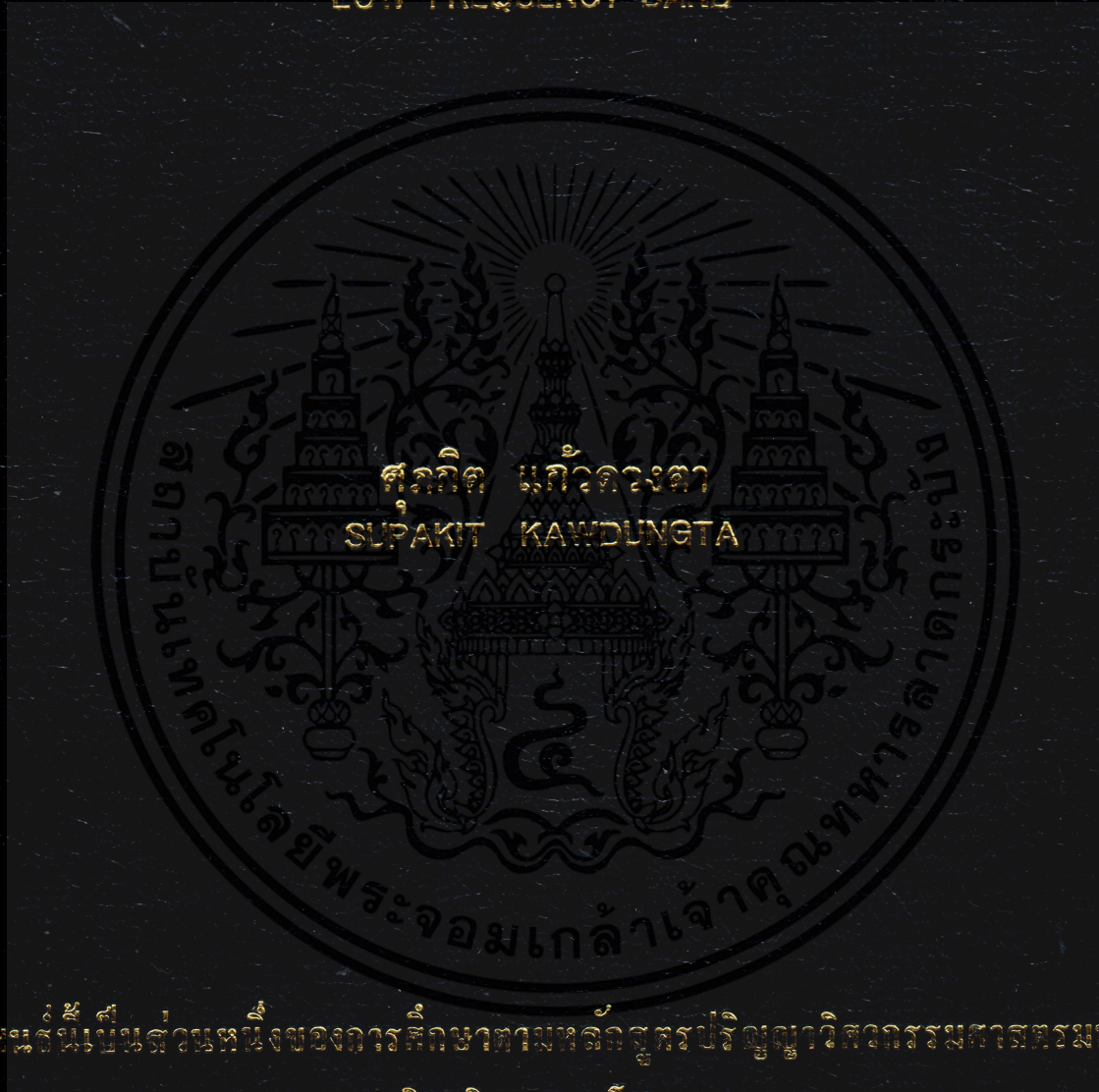


การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมของ  
สายอากาศแบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ

GENETIC ALGORITHM OPTIMIZATION OF LOOP ANTENNA FOR  
RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION (RFID) SYSTEM AT  
LOW FREQUENCY BAND



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-010-009

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมของ  
สายอากาศแบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ

**GENETIC ALGORITHM OPTIMIZATION OF LOOP ANTENNA FOR  
RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION (RFID) SYSTEM AT  
LOW FREQUENCY BAND**



ศุภกิต แก้วดวงตา

SUPAKIT KAWDUNGTA

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 79844  
วัน,เดือน,ปี..... 18 ต.ค. 2551

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
พ.ศ. 2551

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
KMITL-2008-EN-M-010-009

**GENETIC ALGORITHM OPTIMIZATION OF LOOP ANTENNA FOR  
RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION (RFID) SYSTEM AT  
LOW FREQUENCY BAND**



**SUPAKIT KAWDUNGTA**

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

**2008**

**KMITL-2008-EN-M-010-009**



เอกสารนี้ **COPYRIGHT 2008** ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางสถาบันฯ จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

**บัณฑิตวิทยาลัย**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

**หัวข้อวิทยานิพนธ์**      การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมของสายอากาศแบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ  
Genetic Algorithm Optimization of Loop Antenna for Radio Frequency Identification (RFID) System at Low Frequency Band

**นักศึกษา**                      นายศุภกิต      แก้วดวงตา  
**รหัสประจำตัว**                49060932  
**ปริญญา**                      วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
**สาขาวิชา**                    วิศวกรรมโทรคมนาคม  
**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์**      ผศ.ดร. ชูวงศ์                      พงศ์เจริญพาณิชย์  
**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**      ผศ.ดร. คนัย                      ต.รุ่งเรือง

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ศ.ดร. โมไนย	ไกรฤกษ์	
ผศ.ดร. สมเกียรติ	ฤกษ์วรัญญู	
รศ.ดร. สมผล	โกศลวิตร	
ผศ.ดร. คนัย	ต.รุ่งเรือง	
ผศ.ดร. ชูวงศ์	พงศ์เจริญพาณิชย์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 17 ธันวาคม 2550 เวลา 09.00-11.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างที่มาในการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... ๑๖.....เดือน..... ๑๒.....พ.ศ..... ๒๕๕๑.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมของสายอากาศแบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ
นักศึกษา	นายศุภกิต แก้วดวงตา
รหัสประจำตัว	49060932
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ. ดร. คณัย ต.รุ่งเรือง

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เพื่อใช้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วง ซึ่งใช้สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID) ย่านความถี่ต่ำ (125 kHz และ 134.2 kHz) ซึ่งกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมจะหาค่าที่เหมาะสมจากผลการจำลองแบบของสายอากาศด้วยโปรแกรม Numerical Electromagnetic Code (NEC) จากนั้นทำการศึกษาผลจากตัวปฏิบัติการของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม เมื่อได้ค่าของตัวปฏิบัติการที่เหมาะสมแล้ว จึงใช้กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงที่จัดวางแบบประตูเดินผ่าน (Walk Through Gate) โดยพิจารณาจากความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กด้วยค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณ จากผลการคำนวณที่ได้ถูกนำไปสร้างสายอากาศต้นแบบและทำการทดสอบสายอากาศต้นแบบพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แนวแกนหลักที่ตั้งฉากกันมีค่า  $P_{r,H}$  เท่ากับ 100%  $P_{r,H}$  เท่ากับ 98.63% และ  $P_{r,H}$  เท่ากับ 96.70% จากนั้นจึงได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณในทั้งสามแนวแกนหลักเท่ากับ 100% โดยการใช้เทคนิคการสวิตช์เพื่อสลับการทำงานของสายอากาศแบบบ่วงสองชุด เมื่อทำการสร้างและทดสอบพบว่าได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณเท่ากับ 100% ทั้งสามแนวแกนหลัก สายอากาศดังกล่าวสามารถใช้งานกับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Genetic Algorithm Optimization of Loop Antenna for Radio Frequency Identification (RFID) System at Low Frequency Band
<b>Student</b>	Mr. Supakit Kawdungta
<b>Student ID.</b>	49060932
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Telecommunications Engineering
<b>Year</b>	2008
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Chuwong Phongcharoenpanich
<b>Thesis Co-advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Danai Torrungrueng

### ABSTRACT

This thesis presents the application of Genetic Algorithm (GA) to optimize the loop antenna of Radio Frequency Identification (RFID) system at low frequency band (125 kHz and 134.2 kHz). The GA conjunction with Numerical Electromagnetic Code (NEC) is used to simulate the antenna parameters. Subsequently, study effects of GA parameters for using to optimize the loop antenna in walk-through gate arrangement. Optimized results are useful for further antenna design. The antenna prototype was fabricated and measured. It is found that the measured percentages of volume are  $P_{v,H_1} = 100\%$ ,  $P_{v,H_2} = 93.08\%$  and  $P_{v,H_3} = 91.12\%$ , respectively, where the percentage of volume is related to the communication performance between readers and tags. However, a switching technique for dual loop antennas is used to improve the communication performance of RFID system at low frequency. The antenna prototype was fabricated and measured. The percentages of volume in three principal axes are 100%. Experimental results verify the usefulness of GA and antenna performance in RFID system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญ พาณิชย์ และ ผศ.ดร. คณัย ต.รุ่งเรือง เป็นผู้ให้โอกาสทั้งในด้านการศึกษา เกี่ยวเนื่องอบรมสั่งสอน ขอขอบคุณ คุณไพโรจน์ วุ่นขุม ผู้ซึ่งให้แนวคิดในการวิจัย คำแนะนำในการวิเคราะห์และทดสอบ ขอขอบคุณ คุณกิตติศักดิ์ แพ้ว คุณรัฐพงษ์ สุวักขณธ์ คุณตัณฐชัย เขียวปราบ ผู้ซึ่งช่วยค้นคว้า ข้อมูลการวิจัย การสร้างและทดสอบสายอากาศ ขอขอบคุณบริษัท ไออีเทค โน โดยี สำหรับความช่วยเหลือทั้งอุปกรณ์ในการทดลองรวมทั้งคำปรึกษาและคำแนะนำ ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยี อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ(NECTEC) ภายใต้สัญญาเลขที่ 02/2549 ที่สนับสนุน งานวิจัย ขอขอบคุณสมาชิกในห้องปฏิบัติการการสื่อสารไร้สายทุกท่าน

ขอขอบคุณ คุณกัลยา โนราชา ผู้ซึ่งเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา สุดท้ายนี้ขอกราบ ขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจในทุกสิ่ง คุณงามความดีอันใดที่เกิดจาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแก่ บิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักยิ่งของข้าพเจ้า ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ข้าพเจ้า

ศุภกิต แก้วดวงตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	XI
สารบัญรูปภาพ.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 ความสำคัญของงานวิจัย.....	5
1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	6
1.4 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ.....	8
2.1 บทนำ.....	8
2.2 ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	8
2.2.1 แท็ก.....	9
2.2.1.1 แท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ.....	9
2.2.1.2 แท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอกทีฟ.....	9
2.2.2 ประเภทของแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	10
2.2.2.1 แท็กแบบจานและเหรียญ (Disk and coin) .....	10
2.2.2.2 แท็กแบบกระเปาะแก้ว (Glass housing) .....	10
2.2.2.3 แท็กแบบพลาสติก (Plastic housing) .....	11
2.2.2.4 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ.....	11
2.2.2.5 แท็กแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob) .....	11
2.2.2.6 แท็กแบบนาฬิกา.....	12
2.2.2.7 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ Smartcard แบบไร้การสัมผัส.....	12
2.2.2.8 แท็กแบบ Smart label.....	13
2.2.2.9 แท็กแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-chip).....	13
2.2.3 เครื่องอ่าน (Reader) .....	13

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	14
2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation type).....	14
2.3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ Full duplex ( FDX ).....	14
2.3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ Half duplex ( HDX ).....	15
2.3.2 ขนาดข้อมูล (Data quantity).....	15
2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable) .....	15
2.3.4 แหล่งพลังงาน (Power supply) .....	16
2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency range) .....	16
2.4 ข้อพิจารณาการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	17
2.4.1 ความถี่ใช้งาน.....	17
2.4.2 ระยะเวลาทำการ.....	17
2.4.3 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย.....	18
2.4.3.1 การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล.....	18
2.4.3.2 การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์.....	18
2.4.4 ขนาดของหน่วยความจำ.....	18
2.5 เทคโนโลยีของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ใช้การสื่อสารแบบ Inductive Coupling.....	18
2.5.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังแท็ก.....	19
2.5.2 การส่งข้อมูลจากแท็กมายังเครื่องอ่าน.....	20
2.5.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation.....	20
2.6 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน.....	21
2.6.1 การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศขดลวด.....	24
2.6.2 ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด.....	28
2.6.2.1 ขนาดและค่าความต้านทานทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง.....	28
2.6.2.2 ค่าความต้านทานทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับของลวด.....	30
2.6.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด.....	31
2.6.3.1 ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด.....	31
2.6.3.2 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด 1 ชั้น.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิได้อนุญาตให้มีการนำข้อความของเอกสารทศวรรษที่ 1 นี้ไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6.3.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบบ่วงวงกลมหลายชั้น.....	32
2.6.3.4 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดบ่วงสี่เหลี่ยมจตุรัส.....	33
2.7 รูปแบบของสายอากาศขดลวด.....	34
2.7.1 สายอากาศขดลวดของแท่ง.....	34
2.7.2 สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน.....	34
2.8 วงจรเรโซแนนซ์ คำตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) และแบนด์วิธ.....	35
2.8.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน.....	36
2.8.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม.....	38
2.8.3 คำตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) และแบนด์วิธ.....	39
2.8.3.1 ข้อจำกัดของคำตัวประกอบเชิงคุณภาพ.....	40
2.8.3.2 วิธีการจูน.....	41
2.9 วิชาการอ่านของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	42
2.10 ทิศทางสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงขดลวดต่อเป็นแบบประตูสองข้าง.....	44
2.10.1 สายอากาศแบบบ่วงขดลวด 2 เกตประตูต่อแบบเฟสเดียวกัน.....	44
2.10.2 สายอากาศแบบบ่วงขดลวด 2 เกตประตูต่อแบบต่างเฟสกัน 180 องศา.....	44
2.11 ค่าความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance).....	45
2.12 บทสรุป.....	48
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม.....	49
3.1 บทนำ.....	49
3.2 รูปแบบการออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม.....	49
3.3 ประเภทของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม.....	51
3.4 กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบดั้งเดิม (Traditional Optimization Algorithms).....	51
3.4.1 วิธีการตัดขอบเขต (Region-Elimination Method).....	51
3.4.1.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานของวิธีหาค่าที่เหมาะสมโดยวิธีการตัดขอบเขตค่าจากจุด.....	51
3.4.2 วิธีการประมาณค่าจากจุด (Point-Estimation Method).....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4.2.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานของวิธีหาค่าที่เหมาะสมโดยการ ประมาณค่าจากจุด.....	53
3.4.2.2 ตัวอย่างการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการประมาณค่าจากจุด.....	54
3.4.3 วิธีการแบบเกรเดียนต์ (Gradient-based Methods).....	55
3.4.3.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานของ Newton-Raphson Method.....	55
3.4.3.2 ตัวอย่างการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการ Newton-Raphson Method.....	56
3.5 กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบใหม่ (Nontraditional optimization algorithm)....	57
3.5.1 กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) .....	57
3.5.2 หลักการของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม.....	58
3.5.2.1 การเข้ารหัส.....	58
3.5.2.2 ยีน (Genes).....	59
3.5.2.3 โครโมโซม (Chromosome).....	59
3.5.2.4 กลุ่มสมาชิก (Population).....	60
3.5.2.5 จำนวนครั้งการทำงาน (Generation Number).....	60
3.5.2.6 สมาชิกต้นแบบ (Parent).....	60
3.5.2.7 สมาชิกใหม่ (Child).....	60
3.5.2.8 ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function : $F(x)$ ).....	60
3.5.2.9 ตัวอย่างปฏิบัติการของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม.....	61
3.5.2.9.1 กระบวนการเลือกสมาชิก (Reproduction).....	61
3.5.2.9.2 ตัวอย่างปฏิบัติการ Crossover.....	62
3.5.2.9.3 ตัวอย่างปฏิบัติการ Mutation.....	63
3.5.3 ลำดับการทำงานของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม.....	64
3.5.4 ความแตกต่างระหว่างกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมกับกระบวนการ หาค่าที่เหมาะสมแบบดั้งเดิม.....	66
3.5.5 ความสม่ำเสมอของกระบวนการค้นหาด้วยกระบวนการคิด แบบสืบทอดพันธุกรรม.....	66
3.5.6 การประมาณค่าสำหรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการคิด แบบสืบทอดพันธุกรรม.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำข้อมูลไปเผยแพร่และอาจแจ้งความดำเนินคดีต่อผู้ละเมิดทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.5.7 ประสิทธิภาพของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม.....	68
3.5.8 การเฝ้าดูการทำงานของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมระหว่าง การทำงาน.....	68
3.5.9 การปรับปรุงและแก้ประสิทธิภาพของกระบวนการคิดแบบ สืบทอดพันธุกรรม.....	68
3.6 บทสรุป.....	69
<b>บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลกระทบจากตัวปฏิบัติการของกระบวนการคิดแบบ สืบทอดพันธุกรรม.....</b>	<b>70</b>
4.1 บทนำ.....	70
4.2 พารามิเตอร์ของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม.....	70
4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบจากจำนวนกลุ่มสมาชิก.....	71
4.4 การวิเคราะห์ผลกระทบจากค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover.....	74
4.5 การวิเคราะห์ผลกระทบจากค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation.....	77
4.6 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม....	81
4.7 บทสรุป.....	82
<b>บทที่ 5 การจำลองแบบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ.....</b>	<b>83</b>
5.1 บทนำ.....	83
5.2 โครงสร้างของสายอากาศเมื่อจัดวางในลักษณะประตูเดินผ่าน.....	83
5.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ.....	84
5.4 ผลการจำลองแบบของสายอากาศ.....	86
5.4.1 สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	87
5.4.1.1 สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบประตูเดินผ่าน.....	87
5.4.1.2 สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบด้านเดียว.....	90
5.4.2 โครงสร้างสายอากาศและการหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการคิด แบบการสืบทอดพันธุกรรม.....	92

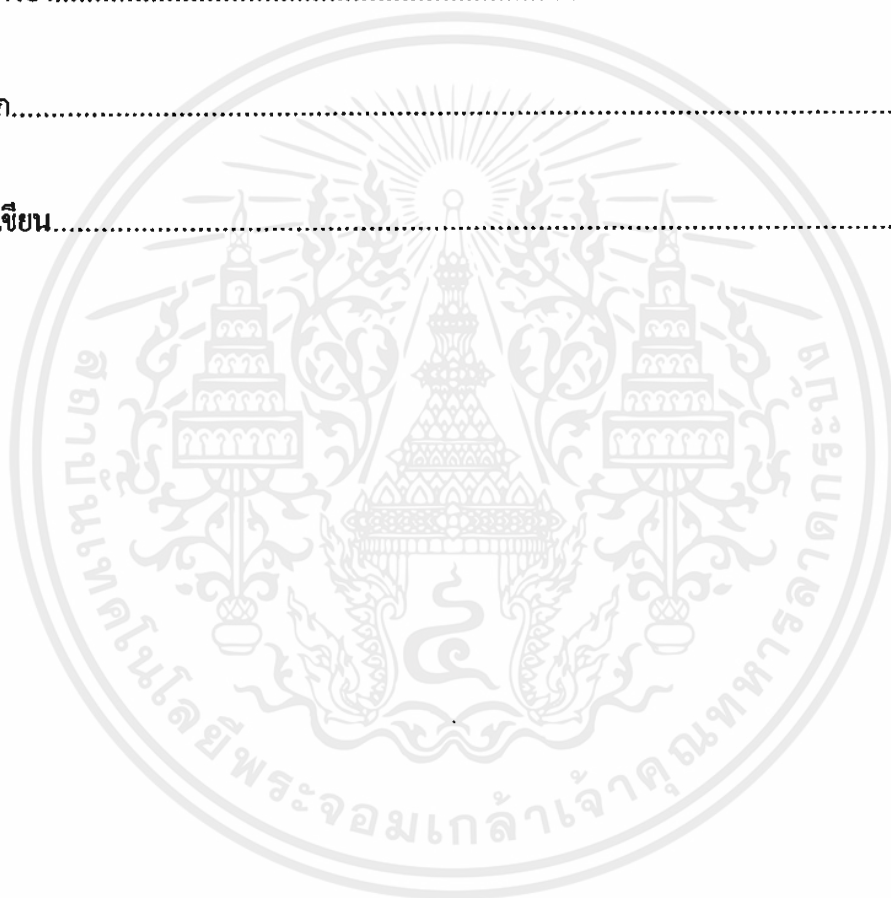
เอกสารนี้เป็นเอกสาร  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.4.3 เทคนิคการสวิตช์เพื่อใช้สลับการทำงานเพื่อเลือกติดต่อสื่อสารข้อมูลจากสายอากาศ 2 คู่.....	99
5.4.3.1 กรณีที่ 1.....	99
5.4.3.2 กรณีที่ 2.....	101
5.4.4 สายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปด.....	104
5.5 การวิเคราะห์ความสามารถของจำนวนครั้งการอ่านข้อมูล.....	107
5.6 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารในทิศทางอื่นนอกจากทิศทางตามแนวแกน $xy$ และ $z$ .....	112
5.7 บทสรุป.....	120
<b>บทที่ 6 การทดสอบและการประเมินผล.....</b>	<b>122</b>
6.1 บทนำ.....	122
6.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้นและทดลองในสภาพการใช้งานจริง... ..	122
6.3 การทดสอบสายอากาศ.....	124
6.3.1 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดเล็กที่ระยะ $d$ เท่ากับ 60 cm กับแท็กแบบ Bolus (ใช้กับแกะ).....	124
6.3.2 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดเล็กที่ระยะ $d$ เท่ากับ 100 cm กับแท็กแบบ ISO Card.....	125
6.3.3 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดเล็กเพื่อหาระยะที่ดีที่สุด ในกรณีติดต่อสื่อสารในทิศทางที่เหมาะสมเมื่อใช้กับแท็กชนิดต่างๆ.....	127
6.3.4 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดใหญ่.....	127
6.3.5 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1.....	129
6.4 ผลการทดลองใช้สายอากาศในสภาพการใช้งานจริง.....	132
6.4.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ในกรณีใช้แท็กแบบ Bolus ร่วมกันแท่งแม่เหล็ก.....	132
6.4.2 การทดลองใช้สายอากาศในกรณีใช้งานจริงกับแกะ.....	136
6.4.3 การทดลองใช้สายอากาศในกรณีใช้งานจริงกับโค.....	137
6.5 บทสรุป.....	137

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 7 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	139
7.1 สรุปเนื้อหาโดยรวม.....	139
7.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	141
เอกสารอ้างอิง.....	142
ภาคผนวก.....	143
ประวัติผู้เขียน.....	149



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ค่าพารามิเตอร์ของขดลวด.....	29
3.1 การเข้ารหัสค่าของตัวแปรเลขฐานสิบเป็นรหัสไบนารี.....	58
4.1 ผลกระทบของจำนวนกลุ่มสมาชิก.....	71
5.1 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขดมีเฟสตรงกัน.....	87
5.2 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	88
5.3 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้านเดียว.....	91
5.4 ตารางเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณที่ระยะทางในการพิจารณาเท่ากับ 100 cm และระยะทางที่มากที่สุด ในกรณีที่ติดต่อดำเนินการได้ของสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้านเดียวแบบประจูดเคลื่อนผ่านสายอากาศสองขดมีเฟสต่างกัน 180 องศา และแบบประจูดเคลื่อน ผ่านสายอากาศสองขดมีเฟสตรงกัน.....	91
5.5 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณที่มากที่สุดของสายอากาศทั้ง 6 ลักษณะ ในกรณีที่ป้อนกระแสให้ สายอากาศทั้งสองขดมีเฟสตรงกัน ( $H_r$ เท่ากับ 175 mA/m).....	95
5.6 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณที่มากที่สุดของสายอากาศทั้ง 6 ลักษณะ ในกรณีที่ป้อนกระแสให้ สายอากาศทั้งสองขดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ( $H_r$ เท่ากับ 175 mA/m).....	96
5.7 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณ ณ บริเวณกลางระนาบของสายอากาศทั้ง 6 ลักษณะ ในกรณีที่ป้อน กระแสให้สายอากาศทั้งสองขดมีเฟสตรงกัน ( $H_r$ เท่ากับ 175 mA/m).....	96
5.8 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณ ณ บริเวณกลางระนาบของสายอากาศทั้ง 6 ลักษณะ ในกรณีที่ป้อน กระแสให้สายอากาศทั้งสองขดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ( $H_r$ เท่ากับ 175 mA/m).....	97
5.9 ตารางเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณที่ระยะทางในการพิจารณาเท่ากับ 100 cm ในกรณีที่ ติดต่อดำเนินการได้ของสายอากาศแบบวงรูปเลขแปด แบบประจูดเคลื่อนผ่านสายอากาศสองขดมี เฟสต่างกัน 180 องศา และแบบประจูดเคลื่อนผ่านสายอากาศ.....	105
5.10 ทิศทางของเวกเตอร์หนึ่งหน่วยปกติทิศทางที่ใช้ในการพิจารณาลักษณะการวางตัวของแท่งใน ทิศทางอื่นนอกเหนือจากทิศทาง $x$ $y$ และ $z$ .....	113
5.11 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของสายอากาศแบบที่ 1 ในทิศทางตามเวกเตอร์หนึ่งหน่วย.....	117
5.12 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของสายอากาศแบบวงรูปเลขแปดแบบที่ 1 กรณีป้อน กระแสต่างเฟสกัน 180 องศา ในทิศทางตามเวกเตอร์หนึ่งหน่วย.....	120

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ลักษณะการสื่อสารข้อมูลระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก.....	1
1.2 สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	3
1.3 สายอากาศแบบบ่วงคู่ทรงสี่เหลี่ยมคางหมู.....	4
2.1 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพลาสติก.....	9
2.2 แท็กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบเอ็กทีฟ.....	10
2.3 แท็กแบบงานและเหรียญ.....	10
2.4 แท็กแบบกระดาษแก้ว.....	10
2.5 แท็กแบบพลาสติก.....	11
2.6 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ.....	11
2.7 แท็กแบบพวงกุญแจ.....	12
2.8 แท็กแบบนาฬิกา.....	12
2.9 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส.....	13
2.10 แท็กแบบ Smart Label.....	13
2.11 ส่วนประกอบของเครื่องอ่าน.....	14
2.12 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex.....	15
2.13 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กเป็นการรับพลังงานไฟฟ้า จากเครื่องอ่าน.....	19
2.14 การคำนวณของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก $B$ ที่จุดสังเกต $P$ โดยการป้อนกระแส ( $I$ ) ที่ลวดตัวนำ.....	22
2.15 การคำนวณความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก $B$ ที่จุดสังเกต $P$ โดยการป้อน กระแส ( $I$ ) เข้าบ่วง.....	23
2.16 การลดลงของค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก $B$ กับระยะห่าง $r$ .....	23
2.17 พื้นฐานโครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านและสายอากาศแท็กในระบบ ระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	24
2.18 การปรับทิศทางของสายอากาศของแท็กให้เหมาะสม.....	26
2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-รอบกับระยะการอ่าน.....	27
2.20 รูปของขดลวด 1 ชั้น.....	32
2.21 สายอากาศขดลวดบ่วงวงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใด ๆ.....	33
2.22 สายอากาศขดลวดแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสหลายชั้น.....	33

## สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 รูปแบบต่าง ๆ ของสายอากาศขดลวดของแท็ก.....	34
2.24 สายอากาศบ่วงหม้อแปลงของเครื่องอ่าน.....	35
2.25 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน.....	36
2.26 แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม.....	38
2.27 ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพกับรูปแบบการมอดูเลต.....	40
2.28 ค่าแรงดันกับค่าความถี่สำหรับวงจรเรโซแนนซ์.....	41
2.29 ผลตอบสนองทางความถี่สำหรับวงจรเรโซแนนซ์.....	42
2.30 ระยะเวลาอ่านกับขนาดของแท็กสำหรับการประยุกต์ที่ระยะใกล้.....	43
2.31 ระยะเวลาอ่านกับขนาดของแท็กสำหรับการประยุกต์ที่ระยะไกล.....	43
2.32 ทิศทางสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงขดลวด 2 เกตประตู ต่อแบบเฟสเดียวกัน.....	44
2.33 ทิศทางสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงขดลวด 2 เกต ต่อแบบต่างเฟสกัน 180 องศา.....	45
2.34 สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่าน.....	45
2.35 วงจรเสมือนของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูเดินผ่าน.....	45
2.36 ลักษณะของกระแสภายในขดลวดของสายอากาศแบบบ่วงคู่.....	46
3.1 รูปแบบการออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม.....	50
3.2 กราฟของฟังก์ชัน Unimodal แบบหนึ่งตัวแปร.....	52
3.3 ฟังก์ชัน $f(x)$ และ Interpolated quadratic.....	52
3.4 ลักษณะของฮินในกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม.....	59
3.5 ลักษณะของโครโมโซมในกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม.....	60
3.6 กระบวนการเลือกสมาชิกด้วยวงล้อหมุน.....	62
3.7 การทำงานของตัวปฏิบัติการ Crossover.....	62
3.8 การทำงานของตัวปฏิบัติการ Mutation.....	63
3.9 ลำดับการทำงานของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม.....	65
4.1 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าจำนวนกลุ่มสมาชิก เมื่อกำหนดค่าเท่ากับ 20.....	71
4.2 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าจำนวนกลุ่มสมาชิก เมื่อกำหนดค่าเท่ากับ 40.....	72

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าจำนวนกลุ่มสมาชิก เมื่อกำหนดค่าเท่ากับ 60.....	72
4.4 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าจำนวนกลุ่มสมาชิก เมื่อกำหนดค่าเท่ากับ 80.....	73
4.5 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าจำนวนกลุ่มสมาชิก เมื่อกำหนดค่าเท่ากับ 100.....	73
4.6 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของ Crossover เท่ากับ 0%....	74
4.7 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของ Crossover เท่ากับ 20%...75	75
4.8 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของ Crossover เท่ากับ 40%...75	75
4.9 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของ Crossover เท่ากับ 60%...76	76
4.10 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของ Crossover เท่ากับ 80%..76	76
4.11 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของ Crossover เท่ากับ100%77	77
4.12 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของ Mutation เท่ากับ 0%...78	78
4.13 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของ Mutation เท่ากับ 4%...78	78
4.14 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของ Mutation เท่ากับ 6%...79	79
4.15 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของ Mutation เท่ากับ 10%..79	79
4.16 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของ Mutation เท่ากับ 20%..80	80
4.17 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของ Mutation เท่ากับ 30%..80	80
4.18 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของ Mutation เท่ากับ 40%..81	81
5.1 สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่จัดวางในลักษณะประจุเดินผ่าน.....	83
5.2 การแบ่งระยะตามแนว $x$ และ $z$ ออกเป็นส่วนย่อย.....	85
5.3 การพิจารณาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร.....	86
5.4 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่าง สายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศ ทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน.....	88
5.5 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่าง สายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศ ทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	89

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 ความสามารถในการติดต่อดสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	90
5.7 แผนผังการทำงานของกระบวนการสืบทอดพันธุกรรมอย่างง่าย.....	92
5.8 การจำแนกสายอากาศแบบบ่วงคู่.....	94
5.9 การจัดวางสายอากาศบ่วงคู่แบบประตูดินผ่านในลักษณะต่างๆ.....	94
5.10 โครงสร้างของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1.....	97
5.11 ความสามารถในการติดต่อดสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	98
5.12 ความสามารถในการติดต่อดสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน.....	98
5.13 โครงสร้างของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ 2.....	100
5.14 ความสามารถในการติดต่อดสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวตรงของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ 2 ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	100
5.15 โครงสร้างของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1.....	101
5.16 ความสามารถในการติดต่อดสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบบ่วงคู่แบบที่ 2 กรณีที่ 1 เมื่อสายอากาศแต่ละคู่มิมีการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุด (ของแต่ละคู่นั้น) มีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	101
5.17 โครงสร้างของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 2.....	102
5.18 ความสามารถในการติดต่อดสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 2 โดยสายอากาศคู่ที่ 1 จะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสต่างกัน 180 องศาและสายอากาศคู่ที่ 2 จะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสตรงกัน.....	103
5.19 ความสามารถในการติดต่อดสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 2 โดยสายอากาศคู่ที่ 1 จะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสต่างกัน 180 องศาและสายอากาศคู่ที่ 2 จะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสตรงกันและกลับหัวกัน.....	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการขออนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป(ต่อ)

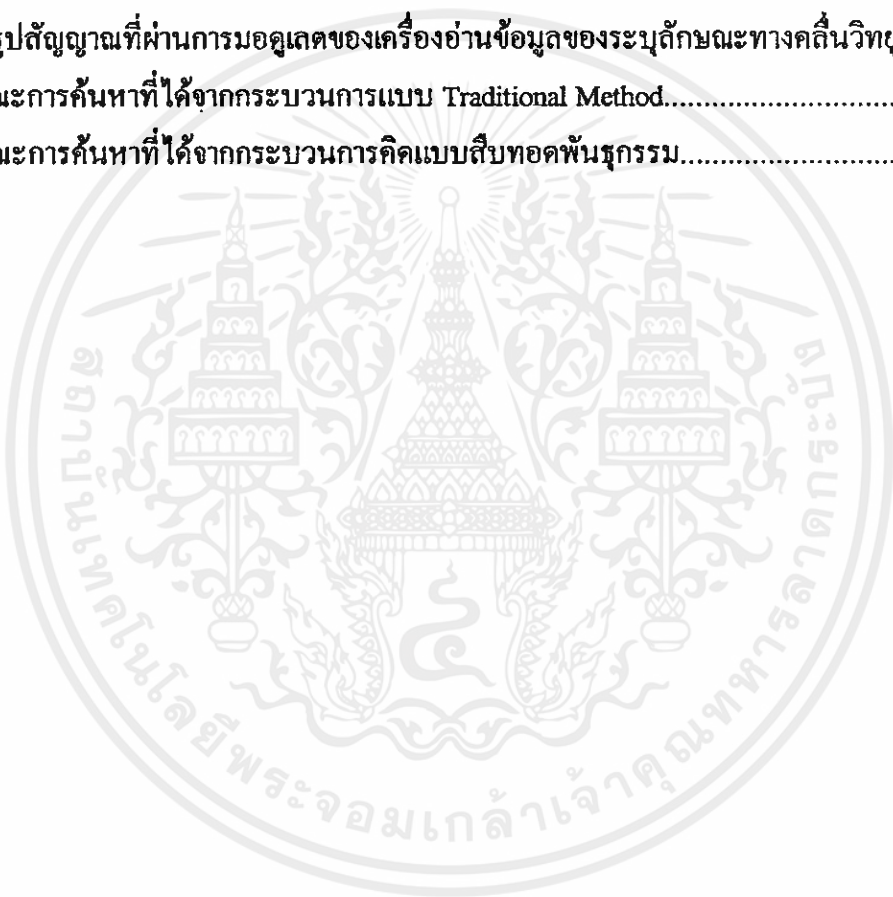
รูปที่	หน้า
5.20 สายอากาศแบบวงรูปเลขแปด.....	104
5.21 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบวงรูปเลขแปดแบบที่ 1 โดยจะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสตรงกัน.....	105
5.22 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบวงรูปเลขแปดแบบที่ 1 โดยจะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	106
5.23 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบวงรูปเลขแปดแบบที่ 2 โดยจะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสตรงกัน.....	106
5.24 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบวงรูปเลขแปดแบบที่ 2 โดยจะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....	107
5.25 ทิศทางการเคลื่อนที่ของแท็กตามแนวแกน $x$ .....	108
5.26 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศแสดงเป็นจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลเมื่อแท็กวางตัวในแนวแกน $x$ ของสายอากาศแบบที่ 1.....	109
5.27 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศแสดงเป็นจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลเมื่อแท็กวางตัวในแนวแกน $y$ ของสายอากาศแบบที่ 1.....	110
5.28 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศแสดงเป็นจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลเมื่อแท็กวางตัวในแนวแกน $z$ ของสายอากาศแบบที่ 1.....	111
5.29 ลักษณะการวางตัวของแท็กชนิด ISO-Card และ Bolus ในทิศทาง $x$ $y$ และ $z$ .....	112
5.30 ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ทำการศึกษา 8 ลักษณะการวางตัวในระบบพิกัดฉากแสดงด้วยเวกเตอร์หนึ่งหน่วย.....	113
5.31 แสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กของแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศในแนวแกนทั้ง 8 ของสายอากาศแบบที่ 1.....	115
5.32 แสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กของแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศในแนวแกนทั้ง 8 ของสายอากาศแบบวงรูปเลขแปดแบบที่ 1 กรณีป้อนกระแสต่างเฟสกัน 180 องศา.....	118
6.1 เครื่องอ่านข้อมูล RFID.....	123
6.2 ชนิดของแท็กที่ใช้ในการทดสอบ.....	123

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.3	แท่งแม่เหล็กที่ใช้สำหรับดูดเศษเหล็กในกระเพาะ โค.....123
6.4	ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด Bolus (ใช้กับแกะ) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดเล็ก โดยมีระยะ $d$ เท่ากับ 60 cm.....125
6.5	ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด ISO Card ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดเล็ก โดยมีระยะ $d$ เท่ากับ 100 cm ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา.....126
6.6	ภาพถ่ายของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดใหญ่.....127
6.7	ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด Bolus (ใช้กับ โค) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดเฟสต่างกัน 180 องศา ขนาดใหญ่โดยมีระยะ $d$ เท่ากับ 70 cm.....128
6.8	ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด Bolus (ใช้กับ โค) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดเฟสตรงกันขนาดใหญ่โดยมีระยะ $d$ เท่ากับ 70 cm.....129
6.9	การทำงานของวงจรสวิตช์.....130
6.10	ภาพถ่ายของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1.....130
6.11	ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด ISO Card ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1 ขนาดเล็ก โดยมีระยะ $d$ เท่ากับ 100 cm.....131
6.12	ภาพถ่ายแท่งแม่เหล็กสำหรับดูดเศษเหล็กในกระเพาะ โค.....132
6.13	ภาพถ่ายในกรณีที่แท่งแม่เหล็กขนานกับแท็ก.....133
6.14	ภาพถ่ายในกรณีที่แท่งแม่เหล็กวางตั้งฉากกับแท็ก.....134
6.15	ภาพถ่ายในกรณีที่แท่งแม่เหล็กวางทำมุม 45 และ 135 องศา กับแท็ก.....134
6.16	เปรียบเทียบรูปแท่งแม่เหล็กที่มองด้านแคบกับที่มองด้านกว้าง.....135
6.17	ผลการทดสอบในกรณีที่แท่งแม่เหล็กวางขนานกับแท็ก.....135
6.18	ผลการทดสอบในกรณีที่แท่งแม่เหล็กวางตั้งฉากกับแท็ก.....135

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.19 ผลการทดสอบในกรณีที่แท่งแม่เหล็กทำมุม 45 และ 135 องศากับแท่ง.....	136
6.20 ภาพถ่ายการทดลองใช้สายอากาศในกรณีใช้งานจริงกับแคะ.....	137
6.21 ภาพถ่ายการทดลองใช้สายอากาศในกรณีใช้งานจริงกับโค.....	137
ก.1 เครื่องอ่านข้อมูลของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุงานจริงกับ โค.....	144
ก.2 สัญญาณพาหะของเครื่องอ่านข้อมูลของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	145
ก.3 แบบรูปสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตของเครื่องอ่านข้อมูลของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ.....	146
ข.1 ลักษณะการค้นหาที่ได้จากกระบวนการแบบ Traditional Method.....	147
ข.2 ลักษณะการค้นหาที่ได้จากกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม.....	147



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

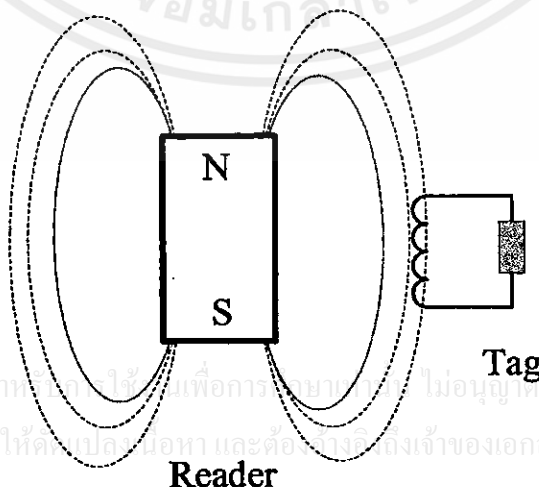
## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

เทคโนโลยีแสดงตัวตนแบบอัตโนมัติหรือที่เรียกเป็นศัพท์ทางวิชาการว่า Automatic Identification หรือ Auto-ID มีมาตรฐานอยู่หลายประเภท บางประเภทต้องใช้การสัมผัสกับเครื่องอ่าน (Contact Auto-ID) ในขณะที่อีกหลาย ๆ ประเภทเป็นแบบไม่ต้องใช้การสัมผัสกับเครื่องอ่าน (Contactless Auto-ID) ในปัจจุบันได้เกิดมาตรฐาน Auto-ID ใหม่ที่ได้รับความนิยมใช้งานมากขึ้นเรื่อย ๆ อันเป็นผลมาจากความสะดวกในการใช้งาน รวมถึงศักยภาพในการรองรับข้อมูลและความต้องการใช้งานได้ทุกรูปแบบอีกทั้งยังมีมูลค่าต้นทุนที่ไม่สูงมาก โดยเป็นมาตรฐานสื่อสารแบบไม่สัมผัส ซึ่งช่วยลดปัญหาความไม่เที่ยงตรง และคลาดเคลื่อนในการอ่านและเขียนข้อมูลเมื่อเทียบกับการใช้งานแบบสัมผัสที่อาจมีการสึกหรอของหน้าสัมผัส มาตรฐานดังกล่าวมีชื่อเรียกว่าระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification : RFID)

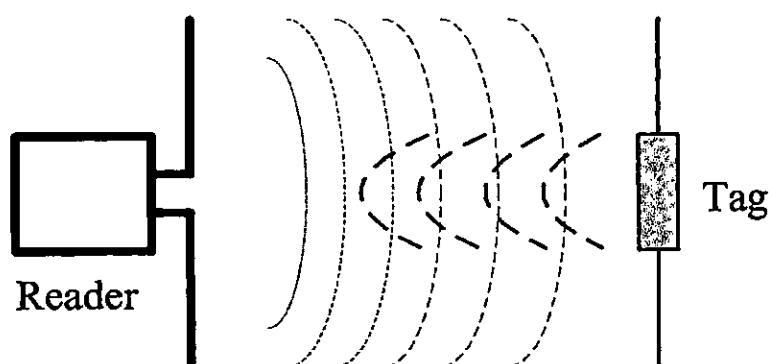
ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification : RFID) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นวิทยุในการระบุลักษณะของคน สัตว์ หรือวัตถุโดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communications) การสื่อสารข้อมูลของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ คือการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน (Reader) กับ แท็ก (Tag) โดยแบ่งออกเป็นสองหลักการคือ วิธีแรกเป็นวิธีเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) วิธีที่สองเป็นวิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งานในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ [1] ดังแสดงในรูปที่

1.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการขยายความรู้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกข้อมูล และต้องแจ้งผู้ถือลิขสิทธิ์เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) วิธีเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในย่านความถี่ LF และ HF



(ข) วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในย่านความถี่ UHF และ Microwave

### รูปที่ 1.1 ลักษณะการสื่อสารข้อมูลระหว่างสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก [1]

ปัจจุบันระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่ำนิยมนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบการลงทะเบียนสัตว์และการจัดการฟาร์ม อันจะทำให้เป็นการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้กับอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ของประเทศ และเป็นระบบพื้นฐานให้กับโครงการระบบตรวจสอบย้อนกลับของอาหาร (Food Traceability) และ โครงการอาหารปลอดภัย (Food Safety) ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญเพราะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กที่ติดอยู่กับตัวสัตว์ โดยที่แท็กส่วนใหญ่สำหรับการลงทะเบียนสัตว์จะเป็นแบบพาสซีฟ (Passive Tag) ซึ่งไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอก และมีทิศทางการวางตัวที่ไม่แน่นอนในการใช้งานจริง

สำหรับสายอากาศของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุของเครื่องอ่านข้อมูลในย่านความถี่ต่ำที่ความถี่ 125 kHz และ 134.2 kHz ในการประยุกต์ใช้งานในระบบการบ่งชี้และติดตามสัตว์โดยทั่วไปมีรูปร่างเป็นแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Loop) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 หรือเป็นแบบวงวงกลม (Circular Loop) [1]-[2] ซึ่งบ่วงลักษณะนี้ใช้งานกับแท็กได้ในบางลักษณะการจัดวางเท่านั้น ซึ่งถ้าสายอากาศของแท็กไม่ได้วางตัวอยู่ในแนวขนานกับระนาบสายอากาศของเครื่องอ่านก็จะทำให้ประสิทธิภาพของการติดต่อสื่อสารด้อยลง [1]-[2] นอกจากนี้รูปแบบของสายอากาศก็จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมกับการใช้งานในด้านต่าง ๆ ซึ่งลักษณะการติดตั้งสายอากาศแบบที่นิยมใช้ทั่วไปเช่น สายอากาศแบบมีลักษณะเป็นประตูด้านเดียว (แบบติดตั้งที่ผนังเดี่ยว) และสายอากาศแบบประตูเดินผ่าน (Walk Through Gate) สายอากาศแบบประตูเดินผ่านที่ใช้กันส่วนใหญ่มีโครงสร้างประกอบไปด้วยบ่วงสองบ่วง (บ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือบ่วงวงกลม) และช่องทางสำหรับเดินผ่านจะอยู่ระหว่างกลางบ่วงทั้งสอง เนื่องจากสายอากาศลักษณะนี้สามารถติดต่อกับแท็กได้ในบางลักษณะการจัดวางเท่านั้น ดังนั้นการออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้สายอากาศมีโครงสร้างที่เหมาะสมกับการใช้งาน ในสถานที่ที่มีลักษณะการติดตั้งแบบต่าง ๆ และให้เครื่องอ่านและแท็ก

สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ในทุกลักษณะการจัดวางและเพียงพอกับความต้องการของระบบ ทั้งนี้เพื่อลดเวลาและความผิดพลาดในการลงทะเบียนสัตว์



รูปที่ 1.2 สายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

จากงานวิจัยของ ชาวลาธวัช หมั่นทรัพย์และคณะ ได้ทำการออกแบบสายอากาศบ่วงคู่ทรงสี่เหลี่ยมคางหมู [11] ดังแสดงในรูปที่ 1.3 มีข้อดีคือสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้หลากหลายลักษณะการจัดวาง ซึ่งพิจารณาจากการส่งผ่านข้อมูลของเครื่องอ่านข้อมูลกับแท็ก โดยใช้สนามแม่เหล็กที่กระจายออกจากสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลและการที่เครื่องอ่านข้อมูลจะสามารถติดต่อกับแท็กได้นั้น แท็กจะต้องสามารถรับความเข้มสนามแม่เหล็กอย่างน้อยเท่ากับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กกระตุ้น (Activation Magnetic Field Strength) ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่แท็กจะสามารถรับได้นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวางของแท็ก และลักษณะการกระจายสนามแม่เหล็กของสายอากาศ จึงจำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลแบบบ่วงคู่ เริ่มจากการพิจารณาแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กก่อน จากนั้นจึงนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร (Percentage of Volume:  $P_v$ ) ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรสามารถหาได้จากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิว (Percentage of Surface:  $P_s$ ) และค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น (Percentage of Line:  $P_l$ ) โดยที่ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรเป็นค่าคุณสมบัติที่บอถึงความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กในบริเวณหรือปริมาตรที่พิจารณา เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมีค่าสูง เครื่องอ่านข้อมูลและแท็กสามารถติดต่อสื่อสารได้อย่างทั่วถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 สายอากาศแบบบ่วงคู่ทรงสี่เหลี่ยมคางหมู

อย่างไรก็ตามลักษณะการจัดวางของแท่งก็มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร ดังนั้นในทางปฏิบัติการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรจะทำการวิเคราะห์สำหรับการจัดวางของแท่งในสามทิศทางหลักที่ตั้งฉากกัน คือค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $x$  ( $P_{v,H_x}$ ) ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $y$  ( $P_{v,H_y}$ ) และค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $z$  ( $P_{v,H_z}$ ) โดยที่สายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลที่ต้องการให้ติดต่อสื่อสาร ได้อย่างทั่วถึงจะต้องมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรเหล่านี้ที่สูงในทุกแนวแกน อย่างไรก็ตามกระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศต้องการระเบียบขั้นตอนที่มีความยืดหยุ่นเพียงพอสำหรับการลงทะเบียนสัณฐานแต่ละชนิด เนื่องจากพารามิเตอร์ของสายอากาศมีหลายตัวแปร ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอการหาค่าที่เหมาะสมโดยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม (Genetic-Algorithm (GA) Optimization) เพราะกระบวนการนี้สามารถค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับฟังก์ชันที่มีความซับซ้อนได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ อีกทั้งมีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแบบดั้งเดิม (Traditional Optimization Algorithms) ซึ่งวิธีการดั้งเดิมมีรูปแบบการค้นหาค่าพารามิเตอร์ไม่เป็นแบบสุ่ม จึงทำให้ไม่สามารถหาค่าของพารามิเตอร์ของฟังก์ชันที่มีความซับซ้อนได้ [10]

จากการศึกษาการแก้ไขข้อจำกัดในเรื่องการไม่สามารถกระจายสนามได้ในทุกทิศทาง โดยการใช้สายอากาศแบบบ่วงหลายชุดที่จัดวางเรียงตัวในแกนต่างๆ กันใน 3 ทิศทาง ตัวอย่างเช่น สิทธิบัตรสหรัฐอเมริกา US 3,665,449 (Elder et al.) ที่จัดให้มีสายอากาศแบบขดลวดที่ถูกวางไขว้กันในทุกทิศทางตามแกน  $x$  และ  $y$  และสายอากาศแบบบ่วงวงกลมวางในระนาบ  $x-y$  และจ่ายพลังงานให้กับขดลวดแต่ละขดสลับกันไปเป็นลำดับเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนเปลี่ยนแปลงในทุกทิศทางตามแกน  $x$   $y$  และ  $z$  ในขณะที่สิทธิบัตร US 3,990,065 (Purinton et al.) ที่ใช้สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจำนวนสามชุดวางในสามระนาบที่ตั้งฉากกัน ได้แก่ ระนาบ  $x-y$  ระนาบ  $x-z$  และระนาบ  $y-z$  เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กในทุกทิศทางแกน  $z$  แกน  $y$  และแกน  $x$  ตามลำดับ

ซึ่งการจัดลำดับสายอากาศให้มีจำนวนหลายชุดนี้ทำให้เครื่องอ่านมีขนาดใหญ่ทำให้มีต้นทุนสูง และระบบมีความยุ่งยากซับซ้อนต้องจ่ายพลังงานให้ขดลวดแต่ละขดเป็นลำดับเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง

เพื่อแก้ปัญหาในการรับส่งสัญญาณในหลายทิศทาง สิทธิบัตร US 4,135,183 (Heltemes) เสนอเทคนิคที่ต่างออกไป โดยออกแบบสายอากาศที่มีรูปเหมือนเลขแปด หรือนาฬิกาทราย ที่เหมือนกันจำนวน 1 คู่ วางอยู่ในระนาบเดียวกันแต่ขดลวดวางอยู่ตรงข้ามกันในช่องทางเดินที่เป็นโซนสำหรับตรวจจับ ขดลวดดังกล่าวจะกระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่หลากหลายแปรเปลี่ยนในบริเวณต่างๆ ภายในโซนตรวจจับ ทำให้เพิ่มความสามารถในการติดต่อกันระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กในทิศทางต่างๆ กัน ได้ดียิ่งขึ้น ในขณะที่สิทธิบัตร US 5,440,296 (Nelson) ได้ใช้สายอากาศแบบขดลวดที่มีลักษณะคล้ายสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีส่วนของขดลวดที่วางตัวอยู่ในแนวเฉียงสองตัวติดตั้งเป็นแบบประตูดินค่าน เพื่อช่วยในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางต่างๆ ใ้ อย่างไรก็ดี ระบบสิทธิบัตรดังกล่าวยังคงค่อนข้างซับซ้อน

## 1.2 ความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากการออกแบบงานด้านวิศวกรรมเพื่อให้ได้ผลงานที่มีลักษณะตามความต้องการมีความยุ่งยาก โดยเฉพาะงานด้านวิศวกรรมการออกแบบสายอากาศเพราะเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของตัวสายอากาศและคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและเกี่ยวเนื่องกับรูปร่างของสายอากาศ ฉะนั้นหากสายอากาศมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากก็ยิ่งทำให้เกิดจำนวนตัวแปรที่ต้องทำการออกแบบมากขึ้นเป็นเหตุให้การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศทำได้ยาก จากการออกแบบสายอากาศแบบวงกุ่มติดตั้งแบบประตูดินค่านสำหรับระบบลงทะเบียนสัตว์และการจัดการฟาร์มเพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมากที่สุดในทุกแนวแกนนั้นมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายตัวทำให้การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ที่ใกล้เคียงนั้นไม่เพียงพอ จึงต้องอาศัยกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมเข้ามาช่วยในการออกแบบสายอากาศ ปัจจุบันมีกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมอยู่สองแบบคือ แบบแรกเป็นกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่อาศัยการคำนวณที่มีหลักการเฉพาะในการเปรียบเทียบเพื่อหาค่าที่เหมาะสม แบบที่สองเป็นกระบวนการที่อาศัยค่าความน่าจะเป็นในการเปรียบเทียบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับกลุ่มของตัวแปรค่าอื่น ซึ่งแบบที่สองนี้มีข้อดีคือสามารถประยุกต์ใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อน มีจุดสูงสุดและต่ำสุดหลายจุด จากข้อดีนี้จึงเลือกกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมเพื่อนำมาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบวงกุ่มติดตั้งแบบประตูดินค่านเพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมากที่สุดในทุกแนวแกน

### 1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตวิทยานิพนธ์

ในการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงหรือสายอากาศแบบโค ๆ นั้นความซับซ้อนและยุ่งยากในการออกแบบจะขึ้นอยู่กับ โครงสร้างของสายอากาศ ฉะนั้นในการหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้สายอากาศมีคุณสมบัติตามต้องการจึงต้องใช้เวลาและอาศัยบุคลากรในการจำลองแบบเพื่อค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วง จากกรณีการนำระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ ไปใช้งานกับระบบลงทะเบียนสัตว์และการจัดการฟาร์มจำเป็นต้องใช้สายอากาศแบบบ่วงที่สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้หลากหลายลักษณะการจัดวาง ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์

1. สร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้สำหรับการออกแบบสายอากาศแบบบ่วง
2. ประยุกต์ใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบสืบทอดพันธุกรรมเพื่อใช้ค้นหาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบบ่วงให้สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้หลากหลายลักษณะการจัดวาง
3. พัฒนาสายอากาศแบบบ่วงให้มีระยะการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กได้ไกลที่สุด

### 1.4 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมา ความสำคัญของปัญหาและวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมเพื่อการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ

บทที่ 2 ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำไม่ว่าจะเป็นลักษณะและประเภทของแท็ก การทำงานของเครื่องอ่าน ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ นอกจากนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบสายอากาศชนิดวงกลมที่นิยมใช้กันทั่วไปในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ และทำการศึกษาถึงผลการเกิดความเหนียวนำร่วมที่เกิดขึ้นระหว่างบ่วงคู่ของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน ซึ่งค่าความเหนียวนำร่วมดังกล่าวจะส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่ได้จากการทดสอบจริงและผลที่ได้จากการจำลองแบบแตกต่างกันเล็กน้อย

บทที่ 3 ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการการหาค่าที่เหมาะสมด้วยหลักการคิดแบบต่าง ๆ ที่มีใช้โดยทั่วไป และจะมุ่งเน้นทฤษฎีและหลักการการหาค่าที่เหมาะสมด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม หลักการเลือกค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ รวมทั้งการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

บทที่ 4 ในบทนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการศึกษาถึงผลกระทบของตัวปฏิบัติการของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมเช่น ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover ค่า

ความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation และจำนวนของชุดตัวแปร ว่ามีผลกระทบอย่างไรเมื่อประยุกต์ใช้งานในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วงในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

บทที่ 5 ในบทนี้ได้อธิบายถึงการจำลองแบบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบบ่วงที่เหมาะสมด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่และค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร เป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสายอากาศแบบบ่วง ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองนี้จะถูกนำไปสร้างสายอากาศต้นแบบ (สายอากาศแบบที่ 1) เพื่อทดสอบ และทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของสายอากาศแบบบ่วงด้วยเทคนิคการสวิตช์ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาสายอากาศรูปเลขแปด ซึ่งนำมาจากสิทธิบัตรระหว่างประเทศ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบที่ 1 ว่ามีความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กดีกว่าหรือไม่ จากนั้นได้นำสายอากาศแบบที่ 1 มาวิเคราะห์ความสามารถของจำนวนครั้งในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กและความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กในกรณีแท็กวางตัวอยู่นอกเหนือจากทิศ  $xy$  และ  $z$

บทที่ 6 กล่าวถึงการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กของสายอากาศบ่วงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า สายอากาศต้นแบบและทำการประเมินผลการใช้งานกับระบบการลงทะเบียนสัตว์ ทั้งนี้ยังได้ทำการศึกษาถึงผลของแท่งแม่เหล็กที่มีต่อการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก

บทที่ 7 สรุปเนื้อหาทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการของระบบระบุลักษณะ ทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ

### 2.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทั่วไปของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่อ่านความถี่ต่ำ [1]-[2] ซึ่งประกอบด้วย ประเภทของแท็กแบบต่าง ๆ หลักการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ กับแท็ก หลักการสื่อสารแบบ Inductive Coupling การเลือกใช้อุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ และการออกแบบสายอากาศแบบขดลวดที่ใช้ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ [3]-[4]

### 2.2 ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

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

ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะมีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือแท็ก ที่ใช้ติดกับวัตถุต่าง ๆ ที่เราต้องการ โดยแท็กที่ว่านี้จะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ เอาไว้ ส่วนที่สองก็คือเครื่องสำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อความเข้าใจจึงขอเปรียบเทียบกับระบบบาร์โค้ด เพื่อให้เห็นภาพชัดเจน แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุก็คือ ตัวบาร์โค้ดที่ติดกับฉลากของสินค้า และเครื่องอ่านในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ก็คือเครื่องอ่านบาร์โค้ด โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบคือ ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุจะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านหรือเขียน ส่วนระบบรหัสแท่งจะใช้แสงเลเซอร์ในการอ่าน โดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ด คือหลักการอ่านเป็นการใช้แสงในการอ่านรหัสแท่งซึ่งจะต้องอ่านรหัสแท่งที่ไม่มีอะไรไปกบปิดหรือต้องอยู่ในเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกน และอ่านวัตถุได้ทีละชิ้น ในระยะใกล้ ๆ แต่ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุจะแตกต่าง โดยสามารถอ่านแท็กได้โดยไม่ต้องเห็นแท็ก หรือแท็กนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุและ ไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นตรงกับคลื่น เพียงแต่อยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุยังสามารถอ่านได้หลาย ๆ แท็กในเวลาเดียวกัน

### 2.2.1 แท้ก

โครงสร้างภายในของแท้กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ ส่วนของไมโครชิป (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุเช่นรหัสสินค้า โดยทั่วไปแท้กอาจอยู่ในชนิดทั้งเป็น กระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุที่จะนำไปติด และมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ผลากสินค้า แคปซูล เป็นต้น แต่โดยหลักการอาจแบ่งแท้ก ที่มีใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในเรื่องของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงาน ซึ่งจะขกกล่าวถึงและอธิบายแยกเป็นหัวข้อดังนี้

#### 2.2.1.1 แท้กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ แบบพาสซีฟ

แท้กชนิดนี้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใด ๆ แสดงตามรูปที่ 2.1 เพราะภายในแท้กจะมีวงจรกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็ก เป็นแหล่งจ่ายไฟในตัวที่ทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก ขึ้นอยู่กับความแรงของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ ขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน

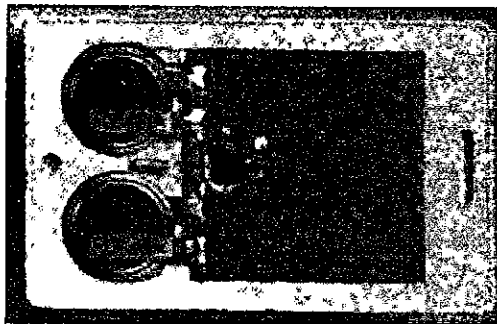


รูปที่ 2.1 แท้กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ

#### 2.2.1.2 แท้กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอ็กทีฟ

แท้กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรเครื่องส่งภายในแท้กซึ่งแท้กชนิดนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ส่งสัญญาณได้ไกล มีอายุการใช้งานสั้นและมีราคาแพง มักนิยมใช้กับเครื่องอ่านย่านความถี่ UHF หรือ ไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แท้กของระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบแอ็กทิฟ

### 2.2.2 ประเภทของแท้กในระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

อุปกรณ์แท้กในระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ประเภทต่าง ๆ ที่มีการผลิตใช้งานในกิจการต่าง ๆ ในปัจจุบัน โดยแยกกล่าวตามความแตกต่างของโครงสร้างและการออกแบบเป็นสำคัญตามด้วยตัวอย่างประเภทของการประยุกต์ใช้งาน

#### 2.2.2.1 แท้กแบบจานและเหรียญ (Disk and Coin)

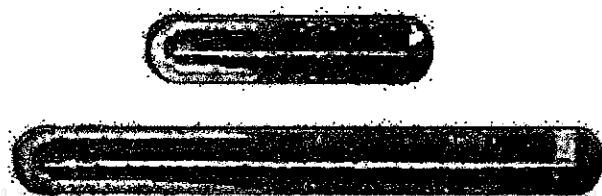
แท้กจะถูกบรรจุอยู่ในโครงสร้างทรงกลมคล้ายจานหรือเหรียญและมีการเคลือบป้องกันไว้เป็นอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท้กชนิดนี้มีตั้งแต่ไม่กี่มิลลิเมตร ไปจนถึง 10 cm



รูปที่ 2.3 แท้กแบบจานและเหรียญ

#### 2.2.2.2 แท้กแบบกระเปาะแก้ว (Glass Housing)

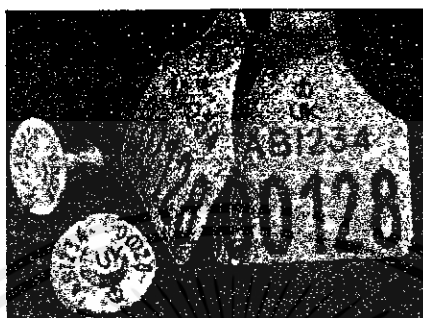
เป็นแท้กที่ได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นสำหรับใช้ฝังไว้ใต้ผิวหนังของสัตว์เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแวดวงปศุสัตว์และการสาธารณสุข ตัวกระเปาะแก้วมีขนาดความยาวในช่วง 12-32 mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรอ้างอิงในเพื่อการรักษาเท่านั้น มิใช่แนะนำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัด **รูปที่ 2.4** แท้กแบบกระเปาะแก้ว ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2.3 แท็กแบบพลาสติก (Plastic Housing)

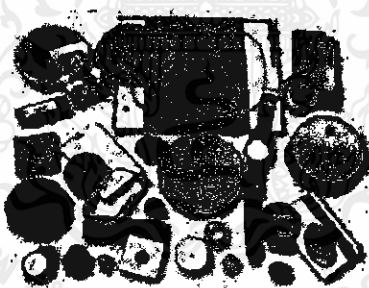
นิยมเรียกกันในชื่อย่อว่า PP (Plastic Package) ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในกิจการอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีความต้องการเฉพาะรูปแบบ แท็กแบบนี้มีขนาดบางและสามารถนำไปติดตั้งประกอบกับผลิตภัณฑ์หลาย ๆ ประเภท



รูปที่ 2.5 แท็กแบบพลาสติก

### 2.2.2.4 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ

เป็นแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ สำหรับใช้งานในกรณีเฉพาะกิจ โดยมีการคิดค้นและพัฒนาเพื่อบรรจุแท็กลงในโครงสร้างและหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะ

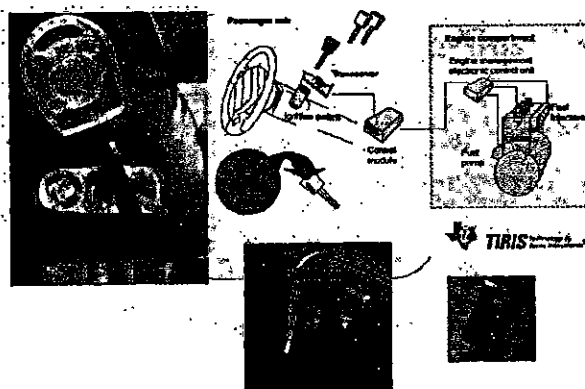


รูปที่ 2.6 แท็กสำหรับใช้เฉพาะกิจ

### 2.2.2.5 แท็กแบบพวงกุญแจ (Key and Key Fob)

แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สามารถได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปของกุญแจพิเศษที่ใช้ในการเปิดปิดประตู หรือ ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยต่าง ๆ ซึ่งพวงกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ไม่มีลูกกุญแจ แต่กลับทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งอาจมีการนำเข้ารหัสเพื่อใช้ในการยืนยันตัวตน

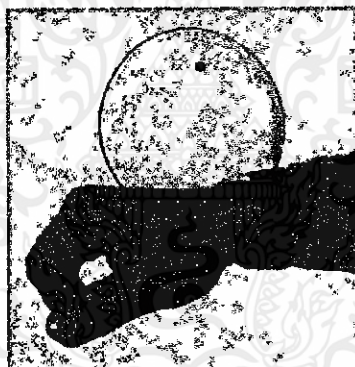
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แท็กแบบพวงกุญแจ

#### 2.2.2.6 แท็กแบบนาฬิกา

แท็กแบบนาฬิกาได้รับการคิดค้นและพัฒนาตั้งแต่ พ.ศ. 2533-2535 โดยบริษัทสัญชาติออสเตรเลียที่มีชื่อว่า Sky-Data โดยผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นนาฬิกาสวมใส่ข้อมือและใช้เป็นอุปกรณ์แสดงตัวตนในลักษณะช่องเซ็นเซอร์แบบไร้การสัมผัส (Contactless Sensor) เพื่อผ่านเข้าสู่จุดเล่นสกีสำหรับนักสกีทั้งหลาย



รูปที่ 2.8 แท็กแบบนาฬิกา

#### 2.2.2.7 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส

แท็กแบบ ID-1 มีรูปลักษณ์ภายนอกไม่ต่างจากบัตรเครดิตหรือบัตรโทรศัพท์ทั่วไป โดยมีขนาดประมาณ 85.72 คูณ 54.03 มม ความหนา 0.76 มม เป็นแท็กที่ได้รับการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติพิเศษก็คือระยะทำการรับส่งสัญญาณที่เหนือกว่าแท็กแบบอื่น ๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากพื้นที่หน้าตัดที่กว้างมากของตัวบัตร ทำให้สามารถจัดวางระบบสายอากาศที่มีแกนขนาดใหญ่ช่วยเพิ่มรัศมีทำการขึ้นได้อีกมาก

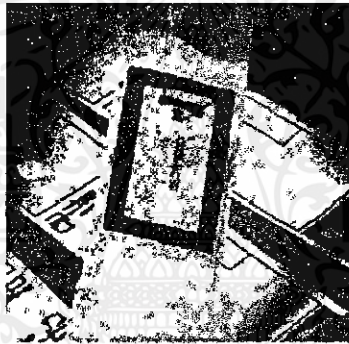
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แท็กมาตรฐาน ID-1 และ สมาร์ทการ์ดแบบไร้การสัมผัส

#### 2.2.2.8 แท็กแบบ Smart Label

เป็นแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ บางที่สุดที่ได้รับการออกแบบเป็นกระดาษบาง ๆ สามารถงอหรือทบได้ โดยขดลวดสำหรับรับส่งสัญญาณจะถูกออกแบบเป็นแถบพอยล์พลาสติกความหนาเพียง 0.1 mm โดยใช้ขบวนการผลิตแบบพิมพ์สกรีน โดยทั่วไปแถบพอยล์เหล่านี้จะถูกเคลือบชั้นหนึ่ง โดยเยื่อกระดาษและทับอีกชั้นหนึ่งด้วยสารยึดเกาะ เพื่อป้องกันการกรีกขาด



รูปที่ 2.10 แท็กแบบ Smart Label

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

แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ชนิดนี้มีความแตกต่างจากแท็กแบบอื่น ๆ ซึ่งมีการแยกส่วนระหว่างแท็กกับขดลวดหรือสายอากาศอย่างชัดเจน แต่สำหรับแท็กแบบขดลวดบนชิปนั้นจะรวมส่วนที่เป็นขดลวดสายอากาศและตัววงจรประมวลผลเข้าด้วยกัน

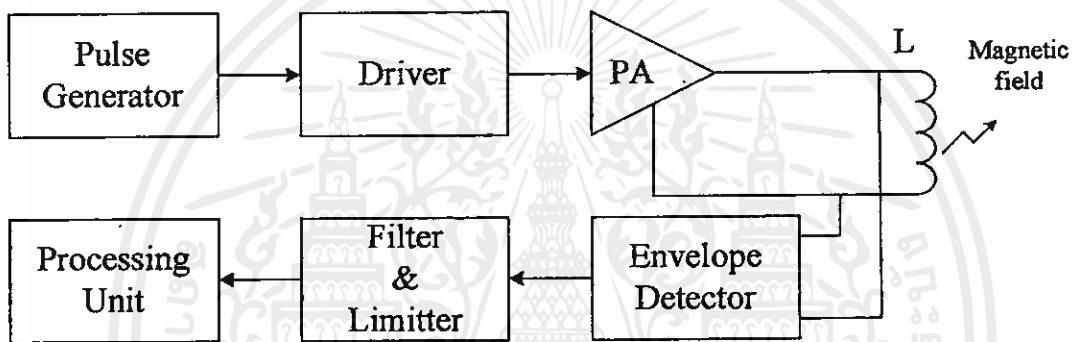
#### 2.2.3 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader)

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านแสดงดังรูปที่ 2.11 จะประกอบด้วย สายอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดงเพื่อรับส่งสัญญาณ ภาครับ-ส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล จำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้ [1]-[2] และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ

- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายใน โปรแกรม จะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะขนาดและรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็กหรือคิดค้นัง จนไปถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate Size) เป็นต้น



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของเครื่องอ่าน [1]

## 2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

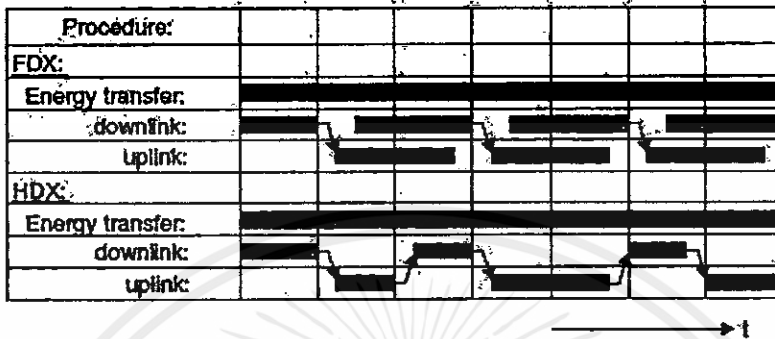
### 2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation Type)

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

#### 2.3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex (FDX)

เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลออกตลอดเวลา ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านทางคลื่นวิทยุไปจ่ายให้กับแท็กที่อยู่ในบริเวณการใช้งานด้วย และเนื่องจากความแรงของคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่แท็กส่งออกมาถึงส่งต่ำ ทำให้มีแนวโน้มว่าสัญญาณอาจส่งไปไม่ถึงเครื่องอ่าน หรืออาจส่งไปถึงแต่มีระดับสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ด้วย เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นของตนเองทำให้ส่งสัญญาณออกมาได้สูงกว่าดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการสร้างความแตกต่างของสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีการส่งออกมาจากแท็กแต่ละเครื่อง ให้มีเอกลักษณ์ (Identity) ที่แตกต่างกัน เพื่อให้เครื่องอ่านสามารถแยกแยะแหล่งที่มาได้อย่างถูกต้อง โดยใช้มอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation ซึ่งการสื่อสารแบบ

Full Duplex เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับแท็กได้ตลอดเวลา การส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านไปยังแท็ก (Downlink) และการส่งข้อมูลจากแท็กกลับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex [1]

### 2.3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ Half Duplex (HDX)

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

### 2.3.2 ขนาดข้อมูล (Data Quantity)

โดยทั่วไปอุปกรณ์แท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะมีขนาดของหน่วยความจำ หรือที่นิยมเรียกกันว่าขนาดความจุข้อมูล (Data Capacity) ไล่ขนาดตั้งแต่ไม่กี่ไบต์ไปจนถึงหลาย ๆ กิโลไบต์ ตัวอย่างแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ อีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาให้มีขนาดความจุเพียง 1 บิต (1-bit Transponder) ซึ่งแท็กแบบนี้มักมีราคาประหยัดและมีจุดประสงค์ในการนำไปใช้งานเพื่อการแจ้งสถานภาพเท่านั้น

### 2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)

การจำแนกประเภทของแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ตามขีดความสามารถในการโปรแกรมข้อมูล สามารถแบ่งออกได้เป็นแท็กที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ ซึ่งภายในจะมีการเขียนข้อมูลที่อาจเป็นรหัสเลขหมายใด ๆ ตามที่ได้รับคำสั่งข้างทำมาตั้งแต่สายการผลิตและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ อีกประเภทหนึ่งเป็นแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ที่สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลผ่านทางเครื่องอ่านได้ การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence) ในกรณี

ของแท็กที่สามารถ โปรแกรมได้นั้น ก็มีเทคนิคที่ใช้ในการจัดการประมวลผลข้อมูลให้เล็กลงพิจารณาเป็นเรื่องทางเทคนิค

### 2.3.4 แหล่งพลังงาน (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 โดยจะไม่สนใจว่าแท็กจะส่งคลื่นความถี่ในย่านใดตอบกลับมา ยิ่งในบางกรณีแท็กอาจมีการส่งคลื่นความถี่กลับมาเป็นค่าความถี่เดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกไป โดยแยกแยะความแตกต่างกันด้วยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation ประเด็นของคลื่นความถี่จากแท็กจึงไม่ใช่สาระสำคัญในการนำมาพิจารณา ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสาร โดยทั่วไปมีความถี่ใช้งาน สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบ่งออกได้เป็น 4 ย่าน หลัก ได้แก่

- 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

ในแง่การใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ (LF ระยะอ่านประมาณ 1 cm จนถึง 1 m และ HF ระยะอ่านประมาณ 1 m) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่าน UHF จะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-10 m) เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน และในปัจจุบันระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการระยะอ่านที่ไกลกว่า 10 m เป็นต้น

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้วระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด และมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วนระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ใช้คลื่นพาหะในอีก 2 ย่านความถี่แรกจะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

## 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

ส่วนการเลือกใช้อ่านความถี่ไมโครเวฟนั้น โดยทั่วไปจะให้ผลดีในเรื่องของระยะทางที่ไกลกว่าการเหนี่ยวนำโดยใช้คลื่นความถี่ต่ำ แต่อุปกรณ์แท็กที่ทำงานในย่านไมโครเวฟนั้นจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟสำรองไฟฟ้าทำให้ต้องมีขนาดใหญ่และมีข้อจำกัดในการพกพาหลาย ๆ ประการ สิ่งที่ควรพิจารณาประการหนึ่งสำหรับการใช้งานอุปกรณ์ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ในย่านความถี่ต่ำก็คือ การที่ระบบอาจถูกรบกวนจากการเดินเครื่องมอเตอร์ที่อยู่ใกล้เคียงได้ เนื่องจากเป็นการรับส่งข้อมูลที่ใช้การเหนี่ยวนำ ทำให้มีความนิยมใช้งานการสื่อสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟแทนในกรณีของการใช้งานภายในโรงงานอุตสาหกรรม

### 2.4.2 ระยะทำการ

ปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องโดยตรงต่อระยะทำการในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและแท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประการคือ ตำแหน่งของแท็กหรือระยะห่างขั้นต่ำระหว่างแท็กแต่ละตัวกับเครื่องอ่าน ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปแล้วแต่ประเภทของการใช้งาน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแท็ก และความเร็วในการอ่าน/เขียนข้อมูลของแท็ก

## 2.4.3 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย

### 2.4.3.1 การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล

การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจยืนยันแท้ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ และการเข้ารหัสข้อมูลที่จะถูกส่งผ่านทางคลื่นวิทยุ กระบวนการหรือความต้องการใช้งานในกรณีนั้น ๆ จำเป็นต้องใช้มาตรการรักษาความปลอดภัยหรือไม่ หรือหากต้องการใช้จะเป็นเพียงระดับใด เพื่อให้การลงทุนเป็นไปอย่างเหมาะสมที่สุด

### 2.4.3.2 การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์

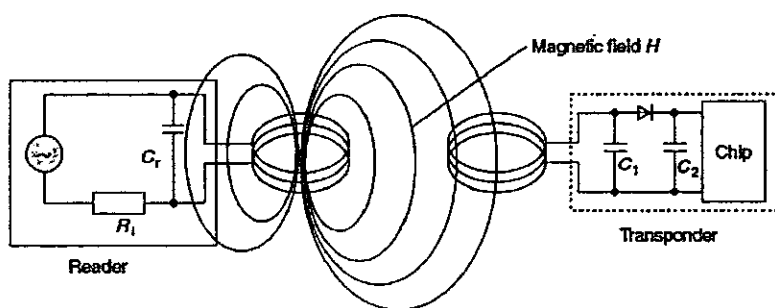
การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์ ที่ความถี่ 0.1-3.0 MHz จะต้องมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า (Electric Field Strength : E) ไม่เกิน 614 V/m ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Strength : H) ไม่เกิน  $16.3/f$  A/m ค่าความหนาแน่นกำลัง (Power Density : S) ไม่เกิน  $10,000/f^2$  mW/cm<sup>2</sup> โดยคิดที่เวลาเฉลี่ย (Averaging Time) 6 นาที ซึ่ง  $f$  มีหน่วยเป็น MHz [2] และในส่วนของมาตรฐานการลดทอนของความเข้มสนามแม่เหล็กที่ระยะ 10 m จะต้องมีค่าไม่เกิน 72 dB $\mu$ A/m ซึ่งเป็นมาตรฐานยุโรป EN300 [2]

## 2.4.4 ขนาดของหน่วยความจำ

ต้นทุนของแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ย่อมมีความสัมพันธ์กับลักษณะและขนาดของหน่วยความจำที่บรรจุอยู่ภายใน การใช้งานในระดับสาธารณะ เช่น ระบบขนส่งจึงนิยมใช้แท็กที่มีหน่วยความจำน้อย หรือในบางกรณีอาจใช้แท็กแบบ โปรแกรมไม่ได้ เพื่อควบคุมต้นทุนของบัตร โดยอาจใช้บัตรหรือแท็กทำหน้าที่ส่งข้อมูลแสดงหมายเลข แล้วให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นใช้งานภายในระบบหรือเครือข่ายขนส่งทำหน้าที่ตรวจสอบแทน โดยไม่ต้องเก็บข้อมูลไว้ในบัตร

## 2.5 เทคโนโลยีระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ใช้การสื่อสารแบบ Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็ก โครงสร้างของแท็กประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่เก็บบันทึกข้อมูลต่าง ๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ



รูปที่ 2.13 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กเป็นการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน [1]

### 2.5.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังแท็ก

เนื่องจากการทำงานของแท็กนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive Operation) คือไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตัวเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่านโดยตรงด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานสนามแม่เหล็กที่กำลังสูงพอให้สามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถเหนี่ยวนำขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของแท็กได้อย่างเหมาะสม ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนั้นมีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปวางห่างกันไม่มากนัก

เทคโนโลยีของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 125-134.2 kHz หรือ 13.56 MHz ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นยาวมากถึง 2,400 m ที่ความถี่ 125-134.2 kHz และ 22.12 m ที่ความถี่ 13.56 MHz จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือถูกกลทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่มีได้ไกลหรือกว้างมากนัก

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดสายอากาศของแท็ก ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อน ๆ ขึ้นบนขดลวด ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการกรองสัญญาณ โดยตัวเก็บประจุและไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป การออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ  $C_1$  ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสายอากาศ เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant Frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่แท็ก เปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองในรูปที่ 2.13 จะเทียบได้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวด 2 ชุด แต่ขดลวดทั้งสองมิได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน โดยใช้อากาศซึ่งมีการลวดทอนมากกว่าแกนแม่เหล็กมาก ๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่แท็ก มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและแท็ก

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

สิ่งที่ควรให้ความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบ Inductive Coupling ก็คือพฤติกรรมการกินกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ชิปที่ติดตั้งอยู่บนแท็ก เนื่องจากค่อนข้างมีความหลากหลายและสัมพันธ์กับรูปแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งาน การเลือกค่าความถี่พื้นฐานในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กระยะทางพื้นที่ใช้งาน และขนาดของอุปกรณ์อื่นเนื่องมาจากจำนวนรอบของขดลวดสายอากาศ จึงจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับประเภทของการใช้งานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

## 2.5.2 การส่งข้อมูลจากแท็กมายังเครื่องอ่าน

มาตรฐานของระบบระบบลักษณะทางคลื่นวิทยุ แบบ Inductive Coupling กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากแท็กมายังเครื่องอ่าน หรือ Uplink Communication โดยใช้เทคโนโลยีที่เป็นการส่งกระจายคลื่นความถี่วิทยุคือ Load Modulation จะมีหลักการทำงานดังนี้

### 2.5.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation

พฤติกรรมในการส่งสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของแท็กมีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศไม่ใช่โลหะดังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป แต่การใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและแท็กห่างกันไม่เกิน  $0.16$  เท่าของค่าความยาวคลื่น ( $0.16\lambda$ ) ซึ่งหากคิดกรณีที่ใช้ความถี่ในย่าน 125 kHz ที่มีความยาวคลื่น 2,400 m ก็จะสามารถวางแท็กกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน  $0.16$  คูณ  $2,400 = 384$  m [3]

หากมีการนำแท็กซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ ตรงกันกับค่าความถี่เรโซแนนซ์ของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กจากเครื่องอ่าน แท็กย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้ว เครื่องอ่านจะมองเห็นแท็กเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $Z_T$  ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์  $Z_T$  ที่เครื่องอ่านอย่างแน่นอน เนื่องจากในแง่ของวงจรเรโซแนนซ์ที่เกิดจากขดลวดและตัวเก็บประจุ บนแท็กย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่และไม่มี การจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับความถี่เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน  $Z_T$  นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน โดยปริยาย ซึ่งเป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากแท็กมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex นั้นขึ้นอยู่กับกรออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องลงรายละเอียดไปในการออกแบบ

## 2.6 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน

ในการพัฒนาสายอากาศระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุของเครื่องอ่าน มีเหตุผลหลักอยู่ 2 ประการคือ

- เพื่อต้องการส่งความถี่วิทยุ (คลื่นพาห้) ให้เป็นกำลังงานของแท็ก
- เพื่อรับสัญญาณความถี่วิทยุ (สัญญาณข้อมูล) จากแท็ก

สัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ สามารถที่จะแพร่กระจายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในมิติเชิงเส้นของสายอากาศ ซึ่งเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน ในการประยุกต์ใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ต่ำ (100 kHz-500 kHz) ความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งานจะมีค่าประมาณ 2-3 km (สัญญาณความถี่ 125 kHz จะได้  $\lambda=2.4$  km) เนื่องจากค่าของความยาวคลื่นมีค่ายาวมาก ในความเป็นจริงไม่สามารถที่จะสร้างสายอากาศได้ในระยะที่จำกัดตามจริง แต่มีทางเลือกหนึ่งเป็นสายอากาศขดลวดแบบวงขนาดเล็ก พิจารณาจากความยาวเส้นลวดรวมทั้งหมดของสายอากาศที่น้อยกว่า  $\lambda/10$  ซึ่งจะเรโซแนนซ์ที่ความถี่ใช้งาน (125 หรือ 134.2 kHz) สายอากาศชนิดนี้จะใช้สนามแม่เหล็กระยะใกล้ (Magnetic in Near Field) ในการเชื่อมต่อการเหนี่ยวนำระหว่างสายอากาศขดลวดตัวส่งและตัวรับ

การทำให้เกิดสนามโดยสายอากาศแบบวงขนาดเล็กนั้นจะไม่แพร่กระจายคลื่น แต่จะทำให้คลื่นอ่อนกำลังลงมากกว่า ความเข้มสนามถูกลดลงด้วย  $r^{-3}$  (เมื่อ  $r$  = ระยะห่างจากสายอากาศ) ในสนามระยะใกล้ ( $r^{-3}$ ) เป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวจำกัดระยะการอ่านในการใช้งานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ [3]

เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ผ่านขดลวด (สายอากาศ) เป็นการเหนี่ยวนำแรงดันให้ตกคร่อมด้านปลายสุดของขดลวด แรงดันนี้จะใช้เพื่อกระตุ้นแท็กแบบพาสซีฟ ดังนั้นสายอากาศขดลวดส่วนมากจะถูกออกแบบให้สามารถเหนี่ยวนำแรงดันได้สูงสุด

จากสมการที่ 2.1 เป็นสมการของ Biot-Savart ที่ได้มาจากกฎของแอมแปร์ ได้กล่าวไว้ว่าการไหลของกระแสในตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำ รูปที่ 2.14 แสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสส่วนหนึ่ง ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในตัวนำ (ลวด) ที่มีความยาวจำกัด [3]-[5] คิดได้จากสมการ

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (2.1)$$

โดยที่  $I =$  กระแส

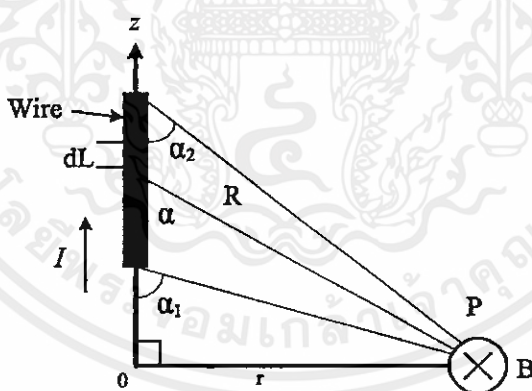
$r =$  ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของลวด

$\mu_0 =$  ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability) ของช่องว่างอิสระ

มีค่า  $4\pi \times 10^{-7}$  (Henry/meter)

ในกรณีที่ลวดมีความยาวอนันต์ที่  $\alpha_1 = 180^\circ$  และ  $\alpha_2 = 0^\circ$  จากสมการที่ 2.1 สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.14 การคำนวณของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก  $B$  ที่จุดสังเกต  $P$  โดยการป้อนกระแส ( $I$ ) ที่ลวดตัวนำ [3]

ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก ที่เกิดจากสายอากาศขดลวดแบบบ่วงวงกลม จำนวน  $N$  รอบ แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 จะ ได้สมการดังนี้ [3]

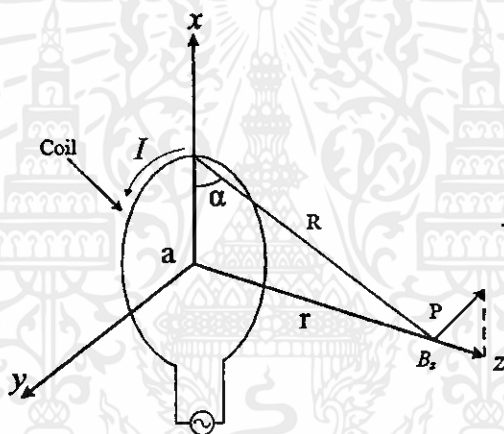
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B_z = \frac{\mu_0 I N a^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \quad (2.3)$$

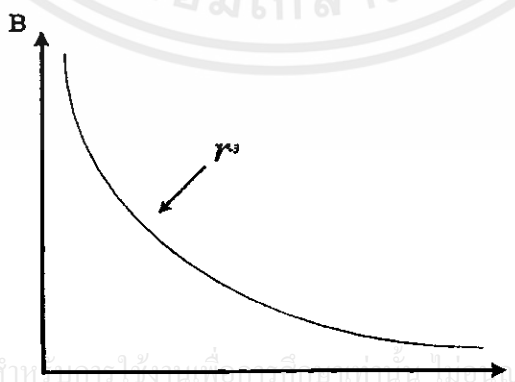
$$B_z = \frac{\mu_0 I N a^2}{2} \left( \frac{1}{r^3} \right) \quad ; r^2 \geq a^2 \quad (2.4)$$

โดยที่  $a$  = รัศมีของข่วง

สมการที่ 2.4 นี้แสดงให้เห็นว่า สนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศแบบข่วง ถูกลดลงด้วย  $1/r^3$  ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ความเข้มของสนามที่มากที่สุดในระยะนาบของข่วงและทิศทางที่เหมาะสม สัมพันธ์กับค่ากระแส ( $I$ ), จำนวนรอบ ( $N$ ) และพื้นที่ผิวของข่วง สมการที่ 2.4 ใช้มากสำหรับ คำนวณหาค่า กระแส-รอบ ซึ่งจำเป็นสำหรับระยะการอ่าน ความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีผลต่อกำล้ง งานที่แท็กจะได้รับตามสัดส่วน



รูปที่ 2.15 การคำนวณความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก  $B$  ที่จุดสังเกต  $P$  โดยการป้อนกระแส ( $I$ ) เข้าข่วง [3]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในสำนักงานเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16 การลดลงของค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก  $B$  กับระยะห่าง  $r$  [3]

### 2.6.1 การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศขดลวด

จากกฎของฟาราเดย์ กล่าวไว้ว่า เมื่อสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาผ่านพื้นผิวปิด จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำรอบบ่วง ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่มีความสำคัญสำหรับการทำงานของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ

รูปที่ 2.17 แสดงรูปแบบอย่างง่ายของการใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ เมื่อสายอากาศของแท็กและสายอากาศของเครื่องอ่านอยู่ในระยะที่ใกล้กัน สนามแม่เหล็ก  $B$  ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเกิดจากสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านเหนี่ยวนำแรงดัน ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force) ในสายอากาศขดลวดของแท็ก และทำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดที่เหมาะสมได้เรียกว่ากฎของฟาราเดย์

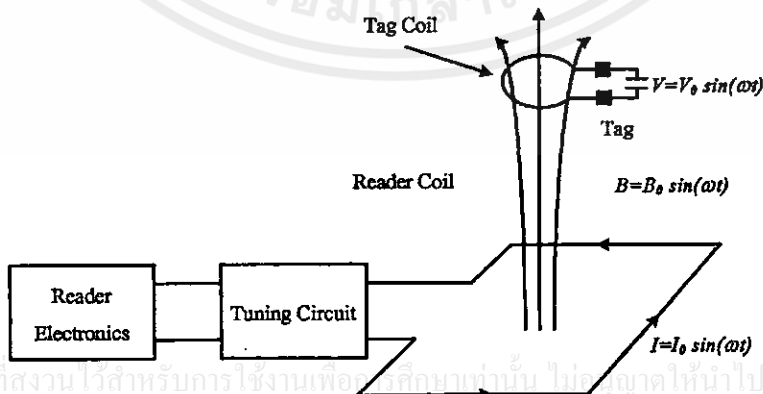
ในการเหนี่ยวนำแรงดันบนสายอากาศขดลวดของแท็ก เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux :  $\psi$ ) ต่อเวลา จะได้ตั้งสมการที่ 2.5

$$V = -N \frac{d\psi}{dt} \quad (2.5)$$

โดยที่  $N$  = จำนวนรอบของสายอากาศขดลวด

$\psi$  = เส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านแต่ละรอบ

เครื่องหมายลบในสมการการเหนี่ยวนำแรงดัน แสดงว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในทิศทางที่ทำให้เกิดกระแสไหลซึ่งมีผลทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก ที่รู้กันในชื่อกฎของเลนซ์ (Lenz's Law) ซึ่งเป็นการเน้นถึงความจริงของทิศทางกระแสไหลของกระแสในวงจร แสดงว่าแรงดันเหนี่ยวนำทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กในทิศทางตรงข้าม



รูปที่ 2.17 พื้นฐานโครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านและสายอากาศแท็กในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ [3]

เส้นแรงแม่เหล็กในสมการที่ 2.5 คือความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก  $B$  ทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ผิวทั้งหมดของสายอากาศขดลวดและสามารถหาได้จากสมการ

$$\psi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (2.6)$$

โดยที่  $\vec{B}$  คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก ที่ได้มาจากสมการที่ 2.4  
 $S$  คือ พื้นที่ผิวที่ขดลวดล้อมรอบ

จากสมการที่ 2.6 สังเกตได้ว่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก  $\vec{B}$  และพื้นที่ผิว  $d\vec{S}$  เป็นปริมาณเวกเตอร์ ผลลัพธ์ของสองเวกเตอร์ในสมการที่ 2.6 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศขดลวด ซึ่งผลลัพธ์ของสองเวกเตอร์จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเวกเตอร์ทั้งสองอยู่ในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศขดลวดของแท่งจะมีค่ามากที่สุด เมื่อขดลวดทั้งสอง (สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านและสายอากาศขดลวดของแท่ง) อยู่ในทิศทางที่ขนานกัน

จากสมการที่ 2.3-2.6 จะเป็นการเหนี่ยวนำแรงดัน  $V_o$  สำหรับสายอากาศแบบบ่วงที่ไม่ได้จูน จะได้สมการที่ 2.7 ดังนี้

$$V_o = 2\pi fNSB_o \cos \alpha \quad (2.7)$$

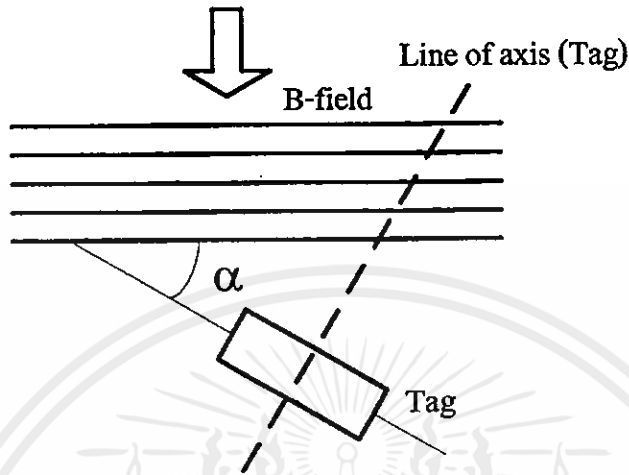
โดยที่  $f$  = ความถี่ของสัญญาณ  
 $N$  = จำนวนรอบของขดลวดในบ่วง  
 $S$  = พื้นที่ของบ่วงในหน่วย ( $m^2$ )  
 $B_o$  = ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก  
 $\alpha$  = มุมระหว่างแกนขดลวดกับระนาบสนามแม่เหล็ก

ถ้าทำการจูนขดลวด (ด้วยตัวเก็บประจุ :  $C$ ) ที่สัญญาณความถี่ (125 หรือ 134.2 kHz) แรงดันเอาต์พุต  $V_o$  ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากสมการที่ 2.7 จะจูนด้วยค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Quality Factor) ของวงจรจูน ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตั้งแต่ 5 ถึง 50 ที่

เอกสารความถี่ต่ำของการใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิใช่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o = 2\pi f_o N Q S B_o \cos \alpha \quad (2.8)$$

โดยค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ ( $Q$ ) เป็นสิ่งบ่งชี้ของการเลือกความถี่ที่เหมาะสม



รูปที่ 2.18 การปรับทิศทางของสายอากาศของแท็กให้เหมาะสม [3]

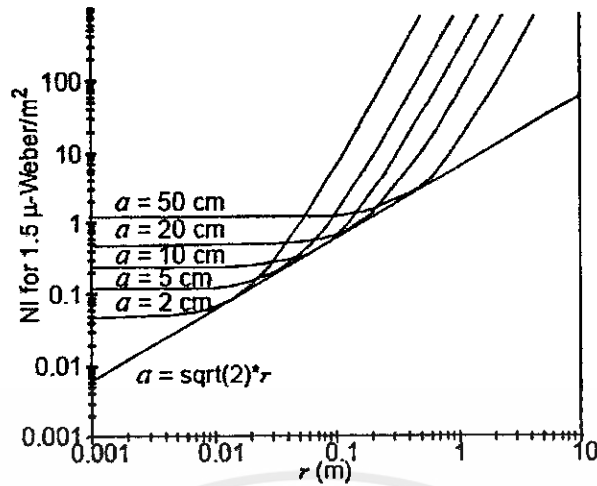
การเหนี่ยวนำแรงดันข้ามสายอากาศขดลวดแบบบ่วงเป็นของฟังก์ชันมุมของสัญญาณแรงดันเหนี่ยวนำจะมีค่ามากที่สุดเมื่อสายอากาศขดลวดอยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับทิศทางของสัญญาณที่  $\alpha = 0$

ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก  $B$  ที่แท็กต้องการสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 และค่ากระแส-รอบ (Ampere-Turns) ของสายอากาศขดลวดเครื่องอ่านที่มีรัศมีใด ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$NI = \frac{2B_o (a^2 + r^2)^{3/2}}{\mu a^2} \quad (2.9)$$

สำหรับระยะการอ่านที่เพิ่มมากขึ้นเป็นการบอกถึงการพิจารณา การเพิ่มขึ้นของรัศมีของขดลวดซึ่งจะได้ผลมากกว่าการเพิ่มกระแสให้กับขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Note:  $B_0 = 1.5 \mu\text{Wb/m}^2$  is used.

รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-รอบกับระยะการอ่าน [3]

จากรูปที่ 2.19 ค่า  $B_0$  ที่ใช้เท่ากับ  $1.5 \mu\text{Wb/m}^2$  และรัศมีที่เหมาะสมของบ่วงต้องการค่าของกระแส-รอบที่น้อยที่สุด สำหรับระยะของการอ่านสามารถหาได้จากสมการที่ (2.3) เช่น

$$NI = K \frac{(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^2} \quad (2.10)$$

โดยที่

$$K = \frac{2B_z}{\mu_0}$$

โดยการนำอนุพันธ์มาใช้เพื่อหาค่ารัศมีจะได้

$$\begin{aligned} \frac{d(NI)}{da} &= K \frac{3/2(a^2 + r^2)^{1/2} (2a^3) - 2a(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^4} \\ &= K \frac{(a^2 - 2r^2)(a^2 + r^2)^{1/2}}{a^3} \end{aligned}$$

จากสมการข้างต้นจะกลายเป็นสมการที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $a^2 - 2r^2 = 0$   
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะของการอ่านกับขนาดของแท่ง ค่ารัศมีที่เหมาะสมจะหาได้จาก

$$a = \sqrt{2}r \quad (2.11)$$

โดยที่  $a$  = รัศมีของขดลวด  
 $r$  = ระยะการอ่าน

จากผลลัพธ์ข้างต้นบอกให้รู้ว่า ค่ารัศมีที่เหมาะสมที่สุดของบ่วงสำหรับสายอากาศเครื่องอ่านจะมีค่าประมาณ 1.414 เท่า ของระยะการอ่าน

## 2.6.2 ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด

### 2.6.2.1 ขนาดและค่าความต้านทานทางต้านไฟกระแสตรง

เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทางไฟฟ้าจะแสดงตัวเลขตามมาตรฐานอเมริกา (American Wire Gauge : AWG) ค่าตัวเลขจะเป็นสัดส่วนที่ตรงกันข้ามกับค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางและเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุก ๆ ขนาดลวดลดไปหกเบอร์ ลวดที่เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจะมีค่าความต้านทานทางต้านไฟกระแสตรงที่สูง ค่าความต้านทานทางต้านไฟกระแสตรงของตัวนำที่เป็นแบบเดียวกันตามพื้นที่หน้าตัดหาค่าได้โดย

$$R_{DC} = \frac{l}{\sigma S} \quad (2.12)$$

โดยที่  $l$  = ความยาวทั้งหมดของลวด  
 $\sigma$  = ค่าความนำไฟฟ้า  
 $S$  = พื้นที่หน้าตัด

ตารางที่ 2.1 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับด้านในและสารเคลือบโลหะของลวด และค่าความต้านทานทางต้านไฟกระแสตรง เมื่อ  $1 \text{ mil} = 2.54 \times 10^{-3} \text{ cm}$

ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ของลวด

Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/1000 ft.	Cross section (mils)	Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/1000 ft.	Cross section (mils)
1	289.3	-	0.126	83690	26	15.9	17.2	41.0	253
2	287.6	-	0.156	66360	27	14.2	15.4	51.4	202
3	229.4	-	0.197	52620	28	12.6	13.8	65.3	159
4	204.3	-	0.249	41740	29	11.3	12.3	81.2	133
5	181.9	-	0.313	33090	30	10.0	11.0	106	100
6	162.0	-	0.395	26240	31	8.9	9.9	131	79.3
7	166.3	-	0.498	20820	32	8.0	6.8	162	64.0
8	128.5	131.6	0.628	16510	33	7.1	7.9	206	50.4
9	114.4	116.3	0.793	13090	34	6.3	7.0	261	39.7
10	101.9	106.2	0.999	10380	35	5.6	6.3	331	31.4
11	90.7	93.5	1.26	8230	36	5.0	5.7	415	25.0
12	80.8	83.3	1.59	6530	37	4.5	5.1	512	20.2
13	72.0	74.1	2.00	5180	38	4.0	4.5	648	16.0
14	64.1	66.7	2.52	4110	39	3.5	4.0	847	12.2
15	57.1	59.5	3.18	3260	40	3.1	3.5	1080	9.61
16	50.8	52.9	4.02	2580	41	2.8	3.1	1320	7.84
17	45.3	47.2	5.05	2060	42	2.5	2.8	1660	6.25
18	40.3	42.4	6.39	1620	43	2.2	2.5	2140	4.84
19	35.9	37.9	8.05	1290	44	2.0	2.3	2590	4.00
20	32.0	34.0	10.1	1020	45	1.76	1.9	3350	3.10
21	28.5	30.2	12.8	812	46	1.57	1.7	4210	2.46
22	25.3	28.0	16.2	640	47	1.40	1.6	5290	1.96
23	22.6	24.2	20.3	511	48	1.24	1.4	6750	1.54
24	20.1	21.6	25.7	404	49	1.11	1.3	8420	1.23
25	17.9	19.3	32.4	320	50	0.99	1.1	10600	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.2.2 ค่าความต้านทานทางต้านไฟฟ้ากระแสสลับของลวด

สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง ประจุที่เพิ่มเข้าจะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วหน้าตัดของลวด ขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นค่ารีแอกแตนซ์ในลวดก็เพิ่มขึ้นด้วย มีผลให้ขอบเขตความหนาแน่นกระแสในลวดมีค่าเพิ่มขึ้นที่ผิว ดังนั้นประจุจะเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางของลวดไปยังขอบของลวด มีผลทำให้ความหนาแน่นกระแสลดลงในจุดศูนย์กลางของลวดและเพิ่มขึ้นใกล้ขอบของลวด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์คลื่นผิว (Skin Effect) ความหนาแน่นกระแสในตัวนำที่มีความหนาแน่นกระแสลดลง  $1/e$  หรือ 37% จากค่าความลึกผิว (Skin Depth) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ [3]

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (2.13)$$

โดยที่  $f$  = ความถี่

$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$  = ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก

$\mu_0$  = ค่าความซึมซาบแม่เหล็กของอากาศ

$\mu_r$  = ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ของวัสดุ

$\sigma$  = ค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุ

ค่าความต้านทานของลวดที่ขึ้นกับความถี่ และค่าความต้านทานที่เกิดจากความหนาแน่นของคลื่นผิวเรียกว่า ความต้านทานทางต้านไฟฟ้ากระแสสลับ การประมาณค่าความต้านทานของไฟฟ้ากระแสสลับหาได้จากสมการ

$$R_{ac} \approx \frac{1}{2\sigma\pi\delta} = (R_{DC}) \frac{a}{2\delta} \quad (2.14)$$

โดยที่  $a$  = รัศมีของขดลวด

สำหรับลวดทองแดง มีค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์เท่ากับ 1.2566 N/A<sup>2</sup> ค่าความนำไฟฟ้าเท่ากับ  $59.6 \times 10^6$  s/cm และมีค่าความสูญเสียประมาณได้โดยค่าความต้านทานทางต้านไฟฟ้ากระแสตรงของขดลวด ถ้ารัศมีของเส้นลวดใหญ่กว่า  $0.066/\sqrt{f}$  cm ที่ 125 หรือ 134.2 kHz ค่ารัศมีวิกฤตคือ 0.019 cm ในที่นี้จะเท่ากับขนาดลวดเบอร์ 26 เพราะฉะนั้นสำหรับค่าความสูญเสียย่อย ๆ ขนาดของลวดต้องใหญ่กว่าหรือเท่ากับเบอร์ 26 ถ้าต้องการให้ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ (Q) ของขดลวดมีค่าสูงสุด

### 2.6.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด

กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาสามารถทำให้เกิดการไหลของกระแสผ่านตัวนำอีกตัวหนึ่ง เรียกว่า ค่าความเหนี่ยวนำ ( $L$ ) ค่าความเหนี่ยวนำขึ้นอยู่กับค่าคุณลักษณะของตัวนำ ขดลวดจะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าเส้นลวดที่เป็นวัสดุที่เหมือนกัน และขดลวดที่มีจำนวนรอบมากก็จะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าขดลวดที่มีจำนวนรอบน้อย ค่าความเหนี่ยวนำของตัวนำมีนิยามคือ อัตราส่วนของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดต่อกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ

$$L = \frac{N\psi}{I} \quad (2.15)$$

โดยที่  $N =$  จำนวนรอบ

$I =$  กระแส

$\psi =$  เส้นแรงแม่เหล็ก

สำหรับสายอากาศขดลวดที่ความถี่ 125 kHz ของแท่งจะเลือกค่าความเหนี่ยวนำอยู่ที่ประมาณ 2-3 mH และสายอากาศขดลวดเครื่องอ่านจะเลือกค่าความเหนี่ยวนำอยู่ที่ประมาณ 200-300 ถึง 2,000-3,000  $\mu$ H จำนวนรอบที่มากขึ้นของสายอากาศขดลวดก็จะได้ค่าความเหนี่ยวนำที่มากขึ้นตามมา ดังนั้นสายอากาศขดลวดของแท่งที่มีรูปแบบพื้นที่ที่จำกัด มักจะต้องพันหลายชั้น (Multi-Layer Winding) เพื่อลดจำนวนรอบของขดลวด

#### 2.6.3.1 ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด

ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวดตรง ที่แสดงในรูปที่ 2.14 สามารถหาได้จากสมการ

$$L = 0.002l \left[ \log_e \frac{2l}{a} - \frac{3}{4} \right] \quad (2.16)$$

โดยที่  $L =$  ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด มีหน่วยเป็น  $\mu$ H

$l$  และ  $a =$  ความยาวและรัศมีของลวดในหน่วย cm ตามลำดับ

#### 2.6.3.2 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด 1 ชั้น

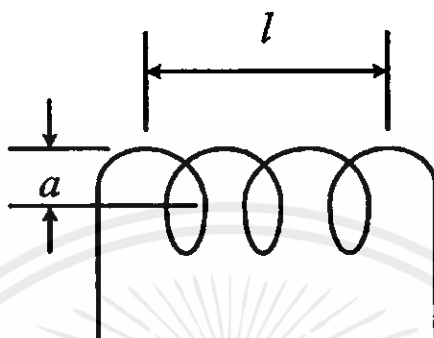
ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดดังแสดงในรูปที่ 2.20 สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = \frac{(aN)^2}{22.9l + 25.4a} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $L$  = ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด มีหน่วยเป็น  $\mu\text{H}$   
 $a$  = รัศมีของขดลวด มีหน่วยเป็น  $\text{cm}$   
 $l$  = ความยาวของขดลวด มีหน่วยเป็น  $\text{cm}$   
 $N$  = จำนวนรอบ



รูปที่ 2.20 รูปของขดลวด 1 ชั้น [3]

สำหรับค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ ( $Q$ ) ที่ดีที่สุดของขดลวด ควรจะมีความยาวประมาณ เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด

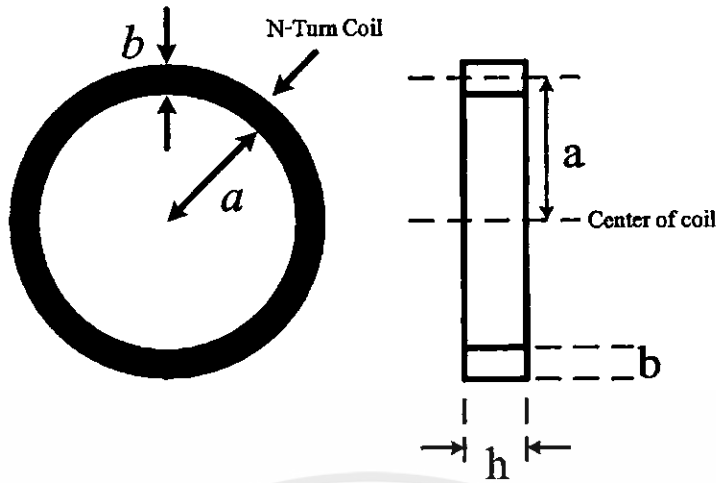
### 2.6.3.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบบ่วงวงกลมหลายชั้น

จากรูปแบบค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดขนาดใหญ่ในขอบเขตที่จำกัด จะมีค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพมากเมื่อพันขดลวดหลาย ๆ รอบ เป็นเหตุผลของรูปแบบในการออกแบบ โครงสร้างสายอากาศขดลวดของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ แสดงดังรูปที่ 2.21 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบบ่วงวงกลม สามารถคำนวณได้จากสมการ [3]

$$L = \frac{0.31(aN)^2}{6a + 9h + 10b} \quad (2.18)$$

โดยที่  $L$  = ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด มีหน่วยเป็น  $\mu\text{H}$   
 $a$  = รัศมีเฉลี่ยของขดลวด มีหน่วยเป็น  $\text{cm}$   
 $N$  = จำนวนรอบ  
 $b$  = ความหนาในการขด มีหน่วยเป็น  $\text{cm}$   
 $h$  = ความสูงในการขด มีหน่วยเป็น  $\text{cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 สายอากาศขดลวดบ่วงวงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใด ๆ [3]

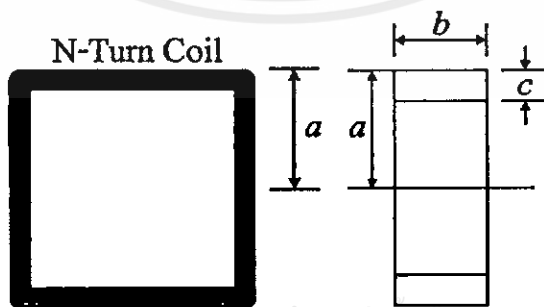
จำนวนรอบที่ต้องการสำหรับค่าความเหนี่ยวนำที่แน่นอน สามารถคำนวณได้จากการประยุกต์สมการที่ 2.16 ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$N = \sqrt{\frac{L_{\mu H} (6a + 9h + 10b)}{(0.31)a^2}} \tag{2.19}$$

2.6.3.4 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ถ้า  $N$  คือจำนวนรอบและ  $a$  เป็นความยาวที่วัดจากจุดศูนย์กลางของสี่เหลี่ยมถึงขอบด้านนอกของบ่วง ส่วนด้านข้างของบ่วงเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความยาว  $b$  และความหนา  $c$  ดังแสดงในรูปที่ 2.22

$$L = 0.008aN^2 \left( 2.303 \log_{10} \left( \frac{a}{b+c} \right) + 0.2235 \frac{b+c}{a} + 0.726 \right) \tag{2.20}$$



(ก) รูปด้านบน

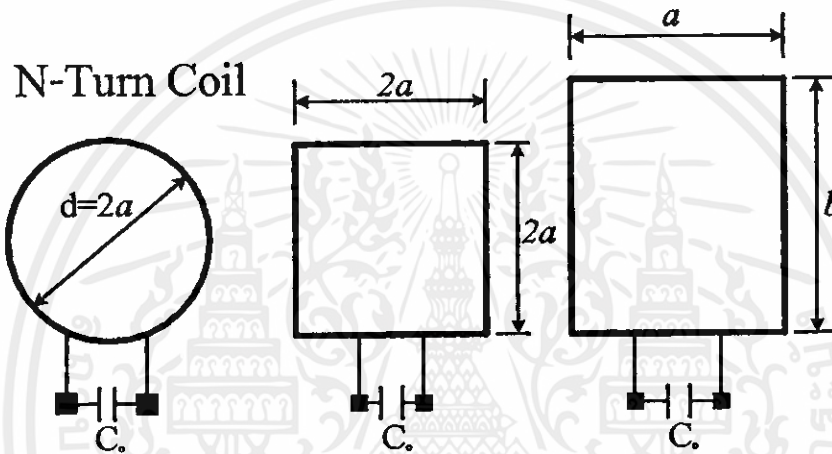
(ข) รูปด้านข้าง

รูปที่ 2.22 สายอากาศขดลวดแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสหลายชั้น [3]

## 2.7 รูปแบบของสายอากาศขดลวด

### 2.7.1 สายอากาศขดลวดของแท็ก

สายอากาศขดลวดสำหรับแท็กของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สามารถทำได้หลายรูปแบบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการประยุกต์การใช้งาน ตัวอย่างหนึ่งของค่าความเหนี่ยวนำสำหรับสายอากาศขดลวดของแท็กจะมีค่าประมาณ 2-3 mH ที่ความถี่ 125 kHz รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะต่างๆ ของสายอากาศแท็ก สายอากาศขดลวดโดยทั่วไปมักทำด้วยลวดเส้นเล็ก ๆ ค่าความเหนี่ยวนำและจำนวนรอบของขดลวดสามารถคำนวณได้จากสมการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 2.23 รูปแบบต่าง ๆ ของสายอากาศขดลวดของแท็ก [3]

### 2.7.2 สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน

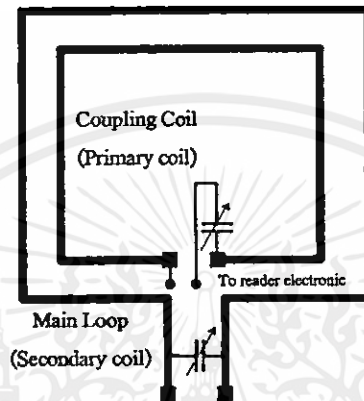
ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดเครื่องอ่าน โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 200-300 ถึง 2,000-3,000  $\mu\text{H}$  ที่ความถี่ต่ำ สายอากาศขดลวดเครื่องอ่านสามารถที่จะทำเป็นบ่วงเดียวตามรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม หรือ บ่วงคู่ (Transformer) ตามรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

ในรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมผลที่ได้จะให้ค่าความต้านทานที่มีค่าน้อยที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่ามาก ส่วนในวงจรเรโซแนนซ์ขนานจะให้ผลของค่าความต้านทานสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่าน้อย เนื่องจากแรงดันสามารถเพิ่มระดับขึ้นได้โดยการใช้รูปแบบบ่วงคู่ขนาน วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานมักจะใช้สำหรับระบบที่ต้องการสัญญาณที่มีแรงดันสูง

รูปที่ 2.24 แสดงตัวอย่างของสายอากาศบ่วงหม้อแปลง (Transformer Loop) ที่บ่วงหลัก (Secondary) เป็นรูปแบบของรอบโครงสร้างขนาดใหญ่ของลวด โดยจุดนำที่ตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้ที่ความถี่เรโซแนนซ์ (125 kHz) บ่วงอื่นจะเรียกว่าบ่วงเชื่อมต่อและจะมีรูปแบบที่เล็กกว่า 2-3 รอบของขดลวด ตำแหน่งของบ่วงเชื่อมต่อจะวางอยู่ภายในบ่วงหลัก

บ่วงเชื่อมต่อจะทำให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมกับค่าอิมพีแดนซ์ที่อินพุต/เอาต์พุตของเครื่องอ่าน การเชื่อมต่อขดลวดที่จุดอินพุต/เอาต์พุตในตัวอ่าน ที่บ่วงหลักจะต้องทำการจูนให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์และไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับเครื่องอ่าน

บ่วงเชื่อมต่อโดยทั่วไปจะไม่ได้ทำการจูน แต่ในการออกแบบจะทำการจูนที่ตัวเก็บประจุ  $C_2$  ที่ต่ออนุกรมอยู่กับบ่วงเชื่อมต่อ เพราะว่าจำนวนรอบที่บ่วงหลักมากกว่าบ่วงเชื่อมต่อ 2-3รอบ ทำให้ที่บ่วงเชื่อมต่อมีค่าความเหนี่ยวนำน้อย เป็นผลให้ต้องใช้ค่าตัวเก็บประจุมีค่ามาก



รูปที่ 2.24 สายอากาศบ่วงหม้อแปลงของเครื่องอ่าน [3]

## 2.8 วงจรเรโซแนนซ์ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ ( $Q$ ) และแบนด์วิธ

ในการประยุกต์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สายอากาศขดลวดเป็นส่วนสำคัญของวงจรเรโซแนนซ์และระยะในการอ่านของอุปกรณ์ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจรเรโซแนนซ์อย่างมาก

รูปที่ 2.25 และ 2.26 แสดงตัวอย่างรูปแบบของวงจรเรโซแนนซ์ ของสายอากาศขดลวด และการจูนตัวเก็บประจุ ความถี่เรโซแนนซ์ ( $f_0$ ) สามารถคำนวณได้จาก

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.21)$$

โดยที่  $L$  = ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด

$C$  = ค่าความจุไฟฟ้าที่ใช้จูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการเรียนการสอนได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้จัดทำขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและเนื้อหาที่ปรากฏในเอกสารนี้  
วงจรเรโซแนนซ์สามารถที่จะมีรูปแบบเป็นแบบอนุกรม หรือ แบบขนาน วงจรเร  
โซแนนซ์แบบอนุกรมจะมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่ความถี่เรโซแนนซ์ ผลลัพธ์คือจะมีกระแสที่ใช้ใน  
วงจรมาก โดยทั่วไปจะใช้วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสำหรับสายอากาศของเครื่องอ่าน

ส่วนวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งค่ากระแสที่ได้จะมีค่าต่ำและแรงดันจะมีค่าสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับสายอากาศของแท็ก

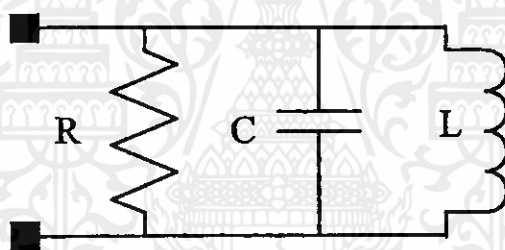
### 2.8.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

รูปที่ 2.25 แสดงตัวอย่างวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน ค่าอิมพีแดนซ์รวมของวงจรสามารถหาได้จากสมการ

$$Z(j\omega) = \frac{j\omega L}{(1 - \omega^2 LC) + j\frac{\omega L}{R}} \quad (2.22)$$

โดยที่  $\omega =$  ความถี่เชิงมุม  $= 2\pi f$

$R =$  ความต้านทานโหลด



รูปที่ 2.25 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน [3]

ในที่นี้ไม่สนใจค่าความต้านทาน ( $r$ ) ของขดลวด ค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่ามากเมื่อตัวส่วนในสมการ (2.20) มีค่ามาก และค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าน้อยเมื่อ

$$\omega^2 LC = 1 \quad (2.23)$$

เรียกว่าสภาวะเรโซแนนซ์และความถี่เรโซแนนซ์หาได้จาก

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการแทนสมการที่ 2.21 ลงในสมการที่ 2.20 ค่าความต้านทานที่ความถี่เรโซแนนซ์จะ

กลายเป็น

$$Z = R \quad (2.25)$$

ค่า  $R$  และ  $C$  ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน สามารถนำมาคำนวณแบนด์วิธ  $B$  ของวงจรได้ดังสมการ

$$B = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.26)$$

ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ ( $Q$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$Q = \frac{f_0}{B} \quad (2.27)$$

โดยที่  $f_0 =$  ความถี่เรโซแนนซ์  
 $B =$  แบนด์วิธ

แทนสมการที่ 2.24 และ สมการที่ 2.26 ลงในสมการที่ 2.28 ตัวประกอบเชิงคุณภาพ ( $Q$ ) ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะ ได้ดังสมการ

$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} \quad (2.28)$$

ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะแปรผันตรงกับค่าความต้านทาน และค่ารากที่สองอัตราส่วนระหว่างค่าความจุกับค่าความเหนี่ยวนำในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับวงจรสายอากาศของแท่ง แรงดันที่ตกคร่อมในวงจรสามารถที่จะคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 และ สมการที่ 2.28 ดังนี้

$$V_0 = 2\pi f_0 N \left( R\sqrt{\frac{C}{L}} \right) SB_0 \cos \alpha \quad (2.29)$$

สมการข้างต้นแสดงถึงการเหนี่ยวนำแรงดันในขดลวดแท่งเป็นส่วนกลับของรากที่สองของค่าความเหนี่ยวนำ และเป็นสัดส่วน โดยตรงกับจำนวนรอบและพื้นที่ผิวของขดลวด

วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานสามารถใช้ในสายอากาศแบบบ่วงหม้อแปลง สำหรับเครื่องอ่านที่ระยะทางไกล ๆ อธิบายได้ในสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน (รูปที่ 2.24) แรงดันในบ่วงทุติยภูมิจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับอัตราส่วนของจำนวนรอบ ( $n_2/n_1$ ) ของบ่วงหม้อแปลง แม้ว่า

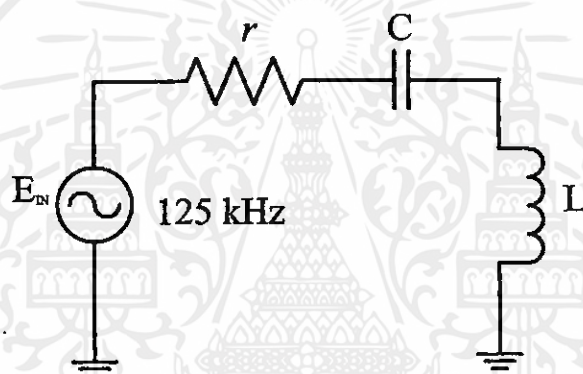
สัญญาณมีแรงดันสูงก็ตามไม่สามารถที่จะรับสัญญาณได้ สาเหตุที่แยกสายอากาศเพื่อต้องการสำหรับการรับสัญญาณ วงจรสายอากาศรับควรจะจูนสัญญาณที่ทำการมอดูเลตของแท็ก

### 2.8.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมอย่างง่ายแสดงดังในรูปที่ 2.26 สมการแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรคือ

$$Z(j\omega) = r + j(X_L - X_C) \quad (2.30)$$

โดยที่  $r$  = ความต้านทานของวงจร



รูปที่ 2.26 แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม [3]

$$X_L = 2\pi f_0 L \quad (2.31)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad (2.32)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ในสมการที่ 2.30 จะมีค่าลดลงเมื่อองค์ประกอบค่ารีแอคแตนซ์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน ( $X_L = X_C$ ) เรียกว่าสถานะเรโซแนนซ์ ความถี่เรโซแนนซ์จะเหมือนกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรขนานตามสมการที่ 2.24

แบนด์วิธครึ่งกำลังจะถูกกำหนดโดยค่า  $r$  และ  $L$  ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  

$$B = \frac{r}{2\pi L} \quad (2.33)$$
 ไม่ว่าจะมิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ ( $Q$ ) ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q = \frac{f_0}{B} = \begin{cases} \frac{\omega L}{r} = \frac{1}{\omega Cr} \\ \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}} \end{cases} \quad (2.34)$$

วงจรอนุกรมเป็นรูปแบบการแบ่งแรงดันเพราะฉะนั้นแรงดันที่ตกคร่อมในขดลวดจะคำนวณได้จากสมการ

$$V_0 = \frac{jX_L}{r + jX_L - jX_C} V_m \quad (2.35)$$

หรือ

$$\left| \frac{V_0}{V_m} \right| = \frac{X_L}{\sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{X_L}{r \sqrt{1 + \left( \frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} = \frac{Q}{\sqrt{1 + \left( \frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} \quad (2.36)$$

### 2.8.3 ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ ( $Q$ ) และแบนด์วิธ

รูปที่ 2.27 แสดงการประมาณช่วงความถี่สำหรับรูปแบบรวม ๆ ของการมอดูเลต (Modulation) แบบแอมพลิจูดชีพต์คีย์อิง (ASK), ความถี่ชีพต์คีย์อิง (FSK) และเฟสชีพต์คีย์อิง (PSK) สำหรับการกู้ของสัญญาณข้อมูลจากแท็ก วงจรของเครื่องอ่านต้องการแบนด์วิธที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นสองเท่าของอัตราส่วนข้อมูล ดังนั้นถ้าอัตราส่วนของข้อมูลคือ 8 kHz สำหรับการสัญญาณแบบแอมพลิจูดชีพต์คีย์อิง แบนด์วิธจะต้องมีค่าน้อยที่สุดที่ 16 kHz สำหรับการกู้ของข้อมูลที่ได้รับจากแท็ก

อัตราข้อมูลสำหรับสัญญาณความถี่ชีพต์คีย์อิง ( $\div 10$ ) คือ 125 kHz ดังนั้นแบนด์วิธที่ต้องการสำหรับการกู้ข้อมูลคือ 25 kHz

ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพสำหรับสัญญาณความถี่ชีพต์คีย์อิง ( $\div 10$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.34 ตัวอย่างเช่น

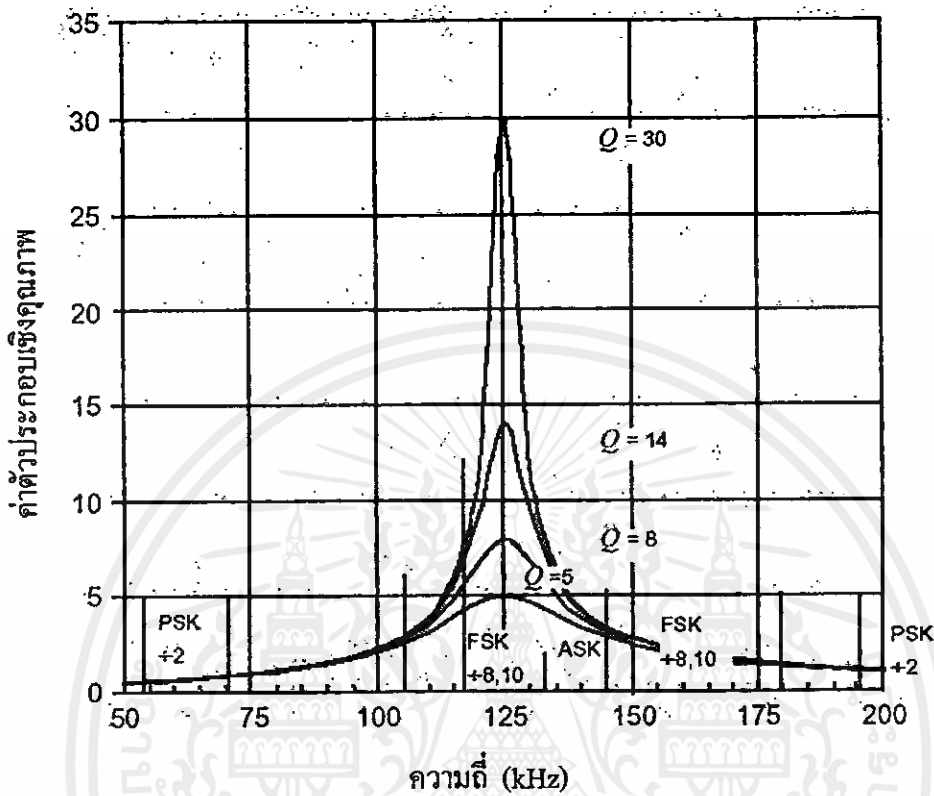
$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{125\text{kHz}}{25\text{kHz}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ = 5 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสัญญาณเฟสชีพต์คีย์อิง ( $\div 2$ ) อัตราข้อมูลคือ 62.5 kHz (ถ้าความถี่คลื่นพาห้คือ 125 kHz) ดังนั้นวงจรเครื่องอ่านต้องการแบนด์วิธ 125 kHz ค่าประสิทธิภาพในกรณีนี้จะเท่ากับ

ปัญหาในที่นี้แก้ไขโดยการแยกขดลวดส่งและขดลวดรับซึ่งขดลวดส่งสามารถออกแบบให้มีค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพสูงและขดลวดรับสามารถออกแบบให้มีค่าประสิทธิภาพต่ำ



รูปที่ 2.27 ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพกับรูปแบบการมอดูเลต [3]

### 2.8.3.1 ข้อจำกัดของค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพ

เมื่อทำการออกแบบวงจรสายอากาศของเครื่องอ่าน อาจจะต้องคิดว่าการออกแบบขดลวดจะต้องมีค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพสูง ในที่นี้มีสามประการที่สำคัญที่เป็นข้อจำกัดของวิธีนี้

- ก) แรงดันที่สูงมากสามารถทำให้ฉนวนเบรกความถี่ เช่น ที่ขดลวดหรือตัวเก็บประจุที่เรโซแนนซ์ ยกตัวอย่าง กระแส 1 A ที่ไหลในขดลวด 2 mH จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขดลวด 1500 Vpp ในกรณีของการออกแบบขดลวดเพียงขดเดียวของตัวอ่าน การรู้สัญญาณที่ได้รับจากแท็กจะต้องทำในขณะที่แรงดันที่มีค่าสูง
- ข) การจูนที่เหมาะสมในช่วงวิกฤต อุปกรณ์ที่ใช้วงจรสายอากาศที่มีค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพสูง, แรงดันสูงจะมีส่วนประกอบของค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับความคลาดเคลื่อนที่ยินยอมได้และ มีความเสถียรภาพสูงน่าจะมิใช่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ แต่โดยทั่วไปจะมีราคาแพงและยากที่จะมีใช้โดยทั่วไปที่มีการนำไปใช้

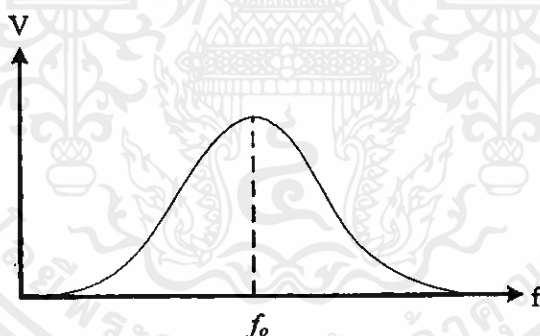
- ค) ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพของวงจรที่ได้รับมีค่าสูง ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่ย้อนกลับมาจะสัมพันธ์กับกำลังของคลื่นพาห์ที่ได้รับ ซึ่งสัญญาณที่ออกมาจากแท่งจะมีค่าน้อย วงจรของเครื่องอ่านอาจเกิดความสับสนได้ในการกู้สัญญาณ

### 2.8.3.2 วิธีการจูน

วงจรจะต้องจูนที่ความถี่เรโซแนนซ์สำหรับค่ามากที่สุดที่แสดง (ระยะการอ่าน) ของอุปกรณ์ มีอยู่สองตัวอย่างของการจูนของวงจรมีดังนี้

#### 1. วิธีการวัดค่าแรงดัน

- ทำการปรับค่าแรงดันที่ต้นกำเนิดของสัญญาณที่ความถี่เรโซแนนซ์ (125 kHz)
- ต่อแรงดันที่ได้จากต้นกำเนิดของสัญญาณक्रमวงจรเรโซแนนซ์
- ต่อออสซิลโลสโคปक्रमวงจรเรโซแนนซ์
- จูนตัวเก็บประจุหรือขดลวดขณะที่สังเกตแอมพลิจูดของสัญญาณที่ออสซิลโลสโคป
- หยุดการจูนเมื่อได้ค่าแรงดันสูงสุด



รูปที่ 2.28 ค่าแรงดันกับค่าความถี่สำหรับวงจรเรโซแนนซ์ [3]

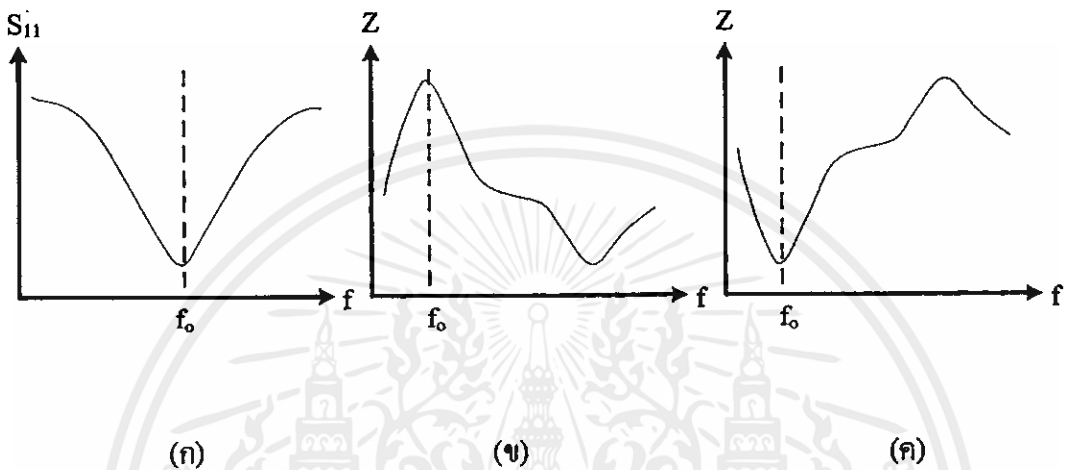
#### 2. เอส-พารามิเตอร์หรือวิธีการวัดค่าอิมพีแดนซ์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer)

- ทำการปรับค่าเอส-พารามิเตอร์ ทดสอบการปรับค่า (Network Analyzer) สำหรับการวัด  $S_{11}$  และปรับให้อยู่ในตำแหน่งมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

- วัดค่า  $S_{11}$  สำหรับวงจรเรโซแนนซ์
- อิมพีแดนซ์ที่สะท้อนหรือแอดมิตแตนซ์ที่สะท้อนสามารถวัดแทนค่า  $S_{11}$  ได้

- ง) จุดตัวเก็บประจุหรือขดลวดจนกระทั่งมีค่าน้อยที่สุด หรือมีค่าเป็นศูนย์ ( $S_{11}$ ) ที่เกิดขึ้นที่ความถี่เรโซแนนซ์  $f_0$  สำหรับการวัดค่าอิมพีแดนซ์ค่าขดที่มีค่ามากที่สุดจะเกิดขึ้นสำหรับวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานและค่าพีคน้อยที่สุดสำหรับวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม



รูปที่ 2.29 ผลตอบสนองทางความถี่สำหรับวงจรเรโซแนนซ์ [3](ก) แสดงผลตอบสนองของ  $S_{11}$  (ข) แสดงผลตอบสนองของค่าอิมพีแดนซ์สำหรับวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานและ (ค) แสดงผลตอบสนองของค่าอิมพีแดนซ์สำหรับวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

ในรูปที่ 2.29 (ก) จะไม่มีค่าที่ความถี่เรโซแนนซ์แสดงถึงการส่งกลับอินพุตที่มีค่าน้อยที่ความถี่เรโซแนนซ์ วิธีนี้วงจรจะดูกลับสัญญาณที่ความถี่ขณะที่ความถี่อื่น ๆ สะท้อนกลับมา ในรูปที่ 2.29 (ข) ความถี่ที่ค่าอิมพีแดนซ์จะมีพีคที่ความถี่เรโซแนนซ์ ในที่นี้เพราะว่าวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานมีค่าอิมพีแดนซ์มากที่สุดที่ความถี่เรโซแนนซ์ ส่วนในรูปที่ 2.29 (ค) แสดงผลตอบสนองสำหรับวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมมีค่าอิมพีแดนซ์น้อยที่สุดที่ความถี่เรโซแนนซ์ และขดที่มีค่าน้อยที่สุดเกิดขึ้นที่ความถี่เรโซแนนซ์

## 2.9 ระยะการอ่านของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

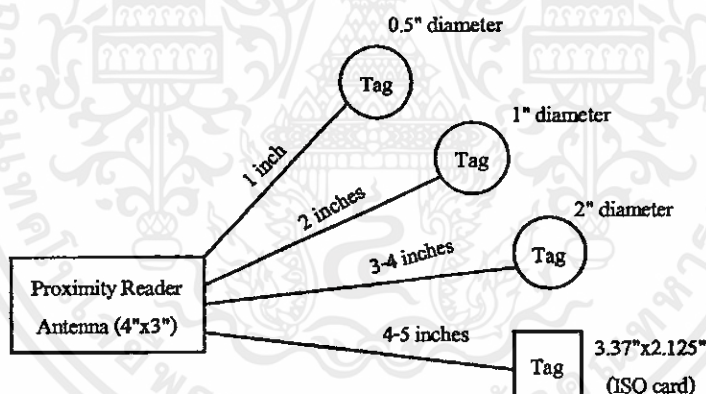
ระยะการอ่านเป็นค่าจำกัดความของค่าที่มากที่สุด ในระยะที่ใช้สื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและแท็ก ระยะการอ่านของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุชนิดพาสซีฟจะอยู่ในช่วง 1 นิ้วถึง 1 เมตร จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของระบบ ระยะการอ่านของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุโดยทั่วไปจะมีผลกระทบมาจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

- ก) ความถี่ที่ใช้และการทำงานของขดลวดสายอากาศ
- ข) ค่าตัวประกอบเชิงคุณภาพของสายอากาศการจูนวงจร

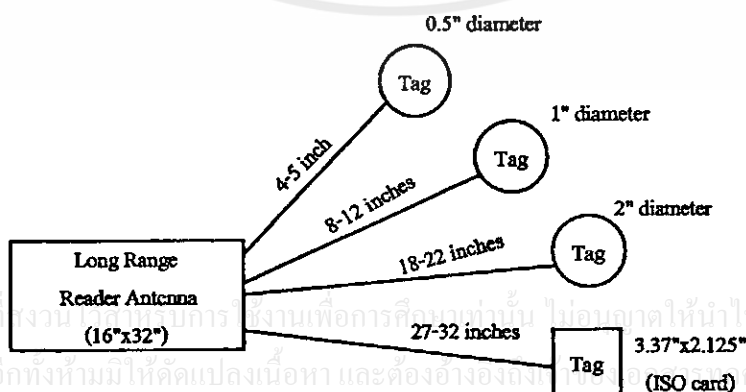
- ค) การปรับทิศทางของสายอากาศ
- ง) ค่ากระแสและแรงดัน
- จ) ความไวของการรับสัญญาณ
- ฉ) การเข้ารหัส (หรือการมอดูเลต) และการถอดรหัส (หรือการดีมอดูเลต)
- ช) จำนวนของบิตข้อมูล
- ซ) สภาพของสิ่งแวดล้อม (โลหะ, สัญญาณรบกวนจากเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์) อื่นๆ

ความถี่ที่ใช้จะเป็นข้อจำกัดที่กล่าวมาแล้ว (ก-ค) จะมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของสายอากาศและการจูนวงจร ข้อจำกัด (ง-จ) จะกำหนดโดยเทคโนโลยีของวงจรของเครื่องอ่าน ข้อจำกัด (ฉ) คือ โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารของอุปกรณ์ และ (ช) แสดงความสัมพันธ์ของโปรแกรม Firm Ware สำหรับการแปลความหมายของข้อมูล

ขนาดของสายอากาศจะมีผลต่อระยะการอ่านข้อมูลซึ่งสายอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะทำให้ระยะการอ่านมากขึ้นด้วย รูปที่ 2.30 และ 2.31 แสดงตัวอย่างของระยะการอ่านของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุชนิดพาสซีฟแบบต่างๆ



รูปที่ 2.30 ระยะการอ่านกับขนาดของแท็กสำหรับการประยุกต์ที่ระยะใกล้ [3]



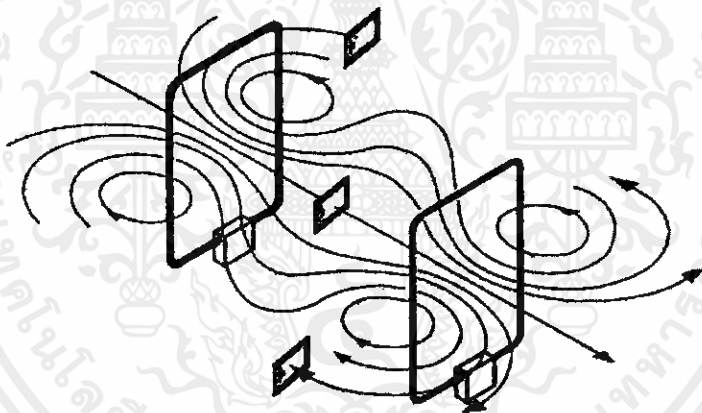
รูปที่ 2.31 ระยะการอ่านกับขนาดของแท็กสำหรับการประยุกต์ที่ระยะไกล [3]

## 2.10 ทิศทางสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงขดลวดต่อเป็นแบบประตูดสองข้าง

สายอากาศของเครื่องอ่านนั้นสามารถต่อสายอากาศได้มากกว่า 1 เกต โดยใช้วิธีการแยก แม้ว่าตัวแยกที่นำมาใช้อาจทำให้เกิดการสูญเสียอยู่บ้าง แต่เมื่อต่อสายอากาศ 2 เกตจะทำให้ได้ระยะของการอ่านเพิ่มขึ้นจากการต่อสายอากาศเกตเดียว และทิศทางสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงขดลวดนั้น จะขึ้นอยู่กับทิศทางของการป้อนกระแสให้กับสายอากาศแบบบ่วงขดลวด ดังนั้นลักษณะการต่อสายอากาศเป็นแบบเกตประตูดจึงมีการป้อนกระแสได้ 2 แบบดังนี้

### 2.10.1 สายอากาศแบบบ่วงขดลวด 2 เกตประตูดต่อแบบเฟสเดียวกัน

จากสายอากาศแบบบ่วงขดลวดเกตเดียวจะได้ค่าสนามแม่เหล็กที่ลดลงตามระยะทางที่มากขึ้น แต่เมื่อทำการต่อสายอากาศแบบ 2 เกต โดยทำการป้อนทิศทางของกระแสเหมือนกันทั้ง 2 เกต จะทำให้เครื่องอ่านอ่านได้ระยะไกลกว่าเดิม ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ดีสำหรับเพื่อใช้ในการตรวจสอบแท่งที่มีการขนส่งบนเครื่องขนส่งลำเลียง เนื่องจากเมื่อทำการต่อสายอากาศกับเครื่องอ่าน เครื่องอ่านจะสามารถอ่านได้ดีเฉพาะลักษณะที่ถูกขย่าวางตัวขนานกับสายอากาศเครื่องอ่าน แสดงดังรูปที่ 2.32

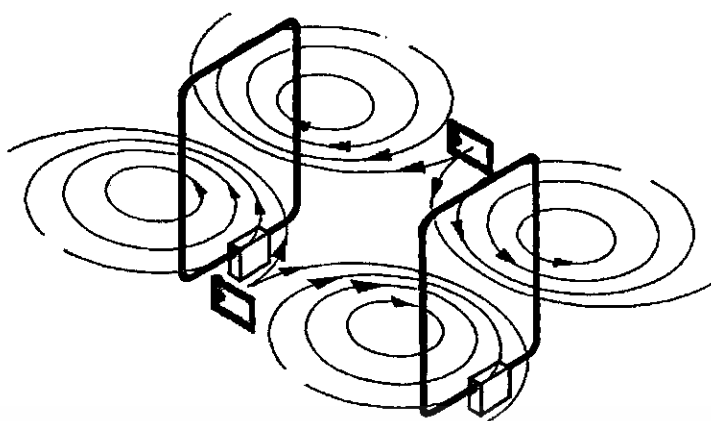


รูปที่ 2.32 ทิศทางสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงขดลวด 2 เกตประตูดต่อแบบเฟสเดียวกัน [4]

### 2.10.2 สายอากาศแบบบ่วงขดลวด 2 เกตประตูดต่อแบบต่างเฟสกัน 180 องศา

เมื่อทำการต่อสายอากาศ 2 เกตแบบต่างเฟสกัน 180 องศาจะได้รูปแบบการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนไป และเมื่อแท่งอยู่ในแนวขนานกับสายอากาศจะไม่สามารถอ่านได้ที่จุดกึ่งกลางระหว่างสายอากาศ แต่เมื่อแท่งทำมุม 90 องศา กับสายอากาศของเครื่องอ่าน ก็จะสามารถอ่านได้ทางด้านหน้าและด้านหลังของสายอากาศเครื่องอ่าน แสดงดังรูปที่ 2.33

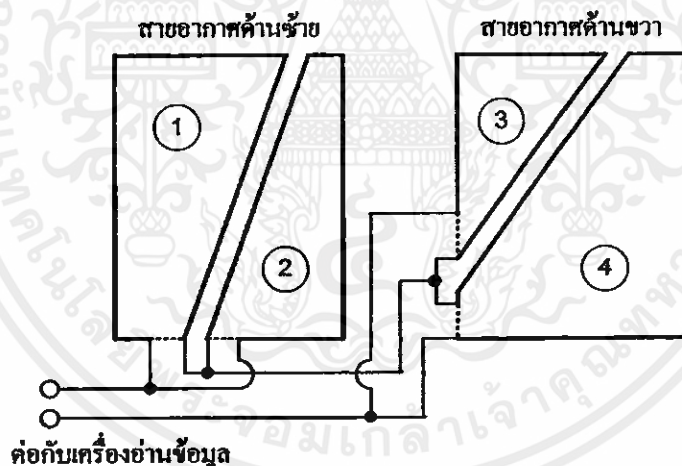
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการขออนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์และอาจมีความผิดตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง



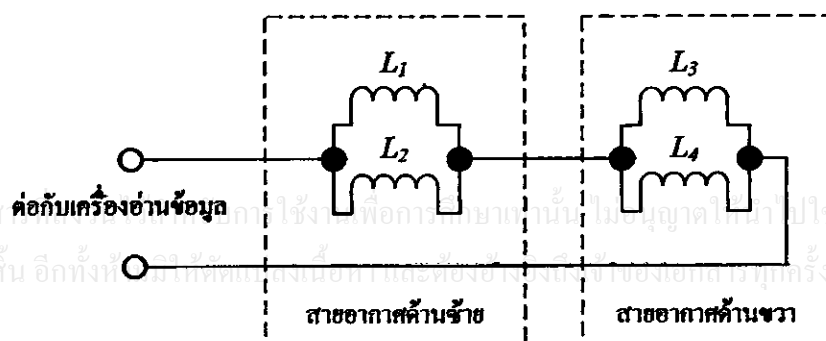
รูปที่ 2.33 ทิศทางสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงขดลวด 2 เกดต่อแบบต่างเฟสกัน  
180 องศา [4]

## 2.11 ค่าความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance)

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเกี่ยวกับการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่จัดวางแบบประตูดินผ่าน ซึ่งสายอากาศแบบบ่วงคู่นี้มีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.34



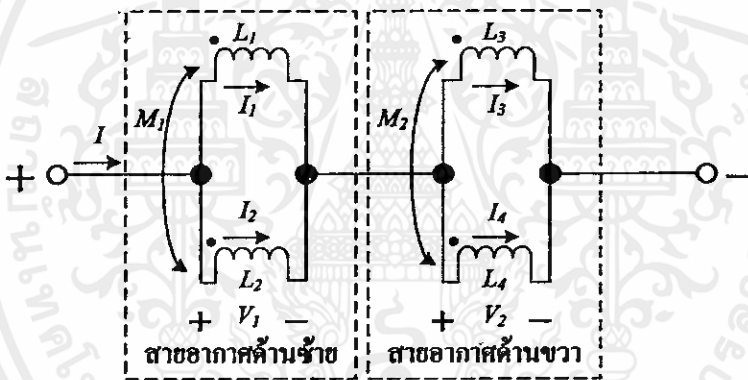
รูปที่ 2.34 สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน



รูปที่ 2.35 วงจรเสมือนของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน

จากรูปที่ 2.34 สายอากาศแต่ละด้านประกอบด้วยขดลวดสองขดลวดต่อขนานกัน โดยขดลวดทั้งสองจะวางชิดกันและสายอากาศทั้งสองด้านนั้นจะถูกนำมาเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมเพื่อใช้เป็นสายอากาศแบบประจุคินผ่าน เมื่อแทนแต่ละขดลวดของสายอากาศด้วยค่าความเหนี่ยวนำจะได้วงจรเสมือนดังแสดงในรูปที่ 2.35 โดยที่  $L_1$  และ  $L_2$  แทนค่าความเหนี่ยวนำตัวเอง (Self Inductance) ของขดลวดคู่ที่ต่อขนานกันของสายอากาศด้านซ้ายของขดลวดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และ  $L_3$  และ  $L_4$  แทนค่าความเหนี่ยวนำตัวเอง (Self Inductance) ของขดลวดคู่ที่ต่อขนานกันของสายอากาศด้านขวาของขดลวดที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งในที่นี้จะไม่นำถึงค่าความต้านทานเนื่องจากมีค่าน้อยมากจนสามารถที่ละทิ้งได้

จากโครงสร้างดังกล่าวจะเห็นว่าขดลวดแต่ละด้านของสายอากาศที่วางใกล้กันจะทำให้เกิดปรากฏการณ์สนามแม่เหล็กกรรม เป็นสาเหตุให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำร่วมขึ้นในสายอากาศ จึงควรที่จะพิจารณาถึงการเกิดค่าความเหนี่ยวนำร่วมภายในสายอากาศด้วย เริ่มจากการพิจารณาขดลวดที่อยู่ชิดกันในแต่ละด้านของสายอากาศ



รูปที่ 2.36 ลักษณะของกระแสภายในขดลวดของสายอากาศแบบขดลวดคู่ทั้งสองด้าน

จากรูปที่ 2.36 เมื่อทำการวิเคราะห์โดยสมมุติว่าแหล่งจ่ายกระแสเป็นรูปคลื่นไซน์ จะได้แรงดันที่เกิดขึ้นที่ขดลวดที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ  $V_1$  และแรงดันที่เกิดขึ้นที่ขดลวดที่ 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ  $V_2$  ดังสมการต่อไปนี้

$$V_1 = j\omega L_1 I_1 + j\omega M_1 I_2 = j\omega L_2 I_2 + j\omega M_1 I_1 \quad (2.37)$$

$$V_2 = j\omega L_3 I_3 + j\omega M_2 I_4 = j\omega L_4 I_4 + j\omega M_2 I_3 \quad (2.38)$$

เมื่อ  $L_1$  และ  $L_2$  คือค่าความเหนี่ยวนำตัวเอง (Self Inductance) ของสายอากาศแบบขดลวดคู่ด้านซ้ายขดลวดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ  $L_3$  และ  $L_4$  คือค่าความเหนี่ยวนำตัวเอง (Self Inductance) ของสายอากาศแบบขดลวดคู่ด้านขวามขดลวดที่ 3 และ 4 ตามลำดับ  $M_1$  คือค่าความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance) ที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวด  $L_1$  และ  $L_2$  และ  $M_2$  คือค่าความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance) ที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวด  $L_3$  และ  $L_4$  ซึ่งกระแสรวมภายในวงจรเท่ากับ  $I$

$$I = I_1 + I_2 = I_3 + I_4 \quad (2.39)$$

เมื่อ ค่ากระแส  $I_1$   $I_2$   $I_3$  และ  $I_4$  คือค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวด  $L_1$   $L_2$   $L_3$  และ  $L_4$  ตามลำดับ เนื่องจากกระแสและแรงดันที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้เป็นค่าเฟสเซอร์ โดยเราสามารถแปลงกระแส ( $i(t)$ ) รูปคลื่นไซน์ และ แรงดัน ( $v(t)$ ) รูปคลื่นไซน์ ในโดเมนของเวลาให้เป็นกระแสเฟสเซอร์ ( $I$ ) และแรงดันค่าเฟสเซอร์ ( $V$ ) ดังสมการที่ (2.40) และ (2.41) ตามลำดับ

$$i(t) = \text{Re}\{Ie^{j\omega t}\} \quad (2.40)$$

$$v(t) = \text{Re}\{Ve^{j\omega t}\} \quad (2.41)$$

เมื่อ  $\omega$  คือ ความถี่เชิงมุม และ  $t$  คือ เวลา

เมื่อเกิดปรากฏการณ์ของสนามแม่เหล็กร่วมระหว่างขดลวดสองขดจะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำร่วมขึ้นภายในขดลวดเป็นผลทำให้กระแสที่ไหลภายในขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในสมการที่ (2.37) และ (2.38) และด้วยสาเหตุนี้เองก็ทำให้ผลของค่าสนามแม่เหล็กที่กระจายออกมาจากขดลวดแตกต่างกันระหว่างผลที่ได้จากการจำลองแบบและผลที่ได้จากการทดสอบเนื่องจากในการจำลองแบบได้สมมุติค่ากระแสที่ไหลภายในขดลวดแต่ละขดของสายอากาศมีค่าเท่ากัน

ค่าความเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดสองขดที่ต่อขนานกันและเกิดปรากฏการณ์สนามแม่เหล็กร่วมเท่ากับ [1][5]

$$L_{11} = \frac{L_1 L_2 - M_1^2}{L_1 + L_2 \pm 2M_1} \quad (2.42)$$

$$L_{12} = \frac{L_3 L_4 - M_2^2}{L_3 + L_4 \pm 2M_2} \quad (2.43)$$

เมื่อ  $L_{11}$  และ  $L_{12}$  คือค่าความเหนี่ยวนำร่วมของสายอากาศแบบขดลวดคู่ด้านซ้ายและด้านขวา ตามลำดับ จากสมการที่ (2.42) และ (2.43) จะเป็นบวกเมื่อทิศทางการไหลของกระแสในขดลวดมีทิศทางเดียวกันและเป็นลบเมื่อทิศทางการไหลของกระแสในขดลวดสวนทางกัน

จากการทดสอบวัดค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศแบบขดลวดคู่แบบที่ 1 ที่ติดตั้งเป็นแบบประตูเดินผ่านมีค่า  $L_1 = 571 \mu\text{H}$ ,  $L_2 = 459 \mu\text{H}$ ,  $L_{11} = 245 \mu\text{H}$ ,  $L_3 = 665 \mu\text{H}$ ,  $L_4 = 388 \mu\text{H}$  และ  $L_{12} = 262 \mu\text{H}$  จากค่าดังกล่าวสามารถนำไปคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำร่วมที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวด  $L_1$  และ  $L_2$  ได้จากสมการที่ (2.42) โดยใช้เครื่องหมายบวก ซึ่งพบว่า  $M_1 = 19.83 \mu\text{H}$  และค่าความเหนี่ยวนำร่วมที่เกิดขึ้นระหว่าง  $L_3$  และ  $L_4$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.43) ซึ่งพบว่า  $M_2 = 34.09 \mu\text{H}$

จากสมการที่ (2.37) ทำการหาค่าอัตราส่วนระหว่าง  $I_1$  กับ  $I_2$  จะได้ว่า

$$(L_1 - M_1)j\omega I_1 = (L_2 - M_1)j\omega I_2 \quad (2.44)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(L_2 - M_1)}{(L_1 - M_1)}$$

เมื่อแทนค่า  $L_1 = 571 \mu\text{H}$ ,  $L_2 = 459 \mu\text{H}$  และ  $M_1 = 19.83 \mu\text{H}$  จะได้อัตราส่วนของกระแส  $I_1$  กับ  $I_2$  เท่ากับ

$$\frac{I_1}{I_2} = 0.796$$

จากนั้นจึงทำการหาค่าอัตราส่วนระหว่าง  $I_3$  กับ  $I_4$  โดยใช้สมการที่ (2.38) จะได้ว่า

$$(L_3 - M_2)j\omega I_3 = (L_4 - M_2)j\omega I_4 \quad (2.45)$$

$$\frac{I_3}{I_4} = \frac{(L_4 - M_2)}{(L_3 - M_2)}$$

เมื่อแทนค่า  $L_3 = 665 \mu\text{H}$ ,  $L_4 = 388 \mu\text{H}$  และ  $M_2 = 34.09 \mu\text{H}$  จะได้อัตราส่วนของกระแส  $I_1$  กับ  $I_2$  เท่ากับ

$$\frac{I_3}{I_4} = 0.560$$

จากอัตราส่วนของกระแสดังกล่าวเมื่อทราบค่าแรงดันของขดลวดก็จะสามารถคำนวณหาค่ากระแสได้และเป็นการยืนยันว่าค่าความเหนี่ยวนำร่วมทำให้ผลของค่าสนามแม่เหล็กที่กระจายออกมาจากขดลวดแตกต่างกันระหว่างผลที่ได้จากการจำลองแบบและผลที่ได้จากการทดสอบ เนื่องจากในการจำลองแบบได้สมมุติค่ากระแสที่ไหลภายในบ่วงแต่ละบ่วงของสายอากาศมีค่าเท่ากัน

## 2.12 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะและประเภทของแท็ก การทำงานของเครื่องอ่าน ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ การสื่อสารแบบ Inductive Coupling ที่ได้กล่าวถึง Load Modulation นอกจากนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบสายอากาศขดลวดที่นิยมใช้กันทั่วไป และทำการศึกษาถึงผลการเกิดความเหนี่ยวนำร่วมที่เกิดขึ้นระหว่างบ่วงคู่ของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประจูดินผ่าน ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำร่วมดังกล่าวจะส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณที่ได้จากการทดสอบจริงและผลที่ได้จากการจำลองแบบแตกต่างกันเล็กน้อย เพื่อจะเป็นความรู้พื้นฐานในการนำไปทำการออกแบบสายอากาศของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำต่อไป

## บทที่ 3

# ทฤษฎีและหลักการของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม

### 3.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่จะมุ่งเน้นวิธีการการหาค่าที่เหมาะสมด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมเป็นสำคัญ เนื่องจากเป็นหลักการที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งปัจจุบันกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมเริ่มนิยมนำมาใช้งานด้านการออกแบบทางวิศวกรรมมากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวกและรวดเร็ว รวมทั้งความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาอย่างคืบเนื่องและมีความเร็วสูงขึ้น

จากการนำกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมอย่างกว้างขวางนั้นจะมีจุดประสงค์ที่แน่นอนคือ ต้องการออกแบบเพื่อให้ได้สิ่งที่ดีที่สุดตัวอย่างเช่น การออกแบบด้านวิศวกรรมการบินใช้ออกแบบเครื่องบินเพื่อให้ได้น้ำหนักรวมของเครื่องบินน้อยที่สุดหรือเบาที่สุด หรือการออกแบบด้านวิศวกรรมสายอากาศในวิทยานิพนธ์นี้ใช้กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมในการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กมากที่สุด ในสามแนวแกนหลัก เนื่องจากสายอากาศแบบบ่วงนั้นมีค่าพารามิเตอร์หลายตัวและค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแต่ละตัวยังมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสายอากาศด้วยจึงจำเป็นต้องอาศัยหลักการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเข้ามาช่วย

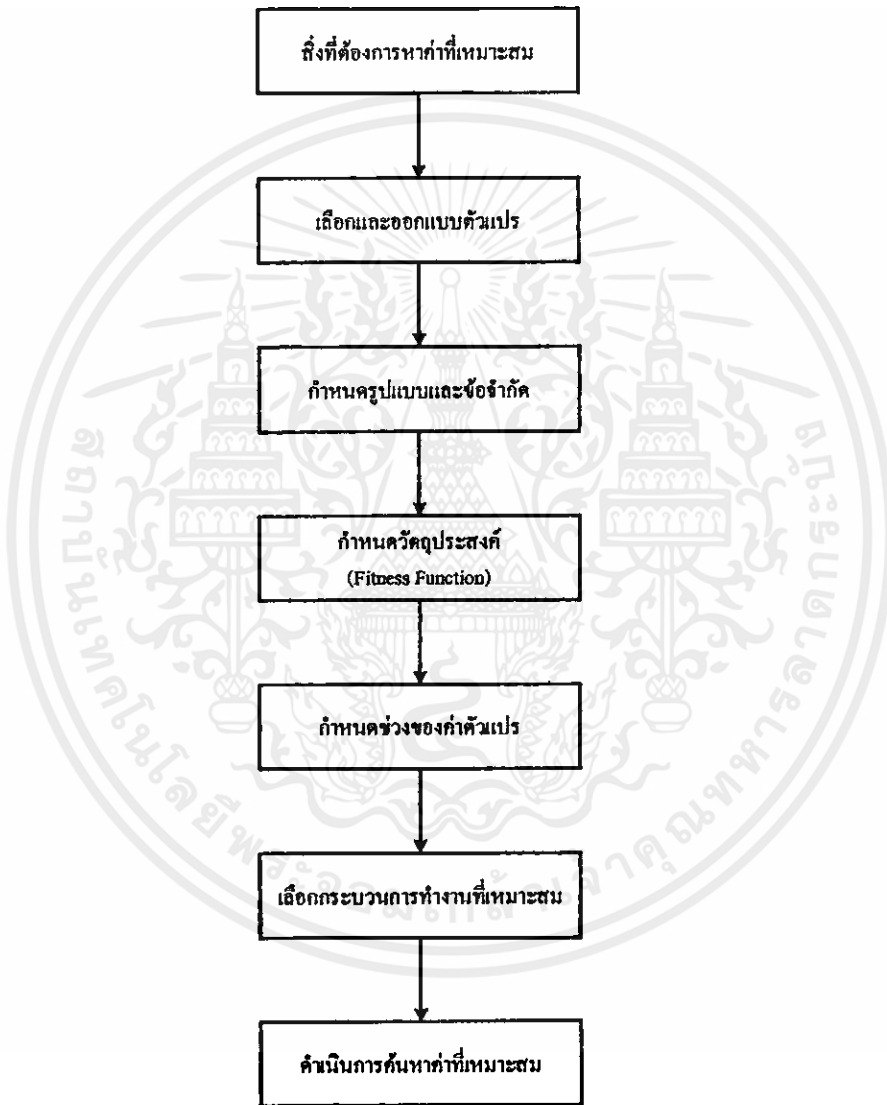
### 3.2 รูปแบบการออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม

รูปแบบการหาค่าที่เหมาะสมนั้นมีความสัมพันธ์ต่อการออกแบบกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อที่จะใช้ในการหาที่เหมาะสม ซึ่งการประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์รูปแบบใดรูปแบบหนึ่งนั้นเป็นไปได้ยากในทางวิศวกรรม เพราะปัญหาทางวิศวกรรมนั้นเป็นปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงไปไม่มีรูปแบบตายตัว ขึ้นอยู่กับรูปแบบของสิ่งที่ต้องการออกแบบ จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคที่แตกต่างกันในการแก้ปัญหา ในหัวข้อนี้จึงนำเสนอลำดับการออกแบบกระบวนการทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นเพื่อใช้ในการออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมให้เหมาะสมกับปัญหาด้านวิศวกรรม

จากรูปที่ 3.1 อันดับแรกที่ต้องทำการออกแบบคือการเลือกตัวแปร (Variables) ที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสมจากปัญหาที่ต้องการออกแบบ ค่าเหล่านี้เป็นค่าที่จะถูกเปลี่ยนแปลงระหว่างการหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งค่าตัวแปรแต่ละตัวมีความสำคัญกับการออกแบบไม่เท่ากันบางตัวมี

ผลกระทบมากกับปัญหาแบบหนึ่งแต่มีผลกระทบน้อยกับปัญหาอีกแบบหนึ่ง ดังนั้นจึงควรทำการกำหนดตัวแปรที่ต้องการออกแบบให้เหมาะสมก่อน

อันดับที่สองคือการศึกษาเกี่ยวกับข้อบังคับหรือข้อจำกัดที่จะใช้ในการออกแบบ ซึ่งสิ่งนี้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการออกแบบตัวแปรและค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ทำการออกแบบด้วยเช่น เมื่อเราต้องการสายอากาศแบบบ่วงที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูงแต่ยังคงต้องการขนาดของสายอากาศเท่าเดิม ฉะนั้นขนาดของสายอากาศคือข้อบังคับของปัญหานี้



รูปที่ 3.1 รูปแบบการออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม [7]

อันดับที่สามคือการกำหนดวัตถุประสงค์ หรือ ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) ซึ่งเป็นเทอมที่บอกถึงวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม โดยทั่วไป เทอมนี้จะถูกแทนที่ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นผลมาจากค่าตัวแปรที่ทำการออกแบบ ถูก

แบ่งออกเป็นสองชนิดคือ การค้นหาค่าความเหมาะสมที่มีค่ามากที่สุด และ การค้นหาค่าความเหมาะสมที่มีค่าน้อยที่สุด

อันดับที่สี่คือการกำหนดช่วงของตัวแปรที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมบางกระบวนการนั้นอาจไม่ต้องการข้อมูลนี้ หลังจากที่ทราบแล้วว่าต้องการหาค่าที่เหมาะสมของอะไร มีวัตถุประสงค์อย่างไร ต่อไปก็เป็นการเลือกกระบวนการคิดหรือกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับปัญหาที่ต้องการ แล้วจึงดำเนินการหาค่าที่เหมาะสมตามกระบวนการ

### 3.3 ประเภทของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม

กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบดั้งเดิม (Traditional Optimization Algorithms) คือ กระบวนการที่ใช้หลักการคำนวณ โดยอาศัยข้อมูลของการหาอนุพันธ์หรือกระบวนการที่มีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ตายตัวไม่สามารถที่จะปรับเปลี่ยนได้เช่น วิธีการตัดขอบเขต (Region-Elimination Methods) หรือ วิธีการประมาณค่าจากจุด (Point-Estimation Methods) หรือ วิธีการแบบเกรเดียนต์ (Gradient-based Method) และอื่น ๆ

2. กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบใหม่ (Nontraditional Optimization Algorithms) คือ กระบวนการที่พัฒนาจากรูปแบบเดิมโดยเลียนแบบหลักการทางธรรมชาติและนำหลักการของความน่าจะเป็นเข้ามาช่วยในการค้นหาที่เหมาะสมเช่น กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม (Genetic Algorithms)

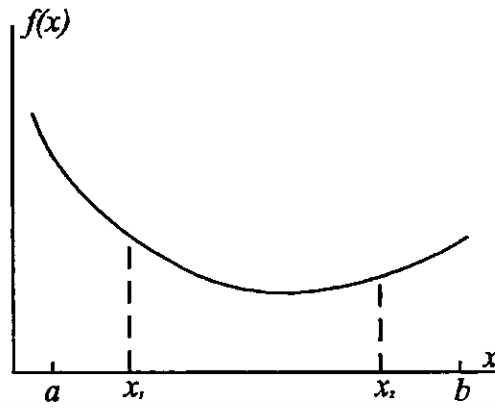
### 3.4 กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบดั้งเดิม (Traditional optimization algorithms)

#### 3.4.1 วิธีการตัดขอบเขต (Region-Elimination Method)

การหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการตัดขอบเขตมีหลักการคือ จะเริ่มจากการพิจารณาจุดสองจุดบนกราฟ ( $x_1$  และ  $x_2$ ) ซึ่งอยู่ภายในช่วง ( $a, b$ ) ในกรณีที่ค่าของจุด  $x_1 < x_2$  การหาค่าที่น้อยที่สุดสำหรับฟังก์ชัน unimodal สามารถสรุปเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้ [7]

##### 3.4.1.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานของวิธีหาค่าที่เหมาะสมโดยวิธีการตัดขอบเขต

1. ถ้า  $f(x_1) > f(x_2)$  แสดงว่าจุดค่าสุดไม่อยู่ในช่วง ( $a, x_1$ )
2. ถ้า  $f(x_1) < f(x_2)$  แสดงว่าจุดค่าสุดไม่อยู่ในช่วง ( $x_2, b$ )
3. ถ้า  $f(x_1) = f(x_2)$  แสดงว่าจุดค่าสุดไม่อยู่ในช่วง ( $a, x_1$ ) และ ( $x_2, b$ )

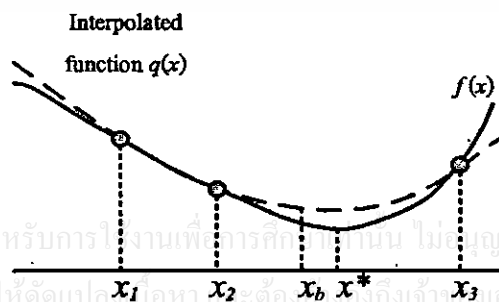


รูปที่ 3.2 รูปกราฟของฟังก์ชัน Unimodal แบบหนึ่งตัวแปร [7]

เริ่มจากพิจารณาค่าของฟังก์ชัน  $f(x_1) > f(x_2)$  ดังนั้นจุดต่ำสุด ( $x^*$ ) จึงไม่อยู่ในช่วงค้นหาซ้าย ( $a, x_1$ ) ดังนั้นจึงสามารถตัดขอบเขตด้านซ้าย ( $a, x_1$ ) ออกจากการพิจารณาได้ จากนั้นมาพิจารณาช่วงใหม่จาก ( $a, b$ ) เป็น  $(x_1, b)$  ด้วยหลักการที่คล้ายกันหากค่าของฟังก์ชัน  $f(x_1) < f(x_2)$  ก็จะสามารถตัดขอบเขตด้านขวาออกจากการพิจารณาได้อีกจนกระทั่งพบค่าของฟังก์ชัน  $f(x_1) = f(x_2)$  เราก็จะสามารถตัดขอบเขตออกจากการพิจารณาได้จนหมดเหลือแต่ช่วง ( $a, b$ ) ซึ่งเป็นช่วงที่อยู่ในจุดต่ำที่สุด

### 3.4.2 วิธีการประมาณค่าจากจุด (Point-Estimation Method)

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมโดยการประมาณค่าจากจุดหลักการนี้เป็นวิธีการที่อาศัยความสัมพันธ์ทางขนาดของฟังก์ชันเพื่อเป็นแนวทางการค้นหาที่น้อยที่สุดของฟังก์ชันจะอธิบายหลักการดังกล่าวโดยใช้ฟังก์ชัน Quadratic Polynomial ซึ่งฟังก์ชันดังกล่าวจะสามารถกำหนดจุดที่สัมพันธ์กัน เริ่มจากการกำหนดจุดเริ่มต้นคือ  $x_1, x_2$  และ  $x_3$  จากรูปที่ 3.3 เส้นโค้งที่ใกล้เคียงกับเส้นโค้งของกราฟ quadratic จะถูกวาดด้วยเส้นประที่ประมาณผ่านจุดทั้งสามจุด โดยที่ค่าที่ต่ำที่สุดของกราฟนี้ ( $\bar{x}$ ) จะมีอยู่เพียงจุดเดียว แต่สำหรับฟังก์ชันแบบ Nonquadratic นั้น จำเป็นต้องมีการกระทำด้วยรูปแบบนี้หลายๆ ครั้งจึงจะสามารถที่จะหาจุดที่ต่ำที่สุดได้ [7]



รูปที่ 3.3 ฟังก์ชัน  $f(x)$  และ Interpolated quadratic [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา หรือต้องสงวนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ Quadratic function จะอธิบายด้วยจุด 2 จุดคือ  $x_1$  และ  $x_2$  สามารถเขียนได้ว่า

$$q(x) = a_0 + a_1(x - x_1) + a_2(x - x_1)(x - x_2) \quad (3.1)$$

ถ้า  $(x_1, f_1)$ ,  $(x_2, f_2)$  และ  $(x_3, f_3)$  เป็นสามจุดที่อยู่บนฟังก์ชันนี้จะสามารถเขียนความสัมพัทธ์ได้ว่า

$$a_0 = f_1, \quad (3.2)$$

$$a_1 = \frac{f_2 - f_1}{x_2 - x_1}, \quad (3.3)$$

$$a_2 = \frac{1}{x_3 - x_2} \left( \frac{f_3 - f_1}{x_3 - x_1} - a_1 \right) \quad (3.4)$$

โดยที่ค่าที่ได้จากการหาค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชัน  $q(x)$  เมื่อเทียบกับ  $x$  เท่ากับ 0 จะสามารถหาค่าที่น้อยที่สุดได้คือ

$$\bar{x} = \frac{x_1 - x_2}{2} - \frac{a_1}{2a_2} \quad (3.5)$$

จากจุดที่กำหนดนั้นสามารถที่จะประมาณค่าจุดที่ค่าที่สุดได้เมื่อ  $q''(\bar{x}) > 0$  หรือ  $a_2 > 0$  และจะขึ้นอยู่กับค่าเพียงสามจุดเท่านั้นและค่าที่ดีที่สุดของทั้งสามจุดนี้จะถูกเก็บไว้เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าการกระทำครั้งต่อไปเพื่อค้นหาจุดที่ค่าที่สุด โดยจะทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีสองจุดที่ใกล้กันมาก ๆ จึงจะได้ค่าที่ค่าที่สุด

**3.4.2.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานของวิธีหาค่าที่เหมาะสมโดยการประมาณค่าจากจุด**

1. กำหนดให้  $x_1$  เป็นค่าเริ่มต้น  $\Delta$  เป็นระยะของการประมาณค่า และ  $x_2 = x_1 + \Delta$
2. คำนวณค่าของฟังก์ชัน  $f(x_1)$  และ  $f(x_2)$
3. ถ้าค่าของฟังก์ชัน  $f(x_1) > f(x_2)$  กำหนดให้  $x_3 = x_1 + 2\Delta$  แต่ถ้าไม่ใช่กำหนดให้  $x_3 = x_2 - \Delta$  แล้วคำนวณค่าของฟังก์ชัน  $f(x_3)$
4. กำหนดให้  $F_{\min} = \min(f_1, f_2, f_3)$  และ  $X_{\min}$  คือจุด  $x_i$  ที่สอดคล้องกับ  $F_{\min}$
5. ใช้จุด  $x_1, x_2$  และ  $x_3$  คำนวณค่า  $\bar{x}$  ด้วยสมการที่ (3.5)

6. ตรวจสอบค่า  $|F_{\min} - f(\bar{x})|$  และ  $|X_{\min} - \bar{x}|$  มีค่าน้อยเพียงพอหรือไม่เมื่อเทียบกับค่าที่ต้องการ ถ้าค่าน้อยเพียงพอแล้วแสดงว่าจุดทั้ง 4 จุดนั้นคือค่าที่เหมาะสม แต่ถ้าหากค่ายังไม่น้อยเพียงพอให้ทำการบันทึกจุดที่ดีที่สุดหรือบันทึกไว้ทั้งสามจุดแล้วทำการจัดเรียงลำดับ  $x_1 < x_2 < x_3$  จึงกลับไปทำขั้นตอนที่สี่ใหม่

### 3.4.2.2 ตัวอย่างการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการประมาณค่าจากจุด

$$f(x) = x^2 + 54/x$$

1. เลือกค่า  $x_1 = 1$  และ  $\Delta = 1$  ดังนั้น  $x_2 = x_1 + \Delta = 1+1 = 2$
2. ค่าของฟังก์ชัน  $f(x_1) = 55$  และ  $f(x_2) = 31$
3. ค่าของฟังก์ชัน  $f(x_1) > f(x_2)$  จึงได้ค่า  $x_3 = x_2 + \Delta = 2 + 1 = 3$  และค่าของฟังก์ชัน  $f(x_3) = 27$
4. ทำการเปรียบเทียบค่าของฟังก์ชัน โดยใช้ฟังก์ชัน  $F_{\min} = \min(55, 31, 27) = 27$  และที่จุด  $x_{\min} = x_3 = 3$
5. คำนวณค่า  $a_0, a_1$  และ  $a_2$  ด้วยสมการที่ (2.2) ถึง (2.4)

$$a_0 = 55,$$

$$a_1 = \frac{31 - 55}{2 - 1} = -24,$$

$$a_2 = \frac{1}{3 - 2} \left[ \frac{27 - 55}{3 - 1} - (-24) \right] = 10.$$

เมื่อค่า  $a_2 > 0$  คำนวณหาค่าจุดต่ำสุด  $\bar{x} = (1+2)/2 - (-24)/(2*10) = 2.7$  จะได้ค่าของฟังก์ชัน

$$f(\bar{x}) = 27.29$$

6. ทำการตรวจสอบค่าของ  $|F_{\min} - f(\bar{x})| = |27 - 27.29|$  และ  $|X_{\min} - \bar{x}| = |3 - 2.7|$  แต่ค่านี้ยังน้อยไม่เพียงพอ จึงต้องทำขั้นตอนที่ 7 ค่อยไป
7. ฉะนั้นจุดที่ดีที่สุดคือ  $x_3 = 3$  จากนั้นจะทำการพิจารณาจุดทั้งสามจุด  $x_1 = 1, x_2 = 2.7$  และ  $x_3 = 3$  ทำการเรียงลำดับตามเงื่อนไข  $x_1 < x_2 < x_3$  แล้วกลับไปทำขั้นตอนที่สี่ใหม่
4. ในขั้นตอนนี้มีค่า  $F_{\min} = \min(31, 27.29, 27) = 27$  และที่จุด  $x_{\min} = x_3 = 3$
5. คำนวณค่า  $a_1$  และ  $a_2$  ได้ค่า  $a_1 = -5.3$  และ  $a_2 = 4.33$  ซึ่งเป็นค่าบวก จึงได้ค่า  $\bar{x} = 2.96$  และค่าของฟังก์ชันเท่ากับ  $f(\bar{x}) = 27.005$
6. ทำการตรวจสอบค่าของ  $|F_{\min} - f(\bar{x})| = |27 - 27.005|$  และ  $|X_{\min} - \bar{x}| = |3 - 2.96|$  เมื่อค่านี้ยังน้อยเพียงพอ จึงได้ค่าของจุดที่ดีที่สุดของฟังก์ชันคือ  $x^* = 3$  และ  $f(x^*) = 27$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ เช่น ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 วิธีการแบบการเคลื่อน (Gradient-based Methods)

วิธีการต่าง ๆ ที่ได้อธิบายไปนั้นเป็นวิธีการที่ทำการหาค่าที่เหมาะสมของฟังก์ชัน โดยตรง ไม่ใช่ข้อมูลอนุพันธ์ของฟังก์ชัน ซึ่งในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงวิธีการที่ใช้ข้อมูลของการหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันเพื่อนำมาคำนวณหาค่าที่เหมาะสมของฟังก์ชัน ซึ่งในโลกของความเป็นจริงนั้นเป็นการยากที่จะหาค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันต่าง ๆ ได้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการแบบการเคลื่อน ก็ยังเป็นที่ยอมรับในการนำมาใช้หาค่าที่เหมาะสมของฟังก์ชันที่สามารถหาค่าอนุพันธ์ได้และเนื่องจากวิธีการแบบการเคลื่อน นั้นถูกแบ่งย่อยออกเป็นหลายแบบจึงขออธิบายหลักการของ Newton-Raphson Method เพื่อเป็นตัวอย่าง

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ใช้หาจุดที่ต่ำที่สุดด้วยวิธีการประมาณค่าที่เป็นเชิงเส้นด้วยข้อมูลการหาค่าอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของฟังก์ชันแบบ Taylor's Series [7]

ถ้ากำหนดให้จุดปัจจุบันที่ทำการคำนวณซ้ำครั้งที่  $t$  เป็น  $x^t$  และจุดในการคำนวณซ้ำครั้งถัดไปเป็น

$$x^{(t+1)} = x^t - \frac{f'(x^t)}{f''(x^t)} \quad (3.6)$$

#### 3.4.3.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานของ Newton-Raphson Method

1. กำหนดค่าเริ่มต้นโดยการสุ่มค่า  $x^{(1)}$   
กำหนดค่าที่ต่ำที่สุดที่ต้องการคือ  $\epsilon$   
กำหนดค่า  $t = 1$  และคำนวณค่า  $f'(x^{(1)})$
2. คำนวณค่า  $f''(x^{(1)})$
3. คำนวณค่า  $x^{(t+1)} = x^{(t)} - f'(x^{(t)}) / f''(x^{(t)})$  และ  $f'(x^{(t+1)})$
4. ถ้า  $|f'(x^{(t+1)})| < \epsilon$  แสดงว่าได้ค่าที่น้อยที่สุดแล้วสิ้นสุดการทำงาน แต่ถ้า  $|f'(x^{(t+1)})| > \epsilon$  แสดงว่ายังไม่ใช้ค่าที่น้อยที่สุด จึงต้องทำขั้นตอนที่ 2 ต่อไปและเพิ่มค่า  $t = t + 1$

วิธีนี้จะเกิดการลู่เข้าค่าที่เหมาะสมได้นั้น จะขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นที่เราทำการกำหนดและความซับซ้อนของฟังก์ชัน เนื่องจากรูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าอนุพันธ์ของบางฟังก์ชันไม่สามารถทำได้โดยง่าย จึงได้แสดงวิธีการหาค่าอนุพันธ์ที่จุด  $x^{(t)}$  ไว้ดังสมการที่ (3.7) ถึง (3.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f'(x^{(i)}) = \frac{f(x^{(i)} + \Delta x^{(i)}) - f(x^{(i)} - \Delta x^{(i)})}{2\Delta x^{(i)}} \quad (3.7)$$

$$f''(x^{(i)}) = \frac{f(x^{(i)} + \Delta x^{(i)}) - 2f(x^{(i)}) + f(x^{(i)} - \Delta x^{(i)})}{(\Delta x^{(i)})^2} \quad (3.8)$$

โดยทั่วไปค่า  $\Delta x^{(i)}$  ถูกกำหนดให้เป็นค่าน้อยๆแต่ในการคำนวณตามวิธีนี้จะกำหนดการประมาณค่าไว้ที่ 1% ของค่า  $x^{(i)}$

$$\Delta x^{(i)} = 0.01|x^{(i)}| \text{ ถ้า } |x^{(i)}| > 0.01 \quad (3.9)$$

เมื่อ  $\Delta x^{(i)}$  เป็นค่าอื่นให้เท่ากับ 0.01

### 3.4.3.2 ตัวอย่างการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการ Newton-Raphson Method

$$f(x) = x^2 + 54/x$$

1. กำหนดค่าเริ่มต้น  $x^{(1)} = 1$

กำหนดค่าต่ำสุดที่ต้องการ  $\epsilon = 10^{-3}$

กำหนดค่า  $r = 1$

คำนวณค่า  $\Delta$  จากสมการที่ (3.9) มีค่าเท่ากับ 0.01 และคำนวณหาค่า  $f'(x^{(1)}) = -52$

2. คำนวณหาค่าอนุพันธ์อันดับที่ 2 ที่ค่า  $x^{(1)} = 1$  ได้  $f''(x^{(1)}) = 110$

3. คำนวณค่าลำดับถัดไป  $x^{(r+1)}$  ได้ค่า

$$\begin{aligned} x^{(2)} &= x^{(1)} - f'(x^{(1)}) / f''(x^{(1)}) \\ &= 1 - (-52.005) / (110.011) \\ &= 1.473 \end{aligned}$$

คำนวณค่าอนุพันธ์อันดับที่ 2  $f''(x^{(2)}) = -21.944$

4. ดังนั้นค่าของ  $|f''(x^{(2)})|$  ไม่น้อยกว่า  $\epsilon$  ฉะนั้นจึงทำการเพิ่มค่า  $r = r+1 = 2$  แล้วกลับไปเริ่มทำขั้นตอนที่ 2

2. คำนวณหาค่าอนุพันธ์อันดับที่ 2 ที่ค่า  $x^{(2)} = 1.473$  ได้  $f''(x^{(2)}) = 35.796$

3. คำนวณค่าลำดับถัดไป  $x^{(r+1)}$  ได้ค่า

$$x^{(3)} = 2.086$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเบื้องต้นเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ คำนวณค่าอนุพันธ์อันดับที่ 2  $f''(x^{(3)}) = -8.239$  ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ดังนั้นค่าของ  $|f''(x^{(2)})|$  ไม่น้อยกว่า  $\epsilon$  ฉะนั้นจึงทำการเพิ่มค่า  $r = r+1 = 3$  แล้วกลับไปเริ่มทำขั้นตอนที่ 2.

2. คำนวณหาค่าอนุพันธ์อันดับที่ 2 ที่ค่า  $x^{(3)} = 2.086$  ได้  $f''(x^{(2)}) = 13.899$
3. คำนวณค่าลำดับถัดไป  $x^{(4)}$  ได้ค่า

$$x^{(4)} = 2.679$$

คำนวณค่าอนุพันธ์อันดับที่ 2  $f''(x^{(4)}) = -2.167$

เมื่อทำการคำนวณตามขั้นตอนดังกล่าวซ้ำ ๆ ไปจนถึงครั้งที่  $x^{(7)} = 3.001$  และมีค่า  $f'(x^{(7)}) = -4(10)^{-8}$  ซึ่งเป็นค่าที่น้อยเพียงพอที่จะทำให้กระบวนการค้นหาหยุดได้ และสามารถสรุปได้ว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดหรือจุดที่ทำให้ค่าของฟังก์ชันน้อยที่สุดคือ  $x=3.001$

### 3.5 กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบใหม่

#### (Nontraditional Optimization Algorithms)

ในหัวข้อนี้จะอธิบายเกี่ยวกับการหาค่าที่เหมาะสมแบบใหม่ (Non-Traditional Method) ซึ่งเป็นหลักการที่นิยมนำมาใช้ทางวิศวกรรมและถือว่าเป็นหลักการใหม่ที่มีความสามารถหาค่าที่เหมาะสมให้กับปัญหาทางวิศวกรรมที่มีความซับซ้อนได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วยกตัวอย่างเช่น กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) กระบวนการจำลองแบบการแข็งตัวของวัตถุ (Simulated Annealing)

#### 3.5.1 กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA)

กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมเป็นกระบวนการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่มีความแข็งแรงและใช้หลักการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงคุณสมบัติทางสถิติของปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันฟังก์ชันร่วมกับแนวคิดของการสุ่มและเป็นกระบวนการแบบวิทยาการศึกษาสำนึก (Heuristic) หมายถึง วิธีการแก้ปัญหาที่ดูเหมือนว่าจะไม่มีแนวทางหรือกฎเกณฑ์ที่ชัดเจนตายตัว เช่น ในเกมหมากรุก ซึ่งมีแต่การทดลองหรือคาดเดาหลาย ๆ ทางให้ตัดสินใจเลือกทางที่คิดว่าจะได้ผลดีที่สุด ซึ่งมักจะใช้ผลจากประสบการณ์ที่ผ่านมา เพื่อใช้แก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนหรือปัญหาที่มีความสัมพันธ์กันได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการคิดนี้ถูกนำเสนอโดย Professor John Holland จากมหาวิทยาลัยมิชิแกน ในปี ค.ศ.1975 หลังจากนั้นกระบวนการนี้ก็ถูกพัฒนาและเริ่มเป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย [7]-[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 หลักการของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

#### 3.5.2.1 การเข้ารหัส

ในการประยุกต์ใช้กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ นั้น สิ่งแรกที่ต้องทำคือการเข้ารหัสตัวแปรที่ต้องการออกแบบ ( $x_i$ ) เพื่อให้ได้ออกมาเป็นโครงสร้างรหัสแบบแถว ซึ่งปัจจุบันการเข้ารหัสที่ใช้กันในกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม มีอยู่หลายแบบ ในที่นี้ได้อธิบายหลักการเข้ารหัสของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมอย่างง่าย (Simple-GA) ใช้รหัสแบบไบนารีที่มีเฉพาะค่า "0" และ "1" ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป ส่วนความยาวของรหัสนั้นจะถูกกำหนดขึ้น โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดและปริมาณของค่าตัวแปรที่ต้องการ ถ้าหากความยาวของรหัสนั้นยังมีความยาวมากก็จะมีค่าความละเอียดและปริมาณของค่าตัวแปรมากขึ้น ยกตัวอย่างถ้าใช้ความยาวของรหัสเท่ากับ 4 บิตเพื่อเข้ารหัสกับตัวแปรแต่ละตัวในฟังก์ชันสองตัวแปรจะได้ค่าต่ำสุดของชุดตัวแปรคือ (0000 0000) และค่าสูงสุดของชุดตัวแปรคือ (1111 1111) จะได้รูปแบบของชุดตัวแปรดังนี้  $(x_1^{(L)}, x_2^{(L)})^T$   $(x_1^{(U)}, x_2^{(U)})^T$  เมื่อ  $(x_1^{(L)}, x_2^{(L)})^T$  คือ ชุดตัวแปรที่มีค่าต่ำที่สุดชุดที่  $T$  และ  $(x_1^{(U)}, x_2^{(U)})^T$  คือ ชุดตัวแปรที่มีค่าสูงที่สุดชุดที่  $T$  ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการเข้ารหัสค่าของตัวแปรที่เป็นเลขฐานสิบเป็นรหัสไบนารี

ตารางที่ 3.1 การเข้ารหัสค่าของตัวแปรเลขฐานสิบเป็นรหัสไบนารี

ค่าตัวแปร	รหัสไบนารี
1	0000
2	0001
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111

เนื่องจากกลุ่มของรหัสไบนารี ( $s_j$ ) (0000) และ (1111) นั้นถูกนำไปใช้แทนค่าของตัวแปรที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดตามลำดับ ซึ่งการเข้ารหัสโดยทั่วไปจะใช้วิธีการแบบ linear mapping rule [7]

$$x_i = x_i^{(L)} + \frac{x_i^{(U)} - x_i^{(L)}}{2^l - 1} \rightarrow \text{นำไปเข้ารหัสไบนารี} \quad (3.10)$$

จากสมการที่ (3.10) เป็นสมการที่ใช้ในการเข้ารหัสตัวแปรจากเลขฐานสิบเป็นรหัสไบนารี เมื่อตัวแปร  $x_i$  คือค่าของช่วงตัวแปร  $i$ , คือความยาวของรหัสไบนารีที่ใช้  $x_i^{(l)}$  และ  $x_i^{(u)}$  คือค่าของตัวแปรที่ต่ำที่สุดและมากที่สุดตามลำดับ

การถอดรหัสค่าของตัวแปรออกมาจากรหัสไบนารีสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\sum_{i=0}^{l-1} 2^i s_i, \text{ เมื่อ } s_i \in (0, 1) \text{ และ String } s \text{ ถูกแทนด้วย } (s_{l-1} s_{l-2} \dots s_2 s_1 s_0)$$

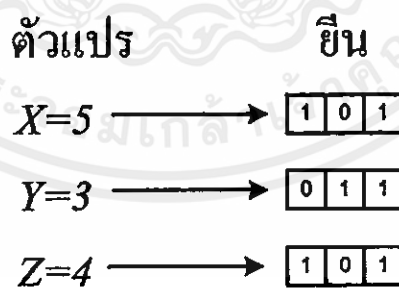
ตัวอย่างการคำนวณค่ารหัส 4 บิต (0111) สามารถที่จะถอดรหัสได้เป็น

$$\sum_{i=0}^{l-1} 2^i s_i = (0.2^3 + 1.2^2 + 1.2^1 + 1.2^0) = 7$$

ฉะนั้นการใช้รหัส 4 บิตในการเข้ารหัสตัวแปรจะสามารถเข้ารหัสตัวแปรได้มากที่สุดเท่ากับ  $2^4$  หรือ 16 ค่าเพราะตำแหน่งของแต่ละบิตสามารถเป็นไปได้แค่ “0” และ “1” หากเพิ่มขึ้นเป็นค่า 5 บิต จะได้ค่าตัวแปรเพิ่มขึ้นแบบ Exponential เท่ากับ 32 ค่า ซึ่งในการเข้ารหัสตัวแปรแต่ละตัวนั้นไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเข้ารหัสด้วยจำนวนบิตที่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับว่าต้องการค่าตัวแปรใดที่มีความละเอียดมากน้อยเท่าไร

### 3.5.2.2. ยีน (Genes)

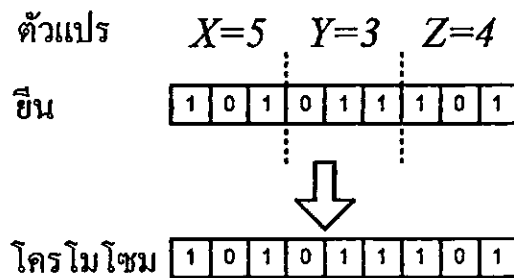
ในกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมมียีนเป็นบล็อกการทำงานพื้นฐาน โดยทั่วไปยีนจะเป็นรหัสที่ใช้แทนค่าพารามิเตอร์หรือค่าตัวแปรแต่ละตัวในกระบวนการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะของยีนในกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

### 3.5.2.3 โครโมโซม (Chromosome)

โครโมโซม (Chromosome) คือลำดับของยีนที่เรียงกัน ซึ่งถูกแทนด้วยชุดของพารามิเตอร์หรือชุดของค่าตัวแปรในการทำงาน โดยทั่วไปโครโมโซมนั้นจะถูกพิจารณารูปแบบของบิตข้อมูลของรหัสไบนารี (Binary Bit String) แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะของโครโมโซมในกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

จากรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นถึงการแปลงค่าตัวแปรจากเลขฐานสิบไปเป็นยีนและโครโมโซมเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม ซึ่งในกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมนี้จะเรียก โครโมโซม อีกหนึ่งอย่างว่า สมาชิก

#### 3.5.2.4 กลุ่มสมาชิก (Population)

กลุ่มสมาชิก (Population) คือ โครโมโซมหลาย ๆ ตัว ที่ถูกนำมารวมกันเรียกว่า กลุ่มสมาชิก (Population) และกลุ่มสมาชิกนั้นจะเป็นสิ่งที่ใช้ในการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

#### 3.5.2.5 จำนวนครั้งการทำงาน (Generation Number)

ในการทำงานแต่ละวงรอบนั้นจะเรียกว่า จำนวนครั้งการทำงาน (Generation Number) ซึ่งในหนึ่งวงรอบการทำงานประกอบด้วยกระบวนการเลือกสมาชิกภายในกลุ่มสมาชิก (Selection) การสร้างสมาชิกใหม่ด้วย Recombination และ Mutation แล้วนำไปแทนที่สมาชิกเดิมที่มีอยู่เพื่อใช้ในวงรอบการทำงานใหม่ ในอุดมคติแล้วชุดตัวแปรที่ถูกคัดลอกมานั้นต้องเป็นชุดตัวแปรที่มีค่าความเหมาะสมสูง

#### 3.5.2.6 สมาชิกต้นแบบ (Parent)

สมาชิกต้นแบบ (Parent) คือสมาชิกที่ถูกเลือกมาด้วยกระบวนการเลือกสมาชิก ซึ่งจะเป็นสมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมสูงเพื่อที่จะนำมาสร้างสมาชิกใหม่ในวงรอบการทำงานถัดไป

#### 3.5.2.7 สมาชิกใหม่ (Child)

สมาชิกใหม่ (Child) คือสมาชิกที่ถูกสร้างมาจากกลุ่มของสมาชิกต้นแบบด้วยกระบวนการ recombination และ mutation

#### 3.5.2.8 ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function : $F(x)$ )

ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness) คือค่าที่บ่งบอกถึงความเหมาะสมของชุดตัวแปรหรือสมาชิก ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ว่าจะต้องการให้เป็นอะไร ตัวอย่างเช่นต้องการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงให้มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กให้มีค่ามากที่สุด ฉะนั้นฟังก์ชันความเหมาะสมคือ ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก จากการใช้งานกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม จะเริ่มจากการพิจารณาว่าจะนำกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมไปใช้กับปัญหาประเภทใด

และเป็นการหาค่าที่เหมาะสมแบบใด ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งการหาค่าที่มากที่สุดและการหาค่าที่น้อยที่สุด

$$F(x) = \frac{1}{1+f(x)} \quad (\text{สำหรับการหาค่าที่น้อยที่สุดของฟังก์ชัน}) \quad (3.11)$$

$$F(x) = f(x) \quad (\text{สำหรับการหาค่าที่มากที่สุดของฟังก์ชัน}) \quad (3.12)$$

เนื่องจากฟังก์ชันความเหมาะสมนั้นใช้เป็นตัวบอกว่าค่าตัวแปรค่าใดเหมาะสมหรือไม่ ฉะนั้นในการกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสมจึงเปรียบเสมือนการกำหนดความต้องการหรือเป้าหมายในการออกแบบ

### 3.5.2.9 ตัวปฏิบัติการของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

#### 3.5.2.9.1 กระบวนการเลือกสมาชิก (Reproduction)

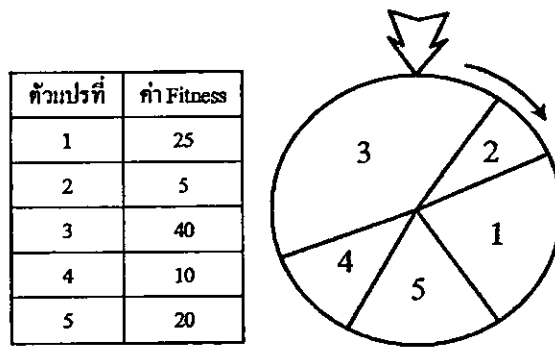
กระบวนการเลือกสมาชิกเป็นตัวปฏิบัติการที่ทำการเลือกสมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีออกจากกลุ่มสมาชิกทั้งหมด ด้วยเหตุนี้จึงมีชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า Selection Operator การเลือกสมาชิกนี้จะอาศัยการเลือกแบบสุ่มโดยอาศัยค่าความน่าจะเป็นที่คำนวณจากฟังก์ชันความเหมาะสม ตามสมการที่ (3.13) [7]-[9]

$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^n F_j} \quad (3.13)$$

เมื่อค่า  $n$  คือจำนวนสมาชิกในกลุ่มสมาชิก จากกรณีการเลือกสมาชิกด้วยหลักการนี้สามารถที่จะสร้างโดยการจำลองแบบการทำงานเป็นวงล้อหมุน (Roulette-Wheel) ขึ้นมาและให้ความยาวเส้นโค้งรอบวงล้อเป็นสัดส่วนกับค่าความเหมาะสมของสมาชิกนั้น ๆ ในขณะที่ทำการเลือกค่านั้นวงล้อจะทำการหมุนจำนวน  $n$  ครั้งแต่ทุกครั้งก็จะเลือกสมาชิกโดยใช้ตัวชี้ที่ชี้บริเวณของสมาชิกที่วงล้อหยุดหมุน

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^n F_i / n \quad (3.14)$$

เมื่อค่า  $\bar{F}$  คือค่าความเหมาะสมโดยเฉลี่ยของสมาชิกทั้งหมด จากรูปที่ 3.6 แสดงวงล้อของตัวแปร 5 ตัวแปรที่มีค่าความเหมาะสมต่างกันซึ่งตัวแปรตัวที่ 3 มีค่าความเหมาะสมสูงที่สุด ฉะนั้นจึงสามารถคาดการณ์ได้ว่าความเป็นไปได้ที่วงล้อจะเลือกได้ตัวแปรที่ 3 นั้นมีมากกว่าตัวแปรตัวอื่นๆ



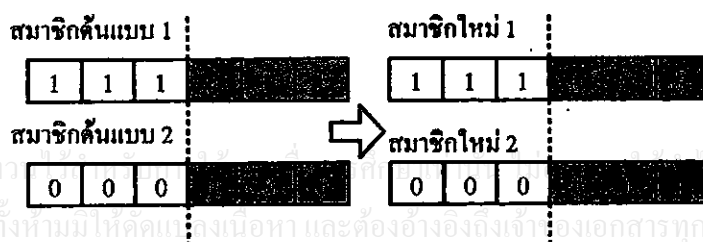
รูปที่ 3.6 กระบวนการเลือกสมาชิกด้วยวงล้อหมุน [7]

จากรูปที่ 3.6 หลักการของวงล้อหมุนจะทำการแทนค่า ความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.13 ของสมาชิกแต่ละตัวจาก  $P_{i-1}$  ถึง  $P_i$  ซึ่งสมาชิกตัวแรกจะถูกแทนที่ด้วยค่าความน่าจะเป็นจาก 0 ถึง  $P_1$  ดังนั้นความน่าจะเป็นของสมาชิกตัวใด ๆ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 จากนั้นจึงทำการเลือกสมาชิก  $n$  ตัวด้วยการสุ่ม  $n$  ครั้ง ดังนั้นสมาชิกที่ถูกเลือกแบบสุ่มด้วยสัดส่วนของค่าความน่าจะเป็น (Cumulative Probability ที่คำนวณจากค่า ความเหมาะสม) จะถูกคัดลอกลงใน Mating Pool สำหรับวิธีการนี้สมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมสูงจะถูกแทนที่ด้วยช่วงที่กว้างจึงทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะถูกคัดลอกลงใน Mating Pool มาก ในขณะที่เดียวกันสมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมต่ำนั้นจะถูกแทนที่ด้วยช่วงแคบ ๆ จึงทำให้ความเป็นไปได้ที่จะถูกคัดลอกลงใน Mating Pool นั้นก็น้อยเช่นกัน

เมื่อผ่านกระบวนการเลือกสมาชิก (Reproduction) ก็จะได้จำนวนสมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมสูงอยู่ใน Mating Pool จากนั้นสิ่งที่สำคัญต่อมาคือการสร้างสมาชิกใหม่ด้วยตัวปฏิบัติการ Crossover และ ตัวปฏิบัติการ Mutation

### 3.5.2.9.2 ตัวปฏิบัติการ Crossover

ตัวปฏิบัติการ Crossover จะทำการสุ่มเลือกสมาชิกสองตัวที่อยู่ใน Mating Pool และทำการแบ่งสมาชิกของทั้งสองออกเป็นสองส่วนแล้วจึงนำมาสลับที่กัน จากหลักการของ Single-Point Crossover นั้นจะทำการเลือกจุดแบ่งภายในสมาชิกเพียงหนึ่งจุด แล้วนำมาสลับที่กับสมาชิกกลุ่มที่สองที่ถูกแบ่งไว้เช่นกันแสดงดังรูปที่ 3.7



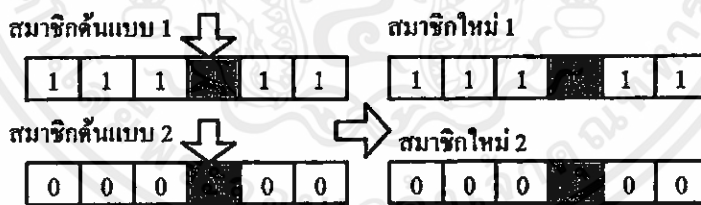
รูปที่ 3.7 การทำงานของตัวปฏิบัติการ Crossover [7]

สมาชิกสองตัวที่ได้จากการเลือกแบบสุ่มมาจาก Mating Pool นั้นเรียกว่าสมาชิกต้นแบบ (Parent String) และผลที่ได้จากการกระทำของ Crossover เรียกว่าสมาชิกใหม่ (Children String) หลักการของ Crossover นี้มีแนวคิดที่ว่าหากนำสมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมสูงมาสลับที่กันเพื่อสร้างสมาชิกใหม่ก็จะได้สมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมสูงเช่นกัน อย่างไรก็ตามก็ไม่สามารถรู้ได้ว่าสมาชิกใหม่นั้นจะมีค่าความเหมาะสมสูงหรือไม่ แต่ถ้าหากสมาชิกใหม่ที่สร้างขึ้นนั้นมีค่าความเหมาะสมน้อย ในวงรอบการทำงานถัดไปจะถูกคัดออกด้วยกระบวนการเลือกสมาชิก โดยอัลกอริทึมและสมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมสูงก็จะถูกนำกลับมาไว้ใน Mating Pool เช่นเดิมจึงไม่จำเป็นต้องสนใจว่าสมาชิกใหม่ที่ได้นั้นจะมีค่าความเหมาะสมดีหรือไม่

การสร้างสมาชิกใหม่ทั้งหมดนั้นไม่ได้สร้างด้วยตัวปฏิบัติการ Crossover ทั้งหมดแต่จะควบคุมด้วยความน่าจะเป็นของปฏิบัติการ Crossover ( $P_c$ ) ว่าสมาชิกใดจะถูกสร้างด้วยปฏิบัติการ Crossover ถึงอย่างไรตัวปฏิบัติการ Crossover นั้นก็เป็นตัวหลักในการสร้างสมาชิกใหม่และอีกส่วนหนึ่งในการสร้างสมาชิกใหม่จะถูกสร้างขึ้นจากตัวปฏิบัติการ Mutation

### 3.5.2.9.3 ตัวปฏิบัติการ Mutation

หลักการทำงานของตัวปฏิบัติการ Mutation คือการสุ่มเลือกบิตภายในกลุ่มสมาชิกแล้วทำการกลับให้เป็นค่าตรงกันข้ามเช่น “1” → “0” หรือ “0” → “1” และก็จะถูกควบคุมด้วยความน่าจะเป็นของ Mutation ( $P_m$ ) เพื่อใช้ในการพิจารณาว่าสมาชิกตัวใดที่จะถูกกระทำด้วยตัวปฏิบัติการ Mutation ซึ่งการทำงานของตัวปฏิบัติการ Mutation นี้เป็นการทำให้ค่าของสมาชิกนี้เกิดการกระจายบนพื้นที่ที่ค้นหา



รูปที่ 3.8 การทำงานของตัวปฏิบัติการ Mutation [7]

จากหน้าที่การทำงานของตัวปฏิบัติการทั้งสามสามารถสรุปได้ว่า

1. ตัวปฏิบัติการเลือกสมาชิกทำหน้าที่คัดเลือกสมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมสูงมาเพื่อใช้ในการสร้างสมาชิกใหม่ด้วยตัวปฏิบัติการ Crossover และ Mutation
2. ตัวปฏิบัติการ Crossover และ Mutation ทำหน้าที่นำสมาชิกเดิมที่อยู่ใน Mating Pool มาทำการสร้างสมาชิกใหม่เพื่อให้ได้กลุ่มของสมาชิกใหม่ที่มีความเหมาะสมที่ดีขึ้น

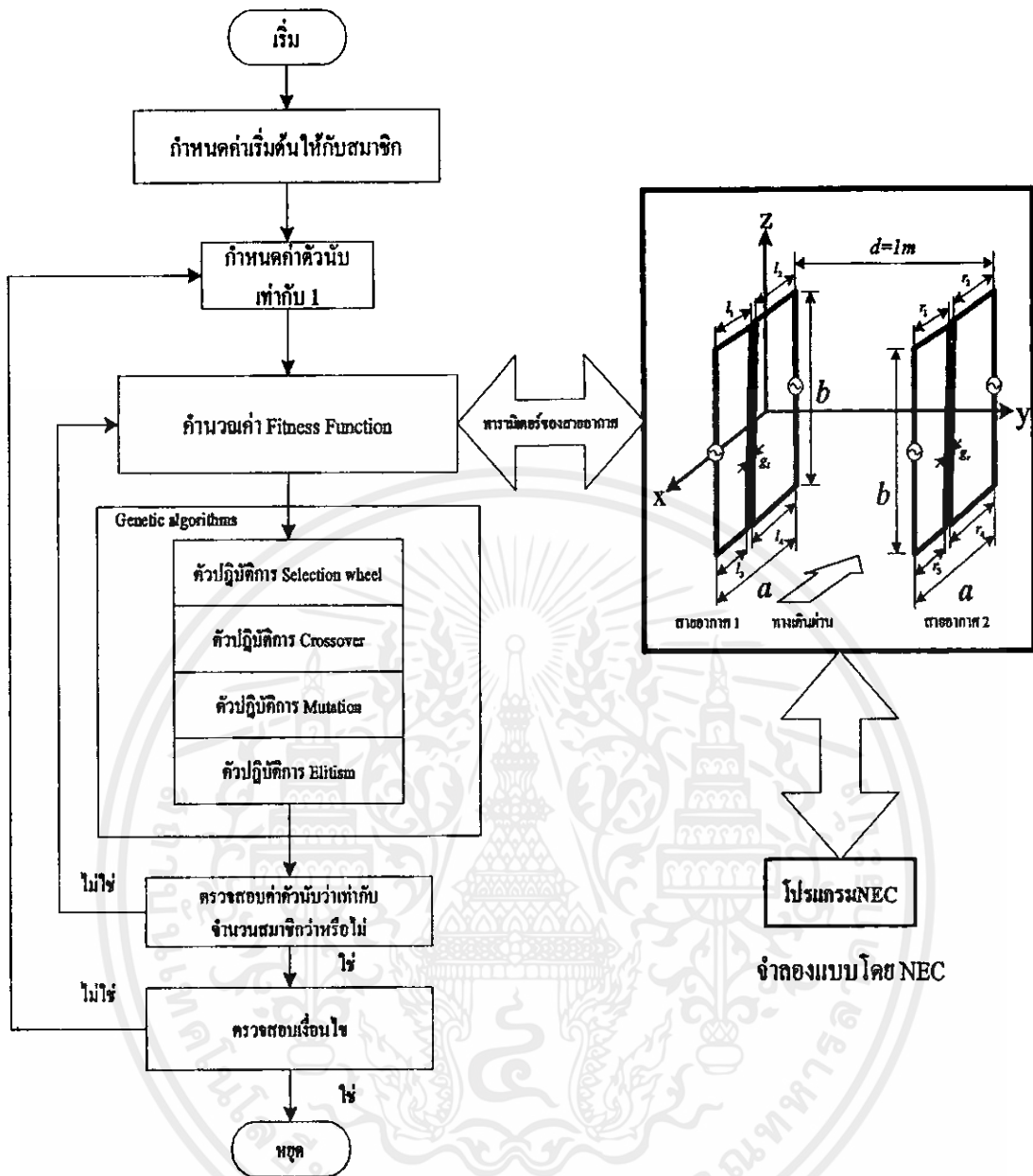
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานภายในองค์กรเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3 ลำดับการทำงานของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำหลักการทำงานของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมอย่างง่ายมาประยุกต์ใช้งานในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วงเพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรสูงที่สุด โดยจะเชื่อมต่อกับ โปรแกรม NEC (Numerical Electromagnetic Code) เพื่อใช้ในการจำลองแบบของสายอากาศแบบบ่วง ซึ่งประกอบด้วยตัวปฏิบัติการ 4 ตัวคือ การเลือกสมาชิก Crossover Mutation และ Elitism แสดงดังรูปที่ 3.9 มีลำดับการทำงานดังนี้

1. เริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม คือ ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation จำนวนสมาชิกและฟังก์ชันความเหมาะสม
2. ในวงรอบการทำงานครั้งแรกกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม จะเริ่มทำการกำหนดค่าสมาชิกในกลุ่มของสมาชิก โดยการสุ่ม แล้วคำนวณค่าความเหมาะสมของกลุ่มสมาชิก โดยส่งไปจำลองแบบที่โปรแกรม NEC แล้วรับค่าความเหมาะสมกลับมา
3. นำค่าความเหมาะสมของสมาชิกแต่ละตัวนำมาสร้างกลไกการเลือกสมาชิกด้วยตัวปฏิบัติการการเลือกสมาชิก
4. นำสมาชิกที่ถูกเลือกมาเก็บไว้ใน Mating Pool
5. ทำการสร้างสมาชิกใหม่ที่มีค่าความเหมาะสมสูงขึ้นด้วย ตัวปฏิบัติการ Crossover และ Mutation โดยใช้สมาชิกต้นแบบจาก Mating Pool
6. คำนวณค่าความเหมาะสมของสมาชิกทั้งหมดแล้วทำการเรียงลำดับค่าความเหมาะสมจากค่ามากไปหาน้อย
7. ทำกระบวนการ Elitism คือการเก็บสมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมสูงไว้ใน Mating Pool เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบให้กับการสร้างสมาชิกใหม่ว่าเป็นสมาชิกที่ดีกว่าเดิมหรือไม่
8. ทำการตรวจสอบค่าความเหมาะสมของสมาชิกว่าได้ที่ตรงตามต้องการแล้วหรือไม่ หากได้ค่าที่ตรงตามต้องการแล้วก็สามารถที่จะหยุดการทำงานได้ แต่ถ้าหากยังไม่ได้ค่าความเหมาะสมที่ตรงตามความต้องการก็ให้กลับไปทำงานในขั้นตอนที่ 3 ใหม่เรื่อยๆ จนกว่าจะได้ค่าความเหมาะสมตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ลำดับการทำงานของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

เงื่อนไขของการหยุดการทำงานของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม เมื่อไม่พบค่าความเหมาะสมตามที่ต้องการ

1. ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การการลุ่เข้าของค่าความเหมาะสมว่าสู่เข้าค่าใดค่าหนึ่งหรือไม่ โดยสามารถกำหนดให้อยู่ในช่วง 70% ถึง 100% ที่สามารถสรุปได้นั้นคือค่าความเหมาะสมค่านั้นเป็นค่าที่ดีที่สุด

2. กำหนดจำนวนครั้งของวงรอบการทำงานหากกระบวนการคั้นหานั้น ไม่พบค่าความเหมาะสมที่ต้องการและ ไม่สู่เข้าค่าใดค่าหนึ่งก็จะสามารถที่จะหยุดการทำงานได้เมื่อทำไปจนถึงวงรอบที่กำหนด

### 3.5.4 ความแตกต่างระหว่างกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมกับ

#### กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบดั้งเดิม

กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม กับกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบดั้งเดิมนั้น มีความแตกต่างกันที่หลักการทำงานซึ่งจะเห็นได้จากหลักการทำงานของทั้งสองประเภทที่ได้ อธิบายเบื้องต้น สามารถสรุปข้อแตกต่างดังกล่าวได้ว่า [7]-[9]

1. กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม จะใช้การเข้ารหัสของตัวแปรให้เป็น เลขฐานสองทำให้ง่ายต่อการสุ่มค่าตัวแปรต่างจากการสุ่มค่าตัวแปรที่เป็นเลขฐานสิบซึ่งมีความ บ่งยากเพราะมีจุดทศนิยมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย
2. การทำงานของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม นั้นต้องการเฉพาะค่าของ ฟังก์ชันเท่านั้นซึ่งไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลการหาค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชัน
3. กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมสามารถนำไปใช้กับฟังก์ชันที่ไม่มีความ ต่อเนื่องและซับซ้อน ได้ดีเพราะ ไม่มีหลักการสุ่มที่แน่นอนตายตัวแต่จะเป็นการทำงานที่ใช้ผลจาก ประสบการณ์ที่ผ่านมา
4. กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมมีลักษณะเป็น Global Optimization คือ สามารถค้นหาค่าของฟังก์ชันที่มีค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดหลาย ๆ ค่าได้

### 3.5.5 ความสม่ำเสมอของกระบวนการค้นหาด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

ในกระบวนการค้นหาที่เหมาะสมด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมนั้น สิ่ง หนึ่งที่มีความสำคัญคือความสม่ำเสมอของกระบวนการค้นหาที่เหมาะสม ซึ่งจะแสดงถึงข้อดี บางประการเช่น สามารถที่จะสุ่มหาค่าที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็ว ความสม่ำเสมอของ กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมนั้นจะดูจากการซ้อนทับกันของค่าจากสมาชิกในกลุ่มจาก รอบการทำงานหนึ่งไปยังอีกรอบการทำงานหนึ่ง และสิ่งที่มีผลกระทบต่อความสม่ำเสมอนี้คือ การกระทำของตัวปฏิบัติการ Reproduction Crossover และ Mutation ซึ่งการที่ตัวปฏิบัติการ เหล่านี้สร้างสมาชิกใหม่เพื่อนำไปแทนที่สมาชิกเดิมจึงอาจมีบางสมาชิกที่แตกต่าง ไปจากสมาชิก ส่วนใหญ่ ฉะนั้นจึงเป็นสิ่งที่ควรจะทำให้ความสนใจว่าจะทำอะไรให้ในแต่ละรอบการทำงาน นั้นมีสมาชิกซ้อนทับกันมากที่สุด ซึ่งก็มีหลักการหลาย ๆ หลักการที่ใช้ในการแก้ไขปัญหานี้เช่น การเฝ้ามองดูการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ การเลือกใช้กระบวนการเลือกสมาชิกที่เหมาะสม การกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการให้เป็นค่าที่เหมาะสม เป็นต้น [9]-[10]

### 3.5.6 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

จากการที่ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมมีผลกระทบกับ ประสิทธิภาพของกระบวนการค้นหาพารามิเตอร์ ซึ่งจำนวนสมาชิก ค่าความน่าจะเป็นของตัว ปฏิบัติการ Crossover และค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation นั้นเป็นค่าพารามิเตอร์

หลักที่ทำให้เกิดผลกระทบดังกล่าว จึงจำเป็นที่จะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นให้เป็นค่าที่เหมาะสม [9]-[10]

จำนวนของสมาชิกเป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญตัวหนึ่ง ซึ่งจำนวนสมาชิกที่ใช้ในการค้นหาหมายถึงความสามารถในการค้นหาของตัวแปรต่าง ๆ ว่าครอบคลุมหรือไม่จะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ตัวนี้ ฉะนั้นการที่จะกำหนดค่าของพารามิเตอร์ตัวนี้ให้มีค่ามากที่สุดเท่าที่จะทำได้นั้นหากมองอย่างผิวเผินแล้วอาจเป็นสิ่งที่ดีสำหรับกระบวนการค้นหาแต่ก็ไม่เสมอไปเพราะการใช้จำนวนสมาชิกที่มากอาจทำให้เกิดปัญหาตามมาคือ กระบวนการค้นหาจะทำงานช้าเพราะมีจำนวนสมาชิกมากจึงต้องการจำนวนครั้งการค้นหาที่มากขึ้น ทั้งยังอาจทำให้เกิดการลู่เข้าค่าที่เหมาะสมช้าด้วยเช่นกัน ซึ่งก็ไม่ใช้สิ่งที่ดีนักหากกระบวนการค้นหาทำงานได้ช้าลง จากเหตุผลการใช้จำนวนสมาชิกจำนวนมากจะทำให้กระบวนการค้นหาที่มีความสามารถที่จะค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้อย่างละเอียดและทั่วถึง อีกทั้งยังช่วยให้กระบวนการค้นหาที่มีทิศทางการค้นหาที่หลากหลายมากขึ้นจากกรณีที่ฟังก์ชันที่ทำการค้นหา มีหลายตัวแปร มีจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดหลายจุด มีลักษณะของฟังก์ชันเป็นแบบเนินเขาหลายลูก หากใช้จำนวนสมาชิกจำนวนมากในการค้นหาจะสามารถที่จะค้นหาได้ทุก ๆ จุดของฟังก์ชัน แต่ถ้าหากว่าจุดสูงสุดและต่ำสุดที่ทำการค้นหานั้น ไม่ใช้จุดที่สูงที่สุดและจุดที่ต่ำที่สุดก็จะทำให้เสียเวลาในการค้นหาแต่ละครั้งซึ่งจะใช้เวลานาน จึงได้มีการเสนอการแก้ไขปัญหาโดยการใช้จำนวนสมาชิกที่น้อยลงแต่ใช้จำนวนรอบในการทำงานเพิ่มขึ้นจะทำให้ไม่เสียเวลาการคำนวณต่อรอบการทำงานมากเกินไป แต่อย่างไรก็ตามหากกำหนดค่าจำนวนสมาชิกน้อยเกินไปก็จะทำให้กระบวนการค้นหานั้น ไม่มีทิศทางการค้นหาที่มากพอที่จะทำให้กระบวนการค้นหาพบจุดที่สูงที่สุดหรือจุดที่ต่ำที่สุดและอาจทำให้เกิดการลู่เข้าหาจุดที่ผิดได้

สิ่งที่สำคัญถัดมานั้นคือ ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover และค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation จากการค้นหาของมูลจากงานวิจัยและหนังสือ [9]-[10] พบว่าได้มีการค้นคว้าและทดลองกำหนดการใช้งานของค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover และค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation ไว้กับการประยุกต์ใช้งานกับสมการโดยทั่วไป รวมทั้งการนำมาใช้งานด้านการออกแบบสายอากาศพบว่า ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover ควรจะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 80% ขึ้นไป และในส่วนของค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation นั้นควรตั้งค่าไว้เท่ากับ 5% หรือน้อยกว่า จึงจะสามารถทำให้กระบวนการค้นหาค่าที่เหมาะสมด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมนั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามค่าต่าง ๆ เหล่านี้นั้นอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับการใช้งานว่าใช้กับฟังก์ชันที่มีความซับซ้อนมากน้อยแค่ไหน ฉะนั้นในการนำกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมไปใช้กับงานประเภทใดนั้นจึงควรที่จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ด้วยเพื่อที่จะทำให้กระบวนการค้นหามีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นด้วย

### 3.5.7 ประสิทธิภาพของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

จากกระบวนการทำงานของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมนั้นอาจเกิดความผิดพลาดได้จากสาเหตุหลาย ๆ อย่าง ไม่ว่าจะเป็นผลจากจำนวนของกลุ่มสมาชิก ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover และค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation ที่ไม่เหมาะสม การลู่เข้าค่าที่ไม่เหมาะสม หรือแม้กระทั่งข้อผิดพลาดจากเขียน โปรแกรม จึงควรที่จะทำการเฝ้าดูการทำงานหรือจัดเก็บข้อมูลที่เป็นเพื่อใช้วิเคราะห์การทำงานของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมเพื่อที่จะสามารถทำการปรับปรุงให้ถูกต้องภายหลัง

3.5.8 การเฝ้าดูการทำงานของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมระหว่างการทำงาน  
กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมนั้นมีค่าต่าง ๆ ที่จะต้องทำการเฝ้าดูระหว่างการทำงาน [9]

1. ค่าที่ถูกเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา คือ จำนวนครั้งของการคำนวณ (Generation Number) จำนวนของสมาชิก (Member Number) เวลาที่ใช้ในการคำนวณของสมาชิก (Simulation Times of Member ) จากสิ่งเหล่านี้จะบอกถึงช่วงเวลาการทำงานในแต่ละรอบการทำงานและการปรับปรุงกลุ่มของสมาชิกว่ามีประสิทธิภาพหรือไม่

2. ค่าที่ต้องเฝ้าดูหลังจากการทำงานในแต่ละรอบการทำงานสิ้นสุดลงและควรที่จะทำการบันทึกไว้เพื่อเป็นสถิติและทำการปรับเปลี่ยนทุก ๆ รอบการทำงาน นั่นคือ ค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด ค่าความเหมาะสมที่แย่ที่สุดของสมาชิกในกลุ่ม ค่าเฉลี่ยของการซ้อนทับกันของกลุ่มสมาชิกของแต่ละรอบการทำงาน จำนวนของสมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะบอกถึงการทำงานในแต่ละรอบการทำงานนั้นมีการลู่เข้าค่าที่เหมาะสมมากน้อยเพียงใดและมีความสามารถที่จะค้นหาได้ครอบคลุมมากน้อยแค่ไหน

### 3.5.9 การปรับปรุงและแก้ประสิทธิภาพของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

จากการเฝ้าดูการทำงานของกระบวนการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมอาจเจอปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับกระบวนการค้นหาได้ ซึ่งจะต้องทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้กระบวนการค้นหาค่าพารามิเตอร์นั้นทำงานได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงได้ยกตัวอย่างปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นและวิธีแก้ไขมาดังต่อไปนี้ [9]

1. ถ้ากระบวนการค้นหาเกิดการลู่เข้าก่อนที่จะพบค่าที่เหมาะสมที่สุด สามารถแก้ไขโดยการเพิ่มค่าการสำรวจคือ การเพิ่มจำนวนกลุ่มสมาชิก เพิ่มความสม่ำเสมอด้วยการเพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของสมาชิกระหว่างรอบการทำงาน ลดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation

2. ถ้ากระบวนการค้นหาใช้เวลานานเกินไปในการรู้เข้าค่าที่เหมาะสมที่สุด สามารถแก้ไขโดยการลดค่าการสำรวจคือ การลดจำนวนสมาชิก ลดความสม่ำเสมอด้วยการลดค่าเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของกลุ่มสมาชิกระหว่างวงรอบการทำงาน เพิ่มค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover และลดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation
3. ถ้ากระบวนการค้นหาพบค่าที่เหมาะสมแตกต่างกันในการทำงานแต่ละครั้ง ให้ใช้เทคนิคพิเศษและการปรับจุดการค้นหาให้เหมาะสมเพื่อที่จะทำการค้นหาฟังก์ชันที่มีรูปแบบที่มีจุดสูงสุดและต่ำสุดหลายจุด
4. ถ้าหากคำตอบที่ได้นั้นมีค่าแย่กว่าที่ได้จากการไว้หรือแย่กว่าผลการทำงานที่ได้ก่อนหน้านี้ ให้ทำการตรวจสอบข้อผิดพลาดของ โปรแกรม ตรวจสอบค่าคงที่และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่
5. ถ้าหากพบว่าข้อมูลที่ทำให้การจัดเก็บเพื่อดูประสิทธิภาพของกระบวนการค้นหาแสดงถึงความผิดปกติบางอย่าง เช่น การสืบทอดกลุ่มตัวแปรที่ไม่มีการปรับปรุงไปในทางที่ดีขึ้นเลย ให้ทำการตรวจสอบข้อผิดพลาดของ กระบวนการเลือกกลุ่มของตัวแปร การทำงานของตัวปฏิบัติการ Mutation และ Crossover
6. ถ้าหากพบว่ากลุ่มสมาชิกที่ดีที่สุดที่ได้นั้นแสดงคุณสมบัติบางอย่างดีเกินไปแต่คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งแย่ ให้ทำการตรวจสอบค่าความเหมาะสมและข้อจำกัดต่าง ๆ ว่าได้ตั้งค่าไว้เหมาะสมหรือไม่
7. ถ้าหากพบว่าข้อมูลที่ทำให้การจัดเก็บเพื่อดูประสิทธิภาพของกระบวนการค้นหานั้นแสดงถึงกลุ่มตัวแปรที่แสดงค่าออกมาเกินขอบเขตที่จำกัดไว้ สามารถทำการแก้ไขโดยการเข้ารหัสของกลุ่มสมาชิกและตัวแปรใหม่

### 3.6 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการการออกแบบกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม และหลักการของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมด้วยกระบวนการแบบต่าง ๆ รวมทั้งหลักการทำงานของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม การทำงานของตัวปฏิบัติการ ผลกระทบของตัวปฏิบัติการที่ใช้ภายในกระบวนการค้นหา เสนอไขการหยุดทำงานของกระบวนการค้นหา และการปรับปรุงแก้ไขประสิทธิภาพของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# การวิเคราะห์ผลกระทบจากตัวปฏิบัติการของ กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

### 4.1 บทนำ

ในบทนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมว่ามีผลอย่างไรกับกระบวนการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วง และยังได้สรุปหลักการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการนำกระบวนการสืบทอดพันธุกรรมเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในการหาค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

### 4.2 พารามิเตอร์ของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมอย่างง่ายได้นำมาประยุกต์ใช้งานในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วงนั้นประกอบไปด้วยตัวปฏิบัติการ 4 ตัวคือ [10]

1. ตัวปฏิบัติการเลือกสมาชิก (Reproduction Operator หรือ Selection Operator) ในที่นี่ได้ใช้กระบวนการการเลือกค่าแบบหมุนวงล้อ (Selection Wheel)

2. ตัวปฏิบัติการแบบ Crossover มีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องทำการกำหนดค่าคือ ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover ใช้เป็นตัวตัดสินใจว่ากลุ่มสมาชิกที่ถูกเลือกมาจะถูกกระทำด้วยตัวปฏิบัติการนี้หรือไม่

3. ตัวปฏิบัติการแบบ Mutation ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องทำการกำหนดค่าคือ ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation ใช้เป็นตัวตัดสินใจว่ากลุ่มสมาชิกที่ถูกเลือกมาจะถูกกระทำด้วยตัวปฏิบัติการนี้หรือไม่

4. ตัวปฏิบัติการ Elitism คือจำนวนของกลุ่มสมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดที่ต้องการคงค่าไว้ใน Mating Pool

การศึกษาเบื้องต้นจากบทความและงานวิจัย [9]-[10] พบว่าสิ่งที่มีผลกระทบต่อกระบวนการค้นหาค่าพารามิเตอร์คือ ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation และอีกอย่างหนึ่งที่มีผลกระทบต่อกระบวนการค้นหาค่าพารามิเตอร์คือ จำนวนของสมาชิก ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่ตัวปฏิบัติการแต่ก็มีผลทำให้กระบวนการค้นหาค่าพารามิเตอร์เกิดความผิดพลาดหรือล่าช้าได้

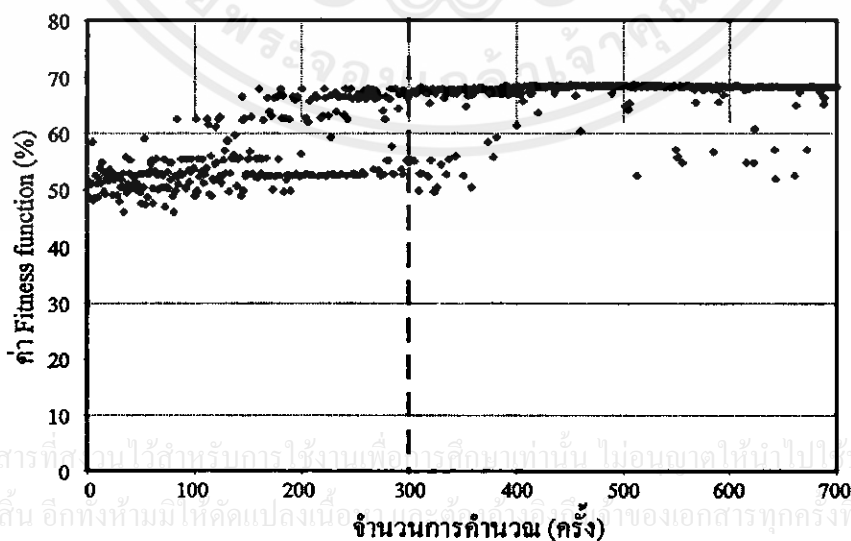
### 4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบจากจำนวนสมาชิก

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดจากจำนวนสมาชิกซึ่งจะทำการศึกษาโดยทำการปรับเปลี่ยนจำนวนสมาชิกตั้งแต่ 0 ถึง 100 และทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ เป็นค่าคงที่คือ ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover เท่ากับ 80% และค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation เท่ากับ 4% แล้วตรวจสอบดูค่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณว่าที่เวลาเท่าใดจึงจะเกิดการลู่เข้าของกระบวนการค้นหาค่าพารามิเตอร์

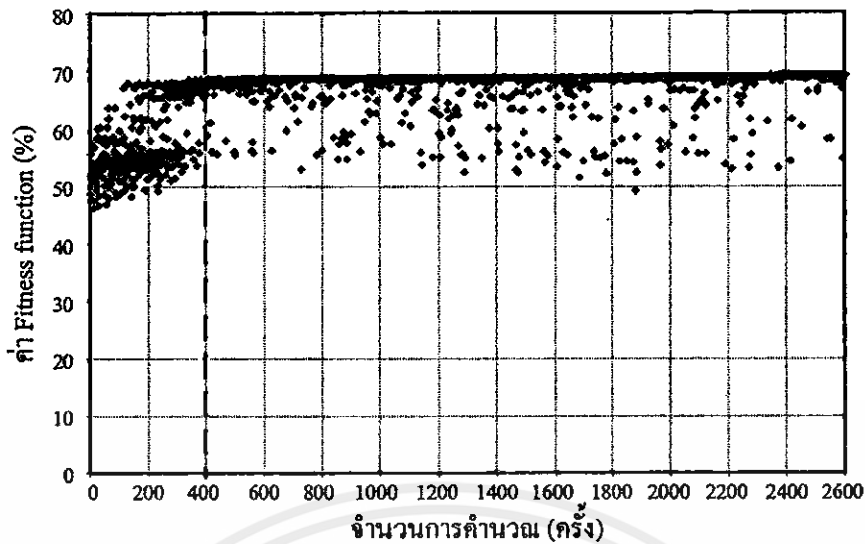
ตารางที่ 4.1 ผลกระทบของจำนวนสมาชิก

ลำดับที่	$P_c$	$P_m$	จำนวนสมาชิก	เวลา(วินาที)
1	80% (0.8)	4% (0.04)	20	14000
2	80% (0.8)	4% (0.04)	40	52000
3	80% (0.8)	4% (0.04)	60	64800
4	80% (0.8)	4% (0.04)	80	116400
5	80% (0.8)	4% (0.04)	100	120000

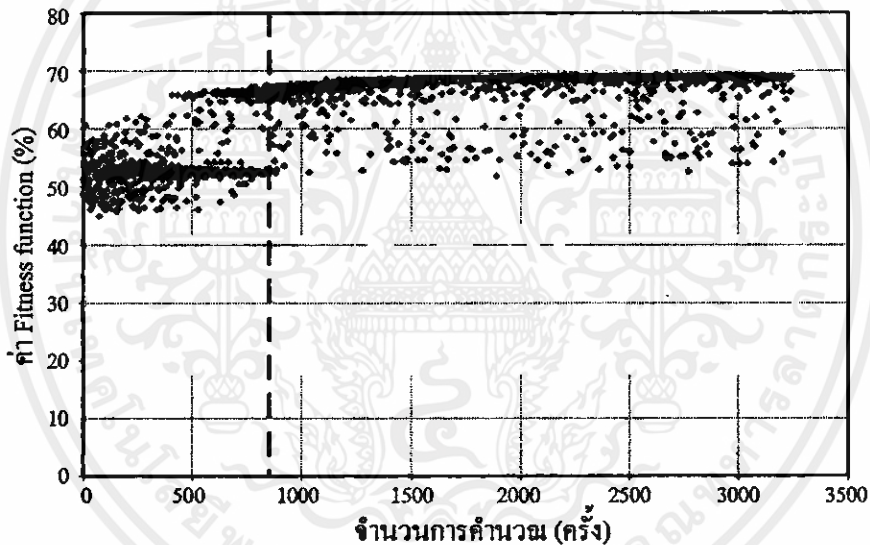
จากตารางที่ 1 นั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มจำนวนสมาชิกขึ้นเรื่อย ๆ จาก 20 ถึง 100 นั้นจะใช้ช่วงเวลาในการคำนวณเพื่อที่จะทำให้กระบวนการค้นหาลู่เข้าหาค่าที่เหมาะสมนั้นมากขึ้นตามลำดับ แต่ก็ยังไม่สามารถที่จะสรุปได้ว่าจำนวนสมาชิกเท่าใดที่เหมาะสมจึงได้ทำการวิเคราะห์จากกราฟ ระหว่างจำนวนครั้งการคำนวณและค่าความเหมาะสมในรูปที่ 4.1 – 4.5 แสดงถึงการกำหนดค่าจำนวนสมาชิกไว้ตั้งแต่ 20 ถึง 100 ตามลำดับ และภายในรูปเส้นประสีแดงนั้นจะแสดงถึงบริเวณที่กระบวนการค้นหานั้นเริ่มที่จะลู่เข้าหาค่าที่เหมาะสมค่าใดค่าหนึ่ง



รูปที่ 4.1 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20



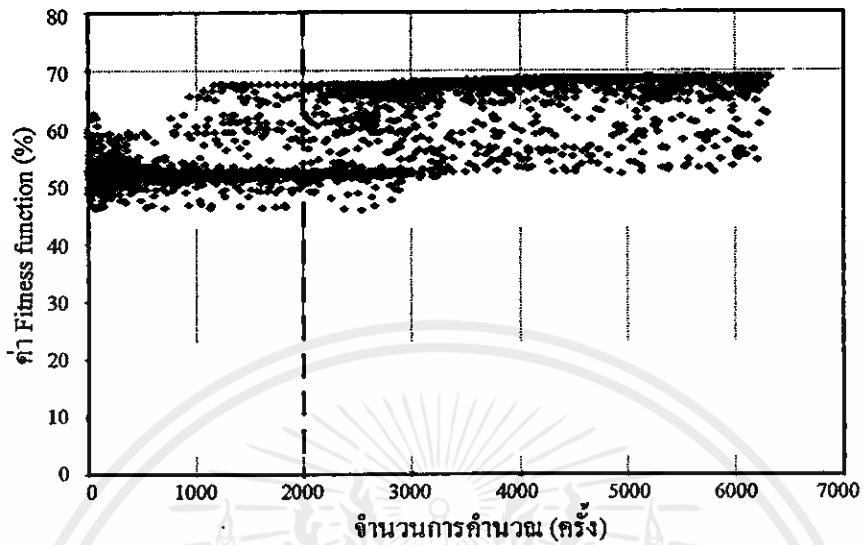
รูปที่ 4.2 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40



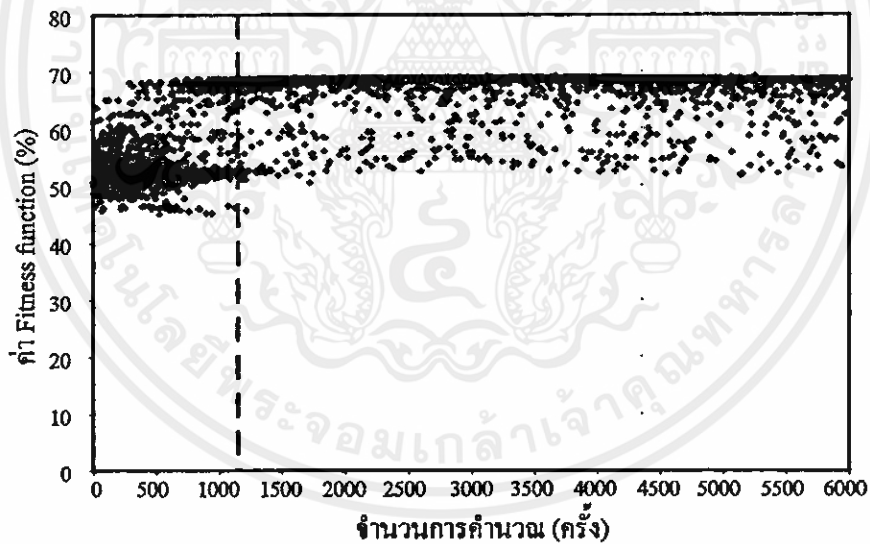
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 60

จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.3 พบว่าในรูปที่ 4.1 นั้นได้กำหนดจำนวนสมาชิกไว้เท่ากับ 20 พบว่ากระบวนการค้นหาสู่ค่าที่เหมาะสมที่การคำนวณครั้งที่ 300 ถือว่าเป็นการสู่ค่าที่รวดเร็วมาก และจากรูปจะเห็นได้ว่าการค้นหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการนั้น ไม่มีการกระจายตัวมากนัก จึงอาจจะทำให้เกิดการสู่ค่าหาค่าที่ผิดได้ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.2 และ 4.3 ได้กำหนดค่าจำนวนสมาชิกไว้เท่ากับ 40 และ 60 ตามลำดับ ในรูปที่ 4.2 พบว่ากระบวนการค้นหาสู่ค่าที่เหมาะสมที่การคำนวณครั้งที่ 400 ถือว่าเป็นการสู่ค่าที่รวดเร็ว และในรูปที่ 4.3 พบว่ากระบวนการค้นหาสู่ค่าที่เหมาะสมที่การคำนวณครั้งที่ 800 ถือว่าเป็นการสู่ค่าที่รวดเร็วปานกลาง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากรูปจะพบว่าเมื่อทำการตั้งค่าจำนวนสมาชิกเท่ากับ 40 และ 60 นั้นมี

รูปแบบการค้นหาและกระจายตัวของสมาชิกครอบคลุมบริเวณใกล้เคียงเพื่อป้องกันการลู่เข้าหาค่าที่ผิดได้



รูปที่ 4.4 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 80



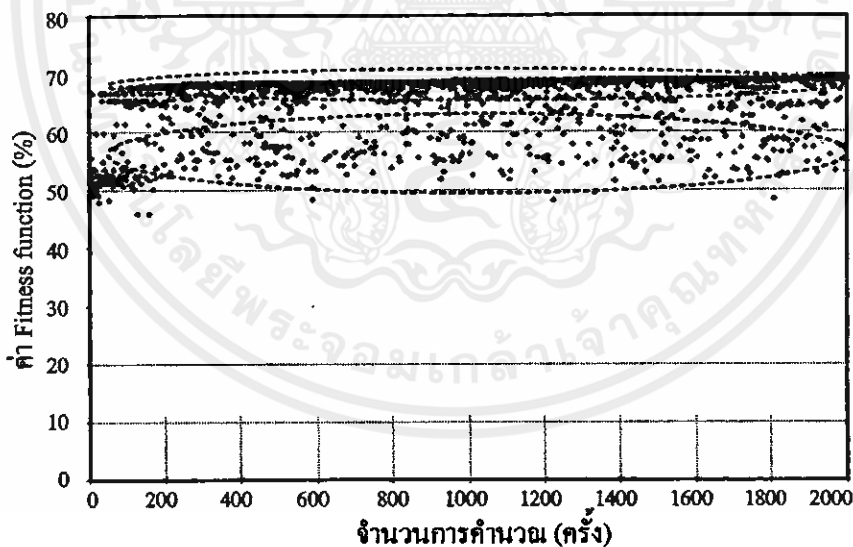
รูปที่ 4.5 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดจำนวนสมาชิกเท่ากับ 100

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 เป็นการกำหนดค่าจำนวนกลุ่มสมาชิกเท่ากับ 80 และ 100 ตามลำดับพบว่าในรูปที่ 4.4 พบว่ากระบวนการค้นหาลู่เข้าค่าที่เหมาะสมที่การคำนวณที่ 2000 ถือว่าเป็นการลู่เข้าที่ช้า ในรูปที่ 4.5 พบว่ากระบวนการค้นหาลู่เข้าค่าที่เหมาะสมที่การคำนวณที่ 1100 ถือว่าเป็นการลู่เข้าที่ช้าเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่ากระบวนการค้นหานี้ยังมีรูปแบบการค้นหาที่กระจาย ครอบคลุมมากและสามารถป้องกันการลู่เข้าหาค่าที่ผิดได้

จากการวิเคราะห์ผลกระทบของจำนวนสมาชิกนั้นพบว่า มีผลกระทบกับช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ และรูปแบบการค้นหาของกระบวนการค้นหา ฉะนั้นการกำหนดค่าจำนวนสมาชิกที่เหมาะสมนั้นควรคำนึงถึงช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ และควรมีรูปแบบการค้นหาที่กระจายครอบคลุมมากพอที่ไม่ให้เกิดการลู่เข้าหาค่าที่ผิด

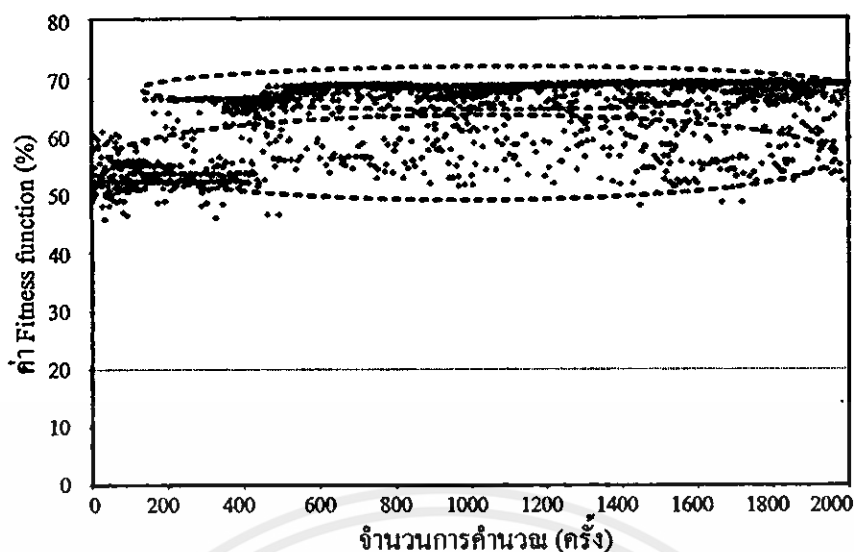
#### 4.4 การวิเคราะห์ผลกระทบจากค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดจากค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover ซึ่งจะทำการศึกษาโดยทำการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover ตั้งแต่ 0% ถึง 100% และทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไว้เป็นค่าคงที่ คือ ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation เท่ากับ 10% เนื่องจากการศึกษาจาก [9]-[10] พบว่าควรตั้งค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation ให้อยู่ในช่วง 0% ถึง 10% จึงจะทำให้กระบวนการค้นหานั้นไม่เกิดการลู่ออกและจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20 เพื่อให้กระบวนการค้นหาไม่ต้องใช้เวลาในการคำนวณมากเกินไปแล้วตรวจสอบดูรูปแบบของกระบวนการค้นหาจากกราฟระหว่างจำนวนครั้งการคำนวณและค่าความเหมาะสมแสดงดังรูปที่ 4.6 ถึง 4.11 ตามลำดับ



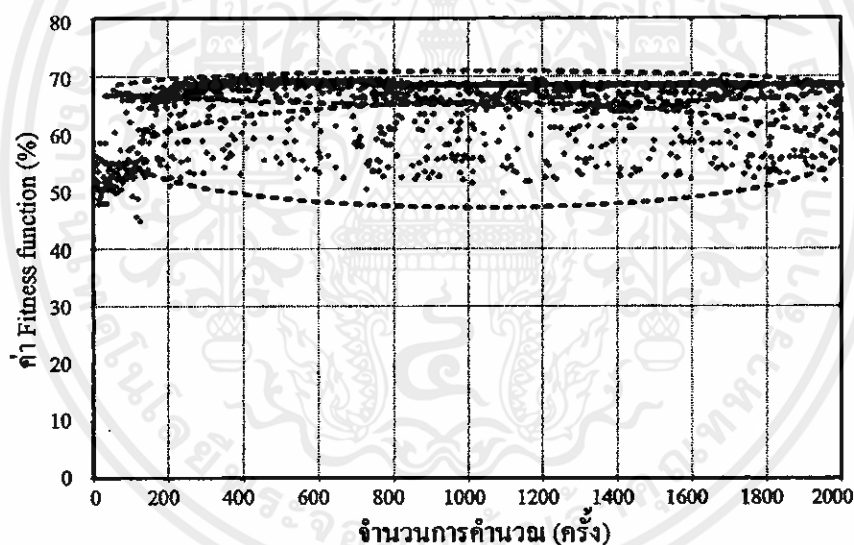
รูปที่ 4.6 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover เท่ากับ 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ

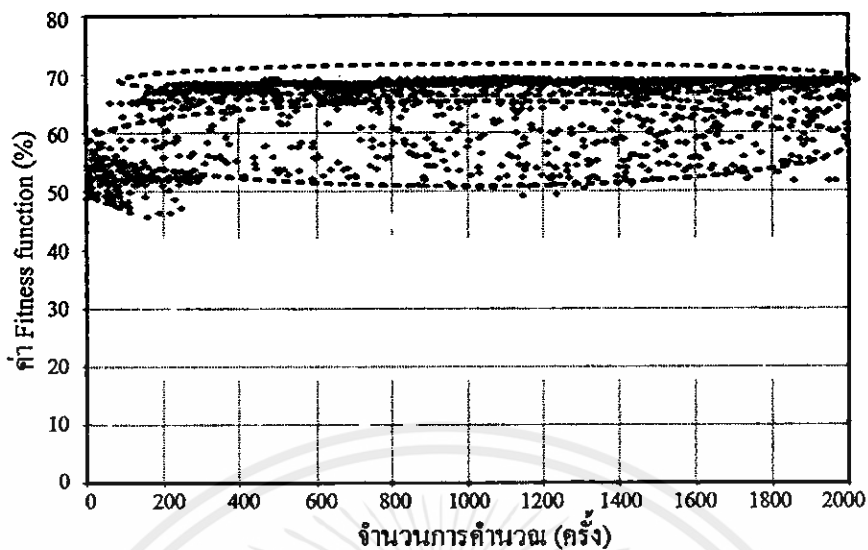
Crossover เท่ากับ 20%



รูปที่ 4.8 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ

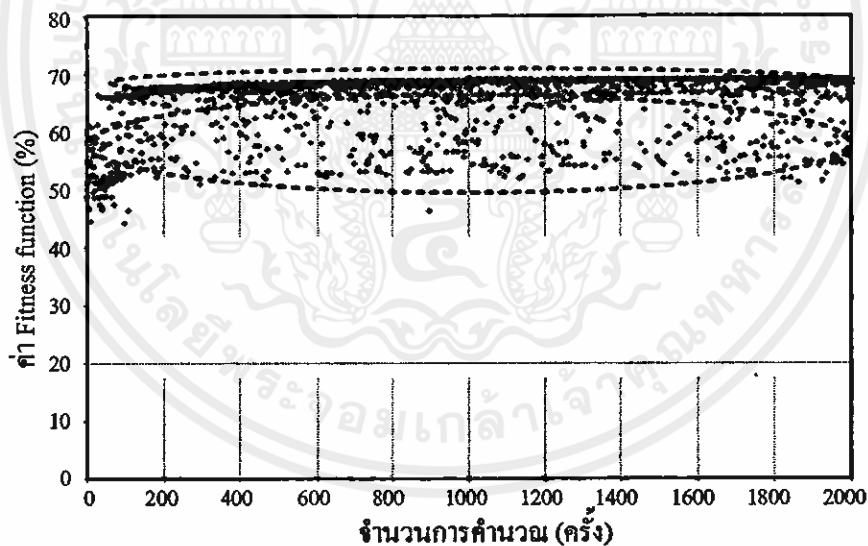
Crossover เท่ากับ 40%

จากรูปที่ 4.6 ถึง 4.8 เป็นการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover เท่ากับ 0% 20% และ 40% ตามลำดับ พบว่ากระบวนการค้นหานั้นมีการกระจายตัวน้อยสังเกตจากเส้นประสีแดงและมีการซ้อนทับกับของกลุ่มสมาชิกจากการทำงานหนึ่งไปยังอีกรอบการทำงานหนึ่งมากสังเกตจากเส้นประสีชมพู จากการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover ไว้ในช่วงนี้มีข้อดีคือสามารถที่รักษาสภาพความคงตัว (Steady-State) ของกระบวนการค้นหาไม่ให้เกิดการแตกกระจายมากเกินไปได้ โดยการจำกัดให้เกิดการถ่ายทอดข้อดีจากสมาชิกแบบของการทำงานไปยังวงรอบการทำงานถัดไปน้อย



รูปที่ 4.9 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ

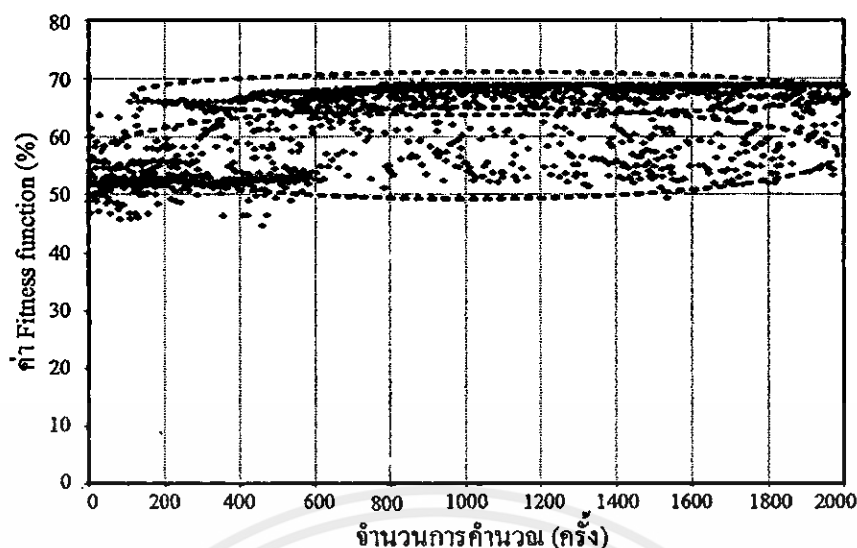
Crossover เท่ากับ 60%



รูปที่ 4.10 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ

Crossover เท่ากับ 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover เท่ากับ 100%

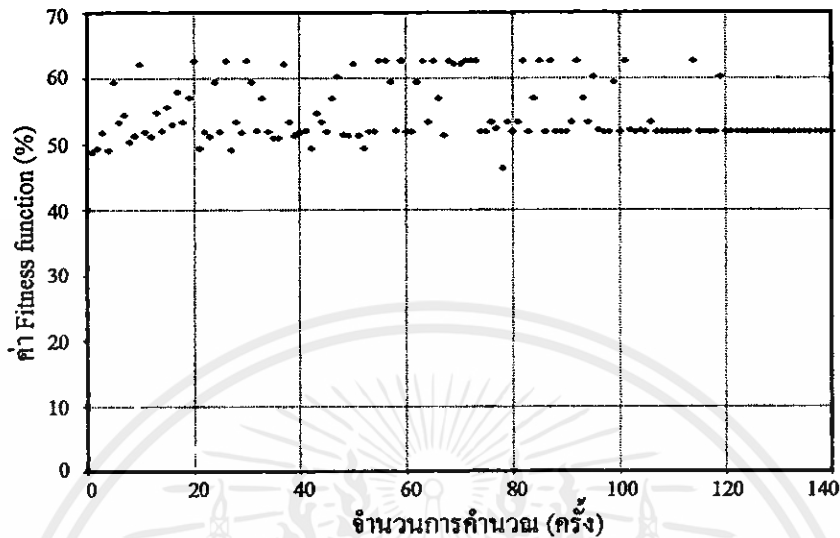
จากรูปที่ 4.9 ถึง 4.11 เป็นการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover เท่ากับ 60% 80% และ 100% ตามลำดับ พบว่ากระบวนการค้นหานั้นมีการกระจายตัวมากขึ้น ตั้งแต่จุดเริ่มต้นและมีอาการซบเซากับของของกลุ่มสมาชิกจากรอบการทำงานหนึ่งไปยังอีก รอบการทำงานหนึ่งน้อยลงตั้งแต่จุดเริ่มต้นประติมาตรจะเห็นว่ามีความหนาแน่นของจำนวนจุด น้อยลง จากการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover ไว้ในช่วงนี้มีข้อดีคือ สามารถที่จะทำให้เกิดการถ่ายทอดข้อดีของตัวแปรต้นแบบไปยังวงรอบการทำงานถัดไปได้มาก ขึ้น แต่ค่าสภาพความคงตัว (Steady-State) ของกระบวนการค้นหาจะมีค่าน้อยลง

จากการวิเคราะห์ผลของค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover นั้นพบว่าจะมี ผลกระทบกับค่าสภาพความคงตัว (Steady-State) ของกระบวนการค้นหา และความสามารถใน การถ่ายทอดข้อดีของสมาชิกต้นแบบไปยังวงรอบการทำงานถัดไป

#### 4.5 การวิเคราะห์ผลกระทบจากค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation

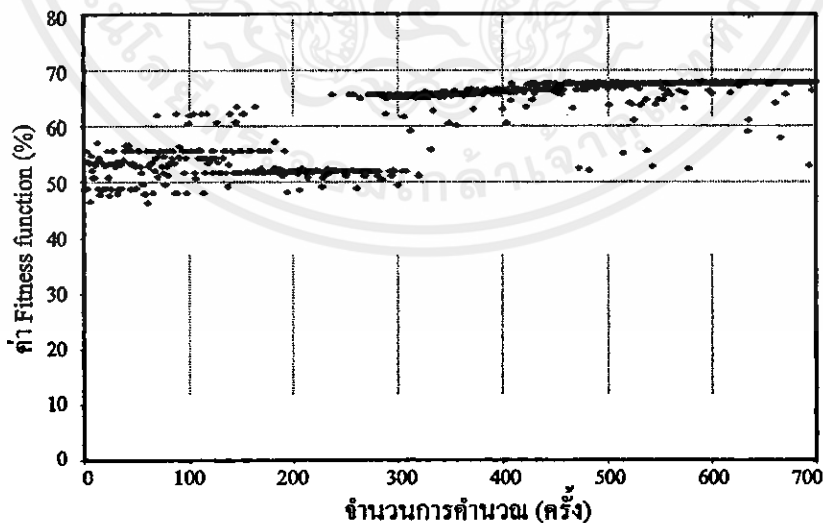
ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดจากค่าความน่าจะเป็นของตัว ปฏิบัติการ Mutation ซึ่งจะทำการศึกษาโดยทำการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation ตั้งแต่ 0% ถึง 100% แต่จากการปรับเปลี่ยนพบว่าหากกำหนดค่าความน่าจะเป็นเกินกว่า 10% ขึ้นไปกระบวนการค้นหาจะไม่เกิดการลู่เข้าค่าที่เหมาะสม ในที่นี้จึงได้แสดงผลการ ปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation ตั้งแต่ 0% ถึง 40% เท่านั้น และทำการ กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไว้เป็นค่าคงที่คือ ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover เท่ากับ 20% เพื่อไม่ให้ผลกระทบจากค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover ไปมี ผลกระทบกับกระบวนการค้นหาเกินไป และจำนวนสมาชิกเท่ากับ 20 เพื่อทำให้กระบวนการ

ค้นหาไม่ต้องใช้เวลาในการคำนวณมากเกินไปแล้วตรวจสอบรูปแบบของกระบวนการค้นหาจากกราฟระหว่างจำนวนครั้งการคำนวณและค่าความเหมาะสมแสดงดังรูปที่ 4.12 ถึง 4.18 ตามลำดับ



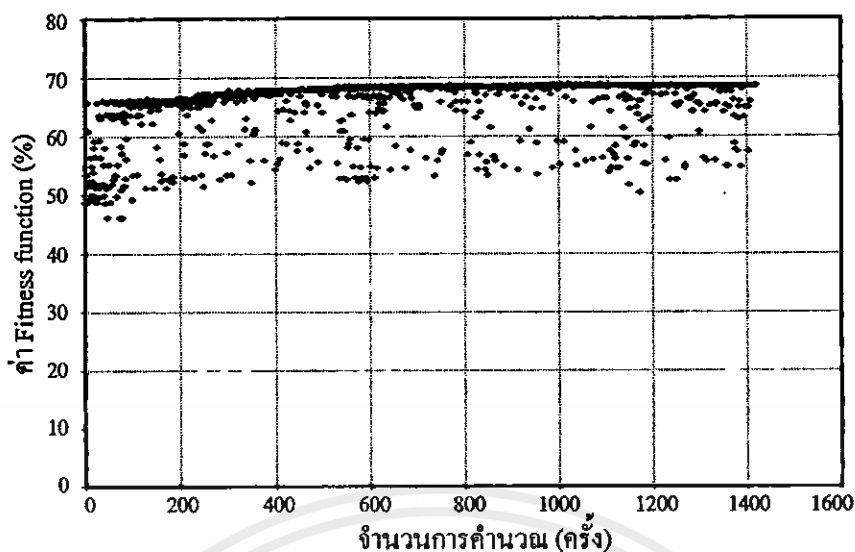
รูปที่ 4.12 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation เท่ากับ 0%

จากรูปที่ 4.12 เป็นการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation เท่ากับ 0% พบว่ากระบวนการค้นหานั้นมีการกระจายตัวน้อยและเกิดการลู่อย่างรวดเร็วที่การคำนวณครั้งที่ 140 แต่จะเห็นได้ว่ากระบวนการค้นหานั้นเกิดการลู่เข้าหาค่าที่ผิดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปอื่น ๆ ที่ได้ค่าความเหมาะสมประมาณ 68% แต่ในที่นี้ได้ค่าประมาณ 52% ซึ่งไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมที่สุด



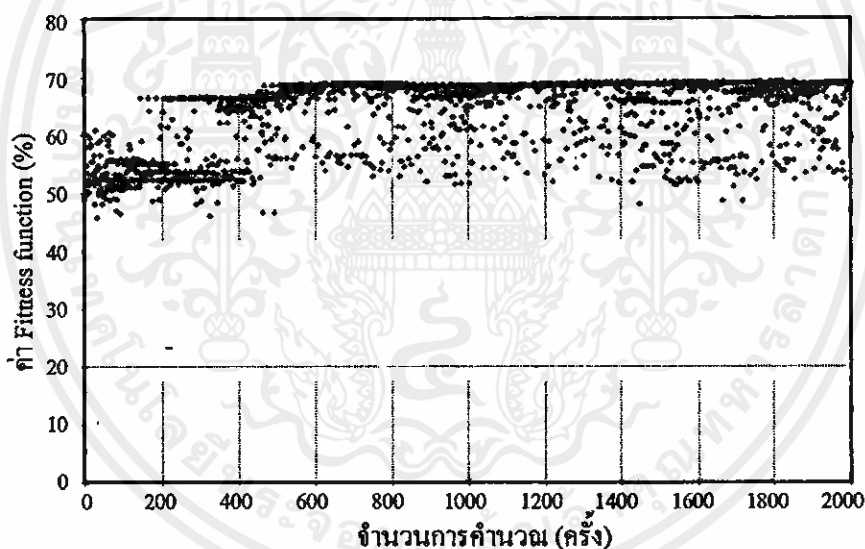
รูปที่ 4.13 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation เท่ากับ 4%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลเหล่านี้ให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ

Mutation เท่ากับ 6%

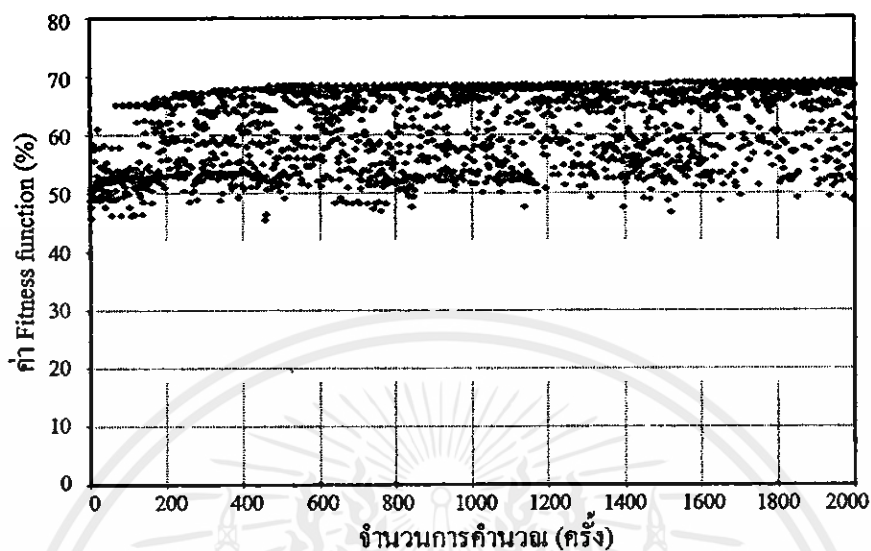


รูปที่ 4.15 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ

Mutation เท่ากับ 10%

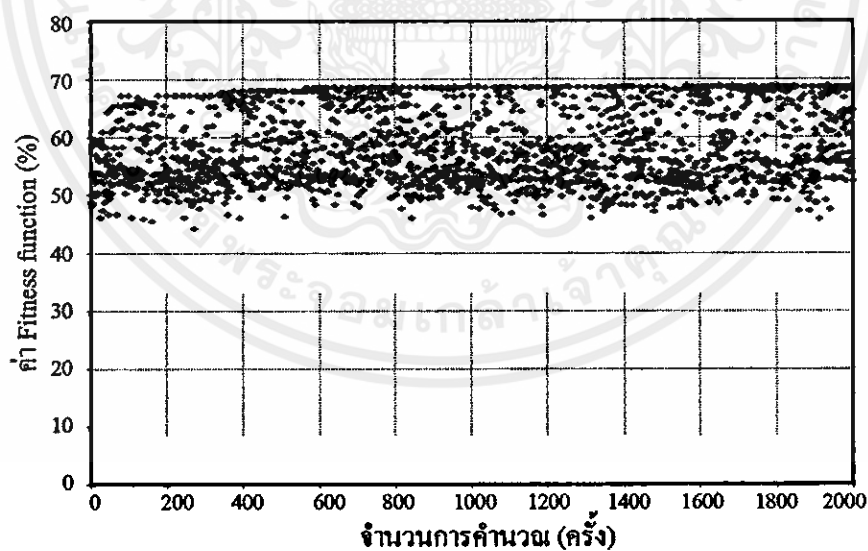
จากรูปที่ 4.13 ถึง 4.15 เป็นการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation เท่ากับ 4% 6% และ 10% ตามลำดับ พบว่ากระบวนการค้นหานั้นมีการกระจายตัวมากขึ้นตามลำดับและเกิดการรู้เข้าหาค่าที่เหมาะสมที่ถูกต้อง โดยแต่ละรูปนั้นมีจุดสิ้นสุดการทำงานต่างกัน รูปที่ 4.13 นั้นสิ้นสุดการทำงานที่การคำนวณครั้งที่ 700 รูปที่ 4.14 นั้นสิ้นสุดการทำงานที่การคำนวณครั้งที่ 1450 และ รูปที่ 4.15 นั้นสิ้นสุดการทำงานที่การคำนวณครั้งที่ 2000 เนื่องจากการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation นั้นจะทำให้กระบวนการค้นหาที่มีรูปแบบการค้นหาที่กระจายตัวมากและครอบคลุมพื้นที่การค้นหา แต่ในขณะที่เดียวกันก็จะทำให้

เกิดการกระจายตัวมากจนทำให้กลุ่มสมาชิกนั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูเข้าหาค่าที่เหมาะสม ไม่เพียงพอที่จะหยุดการทำงานได้ จึงต้องใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.16 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ

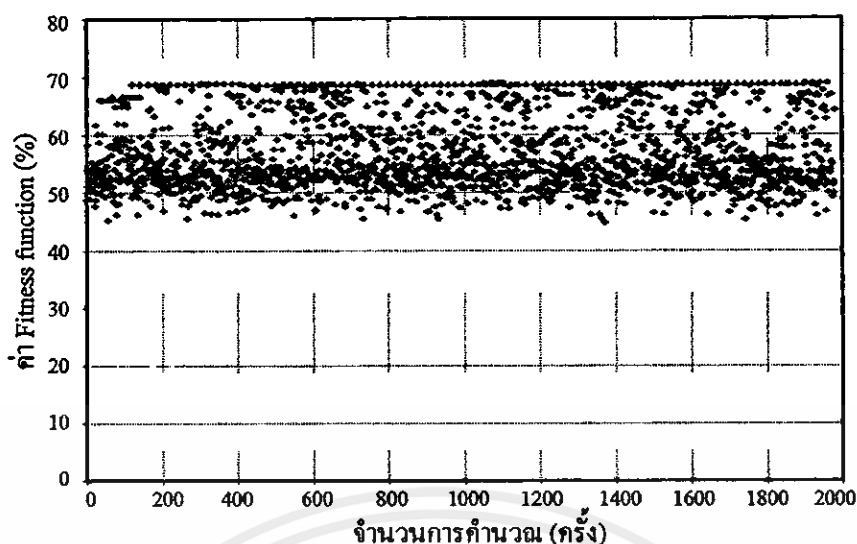
Mutation เท่ากับ 20%



รูปที่ 4.17 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ

Mutation เท่ากับ 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ผลกระทบของกระบวนการค้นหาเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation เท่ากับ 40%

จากรูปที่ 4.16 ถึง 4.18 เป็นการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation เท่ากับ 20% 30% และ 40% ตามลำดับ พบว่ากระบวนการค้นหานั้นมีการกระจายตัวมากขึ้นตามลำดับ และทำให้กระบวนการค้นหาที่มีรูปแบบการค้นหาที่กระจายตัวมากและครอบคลุมพื้นที่การค้นหา แต่ในขณะเดียวกันก็จะทำให้เกิดการกระจายตัวมากเกินไปจนทำให้กลุ่มสมาชิกนั้นไม่สามารถที่จะลู่เข้าหาค่าที่เหมาะสมได้

จากการวิเคราะห์ผลของค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation นั้นพบว่าจะมีผลกระทบกับค่าเปอร์เซ็นต์การลู่เข้าของกระบวนการค้นหา และรูปแบบการค้นหาที่จะเกิดการกระจายมากขึ้นทั่วพื้นที่ทำการค้นหาตามค่าความน่าจะเป็นของ Mutation ที่มากขึ้น ฉะนั้นการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation ควรคำนึงถึงค่าเปอร์เซ็นต์การลู่เข้าหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการหากำหนดค่าที่มากเกินไปอาจทำให้กระบวนการค้นหานั้นไม่สามารถลู่เข้าหาค่าที่เหมาะสมได้

#### 4.6 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

จากการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบจากค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมสามาดที่จะนำผลการวิเคราะห์นั้นมาใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ดังนี้

1. จำนวนสมาชิก นั้นควรกำหนดไว้ในช่วงประมาณ 40-80 เพราะเป็นจำนวนที่ใช้เวลาการคำนวณต่อรอบการทำงานไม่มากเกินไป และยังคงสามารถที่จะรักษารูปแบบการค้นหาที่กระจาย ครอบคลุมและสามารถป้องกันการลู่เข้าหาค่าที่ผิดได้

2. ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover ควรที่จะกำหนดค่าที่ประมาณ 60%-100% เพื่อที่จะทำให้เกิดการถ่ายทอดข้อดีของสมาชิกค้นแบบ ไปยังวงรอบการทำงานถัดไปได้สูง แต่ค่าสภาพความคงตัว (Steady-State) ของกระบวนการค้นหาจะมีค่าน้อยลง จะทำการแก้ไขด้วยการใช้ตัวปฏิบัติการ Elitism มาช่วยในการจัดเก็บค่าสมาชิกที่ดีที่สุดไว้เพื่อรักษาค่าสภาพความคงตัว (Steady-State) ของกระบวนการค้นหา
3. ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation ควรที่จะกำหนดค่าที่ประมาณน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10% เพื่อป้องกันการไม่ลู่เข้าของกระบวนการค้นหา
4. การกำหนดค่าของตัวปฏิบัติการ Elitism นั้น ไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการค้นหา เพียงแต่จะช่วยรักษาค่าสภาพความคงตัว (Steady-State) ของกระบวนการค้นหา ด้วยการจัดเก็บค่าสมาชิกที่ดีที่สุดในแต่ละรอบการทำงานไว้

#### 4.7 บทสรุป

จากการวิเคราะห์ผลกระทบจากตัวปฏิบัติการของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม นั้นพบว่ากระบวนการค้นหามีความไวต่อค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation มากที่สุด สังเกตจากการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation หากเกิน 10% ขึ้นไปจะทำให้กระบวนการค้นหาเกิดการต้อออกทันที ถัดมาคือจำนวนสมาชิก สังเกตจากการกำหนดค่าจำนวนสมาชิกเพิ่มขึ้นจะพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ใช้ในการคำนวณ รูปแบบของกระบวนการค้นที่เพิ่มขึ้นแต่ก็ยัง ไม่สามารถที่จะทำให้กระบวนการค้นหานั้นเกิดการต้อออกหรือทำงานผิดพลาดได้ และสุดท้ายคือค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover สังเกตได้ว่าค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover นั้นมีผลกระทบที่จะทำให้การทำงานของกระบวนการค้นหาเกิดการต้อออกหรือผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งค่าเหล่านี้ควรอย่างยิ่งที่จะต้องทำการกำหนดด้วยค่าที่เหมาะสม เพื่อที่จะทำให้กระบวนการค้นหานั้นมีประสิทธิภาพ และทำงานได้อย่างถูกต้อง

## บทที่ 5

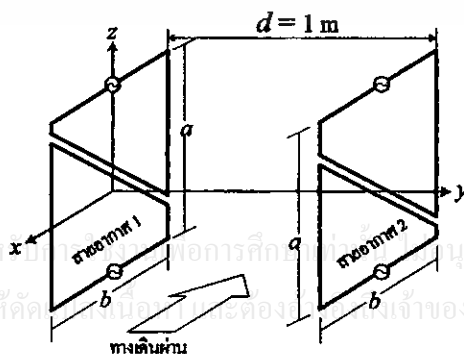
# การจำลองแบบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ

### 5.1 บทนำ

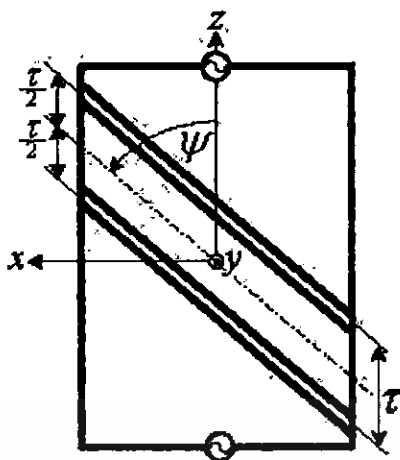
บทนี้นำเสนอการจำลองแบบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ โดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กของสายอากาศแบบบ่วง ด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม (Genetic-Algorithm Optimization) กำหนดให้เป็นสายอากาศรูปแบบที่ 1 จากนั้นนำเทคนิคการวิวัฒนาการมาใช้สลับการทำงานเพื่อเลือกติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับสายอากาศ 2 คู่ เพื่อปรับปรุงความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก ให้มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรเท่ากับ 100% ทั้งสามแนวแกนหลัก กำหนดให้เป็นสายอากาศรูปแบบที่ 2 และทำการวิเคราะห์ความสามารถของการติดต่อสื่อสารของสายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปด ซึ่งเป็น โครงสร้างที่นำมาจากสิทธิบัตรระหว่างประเทศ [12] เพื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศรูปแบบที่ 1 แต่อย่างไรก็ตามได้ทำการศึกษาความสามารถของจำนวนครั้งการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กและความสามารถในการติดต่อสื่อสารในทิศทางอื่นนอกจากทิศทาง  $x$   $y$  และ  $z$  ของสายอากาศรูปแบบที่ 1 ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริงร่วมกับระบบการลงทะเบียนสัตว์ ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ จะนำเสนอด้งหัวข้อต่อไป

### 5.2 โครงสร้างของสายอากาศเมื่อจัดวางในลักษณะประตูเดินผ่าน

จากโครงสร้างสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่จัดวางในลักษณะประตูเดินผ่าน (Walk Through Gate) ที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5.1(ก) ซึ่ง  $d$  คือ ระยะห่างของสายอากาศทั้งสองชุดกำหนดให้เท่ากับ 1 m (เป็นกรณีศึกษา) และ  $z$  คือ ระยะเอียงของแนวเฉียงดังแสดงในรูปที่ 5.1(ข)



(ก) การจัดวางสายอากาศในลักษณะประตูเดินผ่าน



(ข) ลักษณะประจุเค้นผ่านเมื่อมองจากด้านข้าง

รูปที่ 5.1 สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่จัดวางในลักษณะประจุเค้นผ่าน [11]

### 5.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ

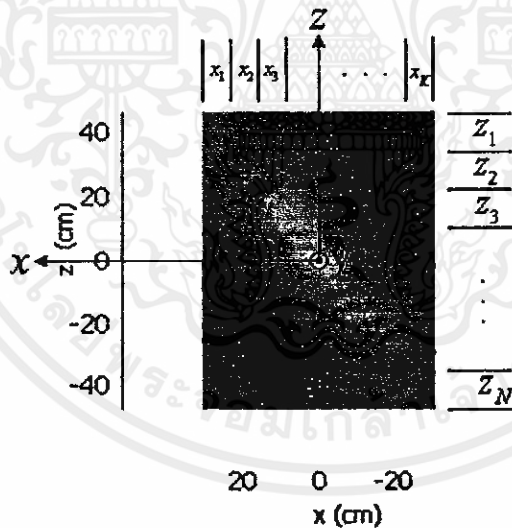
การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศนั้น เริ่มจากการพิจารณาแบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กก่อน จากนั้นจึงนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิว และ ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศ ซึ่งนิยามของค่าเปอร์เซ็นต์เหล่านี้จะกล่าวถึงในลำดับถัดไป

การพิจารณาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น เปอร์เซ็นต์เชิงพื้นผิว จะใช้แบบรูปการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กขององค์ประกอบในแต่ละทิศทางในระนาบ  $xz$  มาพิจารณา ซึ่งพื้นผิวที่ใช้จะมีขนาดเท่ากับสายอากาศคือ ความกว้าง 60 cm ความสูง 90 cm โดยการแบ่งระยะตามแนว  $z$  ออกเป็นเส้นย่อย ๆ เป็นจำนวน  $N$  ส่วนดังแสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งในแต่ละเส้นของ  $z_n$  นั้นจะแบ่งย่อยระยะตามแนว  $x$  ออกเป็นส่วน ๆ เป็นจำนวน  $K$  ส่วน เพื่อให้ผลลัพธ์เกิดการลู่เข้า (Converge) จะให้แต่ละจุดห่างกัน 2 cm (โดยจุดที่วิเคราะห์นั้นจะอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของส่วนย่อย) และจากนั้นพิจารณาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในแต่ละส่วน  $H(x)$  เปรียบเทียบกับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กกระตุ้น  $H$ , โดยที่ค่าความแรงนี้สามารถหาได้จากการทดสอบร่วมกับการจำลองโดยวัฏจักรการอ่านที่ไกลที่สุดจากแท็กไปยังเครื่องอ่านแล้วนำระยะอ่านที่ไกลที่สุดนี้ไปจำลองแบบเพื่อหาค่า  $H$ , ซึ่งจะเท่ากับ 175 mA/m (สำหรับแท็กชนิด ISO Card) ในกรณีที่สมมุติการป้อนแหล่งจ่ายกระแสของสายอากาศเครื่องอ่านเท่ากับ 1 A สาเหตุที่ต้องใช้การสมมุติกระแสที่แหล่งจ่ายเพราะไม่สามารถวัดกระแสที่ป้อนให้แก่สายอากาศได้โดยตรง เนื่องจากเครื่องมือวัดมีผลกระทบต่อระยะการอ่านของเครื่องอ่านเป็นอย่างมาก ดังนั้นผลที่ได้จะมีความผิดพลาดมาก การหาค่า  $H$ , โดยใช้วิธีนี้มีความน่าเชื่อถือได้ เพราะได้ทดสอบกับสายอากาศของเครื่องอ่านที่มีลักษณะหลายแบบหลายรูปทรง พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกันดี

การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นนั้นจะพิจารณาจากการนำสายอากาศไปใช้ในทางปฏิบัติคือ แท็งก์จะเคลื่อนที่จากประตูด้านเข้าไปยังประตูด้านออกในแนวเส้นตรงเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นถ้าจุดใดจุดหนึ่งในแนวเส้นตรง (แนวแกน  $x$ ) ที่ระยะ  $z_n$  ที่พิจารณาอยู่จากด้านเข้าไปยังด้านออก มีค่า  $|H(x_z)| \geq H$ , จะถือว่าเส้นตรงเส้นนั้นมีค่า  $P_i(z_n)$  เท่ากับ 100% ในทางกลับกันถ้าทุกจุดบนเส้นตรงจากด้านเข้าไปยังด้านออกมีค่า  $|H(x_z)| < H$ , เส้นตรงนั้นจะมีค่า  $P_i(z_n)$  เท่ากับ 0% เสร็จแล้วนำค่า  $P_i(z_n)$  นั้นมาใช้คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวดังสมการต่อไปนี้

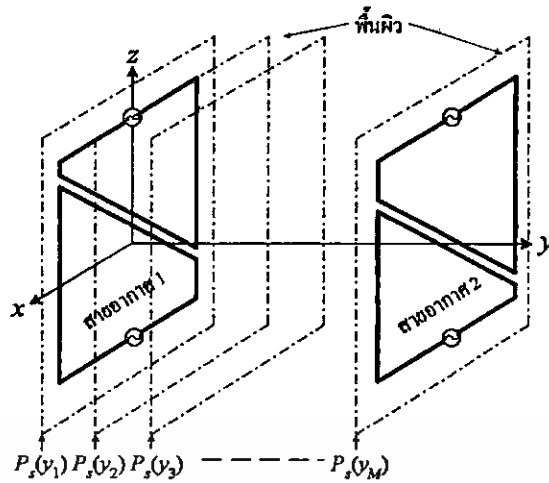
$$P_r(y_m) = \frac{\sum_{n=1}^N P_i(z_n)}{N} ; P_r(y_m) \leq 100\% \quad (5.1)$$

ซึ่ง  $N$  คือ จำนวนเส้นทั้งหมดที่แบ่งตามแนวแกน  $z$  เพื่อให้ผลลัพธ์เพียงพอสำหรับการดูเข้า จะกำหนดให้แต่ละจุดห่างกัน 2 cm (โดยจุดที่วิเคราะห์นั้นจะอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของส่วนย่อย)  $P_r(y_m)$  คือ เปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวที่ตำแหน่ง  $y_m$  ใดๆ  $n$  เท่ากับ 1, 2, 3, ...,  $N$  และ  $m$  เท่ากับ 1, 2, 3, ...,  $M$



รูปที่ 5.2 การแบ่งระยะตามแนว  $x$  และ  $z$  ออกเป็นส่วนย่อย

จากการพิจารณาในกรณีของแต่ละพื้นผิวจาก  $y=0$  ถึง 100 cm จึงสามารถคิดในกรณีทั้งปริมาตรระหว่างสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 5.3 การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรแสดงได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ดังสมการที่ (5.2) ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 การพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร

$$P_v = \frac{\sum_{m=1}^M P_s(y_m)}{M} ; P_v \leq 100\% \quad (5.2)$$

ซึ่ง  $M$  คือ จำนวนของพื้นผิวทั้งหมดที่แบ่งตามแนวแกน  $y$  เพื่อให้ผลลัพธ์เกิดการลู่เข้าจะกำหนดให้แต่ละพื้นผิวห่างกัน 5 cm  $P_s$  คือ ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่แสดงถึงความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก และ  $m$  เท่ากับ 1, 2, 3, ...,  $M$  เนื่องจากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรนั้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงค่าความสามารถในการติดต่อสื่อสารของเครื่องอ่านกับแท็ก ฉะนั้นเมื่อค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมีค่าสูงก็จะหมายความว่า ณ บริเวณที่พิจารณา มีเนื้อที่ส่วนมากที่เครื่องอ่านกับแท็กสามารถติดต่อสื่อสารกันสำเร็จ แต่ถ้าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรมีค่าต่ำก็จะหมายความว่า ณ บริเวณที่พิจารณานั้น มีเนื้อที่ส่วนน้อยที่เครื่องอ่านกับแท็กสามารถติดต่อสื่อสารกันสำเร็จ

#### 5.4 ผลการจำลองแบบของสายอากาศ

สายอากาศที่วิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบประตูเดินผ่านและแบบคานเดี่ยว (ซึ่งเป็นสายอากาศแบบพื้นฐานที่นำมาใช้เปรียบเทียบกับสายอากาศที่ออกแบบขึ้นมาใหม่) สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมกำหนดให้เป็นรูปแบบที่ 1 และสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ถูกพัฒนาด้วยเทคนิคการสวิตซ์กำหนดให้เป็นรูปแบบที่ 2 และสายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปด (โครงสร้างจากอิทธิบัตรระหว่างประเทศ [12]) โดยการวิเคราะห์สายอากาศทุกโครงสร้างจะกำหนดให้ ขนาดของคาน  $a$  และ  $b$  เท่ากับ 60 cm และ 90 cm ตามลำดับ และระยะห่างระหว่างสายอากาศ  $d$  เท่ากับ 1 เมตร รายละเอียดผลการวิเคราะห์จะแสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

### 5.4.1 สายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เนื่องจากสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นสายอากาศพื้นฐานที่มีใช้กันทั่วไปในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามาศึกษาถึงลักษณะการกระจายสนามแม่เหล็กและความสามารถในการติดคอสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก เพื่อที่จะได้นำมาเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบวงคู่ที่ได้ทำการออกแบบขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

#### 5.4.1.1 สายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบประตูเดินผ่าน

ผลการวิเคราะห์สายอากาศแบบประตูเดินผ่าน โดยใช้สายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2 โดยตารางที่ 5.1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้าในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดเฟสตรงกัน ในกรณีที่ค่า  $H_r$  เท่ากับ 175 mA/m (สำหรับแท็กชนิด ISO Card) พบว่าค่า  $P_{v,H_r}$  จะมีค่าสูงสุดเป็น 100 % และค่า  $P_{v,H_r}$  จะมีค่าต่ำที่สุดและมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กในทิศ  $x$  และ  $y$  นอกจากนี้ได้พิจารณาในกรณีที่ค่า  $H_r$  ลดลงและเพิ่มขึ้นอีก 50 mA/m ด้วย (เนื่องจากแท็กแต่ละชนิดมีขนาดไม่เท่ากัน ทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กกระตุ้นนั้นมีค่าต่างกัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อค่า  $H_r$  เปลี่ยนไป เพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้งานด้วย) พบว่าเมื่อค่า  $H_r$  ลดลง ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้น และเมื่อค่า  $H_r$  เพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กมีแนวโน้มจะลดลง ในกรณีที่สายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา พบว่าค่า  $P_{v,H_r}$  จะมีค่าสูงสุดและ  $P_{v,H_r}$  จะมีค่าต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมผืนผ้าในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน

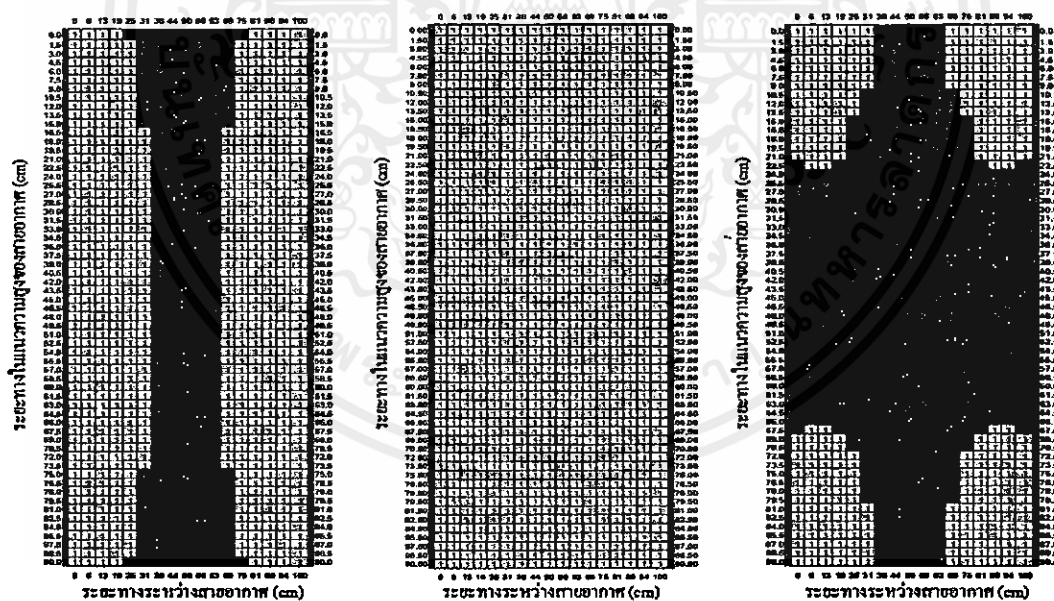
$H_r$ (mA/m)	$P_{v,H_x}$ (%)	$P_{v,H_y}$ (%)	$P_{v,H_z}$ (%)
125	74	100	41
175	66	100	32
225	56	100	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มข้นแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วง  
ที่เหลื่อมคืนผ้าในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสต่างกัน 180 องศา

$H_i$ (mA/m)	$P_{v,H_x}$ (%)	$P_{v,H_y}$ (%)	$P_{v,H_z}$ (%)
125	100	80	69
175	100	77	59
225	92	67	49

เพื่อแสดงให้เห็นแต่ละเส้นทางที่แตกเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงจากประตูด้านเข้า ไปยังประตูด้านออกในบริเวณระหว่างสายอากาศ ( $60 \times 90 \times 100 \text{ cm}^3$ ) รูปที่ 5.4 แสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศ เมื่อ  $P_{I,H_x}$ ,  $P_{I,H_y}$ , และ  $P_{I,H_z}$  คือค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นของความเข้มข้นแม่เหล็กในแนวแกน  $x$  ในแนวแกน  $y$  และ ในแนวแกน  $z$  ตามลำดับ แกนตั้งแสดงระยะทางในแนวความสูงของสายอากาศ โดยระยะ 0 cm คือตำแหน่งด้านบนสุดของสายอากาศและระยะ 90 cm คือตำแหน่งด้านล่างสุดของสายอากาศ และแกนอนคือระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสองขั้ว



(ก)  $P_{I,H_x}$

(ข)  $P_{I,H_y}$

(ค)  $P_{I,H_z}$

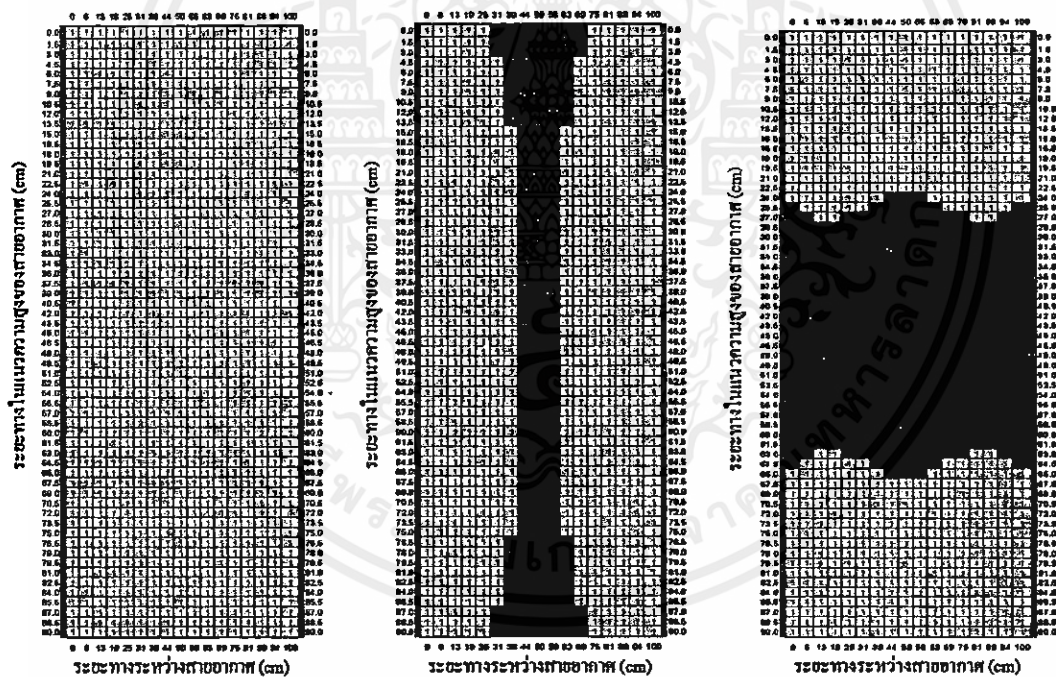
รูปที่ 5.4 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณ

ระหว่างสายอากาศทั้งสองขั้วของสายอากาศแบบบ่วงที่เหลื่อมคืนผ้าเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายและการนำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายไปใช้

การพิจารณาในรูปที่ 5.4 คือถ้าเส้นทางนั้นมีค่าเป็น 1 (สีจาง) แสดงว่าในเส้นทางนั้นสามารถติดต่อดีสารกับแท็กได้หรือมีค่า  $P_i$  เท่ากับ 100% และถ้าเส้นทางนั้นมีค่าเป็น 0 (สีเข้ม) แสดงว่าในเส้นทางนั้นไม่สามารถติดต่อดีสารกับแท็กได้หรือมีค่า  $P_i$  เท่ากับ 0% ซึ่งจากรูปพบว่า ทุกเส้นทางของความเข้มสนามแม่เหล็กในทิศ  $y$  มีค่าเป็น 1 หมดหรือมีค่า  $P_{v,H}$  เท่ากับ 100% ส่วน  $P_{l,H}$  และ  $P_{i,H}$  บริเวณตรงกลางระหว่างสายอากาศมีค่าเป็น 0 ทำให้ค่า  $P_{v,H}$  มีค่าเพียง 66% และค่า  $P_{i,H}$  เท่ากับ 32%

รูปที่ 5.5 แสดงความสามารถในการติดต่อดีสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ซึ่งจะมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรดังแสดงในตารางที่ 5.2 ในกรณีนี้  $H_x$  เท่ากับ 175 mA/m เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.4 ซึ่งเป็นกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน พบว่าจะมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร โดยเฉลี่ยทั้งสามแกนสูงกว่า



(ก)  $P_{l,H}$

(ข)  $P_{i,H}$

(ค)  $P_{v,H}$

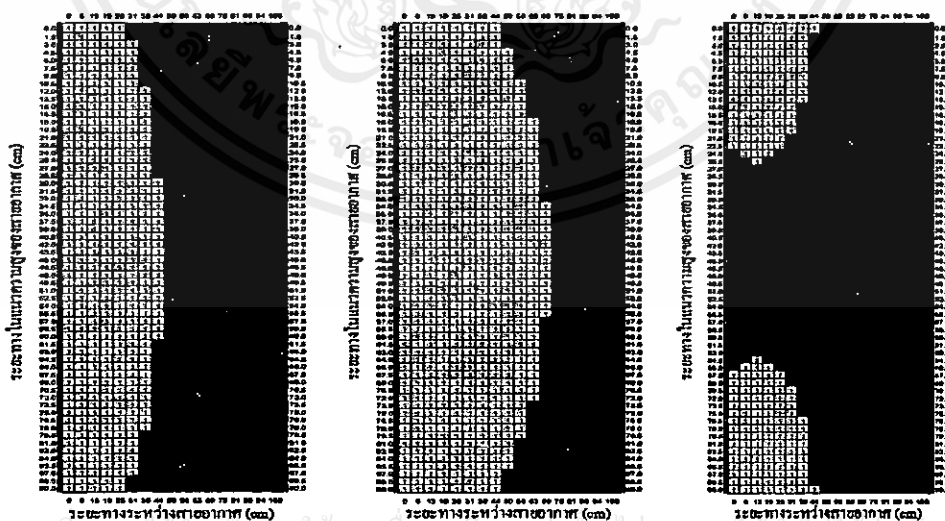
รูปที่ 5.5 ความสามารถในการติดต่อดีสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.4.1.2 สายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบด้านเดียว

ผลการวิเคราะห์สายอากาศสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบด้านเดียวจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในตารางที่ 5.3 โดยตารางที่ 5.3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในกรณีที่ค่า  $H_1$  เท่ากับ 175 mA/m (สำหรับแท็กชนิด ISO Card) พบว่าค่า  $P_{v,H}$  จะมีค่าสูงสุดเป็น 61.90 % และค่า  $P_{v,H}$  จะมีค่าที่ต่ำที่สุดและมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กของในทิศ  $x$  และ  $y$

เพื่อแสดงให้เห็นแต่ละเส้นทางที่แท็กเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงจากประตูด้านเข้าไปยังประตูด้านออกในบริเวณระหว่างสายอากาศ ( $60 \times 90 \times 100 \text{ cm}^3$ ) รูปที่ 5.6 แสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศ เมื่อ  $P_{I,H_x}$ ,  $P_{I,H_y}$  และ  $P_{I,H_z}$  คือค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นของความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน  $x$  ในแนวแกน  $y$  และ ในแนวแกน  $z$  ตามลำดับ แกนตั้งแสดงระยะทางในแนวความสูงของสายอากาศ โดยระยะ 0 cm คือตำแหน่งด้านบนสุดของสายอากาศและระยะ 90 cm คือตำแหน่งด้านล่างสุดของสายอากาศ และ แกนนอนคือระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสองชุด การพิจารณาในรูปที่ 5.6 คือถ้าเส้นทางนั้นมีค่าเป็น 1 (สีขาว) แสดงว่าในเส้นทางนั้นสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้หรือมีค่า  $P_i$  เท่ากับ 100% และถ้าเส้นทางนั้นมีค่าเป็น 0 (สีดำ) แสดงว่าในเส้นทางนั้นไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้หรือมีค่า  $P_i$  เท่ากับ 0% ซึ่งจากรูปพบว่า ทุกเส้นทางของความเข้มสนามแม่เหล็กในทิศ  $y$  มีค่าที่มากที่สุด  $P_{v,H}$  มีค่าเท่ากับ 61.90% ส่วน  $P_{I,H_x}$  และ  $P_{I,H_z}$  บริเวณตรงกลางระหว่างสายอากาศมีค่าเป็น 0 ทำให้ค่า  $P_{v,H_x}$  มีค่าเพียง 41.27% และค่า  $P_{v,H_z}$  เท่ากับ 21.02%

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

รูปที่ 5.6 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ตารางที่ 5.3 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มข้นแม่เหล็กของสายอากาศแบบบ่วง  
สี่เหลี่ยมผืนผ้าด้านเดียว

$H_z$ (mA/m)	$P_{v,H_x}$ (%)	$P_{v,H_y}$ (%)	$P_{v,H_z}$ (%)
175	41.27	61.90	21.02

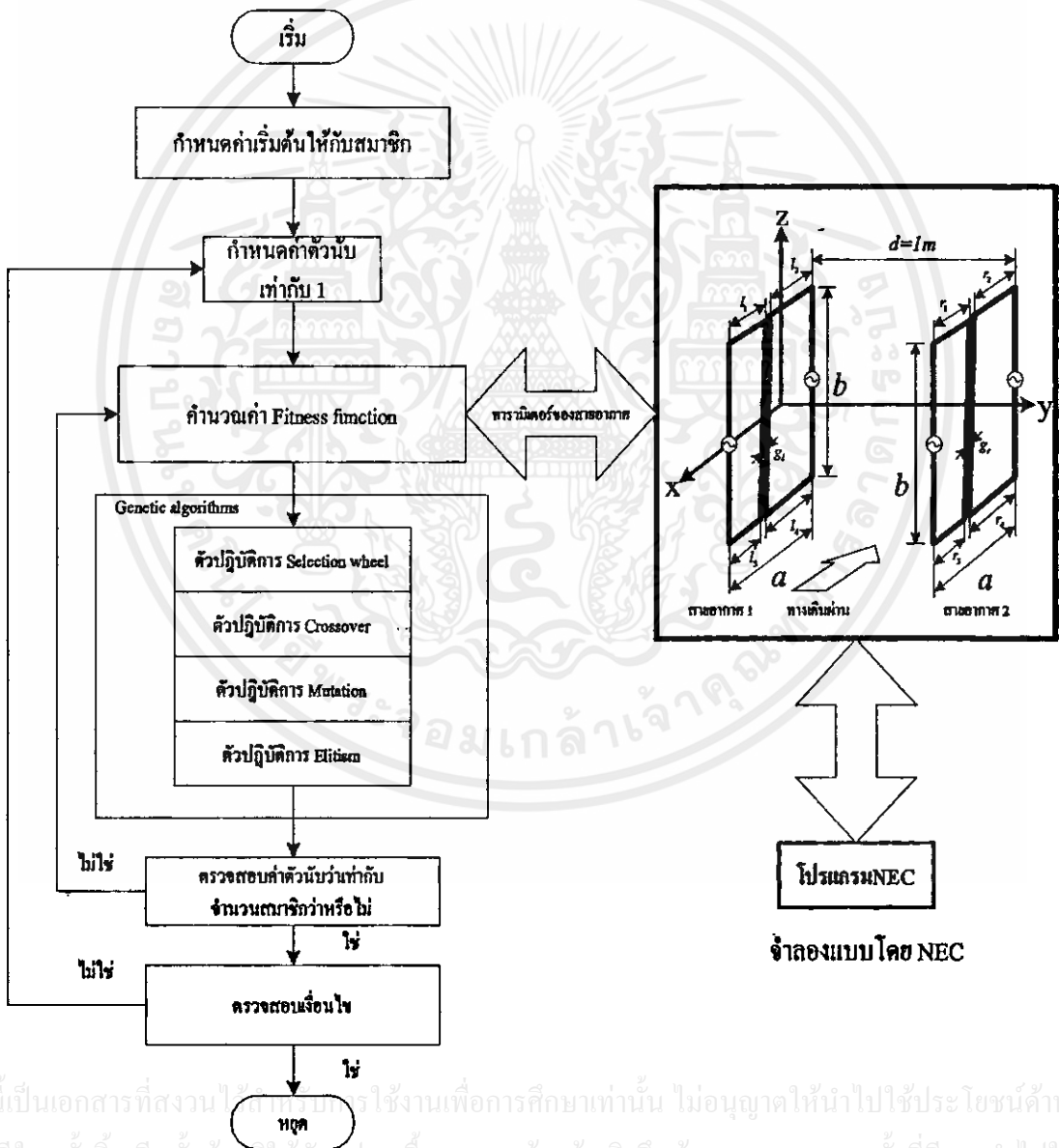
ตารางที่ 5.4 ได้แสดงค่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณที่ระยะทางในการพิจารณาเท่ากับ 100 cm และระยะทางที่มากที่สุดในการวัดที่ติดต่อดำเนินการได้ของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้านเดียว แบบประจุกเดินผ่านสายอากาศสองขุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา และแบบประจุกเดินผ่านสายอากาศสองขุดมีเฟสตรงกันเพื่อเป็นการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละแบบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสายอากาศแบบประจุกเดินผ่านกรณีที่สายอากาศสองขุดมีเฟสต่างกัน 180 องศาจะมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณสูงทั้งสามแนวแกนเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่สายอากาศสองขุดมีเฟสตรงกันและสายอากาศแบบด้านเดียว แต่ก็ยังไม่เพียงพอสำหรับการนำไปใช้งานจริงกับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุเนื่องจากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณในแนวแกน  $y$  และ  $z$  ยังมีค่าไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับแนวแกน  $x$

ตารางที่ 5.4 ตารางเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณที่ระยะทางในการพิจารณาเท่ากับ 100 cm และระยะทางที่มากที่สุดในการวัดที่ติดต่อดำเนินการได้ของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้านเดียว แบบประจุกเดินผ่านสายอากาศสองขุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา และแบบประจุกเดินผ่านสายอากาศสองขุดมีเฟสตรงกัน

สายอากาศสี่เหลี่ยมผืนผ้า	เปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณที่ระยะทางในการพิจารณาเท่ากับ 100 cm			ระยะทางที่มากที่สุดในการวัดที่ติดต่อดำเนินการได้ (cm)		
	$P_{v,H_x}$ (%)	$P_{v,H_y}$ (%)	$P_{v,H_z}$ (%)	$x$	$y$	$z$
แบบด้านเดียว	41.27	61.90	21.02	47	64.70	47
แบบประจุกเดินผ่านสายอากาศสองขุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา	100	77	59	40	120	50
แบบประจุกเดินผ่านสายอากาศสองขุดมีเฟสตรงกัน	66	100	32	40	160	40

5.4.2 โครงสร้างสายอากาศและการหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมเป็นกระบวนการค้นหาที่มีการสุ่มเลือกค่าตัวแปร โดยอาศัยหลักการของธรรมชาติคล้ายลักษณะสืบทอดพันธุกรรมในมนุษย์ ซึ่งหลักการนี้มีด้วยกันหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ตัวปฏิบัติการต่างๆ ในวิทยานิพนธ์นี้จะอธิบายเพียงหลักการทำงานของกระบวนการคิดแบบการสืบทอดพันธุกรรมอย่างง่าย (Simple Genetic Algorithm : Simple-GA) ซึ่งประกอบด้วยตัวปฏิบัติการดังต่อไปนี้คือ 1. ลักษณะการสุ่มเลือกค่าตัวแปรแบบการหมุนวงล้อ (Selection Wheel) 2. ตัวปฏิบัติการแบบ Crossover 3. ตัวปฏิบัติการแบบ Mutation 4. ตัวปฏิบัติการแบบ Elitism ตามที่ได้อธิบายในบทที่ 3



รูปที่ 5.7 แผนผังการทำงานของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโครงสร้างของสายอากาศในรูปที่ 5.1 เมื่อกำหนดให้  $l_1$  ถึง  $l_4$  คือ ความกว้างของบ่วงคู่ที่ 1 และ  $r_1$  ถึง  $r_4$  คือ ความกว้างของบ่วงคู่ที่ 2 และ  $g_1$  คือ ระยะห่างของบ่วงทั้งสองของสายอากาศ 1 และ  $g_2$  คือ ระยะห่างของบ่วงทั้งสองของสายอากาศ 2 ดังแสดงในรูปที่ 5.9

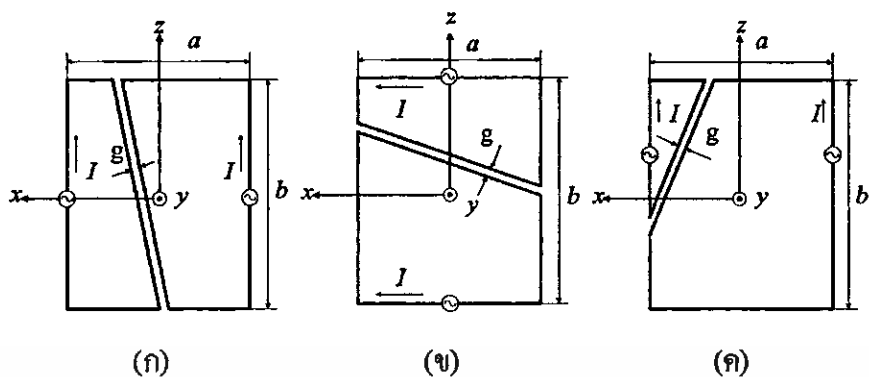
จากนั้นจึงทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับสายอากาศชนิดนี้เพื่อให้สามารถกระจายสนามแม่เหล็กได้ดีทุกทิศทางโดยใช้กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม ซึ่งมีการทำงานตามรูปที่ 5.7 ซึ่งใช้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในทิศทาง  $xy$  และ  $z$  เป็นตัวบอกประสิทธิภาพของสายอากาศ (นั่นก็คือฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function :  $F(x)$ )) เพราะว่าเป็นสามแนวแกนหลักที่ใช้คำนวณหาสนามแม่เหล็กและการพิจารณานั้นจำเป็นต้องพิจารณาทั้งสามแนวแกนพร้อมกันเพื่อที่จะให้เครื่องอ่านข้อมูลสามารถติดต่อกับแท็กได้หลายลักษณะการจัดวางมากที่สุด ไม่ใช่การพิจารณาเพียงแนวแกนใดแนวแกนหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นฟังก์ชันความเหมาะสม ( $F$ ) สำหรับการออกแบบสายอากาศคือ

$$F = [ P_{v,H_1}, P_{v,H_2}, P_{v,H_3} ] \quad (5.3)$$

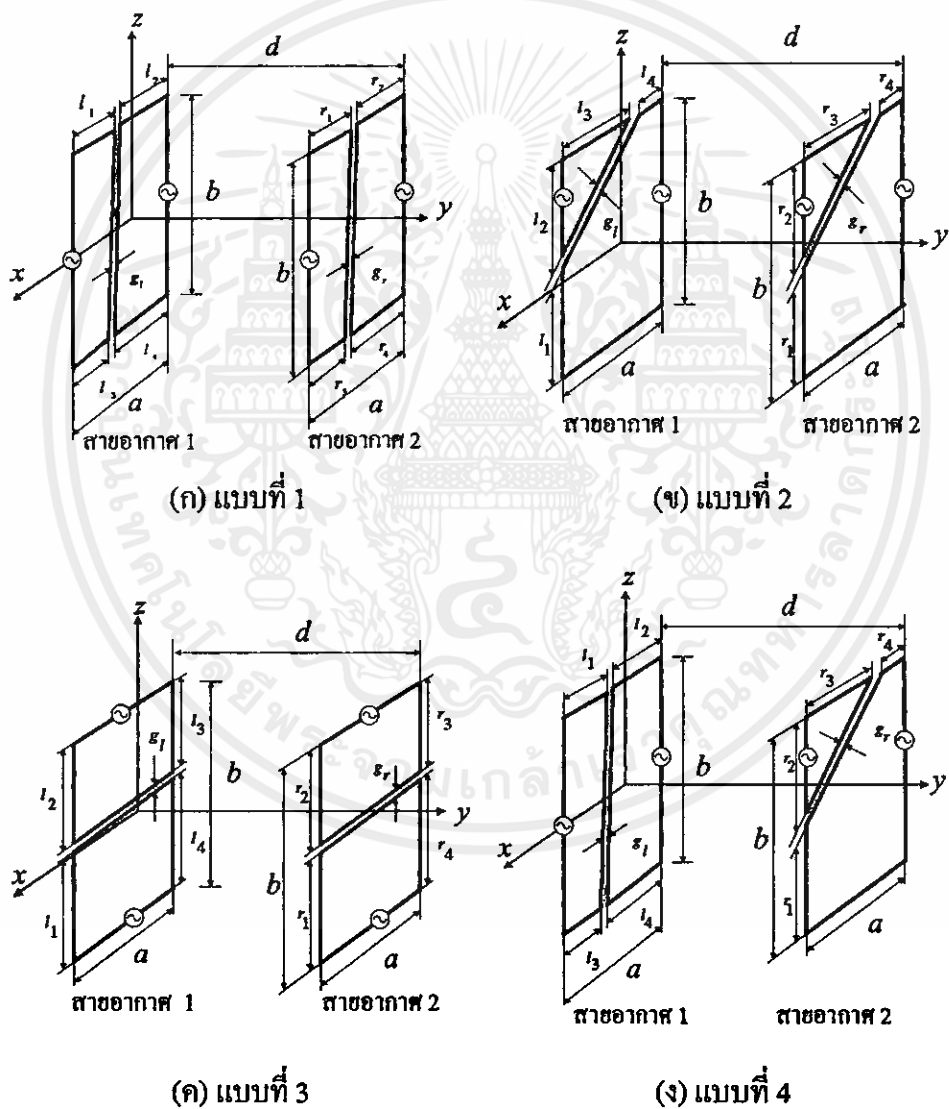
ในกรณีนี้ใช้ตัวปฏิบัติการสองตัวคือ Uniform Crossover และ Uniform Mutation และใช้หลักการหมุนวงล้อในการสุ่มเลือกกลุ่มตัวแปร การกำหนดค่าของตัวปฏิบัติการมีดังต่อไปนี้คือ

1. ความน่าจะเป็นของ Uniform Crossover เท่ากับ 0.8 (80%)
2. ความน่าจะเป็นของ Uniform Mutation เท่ากับ 0.05 (5%)
3. จำนวนสมาชิก (Population size) เท่ากับ 50

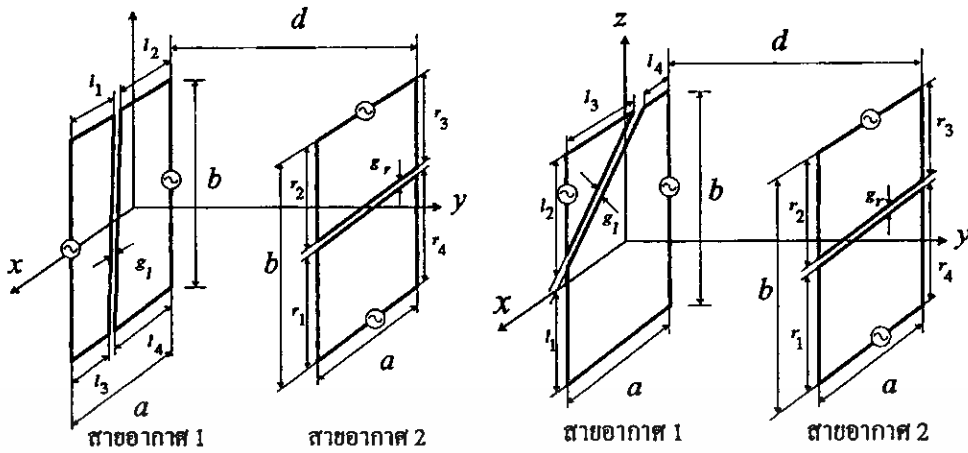
การเลือกค่าของตัวปฏิบัติการนั้นเลือกค่าจากการวิเคราะห์ในบทที่ 4 และเนื่องจากสายอากาศรูปแบบนี้มีการจัดวางบ่วงภายในสายอากาศหลายแบบ หากทำการสุ่มค่าพารามิเตอร์แบบการค้นหาคอบคลุมสมบูรณ์ (Exhaustive Search) โครงสร้างสายอากาศที่ได้จะเป็นโครงสร้างที่ยากต่อการสร้างและหากค่าพารามิเตอร์บางค่าผิดพลาดจะทำให้การคำนวณผิดพลาดได้เช่นกัน จึงได้จัดแบ่งรูปแบบการวางตัวของบ่วงเป็น 3 แบบครอบคลุมความเป็นไปได้ทั้งหมดในการจัดวางบ่วงภายในสายอากาศ โดยมีหลักการคือจัดวางช่องว่างระหว่างบ่วงให้สามารถวางตัวได้ครบ 360 องศาบนระนาบของสายอากาศ โดยแบบแรกวางแนวช่องว่างอยู่บนด้านกว้างของสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังรูปที่ 5.8(ก) แบบที่สองวางแนวช่องว่างอยู่บนด้านยาวของสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังรูปที่ 5.8(ข) และแบบที่สามวางแนวช่องว่างอยู่ระหว่างด้านกว้างและด้านยาวของสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังรูปที่ 5.8(ค) จากนั้นนำทั้งสามแบบจับคู่กันเป็นการจัดวางแบบประตูดินผ่านได้เป็น 9 แบบ แต่มีรูปแบบที่ซ้ำกัน 3 แบบ จึงเหลือเพียง 6 แบบเท่านั้นที่นำมาหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5.9 และทั้ง 6 แบบนี้แบ่งออกเป็นอีก 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสตรงกัน กรณีที่ 2 ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองขั้วมีเฟสต่างกัน 180 องศา



รูปที่ 5.8 การจำแนกสายอากาศแบบบ่วงคู่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) แบบที่ 5

(ฉ) แบบที่ 6

รูปที่ 5.9 การจัดวางสายอากาศวงคู่แบบประตูดินผ่านในลักษณะต่างๆ

จากผลการคำนวณ โดยใช้กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม ได้ค่าที่ดีที่สุดของ 6 แบบในกรณีของการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองจุดเฟสตรงกันดังแสดงในตารางที่ 5.5 และในกรณีของป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองจุดมีเฟสต่างกัน 180 องศาแสดงในตารางที่ 5.6 พบว่าการจัดวางบ่วงตามรูปแบบที่ 4 ในกรณีของป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองจุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่ดีในทั้งสามทิศทางที่ตั้งฉากกัน แต่ในการนำสายอากาศไปใช้งานจริงนั้นแท่งส่วนมากมักจะมีการวางตัวอยู่ในระบับความสูงที่ช่วงกลางของสายอากาศจึงจำเป็นต้องพิจารณาความเข้มข้นแม่เหล็กบริเวณช่วงกลางของระนาบสายอากาศ ดังนั้นจึงทำการปรับช่วงของแนวแกน z ที่พิจารณา -0.3 m ถึง 0.3 m เพื่อดูค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรบริเวณนี้ด้วย

ตารางที่ 5.5 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่มากที่สุดของสายอากาศทั้ง 6 ลักษณะ ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองจุดมีเฟสตรงกัน ( $H_z$  เท่ากับ 175 mA/m)

	$P_{v,H_z}$ (%)	$P_{v,H_y}$ (%)	$P_{v,H_x}$ (%)
แบบที่ 1	90.96	91.51	52.07
แบบที่ 2	73.19	96.81	56.02
แบบที่ 3	76.27	86.98	72.13
แบบที่ 4	92.18	92.76	67.79
แบบที่ 5	89.87	85.63	70.58
แบบที่ 6	87.46	78.49	89.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการใช้การศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุญาต  
 ไม่ว่าการมีใดๆทั้งนี้ไม่มีให้คัดแปลงและต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่มากที่สุดของสายอากาศทั้ง 6 ลักษณะ ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ( $H_x$  เท่ากับ 175 mA/m)

	$P_{v,H_x}$ (%)	$P_{v,H_y}$ (%)	$P_{v,H_z}$ (%)
แบบที่ 1	95.95	90.97	55.64
แบบที่ 2	94.88	87.65	78.68
แบบที่ 3	81.58	85.60	79.55
แบบที่ 4	93.82	91.32	70.78
แบบที่ 5	90.45	84.18	72.42
แบบที่ 6	84.57	90.74	74.44

จากผลการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร ณ บริเวณกลางระนาบสายอากาศของสายอากาศทั้ง 6 ลักษณะ พบว่าในกรณีของการป้อนสัญญาณให้ประตู่ทั้งสองด้านมีเฟสตรงกันแสดงในตารางที่ 5.7 และในกรณีของการป้อนสัญญาณให้ประตู่ทั้งสองด้านมีเฟสต่างกัน 180 องศาแสดงในตารางที่ 5.8 แล้วนำค่าที่ได้ในตารางที่ 5.5-5.8 มาพิจารณาร่วมกันสรุปได้ว่าการจัดวางสายอากาศวงคู่แบบประตู่เดินผ่านตามรูปแบบที่ 4 กรณีป้อนสัญญาณให้กับประตู่ทั้งคู่ต่างเฟสต่างกัน 180 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่ดีที่สุด ในทั้งสามทิศทางที่ตั้งฉากกัน

ตารางที่ 5.7 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร ณ บริเวณกลางระนาบของสายอากาศทั้ง 6 ลักษณะ ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน ( $H_x$  เท่ากับ 175 mA/m)

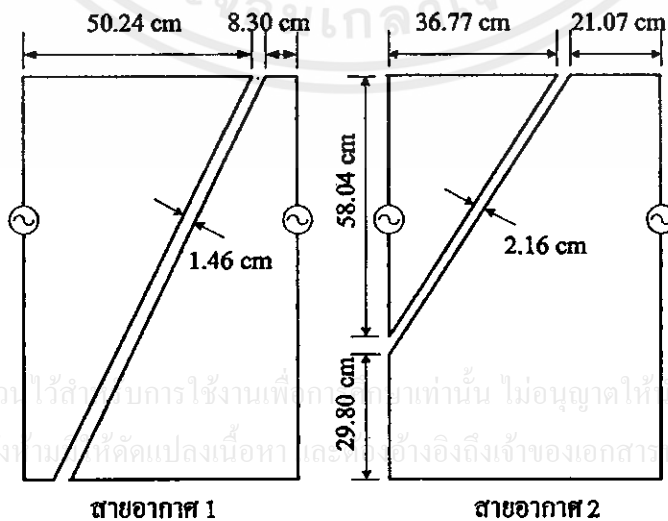
	$P_{v,H_x}$ (%)	$P_{v,H_y}$ (%)	$P_{v,H_z}$ (%)
แบบที่ 1	99.13	96.43	31.34
แบบที่ 2	77.53	100	52.17
แบบที่ 3	87.56	80.52	60.27
แบบที่ 4	97.30	96.72	53.52
แบบที่ 5	97.49	87.07	79.17
แบบที่ 6	92.57	90.06	82.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

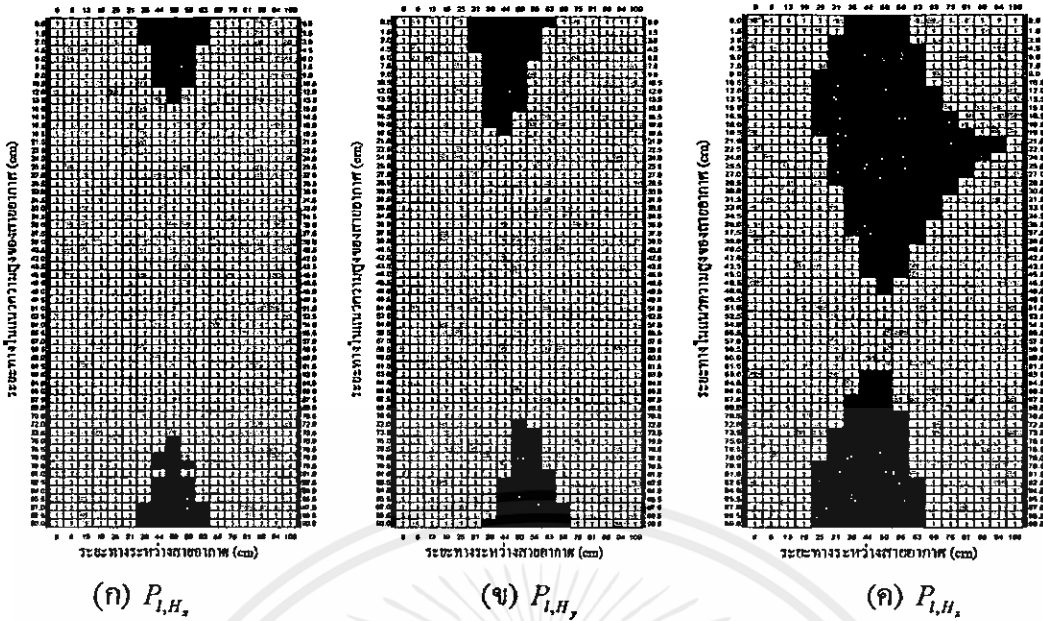
ตารางที่ 5.8 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร ณ บริเวณกลางระนาบของสายอากาศทั้ง 6 ลักษณะ ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองจุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ( $H_x$  เท่ากับ 175 mA/m)

	$P_{v,H_x}$ (%)	$P_{v,H_y}$ (%)	$P_{v,H_z}$ (%)
แบบที่ 1	100.00	92.23	54.67
แบบที่ 2	99.22	90.06	73.86
แบบที่ 3	88.52	76.56	93.63
แบบที่ 4	99.80	97.97	74.63
แบบที่ 5	97.97	85.63	81.09
แบบที่ 6	93.82	86.98	62.10

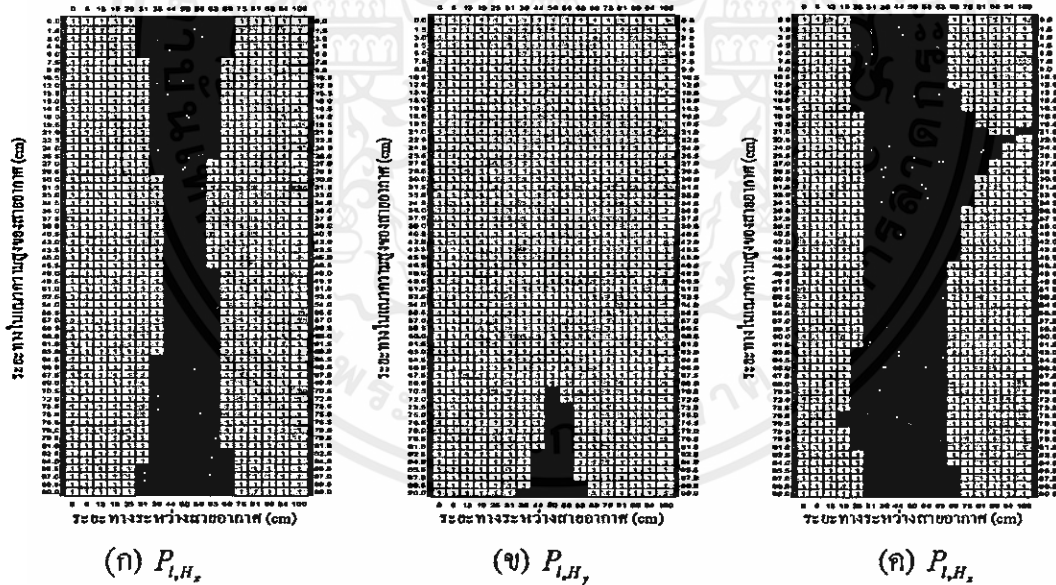
ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้จากกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมของสายอากาศที่จัดวางตัวตามแบบที่ 4 ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองจุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่ดีที่สุดคือ มีค่า  $P_{v,H_x}$  เท่ากับ 93.82%  $P_{v,H_y}$  เท่ากับ 91.32% และ  $P_{v,H_z}$  เท่ากับ 70.78% โครงสร้างของสายอากาศมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5.10 และในรูปที่ 5.11 แสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสองจุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 พบว่าจุดสัมผัสหรือเส้นทางที่ไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้บริเวณตรงกลางมีจำนวนจุดน้อยลง ยกเว้นในทิศ  $z$  เมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า เมื่อป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองจุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.10 โครงสร้างของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 (แบบที่ 4 ในรูปที่ 5.9(ง))



รูปที่ 5.11 ความสามารถในการติดต่อดึงสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ในกรณีที่มีป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา



รูปที่ 5.12 ความสามารถในการติดต่อดึงสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศทั้งสองชุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ในกรณีที่มีป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ จากผลการวิเคราะห์สายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม (สายอากาศรูปแบบที่ 1) ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.5 ถึง 5.8 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังแสดงในตารางที่ 5.4 และเปรียบเทียบกับ

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศด้วยการจำลองแบบ [11] พบว่าผลการวิเคราะห์สายอากาศแบบวงที่ 1 ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยกระบวนการคิดแบบ สืบทอดพันธุกรรมมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรสูงที่สุด

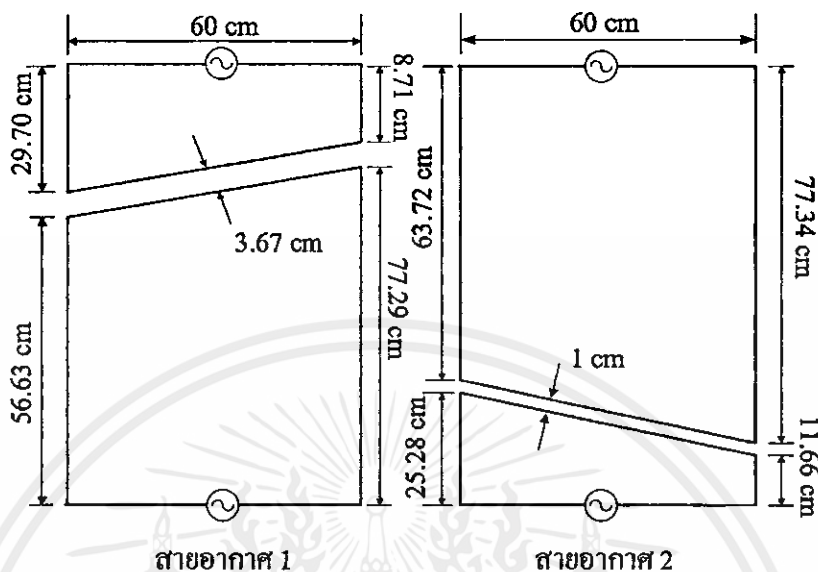
#### 5.4.3 เทคนิคการสวิตช์เพื่อใช้สลับการทำงานเพื่อเลือกติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่อง อ่านกับสายอากาศ 2 คู่

จากโครงสร้างของสายอากาศแบบวงคู่รูปแบบที่ 1 พบว่าค่า  $P_{v,H}$  ยังมีค่าไม่สูงมากเมื่อ เทียบกับ  $P_{v,H}$  และ  $P_{v,H}$  แต่เป็นโครงสร้างสายอากาศที่ดี ดังนั้นจึงจะนำเสนอเทคนิคการสวิตช์ เพื่อใช้สลับการทำงานเลือกติดต่อสื่อสารข้อมูลจากสายอากาศทั้ง 2 คู่ โดยแบ่งการพิจารณา ออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ใช้การหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศตัวที่ 2 ที่นำมาสวิตช์โดยใช้ กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมร่วมกับสายอากาศแบบวงคู่รูปแบบที่ 1 โดยใน สายอากาศมีการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดเฟสต่างกัน 180 องศาในแต่ละคู่ และกรณีที่ 2 ใช้สายอากาศแบบวงคู่รูปแบบที่ 1 รวมเข้าด้วยกัน 2 คู่ โดยป้อนกระแสให้สายอากาศชุดแรก เฟสต่างกัน 180 องศาและชุดที่สองเฟสตรงกันเพื่อช่วยในการเติมเต็มค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร

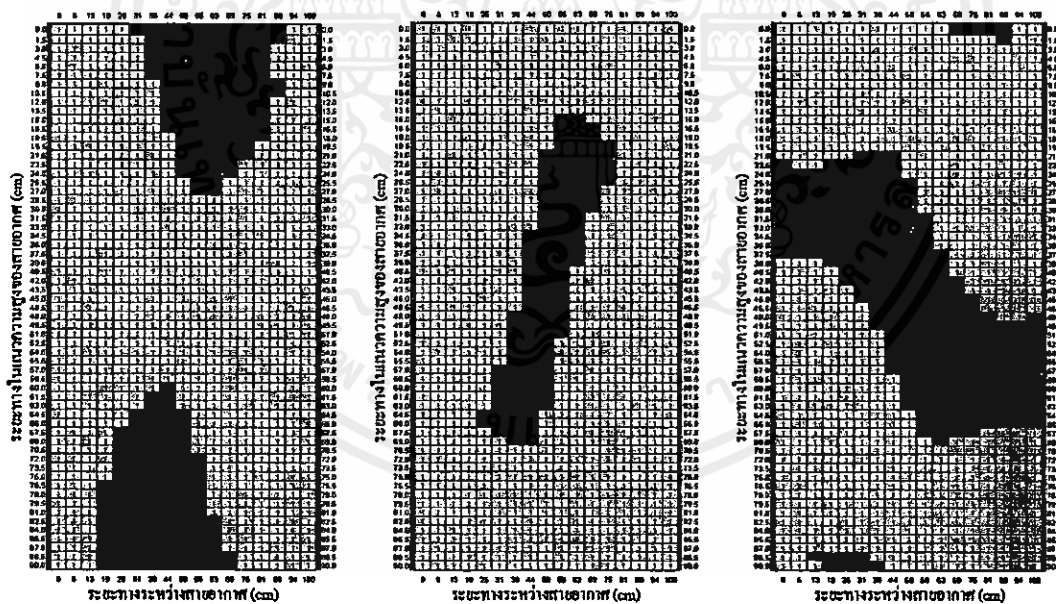
##### 5.4.3.1 กรณีที่ 1

สายอากาศคู่แรกจะเป็นโครงสร้างของสายอากาศแบบวงคู่รูปแบบที่ 1 ในส่วนคู่ที่ 2 จะ ออกแบบให้มีการเติมเต็มค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในส่วนที่คู่แรกไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้ ซึ่ง ลักษณะ โครงสร้างของสายอากาศคู่ที่ 2 แสดงดังรูปที่ 5.13 และรูปที่ 5.14 แสดงความสามารถใน การติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศคู่ที่ 2 ซึ่งมีค่า  $P_{v,H}$  เท่ากับ 76.28%  $P_{v,H}$  เท่ากับ 86.98% และ  $P_{v,H}$  เท่ากับ 72.13% เมื่อรวมสายอากาศทั้ง 2 คู่ เพื่อใช้ เทคนิคการสวิตช์สลับการทำงานเลือกติดต่อสื่อสารข้อมูลจากสายอากาศทั้ง 2 คู่ ดังแสดงในรูปที่ 5.15 โดยสายอากาศคู่ที่ 2 จะป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา ในส่วน ของการสวิตช์นั้นจะออกแบบให้คาบเวลาในการสวิตช์สายอากาศแต่ละคู่ให้น้อยที่สุด เพื่อให้แท็ก สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด ซึ่งเป็นที่ต้องการในการประยุกต์ใช้งานลักษณะเฉพาะ (นั่นก็คือแท็ก เคลื่อนที่ด้วยความเร็วจำกัด) ซึ่งคาบเวลานี้ถูกจำกัดโดยคุณสมบัติของตัวรีเลย์ในวงจรสวิตช์ที่จะ สามารถทำงานได้และเครื่องอ่านข้อมูลที่สามารถอ่านข้อมูลของแท็กได้ซึ่งในที่นี้ให้เวลา 300 ms สำหรับสายอากาศแต่ละคู่ทำงาน รูปที่ 5.16 แสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็ก (ที่ เคลื่อนที่ไม่เร็วเกินความเร็วจำกัดดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของ สายอากาศแบบวงคู่รูปแบบที่ 2 ซึ่งได้มาจากการพิจารณารูปที่ 5.11 และ 5.14 ร่วมกัน พบว่าจุด สัมผัสหรือเส้นที่ไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้นั้นมีจำนวนจุดน้อยลงมาก เมื่อเทียบกับรูปที่ 5.11 ของสายอากาศแบบวงคู่รูปแบบที่ 1 นั่นคือค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศแบบวงคู่กรณี ที่ 1 จะมีค่าเพิ่มขึ้นดังนี้คือ  $P_{v,H}$  เท่ากับ 93.44%  $P_{v,H}$  เท่ากับ 100% และ  $P_{v,H}$  เท่ากับ 92.86%

ซึ่งจะสังเกตได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในแต่ละแนวแกนมีค่ามากกว่า 92% ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก



รูปที่ 5.13 โครงสร้างของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ 2



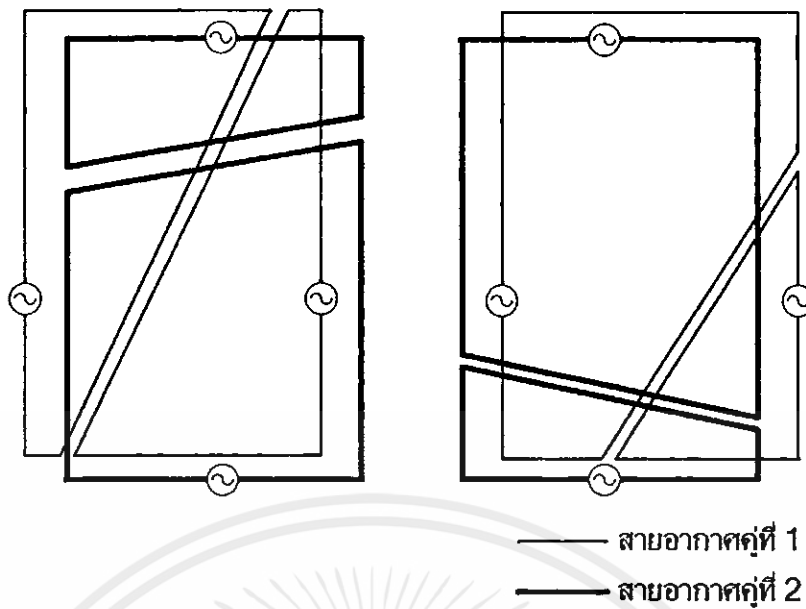
(ก)  $P_{L,H}$

(ข)  $P_{L,H}$

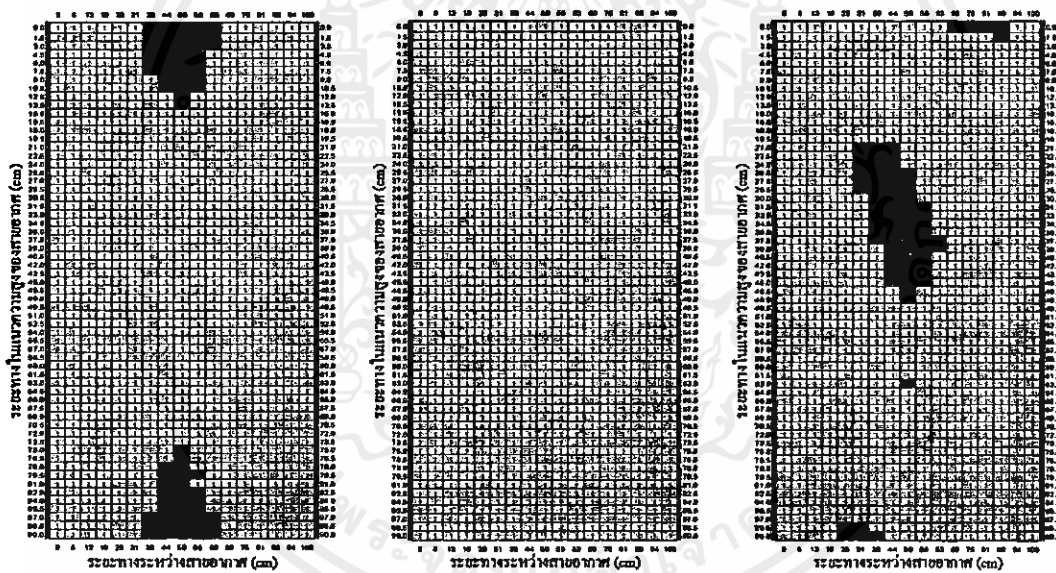
(ค)  $P_{L,H}$

รูปที่ 5.14 ความสามารถในการติดต่อดสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวตรงของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ 2 ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับกริ เช่นงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ เช่นด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 โครงสร้างของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1



(ก)  $P_{L,H_1}$

(ข)  $P_{L,H_2}$

(ค)  $P_{L,H_3}$

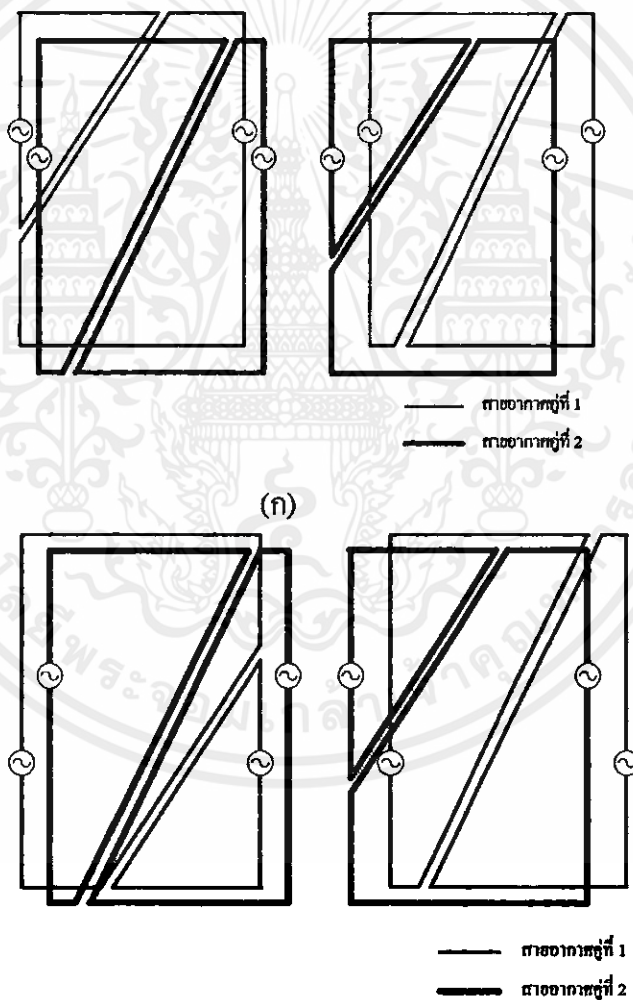
รูปที่ 5.16 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1 เมื่อสายอากาศแต่ละคู่มีการป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองชุด (ของแต่ละคู่) มีเฟสต่างกัน 180 องศา

5.4.3.2. กรณีที่ 2

สายอากาศทั้ง 2 คู่จะเป็น โครงสร้างของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ออกแบบให้มีการเติมเต็มค่าแอมป์เซ็นต์เชิงปริมาตรในส่วนที่คู่แรก ไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้ ซึ่งลักษณะโครงสร้างของสายอากาศคู่ที่ 2 แสดงดังรูปที่ 5.10 ป้อนกระแสที่มีเฟสตรงกันแสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศคู่ที่ 2 ซึ่งมีค่า  $P_{v,H_2}$

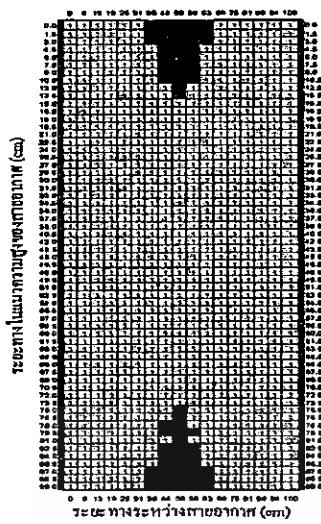
เท่ากับ 72.23%  $P_{v,H}$ , เท่ากับ 96.62% และ  $P_{v,H}$ , เท่ากับ 57.38% เมื่อรวมสายอากาศทั้ง 2 คู่ เพื่อใช้เทคนิคการสวิตช์สลับการทำงานเลือกติดต่อสื่อสารข้อมูลจากสายอากาศทั้ง 2 คู่ โดยมีการจัดวางสายอากาศทั้งสองคู่เหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 5.17 (ก)

ซึ่งผลการจำลองแสดงในรูปที่ 5.18 โดยสายอากาศคู่ที่ 1 จะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสต่างกัน 180 องศาและสายอากาศคู่ที่ 2 จะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสตรงกัน ในส่วนของการสวิตช์นั้นจะออกแบบให้คาบเวลาในการสวิตช์สายอากาศแต่ละคู่ให้น้อยที่สุด เพื่อให้แท็กสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด ซึ่งเป็นที่ต้องการในการประยุกต์ใช้งานลักษณะเฉพาะ (นั่นก็คือแท็กเคลื่อนที่ด้วยความเร็วจำกัด) ซึ่งคาบเวลานี้ถูกจำกัดโดยคุณสมบัติของตัวรีเลย์ในวงจรสวิตช์ที่จะสามารถทำงานได้และเครื่องอ่านข้อมูลที่สามารถอ่านข้อมูลของแท็กได้ซึ่งในที่นี้ให้เวลา 300 ms สำหรับสายอากาศแต่ละคู่ทำงาน

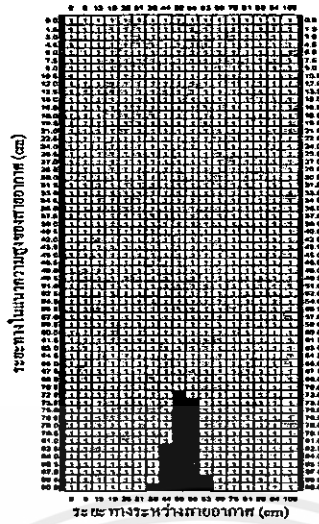


(ข)

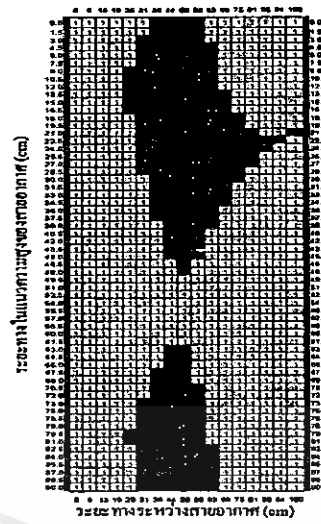
รูปที่ 5.17 โครงสร้างของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 2 (ก) จัดวางสายอากาศทั้งสองคู่เหมือนกัน (ข) สายอากาศทั้งสองมีการจัดวางสายอากาศทั้งสองคู่กลับหัวกัน



(ก)  $P_{L,H_2}$

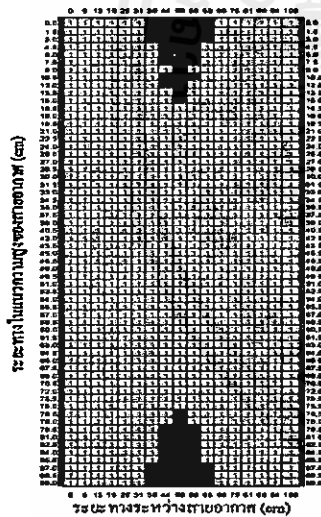


(ข)  $P_{L,H_2}$

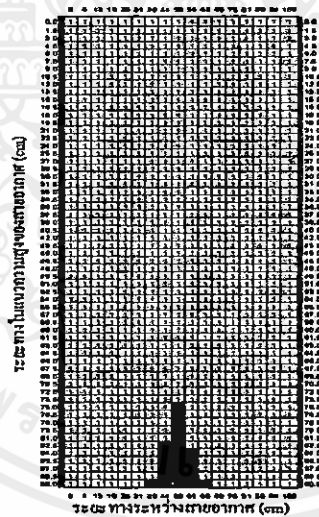


(ค)  $P_{L,H_2}$

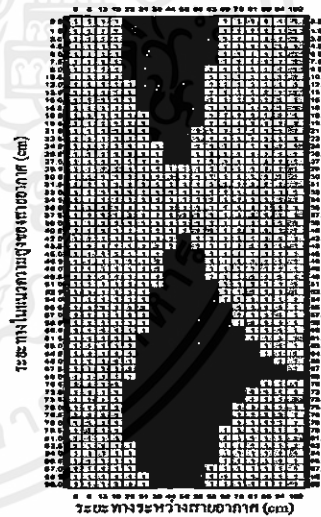
รูปที่ 5.18 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 2 โดยสายอากาศคู่ที่ 1 จะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสต่างกัน 180 องศาและสายอากาศคู่ที่ 2 จะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสตรงกัน



(ก)  $P_{L,H_2}$



(ข)  $P_{L,H_2}$



(ค)  $P_{L,H_2}$

รูปที่ 5.19 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 2 โดยสายอากาศคู่ที่ 1 จะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสต่างกัน 180 องศาและสายอากาศคู่ที่ 2 จะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสตรงกันและกลับหัวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ

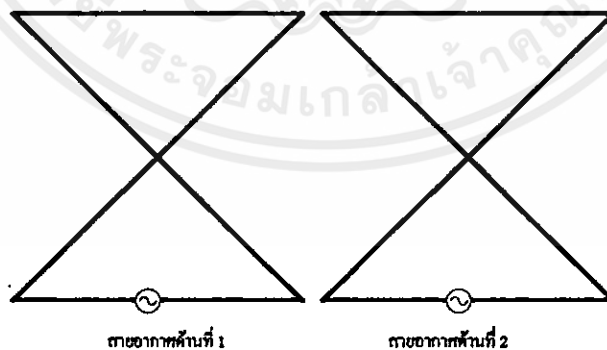
รูปที่ 5.18 แสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็ก (ที่เคลื่อนที่ไม่เร็วเกินความเร็วจำกัดตั้งที่กล่าวมาแล้วข้างต้น) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 2 ซึ่งได้มาจากการพิจารณารูปที่ 5.11 และ 5.12 ร่วมกัน พบว่าจุดสี่เหลี่ยมหรือ

เส้นที่ไม่สามารถติดต่อดีสารได้นั้นมีจำนวนจุดน้อยลงมาก เมื่อเทียบกับรูปที่ 5.11 ของสายอากาศแบบวงรูปแบบที่ 1 นั่นคือค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศแบบวงรูปแบบที่ 2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นดังนี้คือ  $P_{v,H_s}$  เท่ากับ 93.83%  $P_{v,H_s}$  เท่ากับ 96.72% และ  $P_{v,H_s}$  เท่ากับ 72.03%

ซึ่งจะสังเกตได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในแต่ละแนวแกนมีค่ามากกว่า และสายอากาศทั้งสองมีการจัดวางสายอากาศทั้งสองคู่กลับหัวกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.17 (ข) ซึ่งผลการจำลองแสดงในรูปที่ 5.19 โดยสายอากาศคู่ที่ 1 จะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสต่างกัน 180 องศาและสายอากาศคู่ที่ 2 จะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสตรงกันค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศแบบวงรูปแบบที่ 2 กรณีที่ 2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นดังนี้คือ  $P_{v,H_s}$  เท่ากับ 93.83%  $P_{v,H_s}$  เท่ากับ 97.69% และ  $P_{v,H_s}$  เท่ากับ 70.78% ซึ่งจะสังเกตได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในแต่ละแนวแกนมีค่ามากกว่าสายอากาศรูปแบบที่ 1

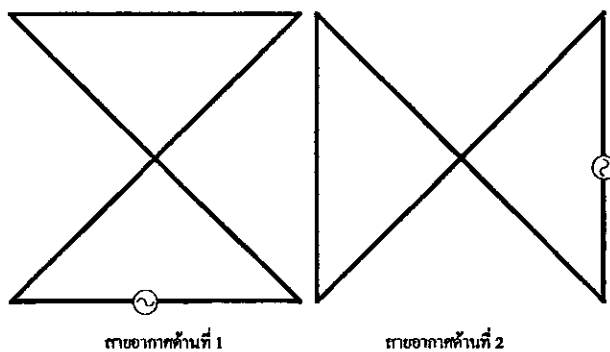
#### 5.4.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศแบบวงรูปเลขแปด

สายอากาศแบบวงรูปเลขแปดนี้เป็น โครงสร้างที่นำมาจากสิทธิบัตรระหว่างประเทศ [12] จะนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติกับสายอากาศแบบที่ 1 โดยจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบจากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในสามแนวแกนหลักและความสามารถในการติดต่อดีสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่คั่นฉากกับสายอากาศ และจะทำการแบ่งสายอากาศแบบวงรูปเลขแปดนี้ออกเป็น 2 แบบดังแสดงในรูปที่ 5.20 [12] สายอากาศแบบวงรูปเลขแปดที่ได้นำเสนอนี้เป็นสายอากาศที่มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งคำนวณด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม โดยมีขอบเขตของขนาดสายอากาศเท่ากันคือ มีความกว้างรวมเท่ากับ 60 cm และความยาวรวมเท่ากับ 90 cm



(ก) แบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

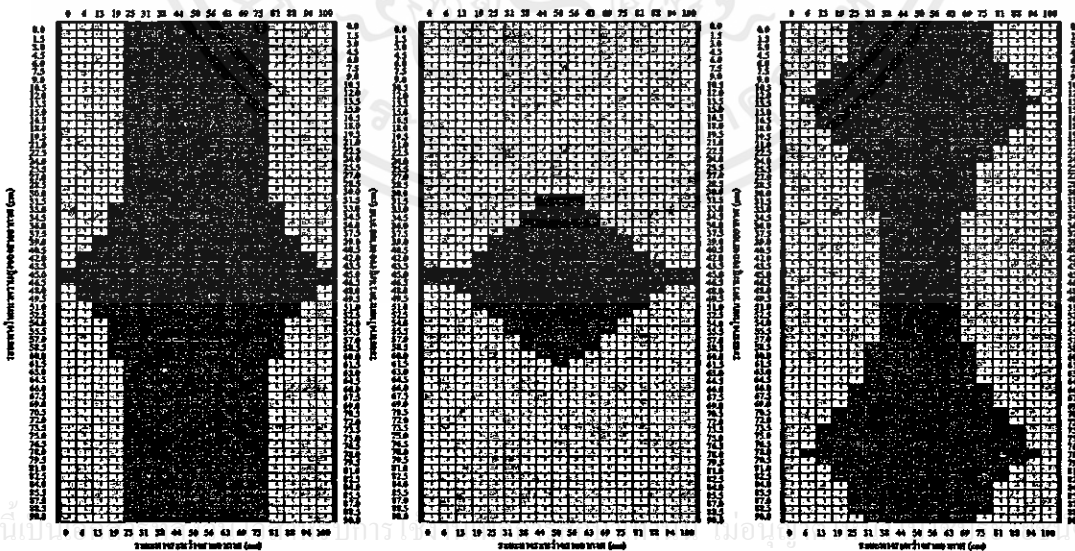


(ข) แบบที่ 2

รูปที่ 5.20 สายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปด

ตารางที่ 5.9 ตารางเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่ระยะทางในการพิจารณาเท่ากับ 100 cm ในกรณีที่ติดข้อสื่อสารได้ของสายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปด แบบประตูเดินผ่านสายอากาศสองชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา และแบบประตูเดินผ่านสายอากาศ

สายอากาศแบบบ่วง รูปเลขแปด	ป้อนสัญญาณแบบ เฟสตรงกัน			ป้อนสัญญาณแบบ ต่างกันเฟส 180 องศา		
	$P_{v,H_x}$	$P_{v,H_y}$	$P_{v,H_z}$	$P_{v,H_x}$	$P_{v,H_y}$	$P_{v,H_z}$
แบบที่ 1	40%	84%	49%	45%	61%	65%
แบบที่ 2	54%	68%	44%	54%	68%	44%

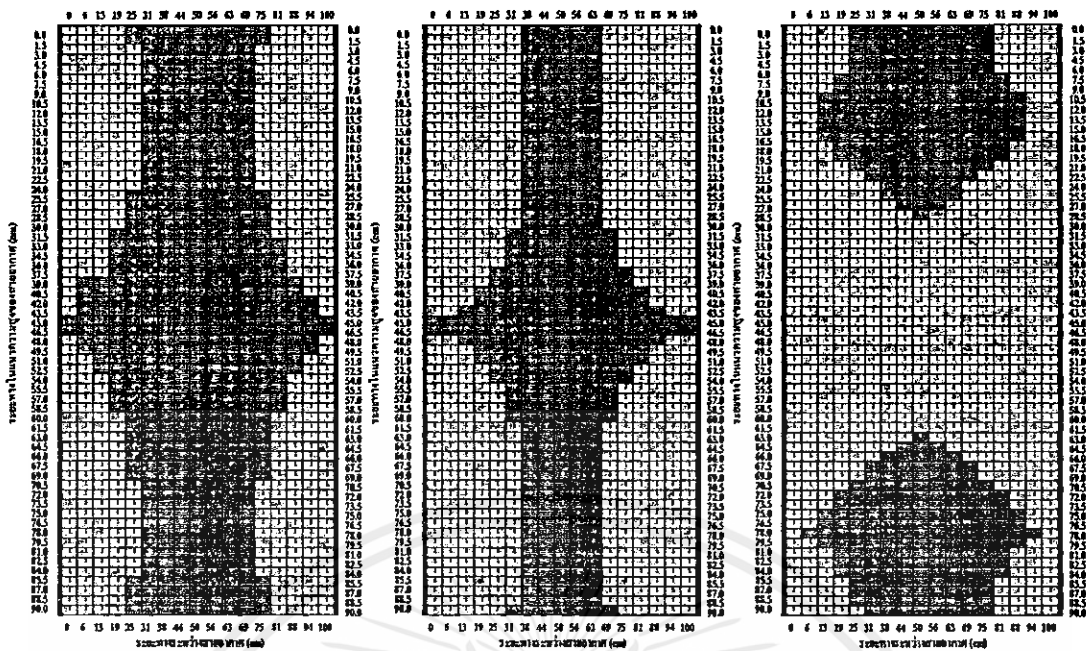


(ก)  $P_{L,H_x}$

(ข)  $P_{L,H_y}$

(ค)  $P_{L,H_z}$

รูปที่ 5.21 ความสามารถในการติดข้อสื่อสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปดแบบที่ 1 โดยจะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสตรงกัน

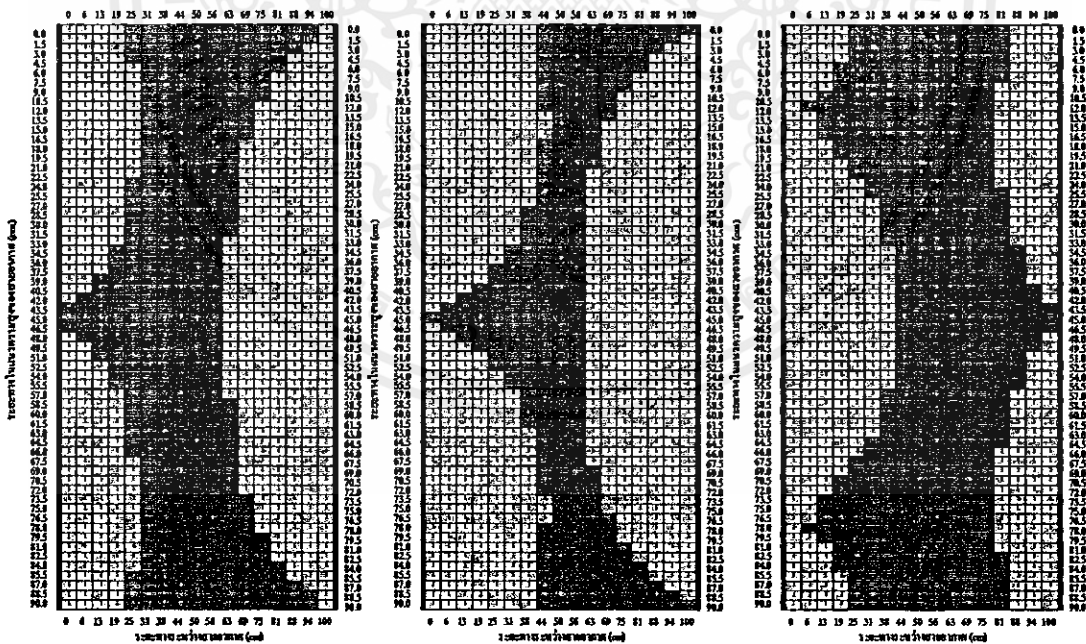


(ก)  $P_{I,H_s}$

(ข)  $P_{I,H}$

(ค)  $P_{I,H_s}$

รูปที่ 5.22 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบวงรูปเลขแปดแบบที่ 1 โดยจะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสต่างกัน 180 องศา

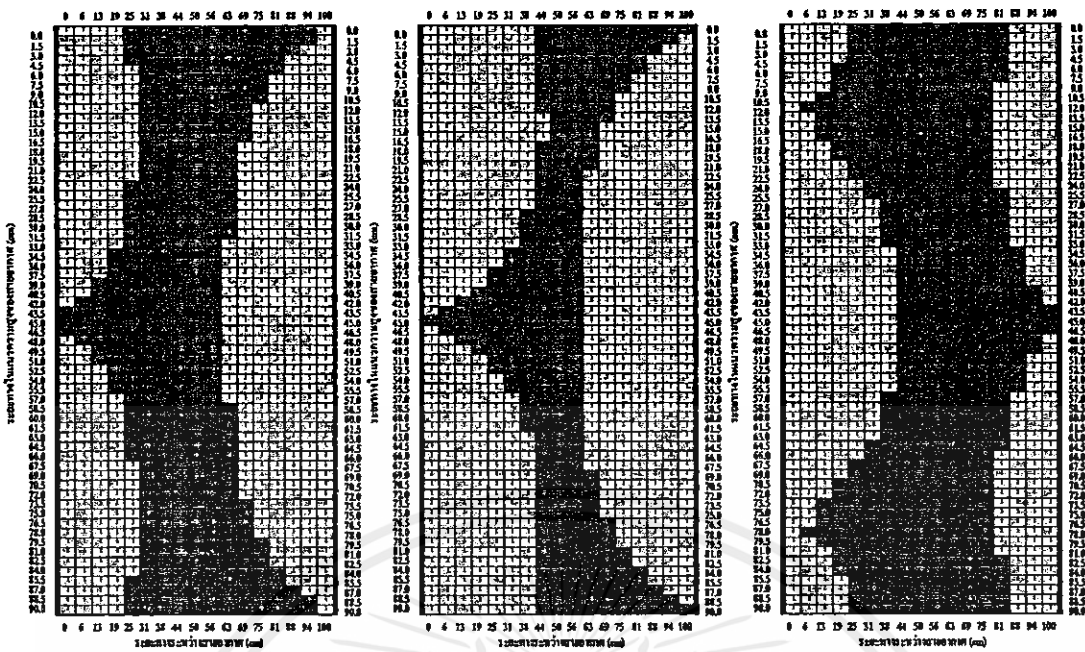


(ก)  $P_{I,H_s}$

(ข)  $P_{I,H}$

(ค)  $P_{I,H_s}$

รูปที่ 5.23 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบวงรูปเลขแปดแบบที่ 2 โดยจะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสตรงกัน



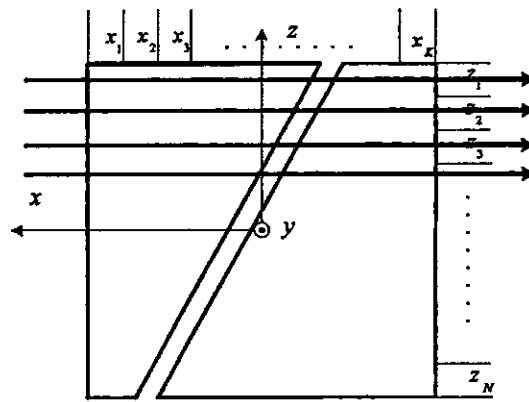
รูปที่ 5.24 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปดแบบที่ 2 โดยจะป้อนกระแสให้สายอากาศมีเฟสต่างกัน 180 องศา

จากค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในสามแนวแกนหลักมีค่าน้อยกว่าสายอากาศแบบบ่วงรูปแบบที่ 1 จึงสามารถสรุปได้ว่าสายอากาศแบบที่ 1 มีประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารกับแท็กได้ดีกว่าสายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปด

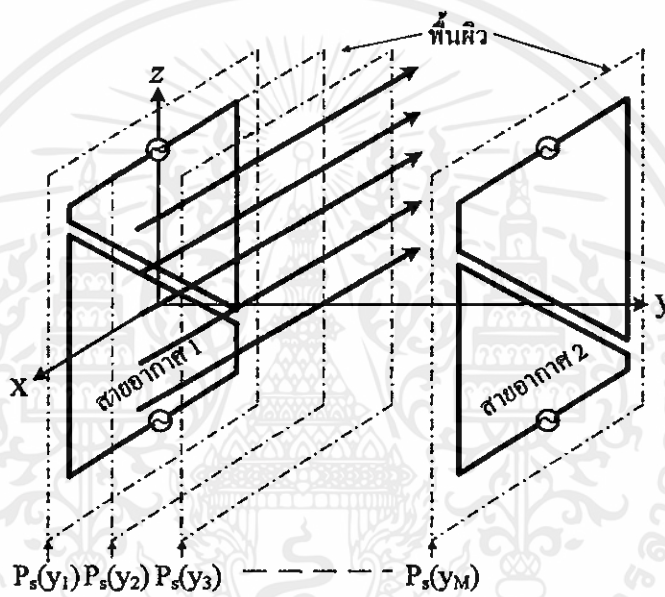
### 5.5 การวิเคราะห์ความสามารถของจำนวนครั้งการอ่านข้อมูล

จากการวิเคราะห์สายอากาศแบบบ่วงในรูปแบบต่าง ๆ นั้นได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในแนวแกน  $xy$  และ  $z$  และความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศที่แสดงเฉพาะค่า 0 หรือ 1 เท่านั้น แต่ในการที่จะนำสายอากาศไปใช้งานจริงนั้นการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นนั้นควรจะทำการศึกษาทดสอบทุกจุดในแนวเส้นตรงเพื่อดูความแรงของสนามแม่เหล็กแต่ละจุดว่าสามารถที่จะทำให้เกิดการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กได้กี่จุดในแนวเส้นตรง โดยที่จำนวนจุดที่มากที่สุดตลอดแนวเส้นตรงที่พิจารณาเท่ากับ 51 จุดตามแนวแกน  $x$  ดังแสดงในรูปที่ 5.25 ทำการวิเคราะห์โดยใช้สายอากาศรูปแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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



(ข) ทิศทางการเคลื่อนที่ของแท็กตามแนวแกน  $x$  ในรูปแบบสามมิติ  
รูปที่ 5.25 ทิศทางการเคลื่อนที่ของแท็กตามแนวแกน  $x$

จากการวิเคราะห์ความสามารถการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรง ในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศแสดงเป็นจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลตามการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นเมื่อแท็กวางตัวในแนวแกน  $xy$  และ  $z$  แสดงในรูปที่ 5.26-5.28 จากรูปจะแสดงจำนวนครั้งของความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กของแต่ละแนวเส้นตรง ซึ่งมีจำนวนครั้งการพิจารณาเท่ากับ 51 ครั้งในหนึ่งแนวเส้นตรง พบว่าในแนวเส้นตรงที่ทำการศึกษาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นนั้นมีจำนวนครั้งที่สามารถอ่านข้อมูลจากแท็กหลายครั้งแสดงในเห็นว่ามีความเป็นไปได้สูงในการที่จะสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้เมื่อแท็กเคลื่อนที่ผ่านแนวเส้นตรงนั้น

	0	6	13	19	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94	100		
0.0	36	37	35	29	20	12	5	0	0	0	0	0	7	17	24	27	30	29	0.0
1.5	39	38	36	31	22	15	8	3	0	0	0	0	9	19	26	29	30	30	1.5
3.0	40	38	37	32	24	16	9	4	0	0	0	0	10	21	27	31	32	31	3.0
4.5	41	40	38	33	25	18	6	3	0	0	0	0	4	13	23	28	31	33	4.5
6.0	42	40	38	34	26	19	10	6	0	0	0	0	8	16	24	29	32	33	6.0
7.5	42	40	38	34	27	21	13	9	0	0	0	0	10	18	25	30	33	34	7.5
9.0	43	41	39	35	29	21	16	12	0	0	0	0	11	18	27	31	34	35	9.0
10.5	44	41	39	36	31	22	16	15	0	0	0	0	12	20	27	31	34	35	10.5
12.0	43	41	39	37	30	23	17	7	0	0	0	0	5	13	22	28	32	35	12.0
13.5	44	41	40	37	31	23	18	9	0	0	0	0	10	14	22	29	33	36	13.5
15.0	45	42	39	38	31	24	19	12	3	0	0	0	12	15	23	30	34	36	15.0
16.5	45	42	40	37	32	24	20	14	8	14	16	25	30	33	37	38	36	16.5	
18.0	44	43	40	37	32	25	20	14	10	15	16	25	31	35	37	38	36	18.0	
19.5	45	42	40	37	33	25	21	15	11	16	18	26	31	35	37	38	36	19.5	
21.0	45	43	40	37	32	26	22	16	13	17	19	26	31	35	38	39	37	21.0	
22.5	46	43	40	36	32	26	22	17	14	17	19	27	32	36	38	39	37	22.5	
24.0	45	43	39	37	33	26	23	17	15	18	20	27	32	36	39	40	38	24.0	
25.5	46	44	39	37	32	26	23	18	15	19	20	28	33	37	39	39	38	25.5	
27.0	46	44	39	37	32	27	23	18	16	19	21	28	33	37	39	40	39	27.0	
28.5	45	43	39	36	32	27	23	19	17	20	21	29	34	38	39	40	39	28.5	
30.0	45	44	38	36	32	26	23	19	16	20	22	29	34	37	41	41	40	30.0	
31.5	47	44	39	36	31	27	24	19	17	20	22	29	34	38	40	41	40	31.5	
33.0	46	44	39	35	31	27	23	19	17	20	22	29	34	38	41	42	41	33.0	
34.5	45	44	40	35	30	27	24	20	18	20	22	29	35	38	41	42	41	34.5	
36.0	46	43	39	35	30	27	24	20	17	20	23	30	35	39	41	42	42	36.0	
37.5	47	44	40	34	30	27	23	19	18	20	23	30	36	39	41	42	42	37.5	
39.0	46	45	40	34	30	27	24	20	17	20	24	30	35	39	42	43	42	39.0	
40.5	47	43	40	34	29	27	23	19	17	20	24	30	36	40	43	43	43	40.5	
42.0	46	44	41	33	29	27	24	20	18	20	25	31	36	40	43	44	43	42.0	
43.5	45	45	40	33	29	27	24	20	17	20	25	30	37	40	42	43	44	43.5	
45.0	47	45	40	33	29	27	23	19	18	20	25	31	36	40	43	44	43	45.0	
46.5	47	43	41	32	29	26	24	20	17	19	24	30	37	41	43	44	42	46.5	
48.0	46	45	40	32	29	27	23	19	17	20	25	31	37	41	43	44	43	48.0	
49.5	46	45	40	32	29	27	23	19	17	19	24	31	37	40	43	43	43	49.5	
51.0	47	44	41	32	29	27	24	19	17	19	23	30	37	41	44	43	45	51.0	
52.5	46	44	40	32	29	27	23	19	16	19	24	30	37	41	43	43	43	52.5	
54.0	47	45	40	32	29	26	23	18	16	18	23	29	36	40	43	43	45	54.0	
55.5	46	44	41	33	28	26	22	18	16	19	24	27	36	40	42	42	44	55.5	
57.0	45	44	40	33	29	27	23	17	16	18	23	27	35	40	41	42	46	57.0	
58.5	47	44	39	33	29	26	22	18	15	17	22	27	34	38	41	43	45	58.5	
60.0	47	44	39	33	28	26	22	17	14	17	23	26	35	39	40	43	45	60.0	
61.5	45	44	39	34	29	26	21	17	14	17	22	26	33	38	41	43	46	61.5	
63.0	45	44	39	34	28	26	21	16	13	17	21	26	32	37	40	42	45	63.0	
64.5	46	43	39	34	28	25	21	15	12	16	21	25	32	37	39	44	46	64.5	
66.0	45	44	38	35	28	25	21	15	11	15	21	25	31	36	39	42	45	66.0	
67.5	45	44	39	35	28	24	20	14	11	15	21	25	30	36	39	44	46	67.5	
69.0	46	43	38	34	28	25	20	13	10	14	20	25	30	35	38	43	47	69.0	
70.5	45	43	39	34	27	24	19	13	8	13	19	24	29	34	38	44	46	70.5	
72.0	45	43	39	35	27	24	18	11	5	12	19	24	27	33	38	44	46	72.0	
73.5	44	42	38	35	27	23	18	10	1	10	18	23	26	35	38	43	46	73.5	
75.0	44	41	39	34	27	23	17	7	0	9	17	23	27	33	37	44	46	75.0	
76.5	44	42	39	33	27	22	15	3	0	7	17	23	27	32	38	44	47	76.5	
78.0	43	41	38	33	26	22	14	0	0	2	16	22	26	31	38	43	45	78.0	
79.5	42	40	38	33	26	21	13	0	0	0	14	22	25	31	37	44	45	79.5	
81.0	43	39	37	33	25	19	12	4	0	1	13	20	25	30	37	42	46	81.0	
82.5	42	39	37	32	24	19	8	0	0	0	12	19	24	28	35	42	45	82.5	
84.0	41	40	38	31	23	18	3	0	0	0	8	18	24	27	35	42	45	84.0	
85.5	41	39	36	30	22	16	1	0	0	0	4	18	23	26	34	41	44	85.5	
87.0	40	39	36	27	21	13	0	0	0	0	0	16	23	26	32	41	43	87.0	
88.5	39	37	33	25	20	11	0	0	0	0	0	14	21	25	30	40	43	88.5	
90.0	38	37	32	24	19	7	0	0	0	0	0	11	20	24	28	36	42	90.0	

ระยะทางในแนวความสูงของสายอากาศ (cm)

ระยะทางระหว่างสายอากาศ (cm)

รูปที่ 5.26 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบ  
 ที่ตั้งฉากกับสายอากาศแสดงเป็นจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลเมื่อแท่งวางตัวในแนวแกน  $x$   
 ของสายอากาศแบบที่ 1

	0	6	13	19	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94	100		
0.0	49	46	41	30	18	0	0	0	0	0	0	0	31	41	46	49	50	50	0.0
1.5	49	47	42	32	21	0	0	0	0	0	0	15	35	44	49	50	51	51	1.5
3.0	49	48	43	33	23	0	0	0	0	0	0	23	39	46	50	51	51	51	3.0
4.5	50	48	44	37	26	0	0	0	0	0	0	29	42	48	51	51	51	51	4.5
6.0	50	48	45	40	28	2	0	0	0	0	0	32	44	49	51	51	51	51	6.0
7.5	50	48	45	41	28	10	0	0	0	0	5	36	46	50	51	51	51	51	7.5
9.0	50	49	46	41	29	13	0	0	0	0	14	38	47	51	51	51	51	51	9.0
10.5	50	48	46	42	34	15	0	0	0	0	20	41	48	51	51	51	51	51	10.5
12.0	50	49	46	42	35	16	0	0	0	0	23	42	49	51	51	51	51	51	12.0
13.5	50	48	47	43	36	16	0	0	0	0	26	44	49	51	51	51	51	51	13.5
15.0	50	48	46	43	38	20	0	0	0	0	29	44	50	51	51	51	51	51	15.0
16.5	50	49	47	42	37	24	0	0	0	5	31	45	50	51	51	51	51	51	16.5
18.0	50	49	46	43	38	26	0	0	11	33	46	51	51	51	51	51	51	51	18.0
19.5	50	49	47	44	39	27	4	0	14	34	46	51	51	51	51	51	51	51	19.5
21.0	50	48	47	45	39	27	8	4	17	35	47	51	51	51	51	51	51	51	21.0
22.5	50	49	47	44	40	29	10	9	19	37	47	51	51	51	51	51	51	51	22.5
24.0	50	49	47	44	40	30	11	12	21	38	47	51	51	51	51	51	51	51	24.0
25.5	50	49	48	44	40	30	12	14	22	38	48	51	51	51	51	51	51	51	25.5
27.0	50	49	47	44	40	30	13	15	23	39	48	51	51	51	51	51	51	51	27.0
28.5	50	49	47	45	41	31	14	16	25	39	48	51	51	51	51	51	51	51	28.5
30.0	50	49	47	44	41	30	15	17	26	40	49	51	51	51	51	51	51	51	30.0
31.5	50	49	47	45	40	29	16	18	26	39	49	51	51	51	51	51	51	51	31.5
33.0	50	49	48	45	41	29	17	19	27	40	48	51	51	51	51	51	51	51	33.0
34.5	50	49	47	44	41	30	18	20	28	40	48	50	51	51	50	50	49	34.5	
36.0	50	49	48	45	40	29	19	21	28	39	47	49	50	49	49	48	49	36.0	
37.5	50	49	47	45	41	27	19	21	28	40	46	48	48	48	48	47	49	37.5	
39.0	50	49	47	44	41	26	20	22	29	39	47	47	47	47	46	46	49	39.0	
40.5	50	49	48	45	40	23	21	23	29	38	46	46	46	46	45	46	50	40.5	
42.0	50	49	47	45	41	21	22	23	29	38	45	45	45	45	44	47	50	42.0	
43.5	50	49	48	45	41	22	22	24	29	38	44	44	44	43	43	47	50	43.5	
45.0	50	49	47	45	40	23	23	25	29	37	43	43	43	42	42	48	49	45.0	
46.5	50	49	47	44	41	23	24	25	29	36	41	42	41	41	44	48	50	46.5	
48.0	50	49	47	45	41	24	24	26	28	35	40	41	40	40	45	48	50	48.0	
49.5	50	49	47	45	40	25	25	26	28	34	39	39	39	39	46	49	50	49.5	
51.0	50	49	48	44	40	25	25	27	28	33	38	38	38	38	46	49	50	51.0	
52.5	50	49	47	45	40	26	26	27	27	32	37	37	37	37	46	49	49	52.5	
54.0	50	49	47	44	40	27	26	28	27	31	36	36	36	41	46	49	50	54.0	
55.5	50	49	47	45	40	27	27	28	26	30	35	35	35	42	47	48	50	55.5	
57.0	50	49	47	45	39	28	28	28	25	28	33	34	34	42	47	48	50	57.0	
58.5	50	49	48	44	39	28	28	28	24	27	32	33	33	43	46	49	50	58.5	
60.0	50	49	47	45	37	29	28	28	23	26	31	32	32	43	46	49	50	60.0	
61.5	50	49	47	44	35	29	29	27	22	25	30	31	31	43	46	49	50	61.5	
63.0	50	49	47	44	31	30	29	27	20	22	29	30	30	43	47	48	50	63.0	
64.5	50	49	47	43	31	30	30	27	18	21	27	29	34	44	47	48	50	64.5	
66.0	50	49	47	44	31	31	30	27	17	19	26	28	36	44	47	49	50	66.0	
67.5	50	49	47	44	32	31	30	26	14	17	25	27	38	44	47	49	50	67.5	
69.0	50	49	47	43	32	32	31	25	11	14	23	26	38	44	47	49	50	69.0	
70.5	50	49	47	43	33	32	31	23	5	11	21	25	38	43	47	48	50	70.5	
72.0	50	49	47	43	33	32	31	22	0	6	19	24	38	44	47	49	50	72.0	
73.5	50	49	47	42	34	32	31	21	0	0	18	23	38	44	46	49	50	73.5	
75.0	51	48	47	42	34	33	31	19	0	0	16	23	38	44	47	49	50	75.0	
76.5	50	48	46	40	34	33	30	18	0	0	13	22	38	44	47	49	50	76.5	
78.0	50	49	46	37	34	33	29	15	0	0	9	20	38	44	46	49	50	78.0	
79.5	50	48	46	36	33	33	29	11	0	0	2	17	37	43	47	49	49	79.5	
81.0	50	49	45	36	33	33	27	7	0	0	0	16	36	43	46	49	50	81.0	
82.5	50	48	45	36	33	33	25	0	0	0	0	13	35	43	47	49	50	82.5	
84.0	50	48	45	36	33	33	23	0	0	0	0	10	35	42	46	48	49	84.0	
85.5	50	48	44	36	33	31	20	0	0	0	0	2	31	41	45	48	50	85.5	
87.0	49	47	42	36	34	30	17	0	0	0	0	0	27	40	45	48	49	87.0	
88.5	50	47	38	36	34	28	12	0	0	0	0	0	22	39	44	48	50	88.5	
90.0	50	46	38	36	33	25	0	0	0	0	0	0	11	36	43	47	49	90.0	

ระยะทางในแนวราบสูงของสายอากาศ (cm)

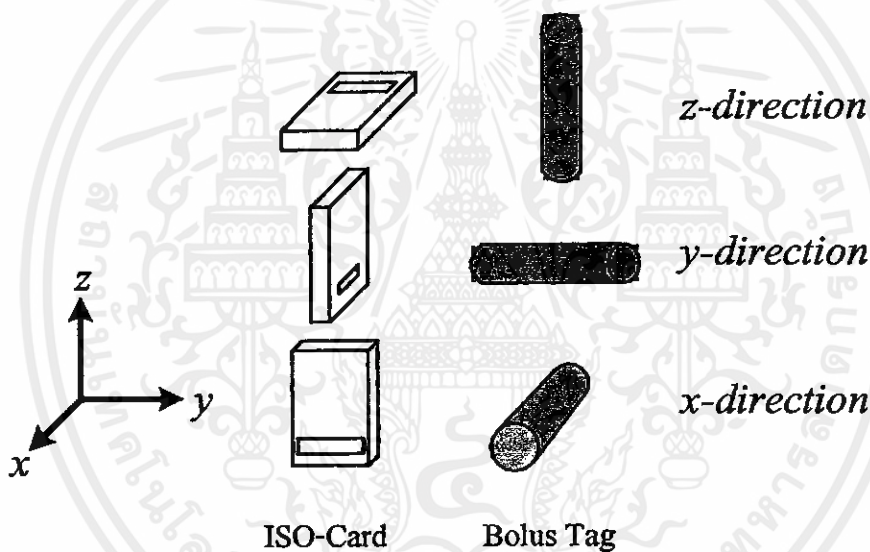
ระยะทางระหว่างสายอากาศ (cm)

รูปที่ 5.27 ความสามารถในการติดต่อกับดาวเทียมที่แกว่งในแนวดิ่งในระนาบ  
 ที่ตั้งฉากกับสายอากาศแสดงเป็นจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลเมื่อเท็กวางตัวในแนวแกน y  
 ของสายอากาศแบบที่ 1



## 5.6 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารในทิศทางอื่นนอกจากทิศทางตามแนวแกน $x y$ และ $z$

เมื่อนำสายอากาศไปใช้งานจริงตัวแท็กอาจไม่ได้วางตัวอยู่ในแนวแกน  $x y$  หรือ  $z$  เสมอไป จึงได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมว่าสายอากาศรูปแบบที่ 1 นั้นสามารถนำไปใช้งานจริงภายใต้สถานะเช่นนี้ได้หรือไม่ โดยทำการวิเคราะห์ความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกนอื่น ๆ นอกเหนือจากกรณีที่แท็กวางตัวในแนวแกน  $x y$  และ  $z$  จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มอีก 8 ลักษณะการวางตัวในระบบพิกัดฉากด้วยเวกเตอร์หนึ่งหน่วยดังแสดงในตารางที่ 5.10 แสดงทิศทางของเวกเตอร์หนึ่งหน่วยทั้งแปดทิศทาง ซึ่งใช้หลักการพิจารณาลักษณะการวางตัวของแท็กที่ใช้ในการทดสอบคือ แท็กชนิด ISO-Card และ แท็กชนิด Bolus ดังแสดงในรูปที่ 5.29 เพื่อเป็นตัวอย่างในการพิจารณาลักษณะการวางตัวของแท็กในทิศทางต่าง ๆ นอกเหนือจากทิศทาง  $x y$  และ  $z$



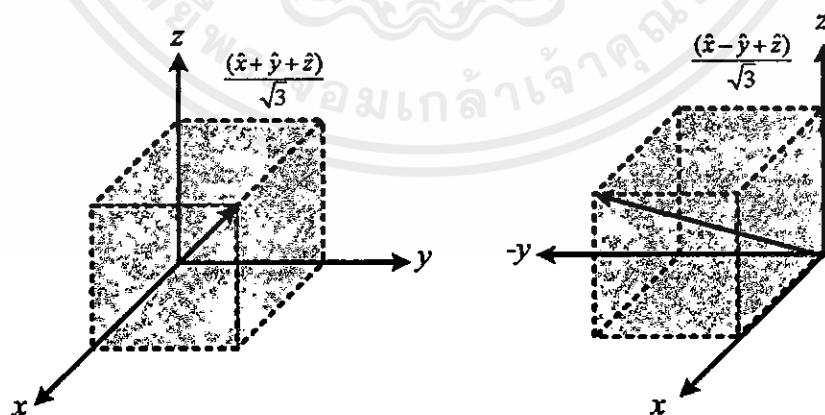
รูปที่ 5.29 ลักษณะการวางตัวของแท็กชนิด ISO-Card และ Bolus ในทิศทาง  $x y$  และ  $z$

รูปที่ 5.29 แสดงการพิจารณาลักษณะการวางตัวของแท็กชนิด ISO-Card และ Bolus ในทิศทาง  $x y$  และ  $z$  จากรูปจะพิจารณาจากพื้นที่หน้าตัดของขดลวดสายอากาศของแท็กให้ตั้งฉากกับทิศทางที่กำลังพิจารณาจึงถือได้ว่าแท็กวางตัวอยู่ในทิศทางนั้น เมื่อทำการพิจารณาลักษณะการวางตัวของแท็กในทิศทางอื่นนอกจากทิศทาง  $x y$  และ  $z$  ก็จะพิจารณาในลักษณะเดียวกันคือพิจารณาให้พื้นที่หน้าตัดของสายอากาศตั้งฉากกับทิศทางที่พิจารณา ซึ่งในที่นี้พื้นที่หน้าตัดของขดลวดสายอากาศของแท็ก ISO-Card จะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและพื้นที่หน้าตัดของขดลวดสายอากาศของแท็กชนิด Bolus จะเป็นรูปวงกลม

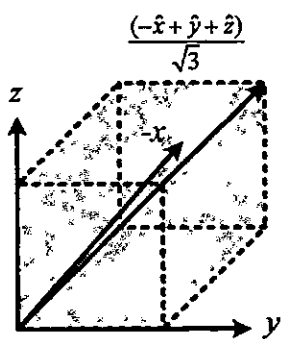
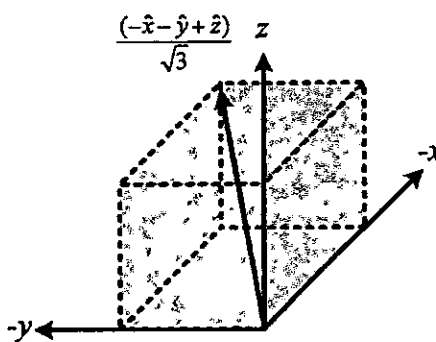
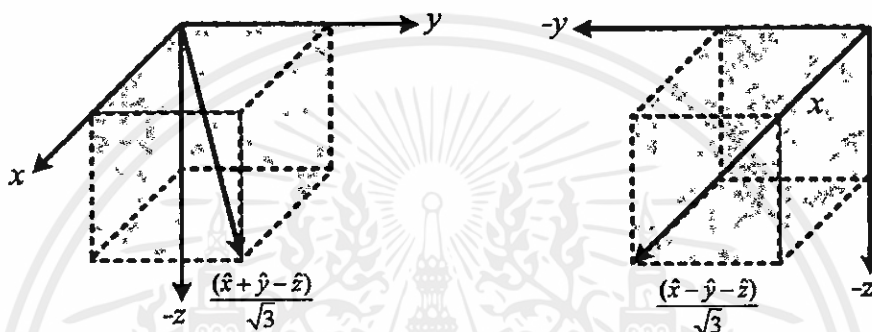
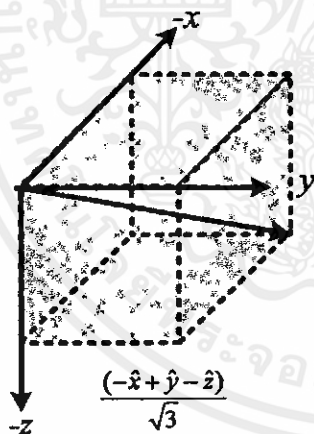
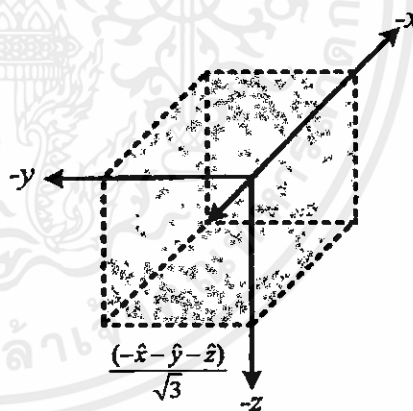
ตารางที่ 5.10 ทิศทางของเวกเตอร์หนึ่งหน่วยแปดทิศทางที่ใช้ในการพิจารณาลักษณะการวางตัวของแท่งในทิศทางอื่นนอกเหนือจากทิศทาง  $xy$  และ  $z$

เวกเตอร์หนึ่งหน่วย	ทิศทาง
$\hat{u}_1$	$\frac{(\hat{x} + \hat{y} + \hat{z})}{\sqrt{3}}$
$\hat{u}_2$	$\frac{(\hat{x} - \hat{y} + \hat{z})}{\sqrt{3}}$
$\hat{u}_3$	$\frac{(-\hat{x} + \hat{y} + \hat{z})}{\sqrt{3}}$
$\hat{u}_4$	$\frac{(-\hat{x} - \hat{y} + \hat{z})}{\sqrt{3}}$
$\hat{u}_5$	$\frac{(\hat{x} + \hat{y} - \hat{z})}{\sqrt{3}}$
$\hat{u}_6$	$\frac{(\hat{x} - \hat{y} - \hat{z})}{\sqrt{3}}$
$\hat{u}_7$	$\frac{(-\hat{x} + \hat{y} - \hat{z})}{\sqrt{3}}$
$\hat{u}_8$	$\frac{(-\hat{x} - \hat{y} - \hat{z})}{\sqrt{3}}$

รูปที่ 5.30 แสดงทิศทางของเวกเตอร์หนึ่งหน่วยทั้งแปดทิศทาง ในที่นี้ได้้นำสายอากาศแบบที่ 1 ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรสูงทั้งสามแนวแกนจากหัวข้อ 5.4.2 และเหมาะที่จะนำไปใช้งานมาทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการข้างต้น

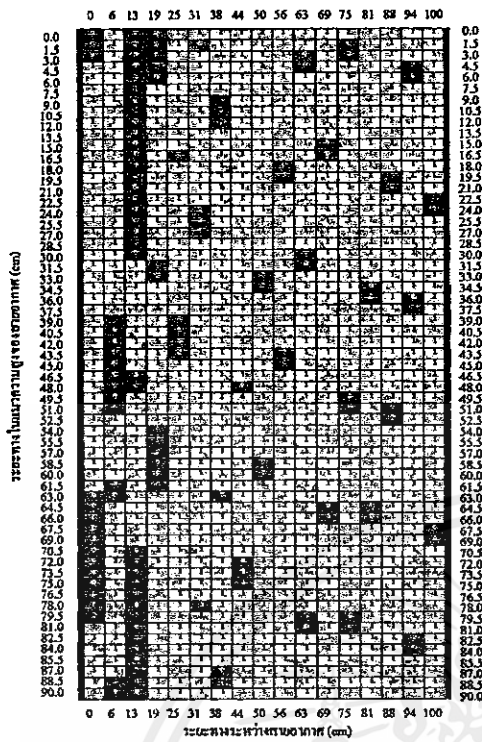


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน (ก) ทิศทาง  $\hat{u}_1$  ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ขอ (ข) ทิศทาง  $\hat{u}_2$  ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

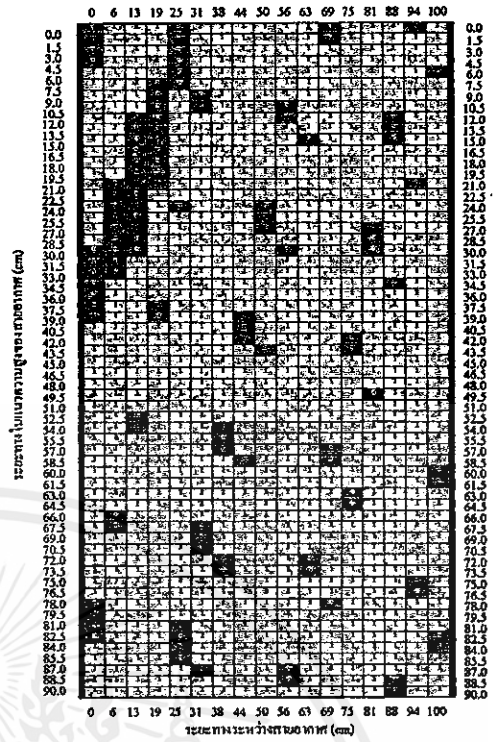
(ค) ทิศทาง  $\hat{n}_3$ (ง) ทิศทาง  $\hat{n}_4$ (จ) ทิศทาง  $\hat{n}_5$ (ฉ) ทิศทาง  $\hat{n}_6$ (ช) ทิศทาง  $\hat{n}_7$ (ซ) ทิศทาง  $\hat{n}_8$ 

รูปที่ 5.30 ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ทำการศึกษา 8 ลักษณะการวางตัวในระบบพิกัดฉากแสดงด้วยเวกเตอร์หนึ่งหน่วย

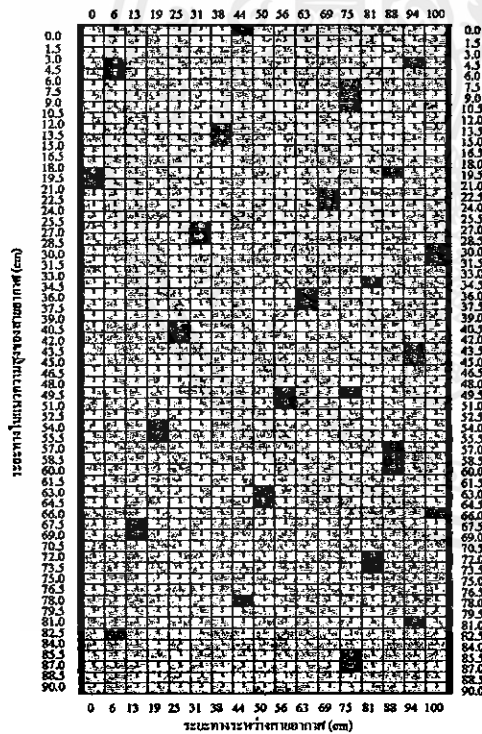
การพิจารณาในรูปที่ 5.31 คือถ้าเส้นทางนั้นมีค่าเป็น 1 (สีจาง) แสดงว่าในเส้นทางนั้นสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้หรือมีค่า  $P_i$  เท่ากับ 100% และถ้าเส้นนั้นมีค่าเป็น 0 (สีเข้ม) แสดงว่าการติดต่อสื่อสารในเส้นนั้นไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้หรือมีค่า  $P_i$  เท่ากับ 0% จากรูปเห็นได้ว่าการติดต่อสื่อสารได้กระจายอย่างทั่วถึงภายในบริเวณที่พิจารณา



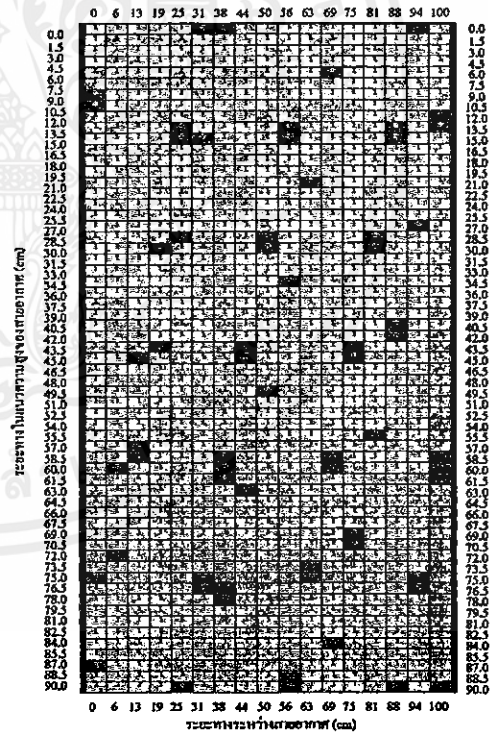
(ก) ทิศทาง  $n_1$



(ข) ทิศทาง  $n_2$

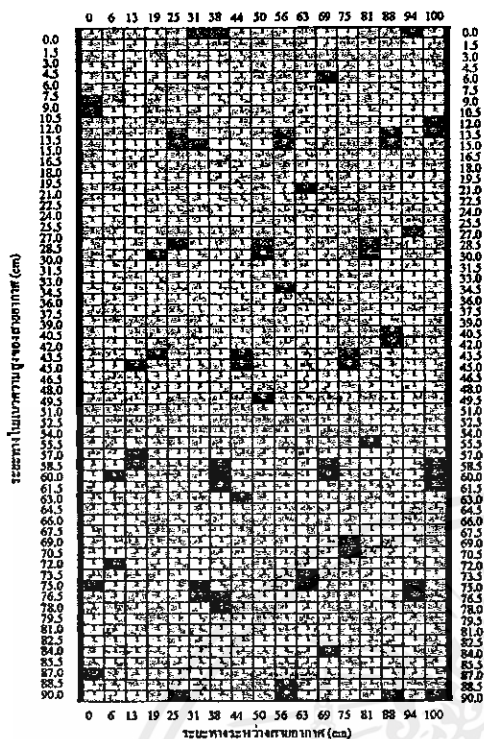


(ค) ทิศทาง  $n_3$

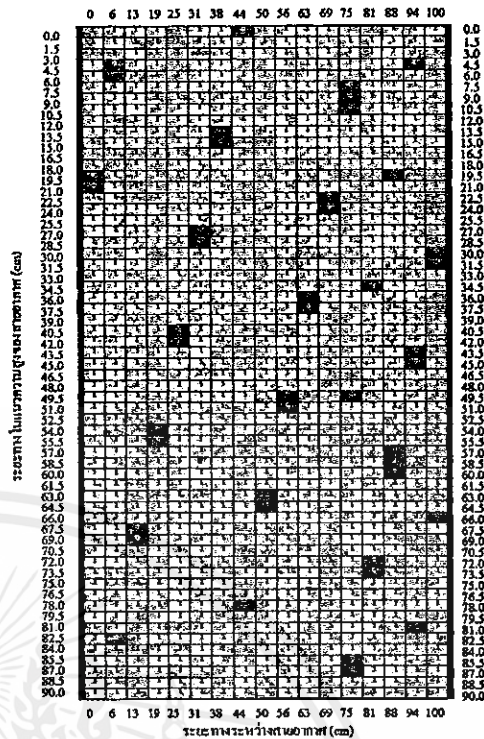


(ง) ทิศทาง  $n_4$

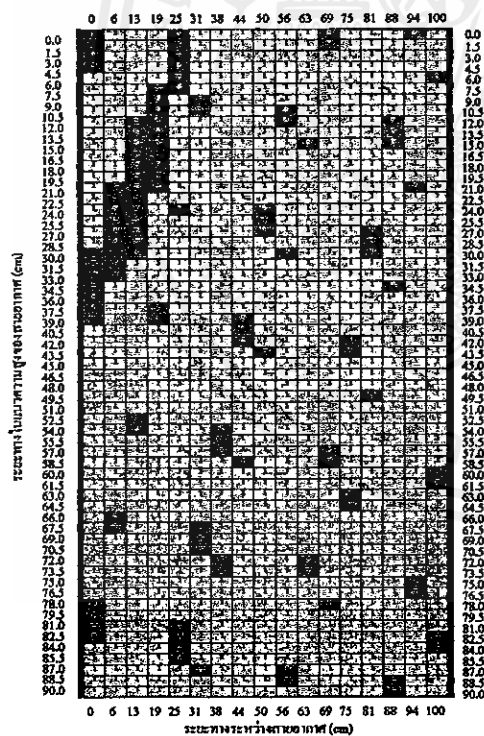
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



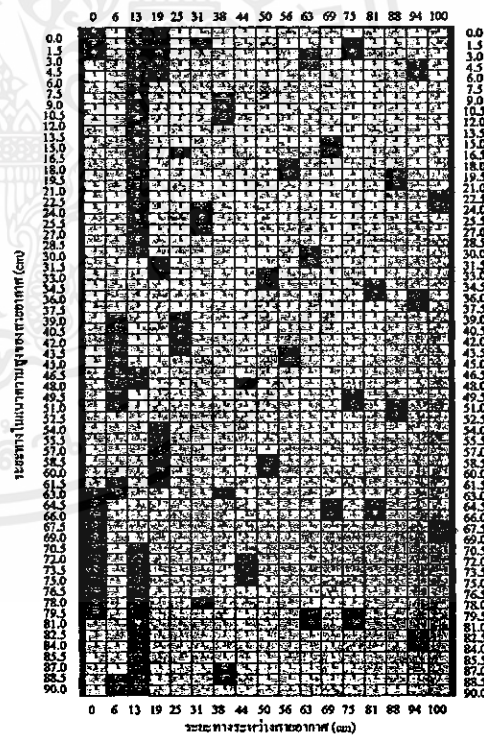
(จ) ทิศทาง น<sub>5</sub>



(ข) ทิศทาง น<sub>6</sub>



(ค) ทิศทาง น<sub>7</sub>



(ง) ทิศทาง น<sub>8</sub>

รูปที่ 5.31 แสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งของแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงใน  
 ระยะเวลาที่ตั้งฉากกับสายอากาศในแนวแกนทั้ง 8 ของสายอากาศแบบที่ 1

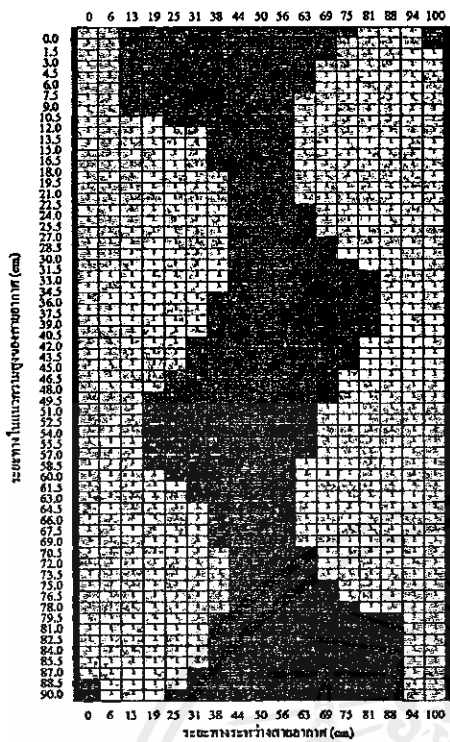
เอกสารนี้เป็นของส่วนราชการและสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและการค้า  
 ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 5.11 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศแบบที่ 1 ในทิศทางตามเวกเตอร์หนึ่งหน่วย

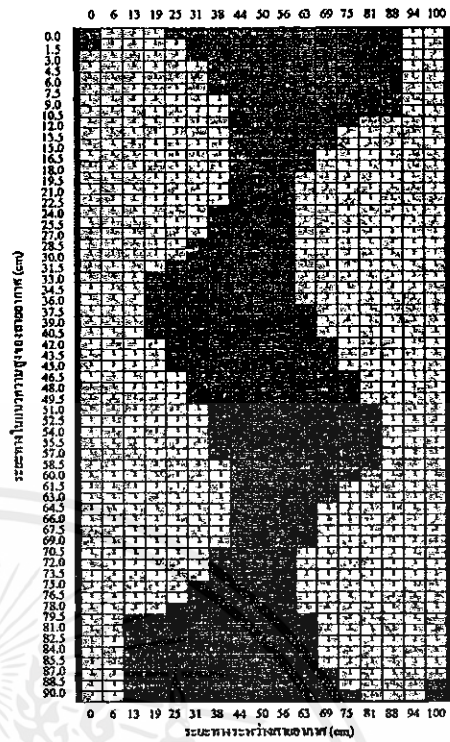
เวกเตอร์หนึ่งหน่วย	ทิศทาง	ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร
$\hat{u}_1$	$\frac{(\hat{x} + \hat{y} + \hat{z})}{\sqrt{3}}$	86%
$\hat{u}_2$	$\frac{(\hat{x} - \hat{y} + \hat{z})}{\sqrt{3}}$	96%
$\hat{u}_3$	$\frac{(-\hat{x} + \hat{y} + \hat{z})}{\sqrt{3}}$	89%
$\hat{u}_4$	$\frac{(-\hat{x} - \hat{y} + \hat{z})}{\sqrt{3}}$	94%
$\hat{u}_5$	$\frac{(\hat{x} + \hat{y} - \hat{z})}{\sqrt{3}}$	94%
$\hat{u}_6$	$\frac{(\hat{x} - \hat{y} - \hat{z})}{\sqrt{3}}$	89%
$\hat{u}_7$	$\frac{(-\hat{x} + \hat{y} - \hat{z})}{\sqrt{3}}$	96%
$\hat{u}_8$	$\frac{(-\hat{x} - \hat{y} - \hat{z})}{\sqrt{3}}$	86%

จากผลของค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศแบบที่ 1 ในตารางที่ 5.11 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในทิศทางต่าง ๆ นั้นมีค่าค่อนข้างสูงเกิน 85% ขึ้นไป จึงสามารถทำนายได้ว่าสายอากาศแบบที่ 1 นั้นสามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับแท็กที่วางตัวอยู่นอกเหนือจากสามแนวแกนหลักได้และยังแสดงให้เห็นว่าการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในสามแนวแกนหลัก  $x$ ,  $y$  และ  $z$  นั้นก็สามารถที่จะใช้ทำนายประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในสามแนวแกนหลักคือ มีค่า  $P_{v,H_x}$  เท่ากับ 93.82%  $P_{v,H_y}$  เท่ากับ 91.32% และ  $P_{v,H_z}$  เท่ากับ 70.78% ถือได้ว่ามีความสอดคล้องกัน อย่างไรก็ตาม ได้วิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กในทิศทางตามเวกเตอร์หนึ่งหน่วย 8 ทิศทางของสายอากาศแบบวงรูปเลขแปดแบบที่ 1 กรณีป้อนกระแสต่างเฟสกัน 180 องศา เพื่อเป็นการเปรียบเทียบว่ามีความสอดคล้องกันกับค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสนามแม่เหล็กในสามแนวแกนหลักหรือไม่ โดยแสดงในตารางที่ 5.12

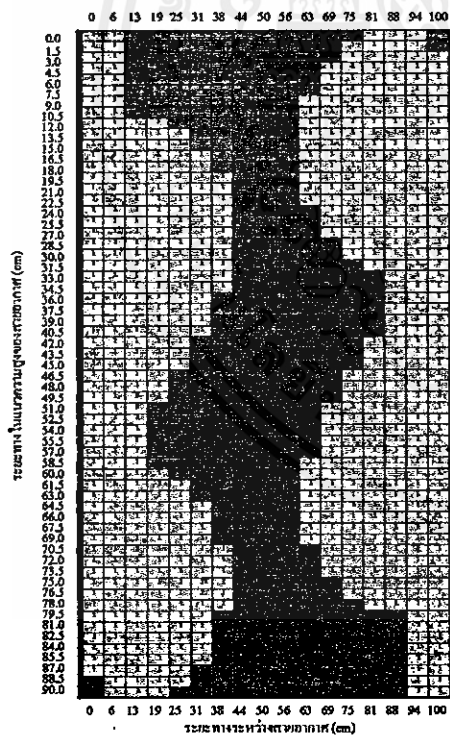
การพิจารณาในรูปที่ 5.32 คือถ้าเส้นทางนั้นมีค่าเป็น 1 (สีจาง) แสดงว่าในเส้นทางนั้นสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้หรือมีค่า  $P$  เท่ากับ 100% และถ้าเส้นทางนั้นมีค่าเป็น 0 (สีเข้ม) แสดงว่าในเส้นทางนั้นไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้หรือมีค่า  $P$  เท่ากับ 0% จากรูปเห็นได้ว่าสามารถติดต่อสื่อสารได้กระจายอย่างทั่วถึงภายในบริเวณที่พิจารณา



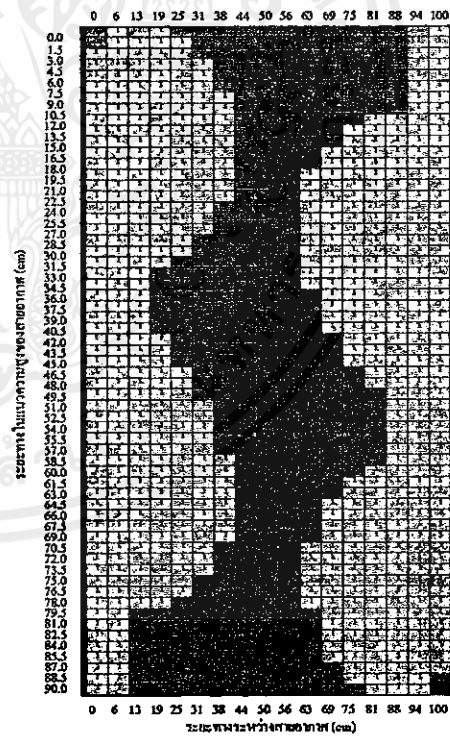
(ก) ทิศทาง  $n_1$



(ข) ทิศทาง  $n_2$

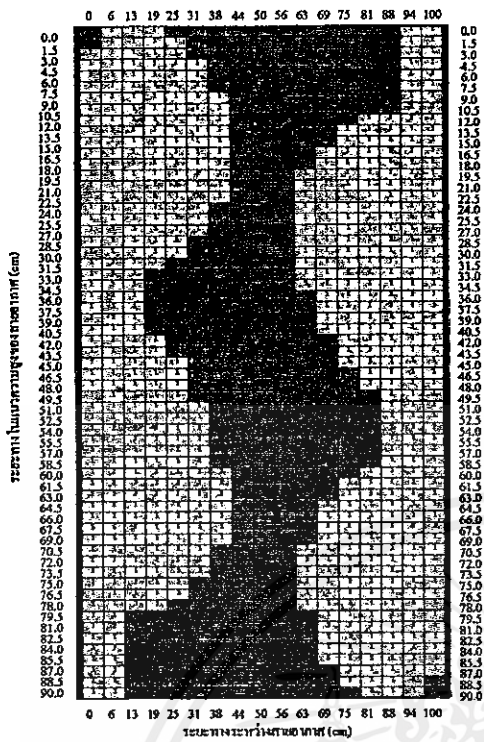


(ค) ทิศทาง  $n_3$

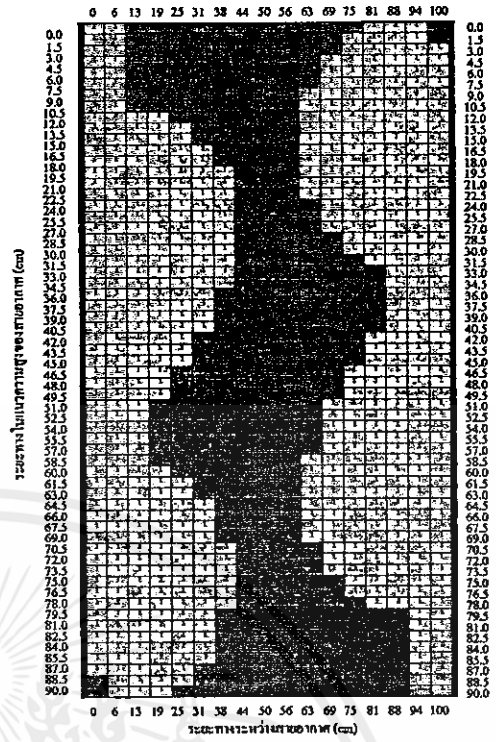


(ง) ทิศทาง  $n_4$

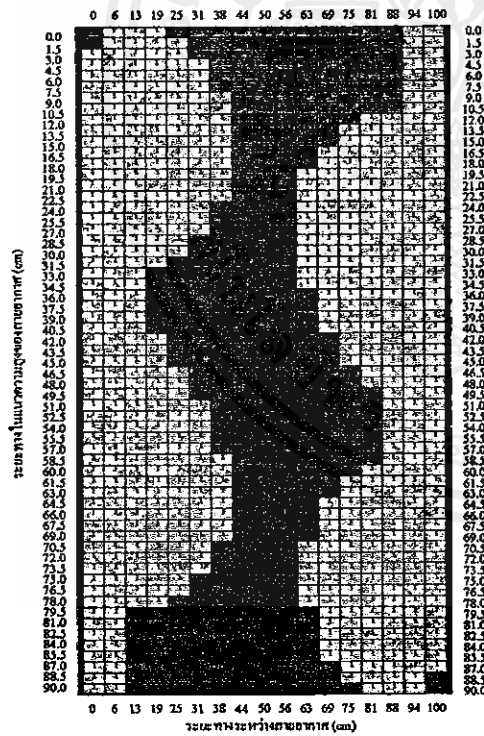
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



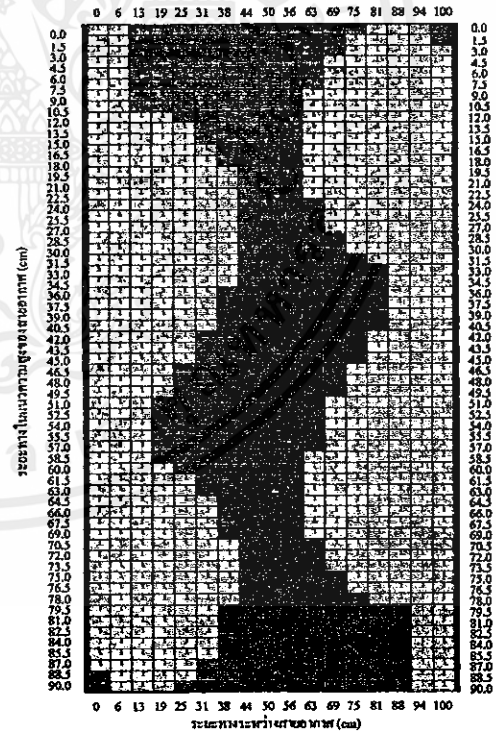
(จ) ทิศทาง  $n_5$



(ข) ทิศทาง  $n_6$



(ค) ทิศทาง  $n_7$



(ง) ทิศทาง  $n_8$

รูปที่ 5.32 แสดงความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งของแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศในแนวแกนทั้ง 8 ของสายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปดแบบที่ 1 กรณีป้อนกระแสต่างเฟสกัน 180 องศา

ตารางที่ 5.12 ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปดแบบที่ 1 กรณีป้อน  
กระแสต่างเฟสกัน 180 องศา ในทิศทางตามเวกเตอร์หนึ่งหน่วย

เวกเตอร์หนึ่งหน่วย	ทิศทาง	ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตร
$\hat{u}_1$	$\frac{(\hat{x} + \hat{y} + \hat{z})}{\sqrt{3}}$	60%
$\hat{u}_2$	$\frac{(\hat{x} - \hat{y} + \hat{z})}{\sqrt{3}}$	60%
$\hat{u}_3$	$\frac{(-\hat{x} + \hat{y} + \hat{z})}{\sqrt{3}}$	60%
$\hat{u}_4$	$\frac{(-\hat{x} - \hat{y} + \hat{z})}{\sqrt{3}}$	60%
$\hat{u}_5$	$\frac{(\hat{x} + \hat{y} - \hat{z})}{\sqrt{3}}$	60%
$\hat{u}_6$	$\frac{(\hat{x} - \hat{y} - \hat{z})}{\sqrt{3}}$	60%
$\hat{u}_7$	$\frac{(-\hat{x} + \hat{y} - \hat{z})}{\sqrt{3}}$	60%
$\hat{u}_8$	$\frac{(-\hat{x} - \hat{y} - \hat{z})}{\sqrt{3}}$	60%

จากผลของค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปด แบบที่ 1 กรณีป้อนกระแสต่างเฟสกัน 180 องศา ในตารางที่ 5.12 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในทิศทางต่าง ๆ นั้นมีค่าเท่ากับ 60% แสดงให้เห็นว่าการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในสามแนวแกนหลัก  $x$   $y$  และ  $z$  นั้นก็สามารถที่จะใช้ทำนายประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในสามแนวแกนหลักคือ มีค่า  $P_{v,H_x}$  เท่ากับ 45%  $P_{v,H_y}$  เท่ากับ 61% และ  $P_{v,H_z}$  เท่ากับ 65% ถือได้ว่ามีความสอดคล้องกัน

ฉะนั้นในกรณีที่เป็นสายอากาศแบบบ่วงชนิดอื่นนั้นการพิจารณาถึงค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในสามแนวแกนหลักนั้นก็เพียงพอที่จะใช้ทำนายประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กได้

## 5.7 บทสรุป

การออกแบบสายอากาศในแต่ละรูปแบบที่นำเสนอในบทนี้ประกอบด้วย ส่วนสายอากาศรูปแบบที่ 1 ใช้กระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมของการค้าไม่ว่ากรสายอากาศ ผลที่ได้คือสายอากาศมีประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารดีขึ้นกว่าสายอากาศที่เสนอใน [11] และสายอากาศรูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1 ใช้เทคนิคการสวิตช์เพื่อสลับการทำงานเลือกติดต่อสื่อสารข้อมูลจากสายอากาศ 2 คู่ โดยวิธีนี้จะปรับปรุงให้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในทุก

แนวแกนให้สูงขึ้นเกือบ 100% ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในทุกแนวแกนสูงกว่าสายอากาศรูปแบบที่ 2 กรณีที่ 2 และจากผลการวิเคราะห์พบว่าสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1 มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรทั้งสามแนวแกนหลักที่ตั้งฉากกันมีค่าสูงและกระจายอย่างสม่ำเสมอมากกว่าสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้าอย่างเห็นได้ชัด

จากการศึกษาสายอากาศรูปเลขแปด [12] ที่ติดตั้งเป็นแบบประตูคินผ่านนั้นเมื่อทำการคำนวณด้วยกระบวนการคิดแบบสี่บทอดพันธุกรรม โดยมีขนาดความกว้างรวมและความยาวรวมเท่ากับกับสายอากาศแบบที่ 1 และ 2 คือ 60 cm และ 90 cm ตามลำดับ และแบ่งเป็นสองแบบซึ่งทั้งสองแบบนี้ยังแบ่งตามการป้อนสัญญาณ ได้อีกสองกรณีคือ กรณีที่ป้อนสัญญาณแบบเฟสตรงกันและป้อนสัญญาณแบบเฟสต่างกัน 180 องศา พบว่ากรณีที่มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่มากที่สุดมีค่า  $P_{v,H}$  เท่ากับ 45%  $P_{v,H}$  เท่ากับ 61% และ  $P_{v,H}$  เท่ากับ 65% ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบที่ 1 นั้นพบว่ามีความเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรน้อยกว่าในทุกแนวแกน

จากการวิเคราะห์ความสามารถของจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กในแนวเส้นตรงที่ใช้พิจารณาเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นแต่ละแนวเส้นตรง โดยในแนวเส้นตรงหนึ่งนั้นจะมีจำนวนจุดที่พิจารณาเท่ากับ 51 จุดตลอดแนวเส้นตรง เมื่อทำการพิจารณาโดยใช้สายอากาศแบบที่ 1 พบว่ามีจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลของทั้งสามแนวแกนแปรผันกับความแรงของสนามแม่เหล็กที่กระจายออกจากสายอากาศ ซึ่งในแนวเส้นตรงหนึ่งที่พิจารณานั้นจะพบว่ามีจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลมากกว่า 10 ครั้งเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้สูงในการที่จะสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้เมื่อแท็กเคลื่อนที่ผ่านแนวเส้นตรงนั้น และจากการพิจารณาความสามารถในการติดต่อสื่อสารในทิศทางอื่นนอกจากทิศทางตามแนวแกน  $x$   $y$  และ  $z$  ของสายอากาศแบบที่ 1 โดยพิจารณาในแปดทิศทางดังตารางที่ 5.11 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในทิศทางต่าง ๆ นั้นมีค่าค่อนข้างสูงเกิน 85% ทุกทิศทาง จึงสามารถทำนายได้ว่าสายอากาศแบบที่ 1 นั้นสามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับแท็กที่วางตัวอยู่นอกเหนือจากสามแนวแกนหลักได้และยังแสดงให้เห็นว่าการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในสามแนวแกนหลัก  $x$   $y$  และ  $z$  นั้นก็สามารถที่จะใช้ทำนายประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กได้เพียงพอเพราะเมื่อนำค่าที่ได้ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในสามแนวแกนหลักกับค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในทิศทางตามเวกเตอร์หนึ่งหน่วยถือได้ว่ามีความสอดคล้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### การทดสอบและการประเมินผล

#### 6.1 บทนำ

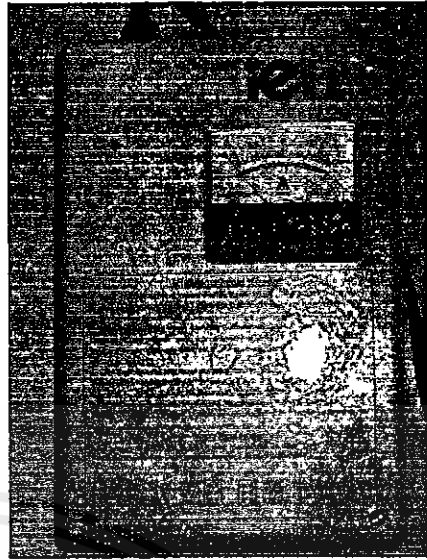
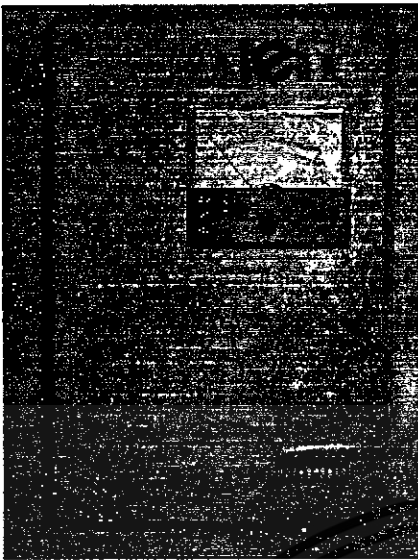
จากบทที่ 5 ได้จำลองและวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างของสายอากาศเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสม โดยเริ่มการวิเคราะห์จากสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ซึ่งเป็นสายอากาศพื้นฐานที่นำมาเปรียบเทียบ) ตามด้วยสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย 2 กรณี และสายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปด [12] และในบทนี้จะนำสายอากาศที่มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรสูงที่สุดในสามแนวแกนหลัก จากการจำลองแบบมาทำการทดสอบเบื้องต้นประกอบด้วยสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 และสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1 โดยการทดสอบสายอากาศต้นแบบมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

#### 6.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้นและทดลองในสภาพการใช้งานจริง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องอ่าน RFID 125 kHz จำนวน 1 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 6.1(ก)
2. เครื่องอ่าน RFID 134.2 kHz จำนวน 1 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 6.1(ข)
3. แท็ก แบบ ISO Card ความถี่ 125 kHz ขนาด  $5.5 \times 8.5 \text{ cm}^2$  ดังแสดงในรูปที่ 6.2(ก)
4. แท็ก แบบ Bolus ความถี่ 134.2 kHz ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 mm และมีความยาว 54 mm ใช้กับแกะ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 mm และมีความยาว 70 mm ใช้กับโคดังแสดงในรูปที่ 6.2(ข)
5. แท็ก แบบ Ear Tag ความถี่ 134.2 kHz ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 mm ดังแสดงในรูปที่ 6.2 (ค)
6. แท่งแม่เหล็กที่ใช้สำหรับจุดเศษเหล็กในกระเพาะ โค ดังแสดงในรูปที่ 6.3 สำหรับรายละเอียดของการทดสอบแท่งแม่เหล็กที่ใช้งานร่วมกับแท็กจะแสดงในหัวข้อที่ 6.4.1
7. มัลติมิเตอร์(Multimeter)
8. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)
9. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
10. สายนำสัญญาณ (Transmission Line)

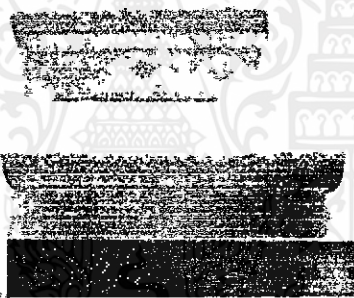
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ความถี่ 125 kHz

(ข) ความถี่ 134.2 kHz

รูปที่ 6.1 เครื่องอ่านข้อมูล RFID



(ก) แท็กแบบ ISO card

(ข) แท็กแบบ Bolus

(ค) แท็กแบบ Ear tag

รูปที่ 6.2 ชนิดของแท็กที่ใช้ในการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อจุดศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไขข้อมูลข้างต้นถึงแม้ว่าเอกสารเหล่านี้จะมีการนำไปใช้

รูปที่ 6.3 แทงแม่เหล็กที่ใช้สำหรับจุดเศษเหล็กในกระเพาะ โค

### 6.3 การทดสอบสายอากาศ

สายอากาศที่ทำการทดสอบนี้จะมี 2 ขนาดคือ ขนาดเล็กหมายถึงขนาดที่ได้จากการจำลองแบบมีขนาดความกว้าง 60 cm และยาว 90 cm โดยสายอากาศขนาดนี้จะนำไปใช้ในการลงทะเบียนสัตว์ประเภทแกะ สำหรับสายอากาศขนาดใหญ่จะมีขนาดเป็น 1.5 เท่าของสายอากาศขนาดเล็กคือมีขนาดความกว้าง 90 cm และความยาว 135 cm ซึ่งสายอากาศขนาดนี้จะนำไปใช้ในการลงทะเบียนสัตว์ประเภทโค สำหรับขดลวดที่นำมาสร้างสายอากาศต้นแบบนั้นจะใช้ลวดเบอร์ 24 และพันขดลวดให้มีค่าความเหนี่ยวนำให้อยู่ในช่วง 500-520  $\mu\text{H}$  เพื่อใช้กับเครื่องอ่านข้อมูล RFID ของบริษัท IET รุ่น Model ML100 Series

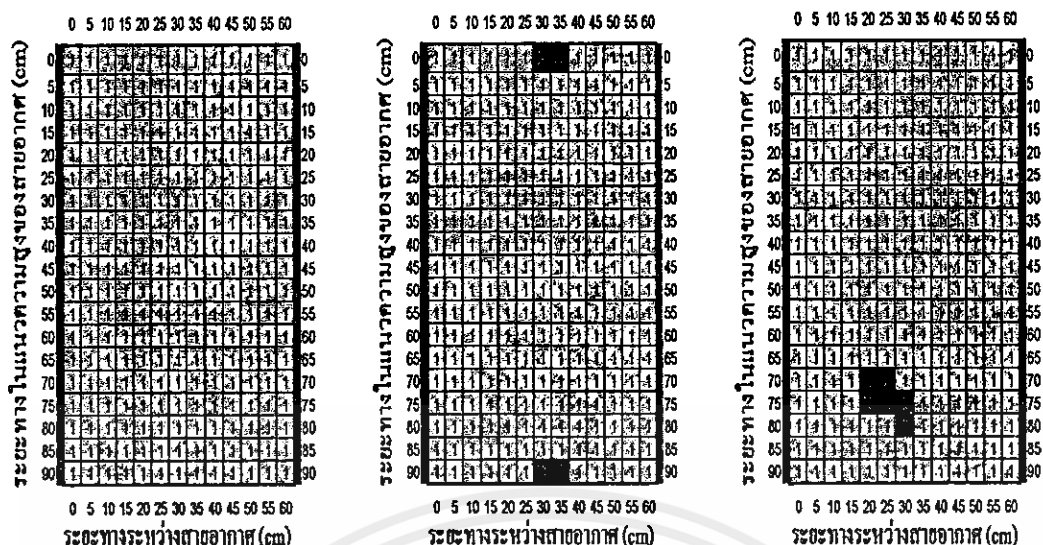
สำหรับการทดสอบสายอากาศนั้นประกอบด้วยการทดสอบสายอากาศขนาดเล็กเพื่อใช้ลงทะเบียนสัตว์ประเภทแกะ โดยมีระยะ  $d$  เท่ากับ 60 cm กรณีที่สามคือการทดสอบสายอากาศขนาดใหญ่เพื่อใช้ลงทะเบียนสัตว์ประเภทโค โดยมีระยะ  $d$  เท่ากับ 70 cm

ในส่วนของการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศนั้นเพื่อความสะดวกจะทำการทดสอบในแต่ละเส้นทางห่างกัน 5 cm ซึ่งระยะห่างนี้ยังคงให้ผลที่เชื่อถือได้คืออยู่ และการทดสอบเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของแท็กในแต่ละแนวแกนนั้นจะอ้างอิงโดยใช้แกนที่ตั้งฉากกับระนาบขดลวดของแท็กในแต่ละชนิด สำหรับผลการทดสอบสายอากาศแต่ละแบบจะแสดงในหัวข้อต่อไป

#### 6.3.1 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดเล็กที่ระยะ $d$ เท่ากับ 60 cm กับแท็กแบบ Bolus (ใช้กับแกะ)

ผลการทดสอบที่ระยะ  $d$  เท่ากับ 60 cm โดยแท็กที่ใช้ทดสอบเป็นแบบ Bolus (ใช้กับแกะ) ซึ่งการทดสอบนี้จะนำไปใช้สำหรับการลงทะเบียนสัตว์ประเภทแกะ ผลการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 6.4 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 ทิศทางมีค่า  $P_{r,H_x}$  เท่ากับ 100%  $P_{r,H_y}$  เท่ากับ 98.38% และ  $P_{r,H_z}$  เท่ากับ 97.57% ซึ่งที่ระยะนี้มีเพียง  $P_{r,H_x}$  เท่านั้นที่ได้ 100% ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรเท่ากับ 100% ทั้ง 3 แกนที่ตั้งฉากกัน ซึ่งจะแสดงการทดสอบในหัวข้อ 6.3.5 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

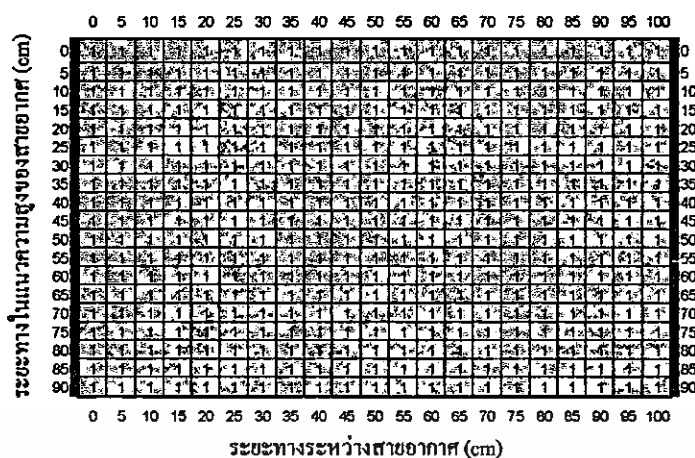
(ก)  $P_{I,H}$ ,(ข)  $P_{I,H}$ ,(ค)  $P_{I,H}$ ,

รูปที่ 6.4 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด Bolus (ใช้กับแกะ) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดเล็ก โดยมีระยะ  $d$  เท่ากับ 60 cm

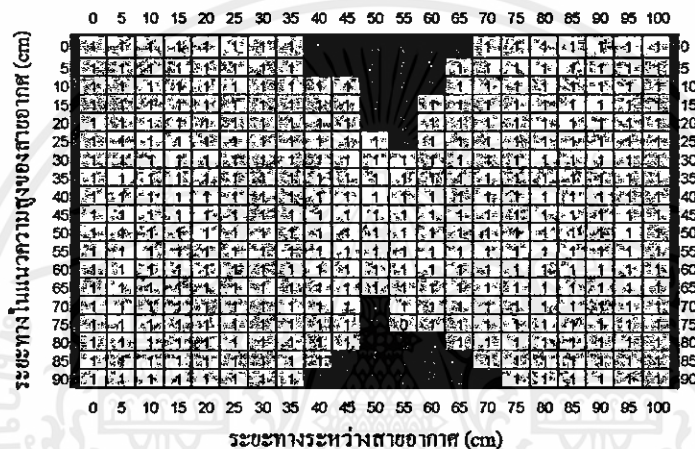
6.3.2 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดเล็กที่ระยะ  $d$  เท่ากับ 100 cm กับแท็กแบบ ISO Card

ผลการทดสอบที่ระยะ  $d$  เท่ากับ 100 cm (เป็นระยะที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในบทที่ 5) โดยแท็กที่ให้ทดสอบเป็นแบบ ISO Card ผลการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 6.5 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 ทิศทางมีค่า  $P_{v,H}$  เท่ากับ 100%  $P_{v,H}$  เท่ากับ 90.73% และ  $P_{v,H}$  เท่ากับ 88.72% และเมื่อนำผลการทดสอบที่ได้เปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบในรูปที่ 5.11 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณที่ได้จากการทดสอบจะมีแนวโน้มสูงกว่าที่ได้จากการจำลองแบบ ทั้งนี้เนื่องจากไม่ทราบค่าที่แน่นอนของค่าความเข้มสนามแม่เหล็กกระตุ้น  $H$ , และขนาดของกระแสที่แน่นอนที่จ่ายให้สายอากาศ แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้นี้มีแนวโน้ม โดยรวมสอดคล้องกัน จากผลที่ได้นี้พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณในบางแกนยังมีค่าไม่ถึง 100% ดังนั้นจะปรับปรุงสายอากาศให้มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณทั้ง 3 แกนหลักเป็น 100% โดยจะนำเสนอในหัวข้อ 6.3.5 ต่อไป

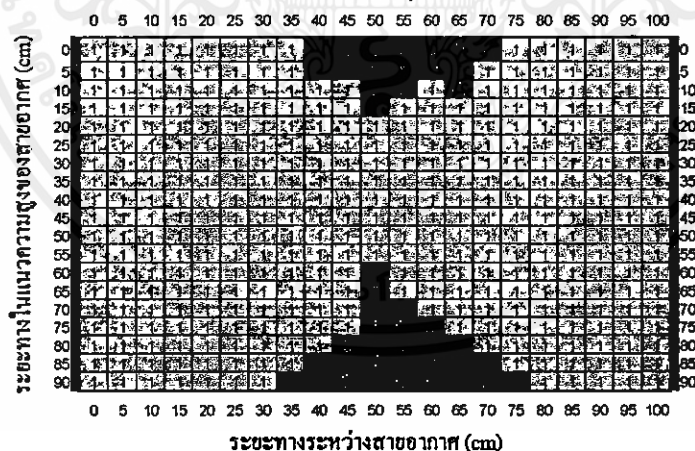
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)  $P_{I,H}$



(ข)  $P_{I,H}$



(ค)  $P_{I,H}$

รูปที่ 6.5 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด ISO Card ในแต่ละเส้นทางในแนว

เส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบวงจรรูปแบบที่ 1

ขนาดเล็ก โดยมีระยะ  $d$  เท่ากับ 100 cm ในกรณีนี้ที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสอง

ชุดมีเฟสต่างกัน 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2329-1000

6.3.3 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดเล็กเพื่อหาระยะที่ดีที่สุดในการติดต่อสื่อสารในทิศทางที่เหมาะสมเมื่อใช้กับแท็กชนิดต่างๆ

ผลการทดสอบเมื่อใช้แท็กแบบ ISO Card มีระยะที่มากที่สุดในการจัดวางตัวของแท็กในแนวใดแนวหนึ่งเท่ากับ 125 cm เมื่อใช้แท็กแบบ Ear Tag มีระยะที่มากที่สุดนี้เท่ากับ 90 cm และใช้แท็กแบบ Bolus Tag (ใช้กับแกะ) มีระยะที่มากที่สุดนี้เท่ากับ 80 cm

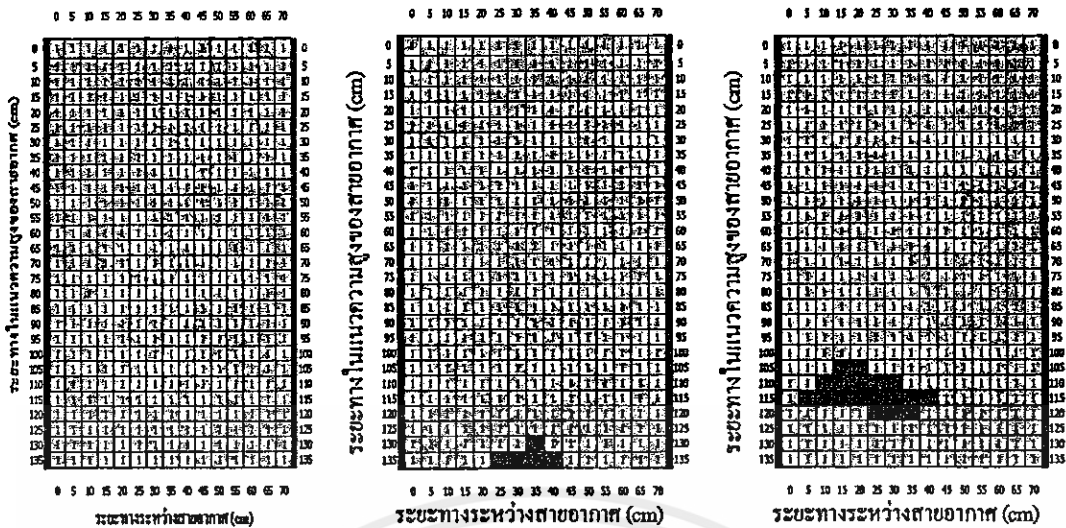
#### 6.3.4 สายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดใหญ่

สายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 6.6 โดยผลการทดสอบที่ระยะ  $d$  เท่ากับ 70 cm ทดสอบกับแท็กแบบ Bolus (ใช้กับโค) ซึ่งการทดสอบนี้จะนำไปใช้สำหรับการลงทะเบียนสัตว์ประเภทโค ผลการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบนี้ดังแสดงในรูปที่ 6.7 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แนวแกนหลักที่ตั้งฉากกันมีค่า  $P_{v,H_1}$  เท่ากับ 100%  $P_{v,H_2}$  เท่ากับ 98.63% และ  $P_{v,H_3}$  เท่ากับ 96.70%



รูปที่ 6.6 ภาพถ่ายของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)  $P_{I,H_s}$

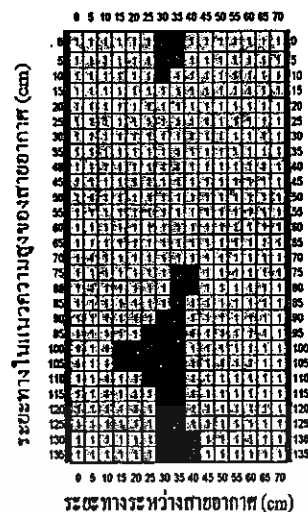
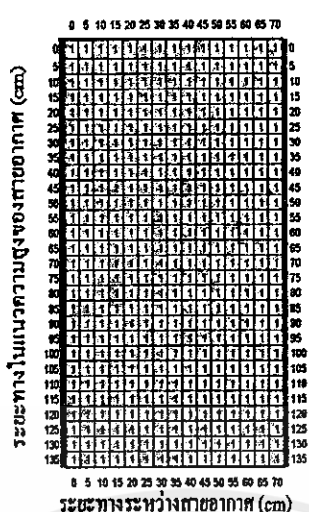
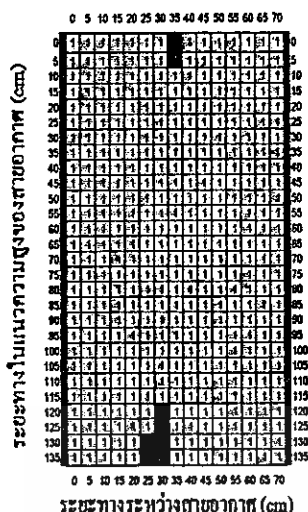
(ข)  $P_{I,H_s}$

(ค)  $P_{I,H_s}$

รูปที่ 6.7 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด Bolus (ใช้กับ โด) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองจุดเฟสต่างกัน 180 องศา ขนาดใหญ่โดยมีระยะ  $d$  เท่ากับ 70 cm

สำหรับผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดใหญ่เพื่อหาระยะที่ดีที่สุดในการกรณีที่ติดต่อสื่อสารในทิศทางที่เหมาะสมเมื่อใช้กับแท็กชนิดต่างๆ โดยผลการทดสอบเมื่อใช้แท็กแบบ ISO Card พบว่ามีระยะที่มากที่สุดในการจัดวางตัวของแท็กในแนวใดแนวหนึ่งเท่ากับ 155 cm เมื่อใช้แท็กแบบ Ear Tag มีระยะที่มากที่สุดนี้เท่ากับ 100 cm และใช้แท็กแบบ Bolus Tag (ใช้กับ โด) มีระยะที่มากที่สุดนี้เท่ากับ 90 cm ทั้งนี้เนื่องจากสายอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีการกระจายสนามแม่เหล็กที่สูงกว่าสายอากาศที่มีขนาดเล็กในหัวข้อ 6.5.3 สำหรับผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองจุดเฟสตรงกันสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 6.6 โดยผลการทดสอบที่ระยะ  $d$  เท่ากับ 70 cm ทดสอบกับแท็กแบบ Bolus (ใช้กับ โด) ผลการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแนวเส้นตรงในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบนี้ดังแสดงในรูปที่ 6.8 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แนวแกนหลักที่ตั้งฉากกันมีค่า  $P_{v,H_s}$  เท่ากับ 98.10%  $P_{v,H}$  เท่ากับ 100% และ  $P_{v,H}$  เท่ากับ 90.48%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)  $P_{i,H}$ ,

(ข)  $P_{i,H}$ ,

(ค)  $P_{i,H}$ ,

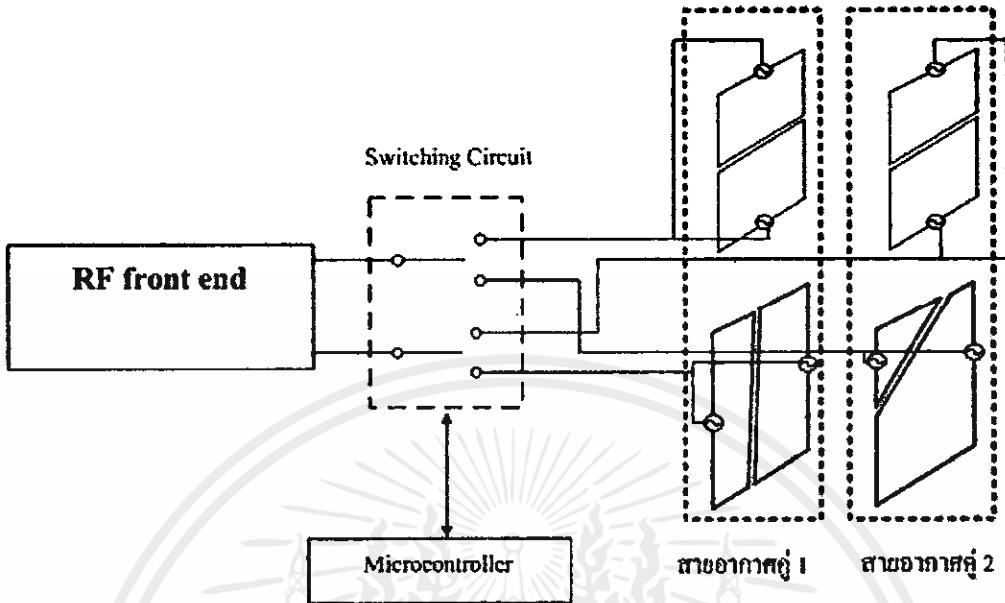
รูปที่ 6.8 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด Bolus (ใช้กับโค) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองจุดเฟสตรงกันขนาดใหญ่โดยมีระยะ  $d$  เท่ากับ 70 cm

จากการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กชนิด Bolus (ใช้กับโค) ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ในกรณีที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองจุดเฟสต่างกัน 180 องศาและเฟสตรงกันขนาดใหญ่โดยมีระยะ  $d$  เท่ากับ 70 cm พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็ก 2 แนวแกนหลักที่ตั้งฉากคือ  $P_{r,H}$  และ  $P_{v,H}$  นั้นสายอากาศที่ป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองจุดเฟสต่างกัน 180 องศาจะมีค่ามากกว่าป้อนกระแสให้สายอากาศทั้งสองจุดเฟสตรงกันแต่  $P_{r,H}$  จะมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อย

### 6.3.5 ผลการทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1

การทดสอบสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1 ขนาดเล็ก จะทดสอบกับเครื่องอ่านข้อมูล RFID ความถี่ 125 kHz เนื่องจากวงจรสวิทช์ที่ออกแบบขึ้นมานั้น ไม่มีผลกับวงจรภายในของเครื่อง RFID ในส่วนเครื่องอ่านข้อมูล RFID ความถี่ 134.2 kHz ไม่สามารถทำการทดสอบได้ เนื่องจากวงจรสวิทช์ที่ออกแบบนั้นมีผลกับวงจรภายในของเครื่อง RFID ดังนั้นการทดสอบทำได้เฉพาะกรณีของ ISO Card เท่านั้น สำหรับหลักการทำงานของวงจรสวิทช์ดังกล่าวในรูปที่ 6.9 โดยวงจรนี้จะทำการควบคุมการทำงานของสายอากาศสองชุดให้ทำงานในเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณทริกให้รีเลย์ทำการสวิทช์ให้สายอากาศแต่ละคู่ทำงาน 300 ms และหยุดทำงาน 300 ms

สลับกันไป โดยที่เครื่องอ่านยังคงสามารถทำงานได้ดี ลักษณะของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 6.10

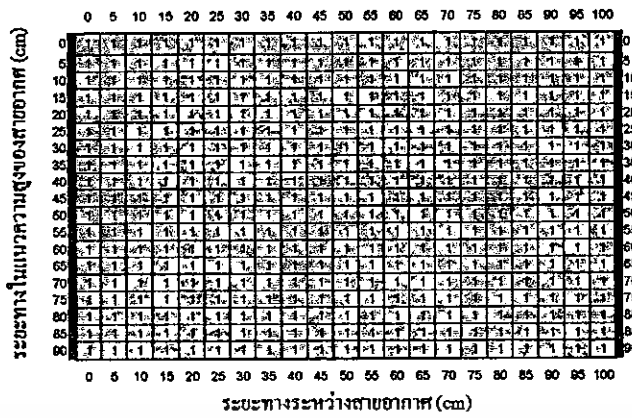


รูปที่ 6.9 การทำงานของวงจรสวิตช์

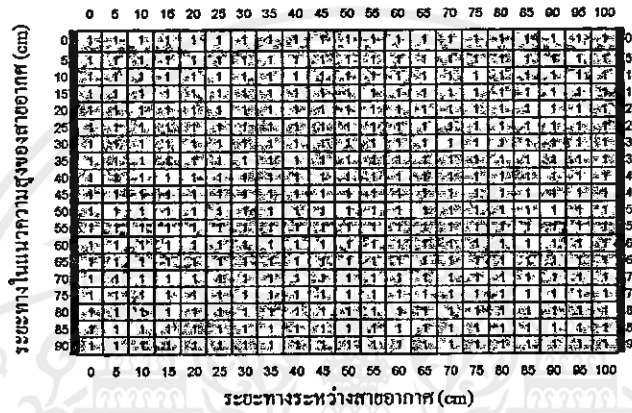


รูปที่ 6.10 ภาพถ่ายของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1

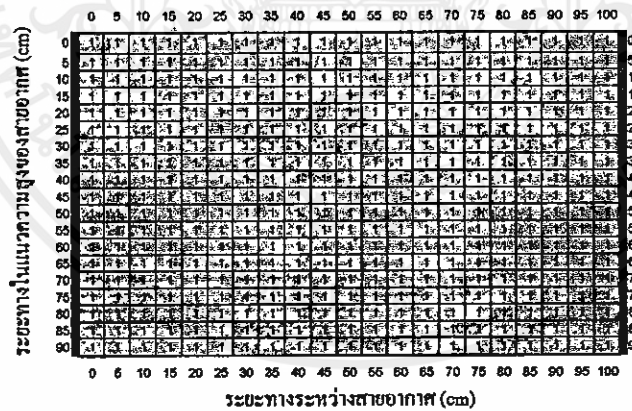
ผลการทดสอบความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรง ในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศในรูปที่ 6.9 โดยมีระยะ  $d$  เท่ากับ 100 cm พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 ทิศทางมีค่าเท่ากับ 100% ดังแสดงในรูปที่ 6.11



(ก)  $P_{I,H_1}$



(ข)  $P_{I,H_2}$



(ค)  $P_{I,H_3}$

รูปที่ 6.11 ความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท่งชนิด ISO Card ในแต่ละเส้นทางในแนวเส้นตรงในบริเวณระหว่างสายอากาศทั้งสองของสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารสิทธิ์ที่ 1 ขนาดเล็ก โดยมีระยะ  $d$  เท่ากับ 100 cm เป็น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถึงแม้ว่าเนื้อหานี้จะไม่ได้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาแต่ก็ขอสงวนสิทธิ์ไว้  
จากความแตกต่างของค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรระหว่างผลการจำลองแบบและผลการวัด  
นั้น เนื่องจากในการจำลองแบบได้สมมุติค่ากระแสที่ไหลในแต่ละบ่วงมีค่าเท่ากับ 1 A ทุกบ่วง  
แต่ในการสร้างสายอากาศนั้นแต่ละบ่วงมีรูปทรงต่างกันทำให้ค่าความเหนี่ยวนำต่างกันทำให้

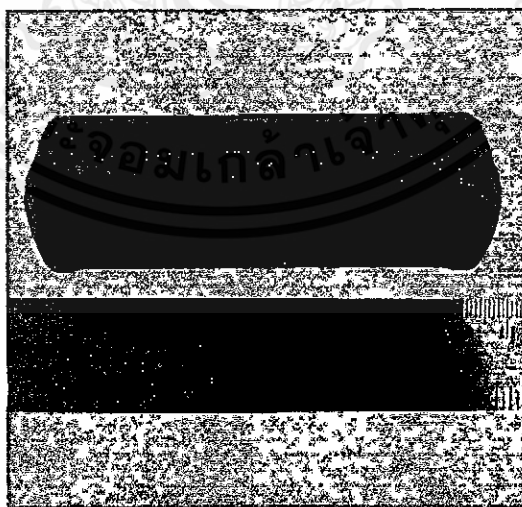
กระแสที่ไหลในแต่ละบ่งนั้นมีค่าไม่เท่ากัน รวมทั้งไม่สามารถวัดค่าสนามแม่เหล็กที่กระจายออก จากสายอากาศได้ เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ในการวัด ณ ย่านความถี่ที่ใช้งานอยู่ภายในประเทศ

#### 6.4 ผลการทดลองใช้สายอากาศในสภาพการใช้งานจริง

ในหัวข้อนี้นำเสนอการทดลองใช้สายอากาศในสภาพการใช้งานจริงกับการลงทะเบียนโค และแกะที่ศูนย์ฝึกนิสิตคณะสัตวแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ต. บ่อพลับ อ. เมือง จ. นครปฐม รวมทั้งวิเคราะห์ผลของแท็กในกรณีที่ใช้ร่วมกับแท่งแม่เหล็ก ซึ่งมีรายละเอียดดังหัวข้อ ต่อ ไปนี้

##### 6.4.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ในกรณีใช้แท็กแบบ Bolus ร่วมกับแท่งแม่เหล็ก

จากการใช้งานจริงสำหรับการลงทะเบียนสัตว์ด้วยระบบ RFID สำหรับแท็กที่เป็นแบบ Bolus นั้นจำเป็นจะต้องใส่ Bolus นั้นลงไปในกระเพาะของสัตว์ และจากการได้ไปเก็บข้อมูลในการเลี้ยง โคที่มีการลงทะเบียนสัตว์ด้วยระบบ RFID พบว่าในกระเพาะ โคมีแท่งแม่เหล็กอยู่เพื่อ เอาไว้ดูดเศษเหล็ก เช่น ตะปูที่วัวกินเข้าไปจึงทำให้บางครั้งการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน กับแท็ก ที่เป็นแบบ Bolus ไม่สามารถทำได้เนื่องจากผลของแท่งแม่เหล็กที่มีต่อเหล็ก ขนาดของ แท่งแม่เหล็กที่ใช้สำหรับ โคมีความกว้าง 3 cm และความยาว 8 cm และหนา 1 cm บรรจุอยู่ใน พลาสติกทรงกระบอกรัศมี 1.6 cm และยาว 9 cm โดยที่ด้านข้างของพลาสติกทรงกระบอกมีการ เจาะช่องตามแนวยาวดังแสดง ในรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.12 ภาพถ่ายแท่งแม่เหล็กสำหรับดูดเศษเหล็กในกระเพาะ โค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อการวิจัยและศึกษา โดยขอให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อหาสาเหตุและเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงได้ทำการศึกษาเพื่อศึกษา ผลกระทบของแท่งแม่เหล็กที่มีต่อการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก โดยศึกษาจากการ

เปลี่ยนแปลงของความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant Frequency) ของแท่งในขณะที่มีแท่งแม่เหล็กอยู่ เทียบกับในกรณีที่ไม่มีแท่งแม่เหล็ก ในการหาความถี่เรโซแนนซ์ของแท่งทำได้โดยการปรับความถี่ที่จ่ายให้สายอากาศที่ส่งสัญญาณให้กับแท่งแล้วหาแอมพลิจูดของสัญญาณที่มากที่สุด ความถี่ที่ให้ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่มากที่สุดจะเป็นความถี่เรโซแนนซ์ สำหรับแท่งแบบ Bolus (ทั้งของโคและเกาะ) จะมีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ที่ 134.2 kHz ในกรณีที่ไม่มีแท่งแม่เหล็กอยู่

ในการทดสอบจะนำแท่งแม่เหล็กมาวางติดกับแท่งแล้วทำการหาความถี่เรโซแนนซ์ของแท่ง จากนั้นก็เลื่อนแม่เหล็กออกมาทีละ 1 cm จนความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับกรณีที่ไม่มีแท่งแม่เหล็ก (โดยประมาณ) เนื่องจากข้อจำกัดทางกายภาพของแท่งแม่เหล็กและแท่งทำให้ระยะห่างระหว่างแท่งแม่เหล็กกับแท่งเริ่มต้นที่ 1 cm เนื่องจากมีการคัดแปลงแท่งเพื่อให้เชื่อมต่อกับสายสัญญาณที่นำมาต่อกับออสซิลโลสโคปได้ จึงทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ของแท่งกรณีที่ไม่มีแท่งแม่เหล็กวัดเลื่อนไป ซึ่งวัดได้อยู่ที่ความถี่ 139 kHz

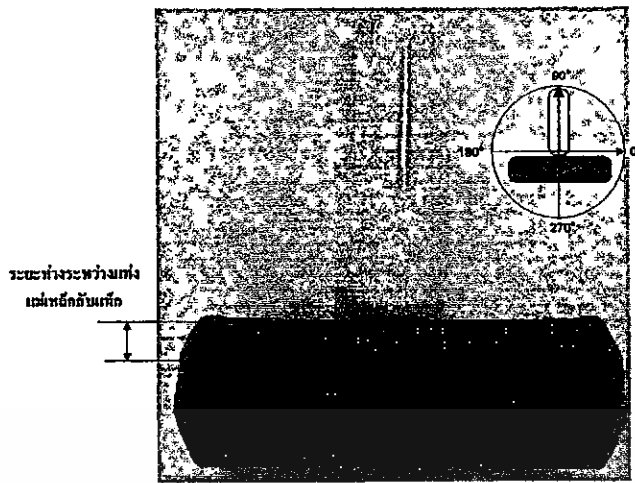
สำหรับลักษณะการจัดวางของแท่งแม่เหล็กกับแท่ง มีดังนี้

- แท่งแม่เหล็กขนานกับแท่ง (ทำมุมกัน 0 องศา) ดังแสดงในรูปที่ 6.13
- แท่งแม่เหล็กตั้งฉากกับแท่ง (ทำมุมกัน 90 องศา) ดังแสดงในรูปที่ 6.14
- แท่งแม่เหล็กทำมุมกับแท่ง 45 องศาและ 135 องศา ดังแสดงในรูปที่ 6.15

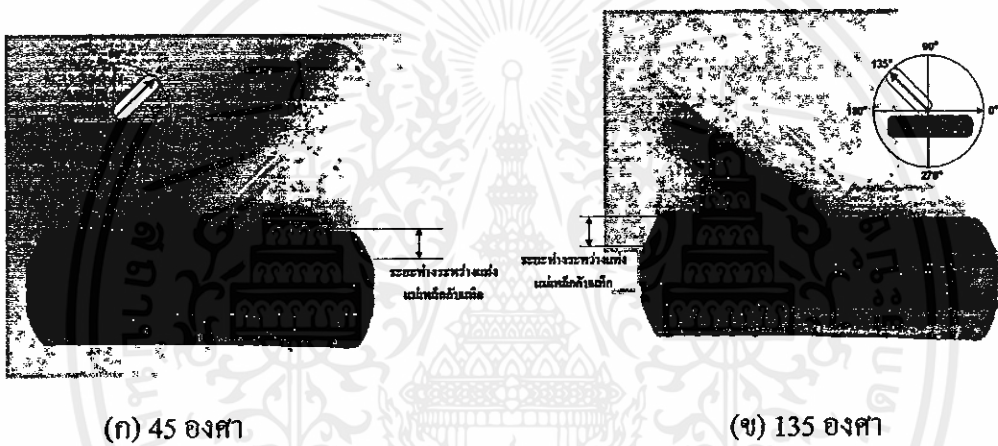


รูปที่ 6.13 ภาพถ่ายในกรณีที่แท่งแม่เหล็กขนานกับแท่ง

เนื่องจากแท่งแม่เหล็กมีพื้นที่หน้าตัดในแต่ละด้านไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงได้แบ่งย่อยลักษณะการจัดวางของแท่งแม่เหล็กกับแท่งที่ใช้ในการทดสอบในแต่ละกรณีออกเป็นการทดสอบกับแท่งแม่เหล็กด้านแคบ (ด้านหนา  $\times$  ด้านยาวของแท่งแม่เหล็ก) และการทดสอบกับแท่งแม่เหล็กด้านกว้าง (ด้านกว้าง  $\times$  ด้านยาวของแท่งแม่เหล็ก) แสดงดังรูปที่ 6.16

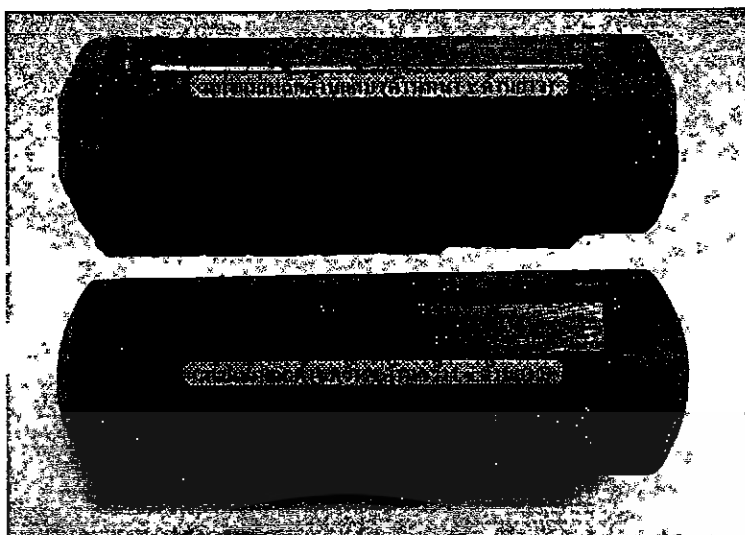


รูปที่ 6.14 ภาพถ่ายในกรณีที่มีแท่งแม่เหล็กวางตั้งฉากกับแท่ง

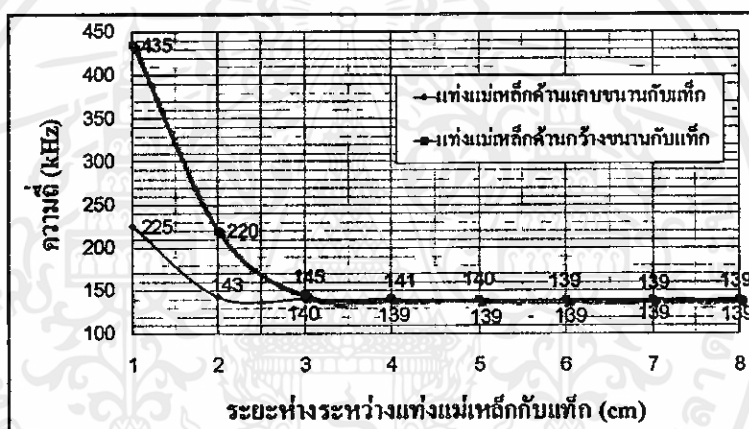


รูปที่ 6.15 ภาพถ่ายในกรณีที่มีแท่งแม่เหล็กวางทำมุม 45 และ 135 องศา กับแท่ง

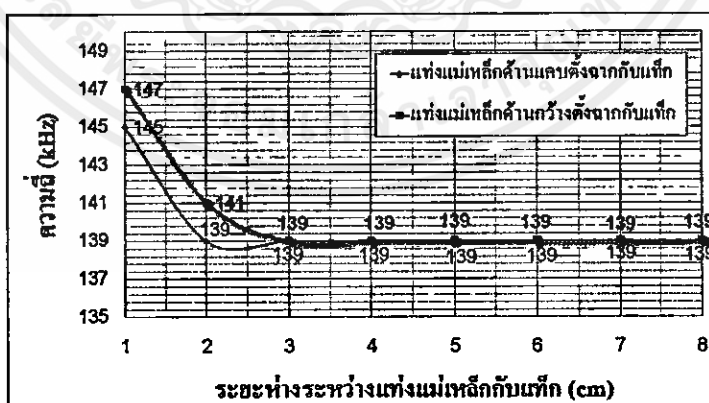
จากการทดสอบพบว่า ในกรณีที่มีแท่งแม่เหล็กมาอยู่ใกล้กับแท่งจะส่งผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์ ทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ของแท่งเปลี่ยนไป จากผลการทดสอบในกรณีที่มีแท่งแม่เหล็กวางขนานกับแท่งดังแสดงในรูปที่ 6.17 พบว่าความถี่เรโซแนนซ์เปลี่ยนแปลงจากเดิมมาก โดยเฉพาะในกรณีที่แท่งวางขนานและใกล้ชิดมากกับแท่งแม่เหล็ก นี่จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้เครื่องอ่านอาจจะไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับแท่งได้เมื่อมีแท่งแม่เหล็กอยู่ ซึ่งเกิดจากสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กที่ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) ของแท่งลดลง ส่งผลให้ความถี่เรโซแนนซ์ของแท่งสูงขึ้น แต่เมื่อระยะห่างระหว่างแท่งแม่เหล็กกับแท่งมีค่าเพิ่มขึ้น ความถี่เรโซแนนซ์ของแท่งจะเข้าสู่ค่าความถี่เรโซแนนซ์ในกรณีที่ไม่มีแท่งแม่เหล็กอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่าในกรณีที่มีแท่งแม่เหล็กด้านกว้างจะส่งผลให้ความถี่เรโซแนนซ์ของแท่งสูงกว่าในกรณีที่มีแท่งแม่เหล็กด้านแคบ เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดที่มากกว่าส่งผลให้มีความแรงของสนามแม่เหล็กที่มากกว่า



รูปที่ 6.16 เปรียบเทียบรูปร่างแม่เหล็กที่มองด้านแคบกับที่มองด้านกว้าง

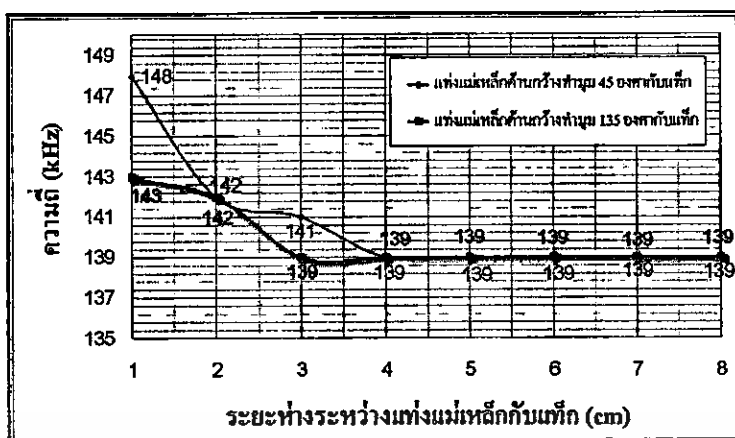


รูปที่ 6.17 ผลการทดสอบในกรณีแม่เหล็กวางขนานกับแท่ง



รูปที่ 6.18 ผลการทดสอบในกรณีแม่เหล็กวางตั้งฉากกับแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.19 ผลการทดสอบในกรณีที่แท่งแม่เหล็กทำมุม 45 และ 135 องศา กับแท็ก

และสำหรับกรณีที่จัดวางแท่งแม่เหล็กกับแท็กอยู่ในลักษณะอื่นๆ จากผลการทดสอบที่แสดงในรูปที่ 6.18 และ 6.19 พบว่ากรณีที่จัดวางแท่งแม่เหล็กกับแท็กอยู่ในลักษณะอื่นๆ ไม่ค่อยมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ของแท็กมากนัก จึงทำให้เครื่องอ่านสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กได้อยู่บ้างเนื่องจากอยู่ในช่วงแบนด์วิธที่ยังสามารถติดต่อสื่อสารได้ สำหรับการแบ่งย่อยลักษณะการจัดวางของแท่งแม่เหล็กกับแท็กที่ใช้ในการทดสอบในกรณีที่แท่งแม่เหล็กทำมุม 45 และ 135 องศา กับแท็กนั้นจะแสดงผลเพียงในส่วนแท่งแม่เหล็กด้านกว้าง เนื่องจากให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกับผลในกรณีของแท่งแม่เหล็กด้านแคบ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผลกระทบของแท่งแม่เหล็กที่มีผลต่อการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่แท่งแม่เหล็กวางขนานกับแท็ก (ทำมุมกัน 0 องศา) และใกล้เคียงกับแท็กมาก สำหรับระยะห่างระหว่างแท่งแม่เหล็กกับแท็กที่ไม่มีผลกระทบเลยจะอยู่ที่ระยะประมาณ 3 cm ในทุกลักษณะการจัดวาง ส่วนแนวทางในการแก้ปัญหาสามารถทำได้โดยการเพิ่มความหนาของเซรามิกที่หุ้มตัวแท็กให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากระยะห่างระหว่างแท่งแม่เหล็กกับแท็กจะช่วยลดผลกระทบของแท่งแม่เหล็กได้

#### 6.4.2 การทดลองใช้สายอากาศในกรณีใช้งานจริงกับแกะ

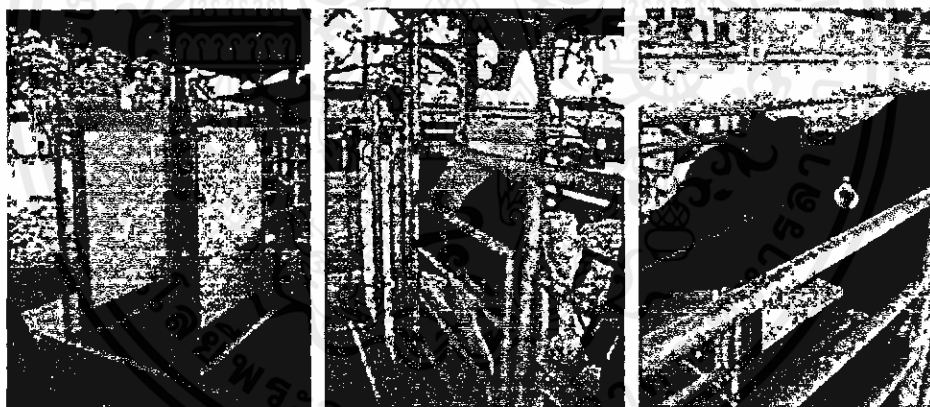
การทดลองสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดเล็ก ในกรณีใช้งานจริงกับแกะดังแสดงในรูปที่ 6.20 โดยสถานที่ที่ใช้ในการทดลองคือ ศูนย์ฝึกนิสิตคณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากการทดลอง โดยใช้กลุ่มตัวอย่างแกะจำนวน 20 ตัว พบว่าสามารถติดต่อสื่อสารได้ทุกตัว โดยลักษณะของแท็กที่ใช้เป็นแบบ Bolus (สำหรับแกะ)



รูปที่ 6.20 ภาพถ่ายการทดลองใช้สายอากาศในกรณีใช้งานจริงกับแกะ

#### 6.4.3 การทดลองใช้สายอากาศในกรณีใช้งานจริงกับโค

การทดลองใช้สายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 ขนาดใหญ่ ในกรณีใช้งานจริงกับโคคังแสดงในรูปที่ 6.21 โดยสถานที่ที่ใช้ในการทดลองคือ ศูนย์ฝึกนิสิตคณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากการทดลองโดยใช้กลุ่มตัวอย่างโคจำนวน 10 ตัว พบว่าสามารถติดต่อสื่อสารได้ทุกตัว โดยลักษณะของแท็กที่ใช้สำหรับโคเป็นแบบ Bolus (ใช้กับโค) จำนวน 9 ตัว และเป็นแบบ Ear tag จำนวน 1 ตัว



รูปที่ 6.21 ภาพถ่ายการทดลองใช้สายอากาศในกรณีใช้งานจริงกับโค

### 6.5 บทสรุป

จากผลการทดสอบสายอากาศพบว่ามีแนวโน้มเป็นไปได้ในทางเดียวกันกับผลที่ได้จากการจำลองแบบและผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่พัฒนาขึ้นมานั้นสามารถปรับปรุงค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของสายอากาศได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยสายอากาศขนาดเล็กจะนำไปใช้ลงทะเลียนสัตว์ประเภทแกะ และสายอากาศขนาดใหญ่จะนำไปใช้ลงทะเลียนสัตว์ประเภทโค จากการวิเคราะห์ผลของแท็กในกรณีที่ใช้ร่วมกับแท่งแม่เหล็ก พบว่ามีผลกระทบทำให้ไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กในกรณีที่วางขนานกันและวางระยะใกล้กัน แต่เมื่อวางห่างกันเกิน 3 cm ก็จะสามารถ

ติดต่อกันได้ ส่วนการจัดวางของแท่งแม่เหล็กกับแท่งในลักษณะอื่นๆ มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ของแท่งน้อยกว่าในกรณีที่ว่าขนานกัน และจากการนำสายอากาศไปทดลองใช้งานจริงกับแกะและโคพบว่าสามารถติดต่อสื่อสารได้ทุกตัว ดังนั้นสายอากาศที่นำเสนอในบทความนี้สามารถนำไปใช้ลงทะเลเป็นสัตว์ประเภท โคนและแกะ ได้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เพื่อใช้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วง ซึ่งใช้สำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID) ย่านความถี่ต่ำ (125 kHz และ 134.2 kHz) โดยจุดประสงค์เพื่อสร้างสายอากาศที่มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดและสามารถใช้งานกับแท็กได้ทุกลักษณะการจัดวาง

ในหัวข้อ 7.1 จะกล่าวถึงผลสรุปโดยรวมของวิทยานิพนธ์นี้ซึ่งประกอบไปด้วยผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วง ผลการใช้เทคนิคการสวิตช์สายอากาศแบบบ่วง การศึกษาผลกระทบจากค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม การศึกษาสายอากาศรูปเลขแปด จากการวิเคราะห์ความสามารถของจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กในแนวเส้นตรงของสายอากาศแบบที่ 1 การพิจารณาความสามารถในการติดต่อสื่อสารในทิศทางอื่นนอกจากทิศทางตามแนวแกน  $xy$  และ  $z$  ของสายอากาศแบบที่ 1 และการวิเคราะห์ในกรณีใช้แท็ก Bolus ร่วมกับแท่งแม่เหล็ก ในหัวข้อ 7.2 จะกล่าวถึงข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

#### 7.1 สรุปเนื้อหาโดยรวม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อธิบายถึงทฤษฎีและหลักการของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ หลักการออกแบบสายอากาศแบบบ่วงสำหรับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ และทำการศึกษาถึงผลการเกิดความเหนี่ยวนำร่วมที่เกิดขึ้นระหว่างบ่วงคู่ของสายอากาศแบบบ่วงคู่ที่ติดตั้งแบบประตูดินผ่าน ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำร่วมดังกล่าวจะส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่ได้จากการทดสอบจริงและผลที่ได้จากการจำลองแบบแตกต่างกันเล็กน้อย รวมทั้งทฤษฎีและหลักการของกระบวนการค้นหาค่าที่เหมาะสมแบบต่าง ๆ รวมถึงหลักการของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

จากผลการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของค่าพารามิเตอร์สามค่าของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมเพื่อที่จะนำไปใช้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วงคู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพคือ จำนวนกลุ่มสมาชิก ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover และค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Mutation จากผลการวิเคราะห์พบว่า จำนวนของกลุ่มสมาชิกนั้นควรกำหนดไว้ในช่วงประมาณ 40-80 ค่าความน่าจะเป็นของตัวปฏิบัติการ Crossover ควรที่จะกำหนดค่าที่ประมาณ 60%-100% และ ค่าความน่าจะเป็นของ Mutation ควรที่จะกำหนดค่าที่ประมาณน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10%

จากนั้นได้นำกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมมาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่ โดยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมนี้จะเชื่อมต่อกับ โปรแกรม NEC เพื่อจำลองแบบของสายอากาศแล้วนำค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ได้มาทำการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์เชิงเส้น ค่าเปอร์เซ็นต์เชิงพื้นที่ผิวจากนั้นจะนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรเพื่อใช้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสายอากาศ จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศแบบบ่วงคู่ผลที่ได้คือสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 จากการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 ทิศทางมีค่า  $P_{v,H_x}$  เท่ากับ 100%  $P_{v,H_y}$  เท่ากับ 90.73% และ  $P_{v,H_z}$  เท่ากับ 88.72% ถึงอย่างไรก็ตามสายอากาศแบบบ่วงคู่รูปแบบที่ 1 นั้นยังมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรทั้ง 3 ทิศทางไม่เท่ากับ 100% จึงได้พัฒนาด้วยเทคนิคการสวิตช์เพื่อใช้สลับการทำงานเลือกติดต่อสื่อสารข้อมูลจากสายอากาศ 2 คู่ที่มีแบบรูปการกระจายสนามแม่เหล็กต่างกันเป็นสายอากาศแบบที่ 2 จากการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรของความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 ทิศทางมีค่าเท่ากับ 100%

จากการศึกษาเพิ่มเติมสายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปด ซึ่งได้ทำการศึกษามาจากสิทธิบัตรระหว่างประเทศ [12] ได้นำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติกับสายอากาศแบบที่ 1 ที่คิดค้นเป็นแบบประดิษฐ์ขึ้น ในกรณีที่มีขนาดความกว้าง ยาวเท่ากัน เมื่อทำการคำนวณด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม พบว่ากรณีที่มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรที่มากที่สุดมีค่า  $P_{v,H_x}$  เท่ากับ 45%  $P_{v,H_y}$  เท่ากับ 61% และ  $P_{v,H_z}$  เท่ากับ 65% ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบที่ 1 นั้นพบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรน้อยกว่าในทุกแนวแกน จึงสามารถสรุปได้ว่าสายอากาศแบบที่ 1 นั้นมีประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กได้ดีกว่าสายอากาศแบบบ่วงรูปเลขแปด

จากการวิเคราะห์ความสามารถของจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กในแนวเส้นตรงที่ใช้พิจารณาเปอร์เซ็นต์เชิงเส้นแต่ละแนวเส้นตรง เพื่อใช้ทำนายความสามารถในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กว่าในแนวเส้นตรงหนึ่ง ๆ จะสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ดีเท่าใด โดยในแนวเส้นตรงหนึ่งนั้นจะมีจำนวนจุดที่พิจารณาเท่ากับ 51 จุดตลอดแนวเส้นตรง เมื่อทำการพิจารณาโดยใช้สายอากาศแบบที่ 1 พบว่าในแนวเส้นตรงหนึ่งที่พิจารณานั้นจะพบว่ามีจำนวนครั้งการอ่านข้อมูลมากกว่า 10 ครั้งเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่ามีความน่าจะเป็นสูงในการที่จะสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้เมื่อแท็กเคลื่อนที่ผ่านแนวเส้นตรง

จากการพิจารณาความสามารถในการติดต่อสื่อสารในทิศทางอื่นนอกจากทิศทางตามแนวแกน  $x$   $y$  และ  $z$  ของสายอากาศแบบที่ 1 โดยพิจารณาในแปดทิศทางแสดงในตารางที่ 5.10 ได้ผลของค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรแสดงในตารางที่ 5.11 พบว่ามีค่าสูงค่าก่อนข้างสูงเกิน 85% ทุกทิศทางจึงสามารถทำนายได้ว่าสายอากาศแบบที่ 1 นั้นสามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับแท็กที่วางตัวอยู่นอกเหนือจากสามแนวแกนหลักได้และยังแสดงให้เห็นว่าการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาตรในสามแนวแกนหลัก  $x$   $y$  และ  $z$  นั้นก็สามารถที่จะใช้ทำนายประสิทธิภาพในการ

ติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กได้เพียงพอเพราะเมื่อนำค่าที่ได้ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณในสามแนวแกนหลักกับค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณในทิศทางตามเวกเตอร์หนึ่งหน่วยถือได้ว่ามีความสอดคล้องกัน

จากการวิเคราะห์ในกรณีใช้แท็ก Bolus ร่วมกับแท่งแม่เหล็ก เนื่องจากในการใช้งานจริงนั้นแท่งแม่เหล็กนี้จะถูกใส่ไว้ในกระเพาะของวัวด้วย พบว่ามีผลกระทบทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ระหว่างเครื่องอ่านและแท็กเปลี่ยนไปจากค่าเดิมและจะแปรเปลี่ยนไปตามระยะห่างระหว่างแท็กกับแท่งแม่เหล็กและลักษณะการวางตัวของทั้งสอง แต่อย่างไรก็ตามหากแท่งแม่เหล็กกับแท็กวางห่างกันด้วยระยะเท่ากับ 3 cm จะทำให้เครื่องอ่านกับแท็กสามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยไม่มีผลกระทบใดๆ จากนั้นได้นำสายอากาศไปทดลองใช้งานจริงกับแกะและโคพบว่าสามารถติดต่อสื่อสารได้ทุกตัว ดังนั้นสายอากาศที่นำเสนอในบทความนี้สามารถนำไปใช้ลงทะเบียนสัตว์ประเภทโคและแกะได้จริง

## 7.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากผลการวิเคราะห์และทดสอบจะพบว่าสายอากาศที่ได้จากออกแบบด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมสามารถนำไปใช้ลงทะเบียนสัตว์ประเภทโคและแกะได้ดี แต่จะเห็นว่าสายอากาศแบบบ่วงรูปแบบที่ 1 นั้นยังมีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณทั้ง 3 ทิศทางไม่เท่ากับ 100% และการพัฒนาสายอากาศด้วยเทคนิคการสวิตช์นั้นทำได้ยากและอาจมีผลกระทบทำให้ภาคส่งของเครื่องอ่านมีประสิทธิภาพลดลงด้วย จึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนาสายอากาศดังกล่าวให้มีค่าเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณทั้ง 3 ทิศทางเท่ากับ 100% โดยไม่ต้องใช้เทคนิคการสวิตช์ และทำการเพิ่มระยะทางระหว่างสายอากาศแบบประจูดเคลื่อนผ่านทั้งสองให้มากกว่า 70 cm สำหรับใช้งานกับสัตว์ที่มีขนาดใหญ่เช่น พ่อพันธุ์แม่พันธุ์ของโค และกระบือ สุดท้ายนี้องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับการลงทะเบียนสัตว์ชนิดอื่นๆ เช่น หมู และกระต่าย เป็นต้น รวมทั้งการประยุกต์ใช้งานต่างๆ ของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในย่านความถี่สูง (HF-RFID System) ด้วยซึ่งใช้วิธีเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [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] U2270B Antenna Design Hints, [Online]. Available: <http://ftp.jettedata.cz/pub/ham/sheet/u/u22-70hin.pdf>
- [5] Guru and Hiziroglu, *Electromagnetic Field Theory Fundamentals*, PWS Publishing company, 1989.
- [6] G. J. Burke and A. J. Poggio. *Numerical Electromagnetics Code (NEC) Method of Moment, Part I-III*. Lawrence Livermore Nat. Lab., Livermore, CA, 1981.
- [7] Kalyanmoy Deb, *Optimization for Engineering Design Algorithms and Examples*, Prentice Hall of India, 1995.
- [8] K. F. Man, K. S. Tang and S. Kwong, "Genetic Algorithms : concepts and application," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 43, No.5, October 1996, pp.519-534.
- [9] J.J. Grefenstette, "Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms," *IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics*, Vol. 16, No.1, 1986, pp.122-128.
- [10] Yahya Rahmat-Samii, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, John Wiley & Sons, 1999.
- [11] Chawanthawat Mansap, "Trapezoidal Dual Loop Antenna for Radio Frequency Identification (RFID) System at Low Frequency," Master Thesis, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2006.
- [12] US 4,135,183, "Antipilferage System Utilizing Figure-8 Shaped Field Producing And Detector Coils," Jan 16, 1979.
- [13] ไมโครชิป RFID กับงานปศุสัตว์, [Online]. Available: [http://www.nn.nstda.or.th/front\\_office/upload/File/NECTEC/RFID%20Semina/SiC-AnimalFarmRFIDCM.pdf](http://www.nn.nstda.or.th/front_office/upload/File/NECTEC/RFID%20Semina/SiC-AnimalFarmRFIDCM.pdf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

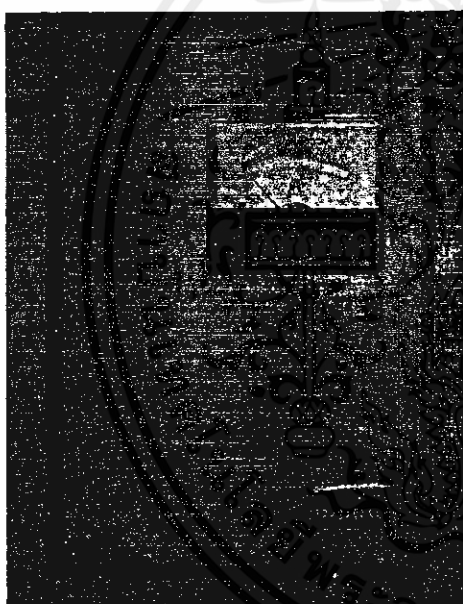


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

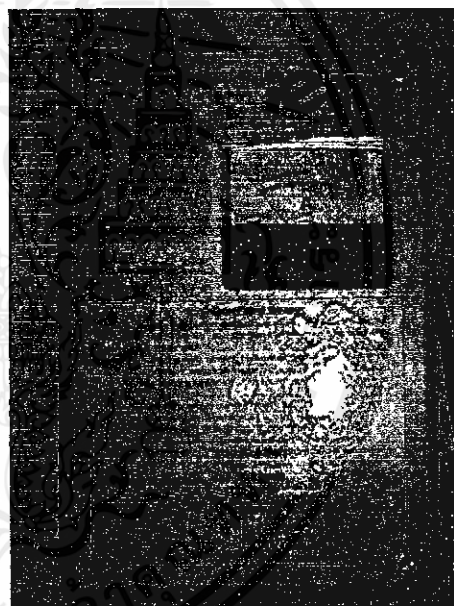
## ภาคผนวก ก

## รูปสัญญาณ ณ จุดต่าง ๆ ของเครื่อง RFID

ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำประกอบด้วยส่วนที่สำคัญสองส่วนหลักคือ เครื่องอ่านข้อมูลและแท็ก ซึ่งแท็กส่วนมากที่ใช้ในย่านความถี่นี้เป็นแท็กแบบพาสซีฟในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้แท็กในการทดสอบสองชนิดคือ แท็กแบบ ISO-Card และแท็กแบบ Bolus ส่วนเครื่องอ่านข้อมูลนั้นใช้เครื่องอ่าน RFID ของบริษัท IET แบ่งออกเป็นสองย่านความถี่คือย่านความถี่ 125 kHz ใช้สำหรับแท็กชนิด ISO-Card และ เครื่องอ่านย่านความถี่ 134.2 kHz ใช้สำหรับแท็กแบบ Bolus ในภาคผนวก ก นี้ได้แสดงรูปของเครื่องอ่านทั้งสองย่านความถี่รวมทั้งได้ทำการศึกษารูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก



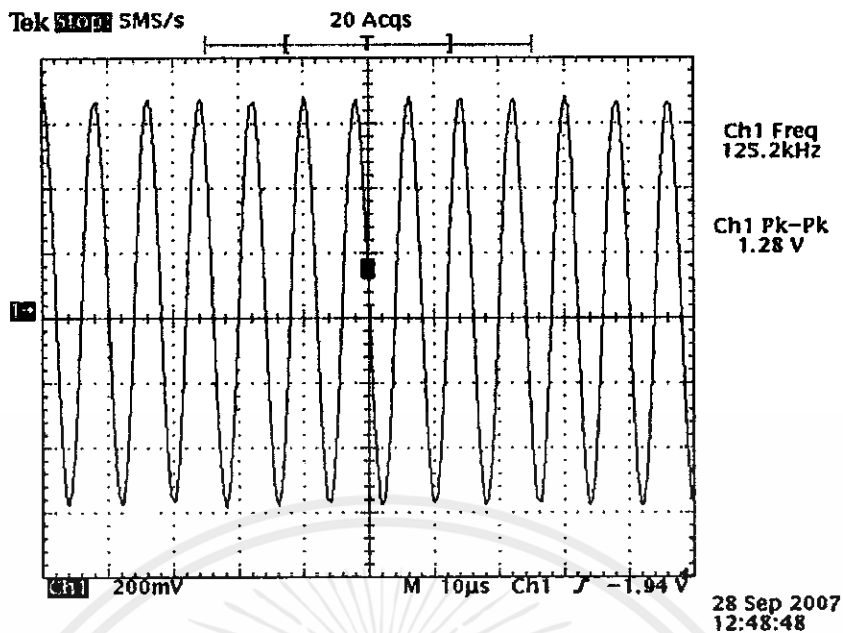
(ก) ความถี่ 125 kHz



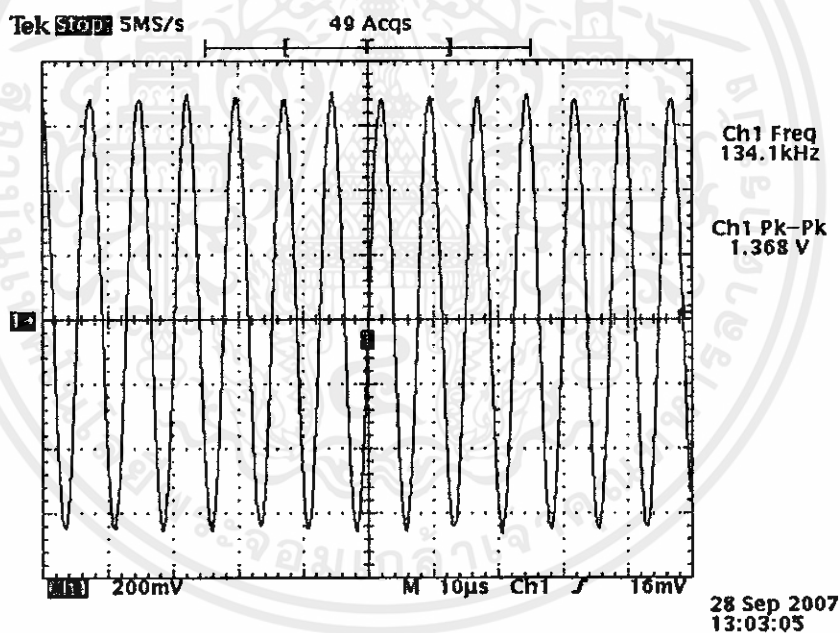
(ข) ความถี่ 134.2 kHz

รูปที่ ก.1 เครื่องอ่านข้อมูล RFID

รูปที่ ก.1 แสดงรูปของเครื่องอ่าน RFID ย่านความถี่ต่ำ โดยรูป (ก) เป็นเครื่องอ่าน RFID ย่านความถี่ 125 kHz รูป (ข) เป็นเครื่องอ่าน RFID ย่านความถี่ 134.2 kHz ซึ่งใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศต้นแบบ แล้วรวมไปถึงได้นำไปใช้ในระบบการลงทะเบียนสัตว์จริง เอกสารในวิทยานิพนธ์นี้ วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ความถี่ 125 kHz

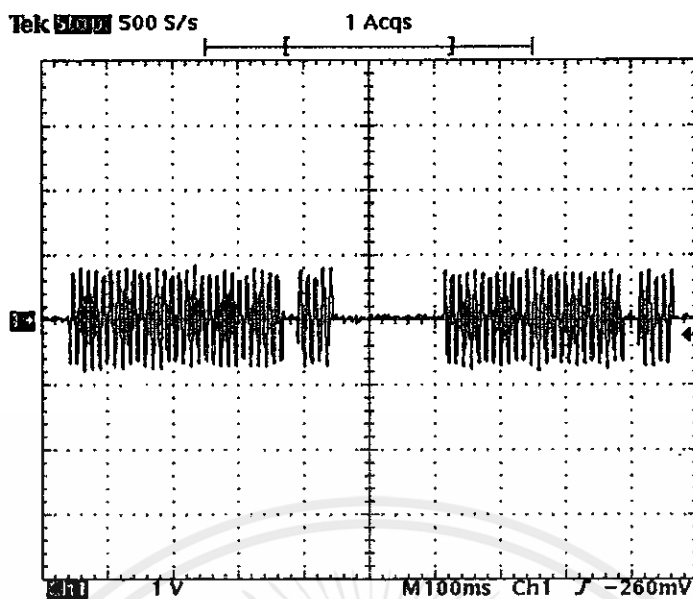


(ข) ความถี่ 134.2 kHz

## รูปที่ ก.2 สัญญาณพาหะของเครื่องอ่านข้อมูล RFID

รูปที่ ก.2 แสดงรูปของสัญญาณพาหะของเครื่องอ่าน RFID รูป (ก) เป็นรูปของสัญญาณชายน์เวฟมีความถี่ 125.2 kHz รูป (ข) เป็นรูปของสัญญาณชายน์เวฟมีความถี่ 134.1 kHz ได้ทำการวัดสัญญาณ ณ จุดเอทท์พหุของวงจรกำเนิดสัญญาณพาหะของเครื่องอ่าน RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 แบบรูปสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตของเครื่องอ่านข้อมูล RFID

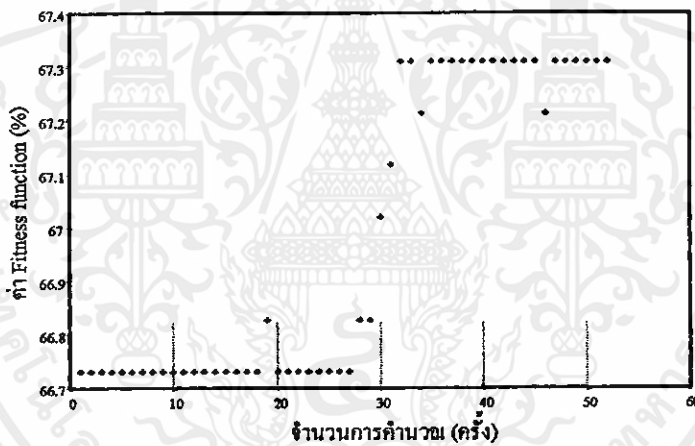
ส่วนรูปที่ ก.3 แสดงสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตจากเครื่องอ่าน RFID แล้วส่งไปยังแท็ก ซึ่งได้จากการนำสัญญาณพัลส์ที่เปลี่ยนแปลง (ข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร) มอดูเลตกับสัญญาณพาหะรูปไซน์แบบแอมพลิจูดจ็อยคีย์อิง (Amplitude Shift Keying : ASK) สัญญาณดังกล่าววัด ณ จุดเอาต์พุตของเครื่องอ่าน RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

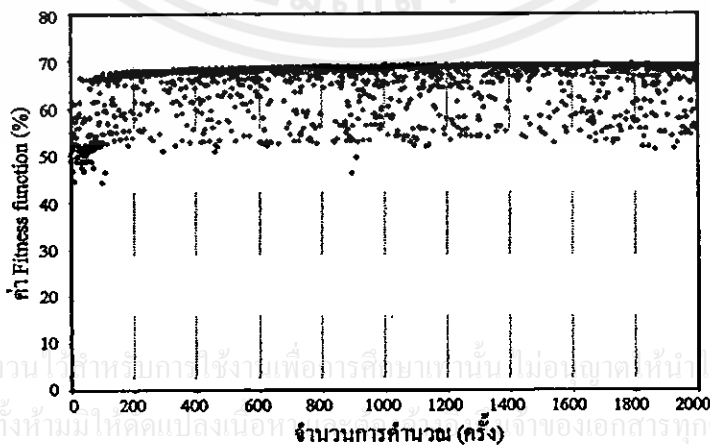
## ภาคผนวก ข

## การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วงด้วย กระบวนการแบบดั้งเดิม

ในหัวข้อนี้ได้นำกระบวนการแบบดั้งเดิม (Traditional Method) ชนิด Gradient-Based Methods ซึ่งมีหลักการทำงานดังหัวข้อที่ 3.3.3 มาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศแบบบ่วง เนื่องจากเป็นหลักการที่มีความนิยมนำมาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ทั่วไป เพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบกับผลของกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม โดยแสดงผลระหว่างค่าความเหมาะสม (Fitness Function) กับจำนวนการคำนวณดังรูปที่ ข.1 เพื่อแสดงลักษณะของรูปแบบการค้นหา



รูปที่ ข.1 ลักษณะการค้นหาที่ได้จากกระบวนการแบบดั้งเดิม



รูปที่ ข.2 ลักษณะการค้นหาที่ได้จากกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรม

จากรูปที่ ข.1 เป็นผลที่ได้จากกระบวนการแบบดั้งเดิม โดยทำการตั้งเงื่อนไขในการหาค่าที่เหมาะสมไว้เหมือนกับการหาค่าที่เหมาะสมด้วยกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมในบทที่ 3 เพื่อที่จะได้นำมาเปรียบเทียบกันได้ จากรูปจะเห็นได้ว่ากระบวนการแบบดั้งเดิมนี้ได้หยุดที่การคำนวณครั้งที่ 52 ได้ค่าความเหมาะสมเท่ากับ 67.32% เมื่อเทียบกับกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมนั้นได้ค่าความเหมาะสมเท่ากับ 70% จะเห็นได้ว่ากระบวนการแบบดั้งเดิมนี้ถ้าเข้าหาค่าที่เหมาะสมผิดค่า และเมื่อดูจากแบบรูปการค้นหาก็จะเห็นว่าเป็นแบบรูปที่ไม่กระจายครอบคลุมพื้นที่การค้นหาเหมือนกับกระบวนการคิดแบบสืบทอดพันธุกรรมดังรูปที่ ข.2 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการแบบดั้งเดิมนั้น ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมของฟังก์ชันที่มีความซับซ้อนอย่างเช่น งานทางด้านวิศวกรรมสายอากาศ เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นายศุภกิต แก้วดวงตา  
 วัน เดือน ปีเกิด 17 มิถุนายน 2526  
 ประวัติการศึกษา 2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Supakit Kawdungta, Phairote Wouchoum, Chuwong Phongcharoenpanich and Danai Torrungrueng, “Structural Analysis of Trapezoidal Dual Loop Antenna for Communication Performance Enhancement of LF-RFID”, ECTI-CON 2007, pp.955-958, May 2007.
- [2] Supakit Kawdungta, Phairote Wouchoum, Chuwong Phongcharoenpanich, Danai Torrungrueng and Monai Krairiksh, “Design of Trapezoidal Dual Loop Antenna For RFID system at Low Frequency Band”, ICTIR 2007, pp.88-93, August 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้