การค้นหาทิศทางสัญญาณคลื่นวิทยุที่รบกวนการจราจรทางอากาศ

(Directional Finding of RF Interference for Air Traffic Control)

โดย

นางสาว นิศาชล	เครือแก้ว	รหัสนักศึกษา B5408764
นางสาว กรรณิการ์	สมณียาม	รหัสนักศึกษา B5416387
นางสาว ภรภัทร	เปรมฤดีชัยศักดิ์	รหัสนักศึกษา B5418589

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 527499 โครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2554

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2557

การค้นหาทิศทางสัญญาณคลื่นวิทยุที่รบกวนการจราจรทางอากาศ

(Directional Finding of RF Interference for Air Traffic Control.)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

Sak Va

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย)

(อาจารย์ เศรษฐวิทย์ ภูฉายา)

(รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงงาน	การค้นหาทิศทางสัญญาณคลื่นวิทยุที่รบกวนการจราจรทางอากาศ (Directional Finding of RF Interference for Air Traffic Control.)
จัดทำโดย	นางสาว นิศาชล เครือแก้ว นางสาว กรรณิการ์ สมณียาม นางสาว ภรภัทร เปรมฤดีชัยศักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษาที่	3/2557

บทคัดย่อ

(Abstract)

กิจการด้านการกระจายเสียงของสถานีวิทยุชุมชนในปัจจุบันส่งผลต่อกิจการด้านการบินเป็นอย่างมาก โดยปัญหาที่เกิดขึ้นจากกรณีวิทยุชุมชนรบกวนการสื่อสารการบิน ในลักษณะมีคลื่นแทรกเป็นคำพูดและเสียงเพลงเป็นอุปสรรคต่อการติดต่อสื่อสารระหว่างนักบินกับผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศไม่ชัดเจน อาจทำให้เกิดความเข้าใจผิดและส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยทางการบิน โดยเฉพาะในกรณีสภาพอากาศไม่ดี อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรงได้ จากกรณีดังกล่าว สำนักคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) จึงได้ลงนามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือการสอบเทียบเครื่องมือวัดฯ เพื่อทดสอบมาตรฐานของเครื่องส่งวิทยุและกำหนดให้ผู้ประกอบการสถานีวิทยุชุมชนต้องลงทะเบียนกับ กสทช. โดยต้องนำเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงมาทดสอบก่อนทำการออกอากาศแพร่กระจายเสียง เพื่อลดปัญหาเครื่องส่งวิทยุชุมชนไม่ได้มาตรฐานส่งคลื่นรบกวนคลื่นวิทยุที่ใช้ในกิจการการบิน แต่การแก้ปัญหาดังกล่าวก็ยังไม่ครอบคลุม โครงงานนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศและสร้างสายอากาศเพื่อทำการหาทิศทางของคลื่นรบกวนคลื่นวิทยุ เพื่อลดระยะเวลาในการหาสถานีวิทยุชุมชนที่ไม่ได้มาตรฐานนั้น และส่งข้อมูลทิศทางให้ กสทช. ออกพื้นที่เพื่อตรวจสอบสถานีวิทยุดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

จากการที่คณะจัดทำรายงานได้รับมอบหมายให้ทำโครงงานเรื่อง การหาทิศทางสัญญาณคลื่นวิทยุที่รบกวนการจราจรทางอากาศ (The finder radio signals that disturb air traffic) ส่งผลให้คณะผู้จัดทำรายงานได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆ เกี่ยวกับกับการออกแบบสายอากาศโดยใช้โปรแกรม CST (Computer Simulation Technology) และโปรแกรมอื่นๆ เช่น โปรแกรม MMANA และ 4nec2 บัดนี้โครงงานดังกล่าวพร้อมทั้งรายงานได้สำเร็จลงแล้ว ทั้งนี้ด้วยความร่วมมือและสนับสนุนจากบุคคลต่างๆ ดังนี้

1. รศ. ดร. รังสรรค์	วงศ์สรรค์	(อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)
2. นาย ภูมิพงษ์	ดวงตั้ง	(นักศึกษาปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม)
3. ว่าที่ร้อยตรี วรากรณ์	สาริขา	(นักศึกษาปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม)
4. นาย พีรสัณฑ์	คำสารี	(นักศึกษาปริญญาโทสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม)

และบุคคลท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในระหว่างการจัดทำโครงงาน ทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และยังส่งผลให้คณะผู้จัดทำได้รับความรู้และประสบการณ์ในด้านต่างๆ มากมาย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่านที่อบรมสั่งสอน ให้ความรู้แก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอดและได้นำความรู้มาใช้ในการทำโครงงานนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกๆ คนที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องและคนสนิทของผู้จัดทำทุกคนที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจเสมอมา หากมีข้อผิดพลาดประการใดคณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

น.ส. นิศาชล เครือแก้ว
น.ส. กรรณิการ์ สมณียาม
น.ส. ภรภัทร เปรมฤดีชัยศักดิ์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1. บทนำ	1
2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	2
3. วัตถุประสงค์	2
4. ขอบเขตงาน	2
5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
1. ปัญหาคลื่นวิทยุชุมชนกับความปลอดภัยการจราจรทางอากาศ	4
2. คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมการจราจรทางอากาศ	5
3. การวิเคราะห์ปัญหารบกวนของวิทยุชุมชนในขณะนี้	9
4. สายอากาศ (Antenna)	10
5. ชนิดของสายอากาศ	11
6. สายอากาศโมโนโพล	18
7. สายอากาศแบบมีทิศทาง (Directive Antenna)	20
บทที่ 3 ชุดอุปกรณ์ต้นแบบและผลการทดลอง	
1. กล่าวนำ	25
2. การออกแบบชุดอุปกรณ์ต้นแบบ	25
3. การประกอบชุดอุปกรณ์ต้นแบบ	38
4. การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ	43
5. สรุปผลการทดลอง	49

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ข้อสรุปของโครงงาน	
1. กล่าวนำ	50
2. ปัญหาระหว่างการปฏิบัติงานและแนวทางการแก้ไขปัญหา	50
3. แนวทางในการพัฒนา	51
4. บทสรุปของโครงงาน	51
ประวัติผู้เขียน	ฌ
บรรณานุกรม	ญ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รายการ		หน้า
รูปที่ 1	โครงสร้างขอบเขตโครงงาน	3
รูปที่ 2.1	คลื่นวิทยุ AM	6
รูปที่ 2.2	คลื่นวิทยุ FM	7
รูปที่ 2.3	การส่งคลื่นวิทยุ AM	7
รูปที่ 2.4	ลักษณะการรบกวนคลื่นวิทยุ AM	8
รูปที่ 2.5	ลักษณะการรบกวนการบิน	8
รูปที่ 2.6	ลักษณะการรบกวนคลื่นวิทยุ FM	9
รูปที่ 2.7	สายอากาศเส้นลวดองค์ประกอบเดี่ยวแบบเส้นตรง แบบบ่วงและแบบเกรียว	11
รูปที่ 2.8	สายอากาศชนิดอะเพอร์เจอร์เดี่ยวแบบปากแตรรูปทรงต่างๆ	12
รูปที่ 2.9	โครงสร้างของสายอากาศซึ่งใช้ตัวแผ่พลังงานแบบแผ่นพิมพ์ชนิดต่างๆ	13
รูปที่ 2.10	สายอากาศแบบคลื่นรั่วซึ่งเกิดจากการทำให้ปลายของท่อนำคลื่นไดอิเล็กตริกขาดความ ต่อเนื่อง	14
รูปที่ 2.11	สายอากาศแบบตัวสะท้อนชนิดต่างๆ	15
รูปที่ 2.12	สายอากาศแบบเลนส์ซึ่งแบ่งตามรูปร่างและค่าดัชนีการหักเห	16
รูปที่ 2.13	สายอากาศแถวลำดับที่สร้างจากสายอากาศพื้นฐานชนิดต่างๆ	17
รูปที่ 2.14	โครงสร้างพื้นฐานสายอากาศไดโพล	18
รูปที่ 2.15	โครงสร้างของสายอากาศแบบโมโนโพลทั่วไป	19
รูปที่ 2.16	A SIMPLE HALF-WAVE RADIATOR	20
รูปที่ 2.17	A RADIATOR WITH A REFLECTOR	21
รูปที่ 2.18	A RADIATOR WITH A REFLECTOR AND A DIRECTOR	21
รูปที่ 2.19	A PLANE REFLECTOR	22
รูปที่ 2.20	A TYPICAL FORM OF A PLANE REFLECTOR	22
รูปที่ 2.21	A CORNER REFLECTOR	23
รูปที่ 2.22	A PARABOLIC REFLECTOR	23
รูปที่ 2.23	A HORN-ANTENNA	23
รูปที่ 3.1	หน้าต่างโปรแกรม YagiCAD	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ		หน้า
รูปที่ 3.2	ข้อมูลสายอากาศที่ต้องการ	26
รูปที่ 3.3	Radiation Pattern จากการคำนวณค่า	27
รูปที่ 3.4	หน้าต่างโปรแกรม MMANA	27
รูปที่ 3.5	ข้อมูลสายอากาศที่ต้องการ	28
รูปที่ 3.6	VIEW ของสายอากาศที่คำนวณ	28
รูปที่ 3.7	FAR FIELD PLOTS ของสายอากาศที่คำนวณ	29
รูปที่ 3.8	3D FAR FIELD ของสายอากาศที่คำนวณ	29
รูปที่ 3.9	หน้าต่างโปรแกรม 4nec2 และการแสดงผลแบบ Pattern และ Far – Field	30
รูปที่ 3.10	CORNER REFLECTOR ANTENNA	30
รูปที่ 3.11	สร้างสายอากาศแบบ Corner Reflector กำหนดขนาดและตำแหน่ง	31
รูปที่ 3.12	แบบจำลองสายอากาศ Corner Reflector	31
รูปที่ 3.13	FAR FIELD PLOTS ของสายอากาศที่คำนวณ	32
รูปที่ 3.14	3D FAR FIELD ของสายอากาศที่คำนวณ	32
รูปที่ 3.15	หน้าต่างโปรแกรม CST	33
รูปที่ 3.16	กำหนดหน่วยที่ใช้	33
รูปที่ 3.17	กำหนด Background	33
รูปที่ 3.18	สร้าง Antenna ตามที่ออกแบบ	34
รูปที่ 3.19	กำหนดความถี่ใช้งาน	34
รูปที่ 3.20	กำหนด Boundary	34
รูปที่ 3.21	กำหนดการแสดงผล เลือก E-Field, H-Field และ Far – Field	34
รูปที่ 3.22	Transient เพื่อดูผลการแผ่คลื่นของสายอากาศ	35
รูปที่ 3.23	สร้างสายอากาศตามแบบที่ใช้งาน	35
รูปที่ 3.24	S_{11} สำหรับสายอากาศหนึ่งตัว	36
รูปที่ 3.25	S_{11} สำหรับสายอากาศสี่ตัว	36
รูปที่ 3.26	ผลการแผ่คลื่น Far – Field ของสายอากาศหนึ่งตัว	36
รูปที่ 3.27	ผลการแผ่คลื่น Far – Field ของสายอากาศสี่ตัว	37
รูปที่ 3.28	การแสดง Pattern ของสายอากาศ ในระยะ Far – Field ของสายอากาศหนึ่งตัว	37
รูปที่ 3.29	การแสดง Pattern ของสายอากาศ ในระยะ Far – Field ของสายอากาศสี่ตัว	38

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ		หน้า
รูปที่ 3.30	แบบร่างสายอากาศและ Corner Reflector	38
รูปที่ 3.31	แบบร่างการทำงานโดยภาพรวมของชุดอุปกรณ์ต้นแบบ	39
รูปที่ 3.32	โครงสร้างฐานของสายอากาศ	39
รูปที่ 3.33	Corner Reflector	39
รูปที่ 3.34	ขั้นตอนการทำฐาน monopole	40
รูปที่ 3.35	สาย S-5C-FB (LF) และ SO 239 Connector	40
รูปที่ 3.36	เข้าหัวสาย SO 239 Connector	41
รูปที่ 3.37	อุปกรณ์สำหรับกล่องสวิตซ์	41
รูปที่ 3.38	กล่องสวิตซ์	42
รูปที่ 3.39	โปรแกรม Radiation Result	42
รูปที่ 3.40	Monopole	43
รูปที่ 3.41	สวิตซ์ และ SDR	43
รูปที่ 3.42	วัดค่าสัญญาณคลื่นวิทยุ	44
รูปที่ 3.43	ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุใน software	44
รูปที่ 3.44	ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศเหนือ	45
รูปที่ 3.45	ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศตะวันออก	45
รูปที่ 3.46	ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศใต้	46
รูปที่ 3.47	ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศตะวันตก	46
รูปที่ 3.48	ป้อนค่าลงในโปรแกรมเพื่อประมวลผล	46
รูปที่ 3.49	ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศตะวันเหนือ	47
รูปที่ 3.50	ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศตะวันออก	47
รูปที่ 3.51	ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศใต้	48
รูปที่ 3.52	ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศตะวันตก	48
รูปที่ 3.53	ป้อนค่าลงในโปรแกรมเพื่อประมวล	48

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

รายการ		หน้า
ตารางที่ 4.1	ปัญหาระหว่างการปฏิบัติงานและแนวทางการแก้ไขปัญหา	50

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1. บทนำ

กิจการวิทยุกระจายเสียงเป็นอีกกิจการที่ถือได้ว่าเจริญเติบโตมาก อาจแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ

1. รูปแบบกิจการวิทยุกระจายเสียงภาครัฐ/สาธารณะ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการใช้สถานีวิทยุเพื่อการพัฒนาให้เป็นไปตามนโยบายรัฐและแผนพัฒนา เศรษฐกิจและสังคมของประเทศ
2. รูปแบบกิจการวิทยุกระจายเสียงภาคเอกชน เกิดจากการสร้างประโยชน์ทางธุรกิจโดยการหากลยุทธ์การตลาดที่เน้นกลุ่มเฉพาะหรือที่เรียกว่า Niche Market เช่น สถานีวิทยุคลื่นเพลงแนวต่างๆ หรือสถานีข่าวสารจราจร ซึ่งเนื้อหาข้อมูลที่ผู้ฟังต้องการ หรือมีความสนใจร่วม ซึ่งจากกิจการวิทยุกระจายเสียงทั้ง 2 กิจการคือ ภาครัฐและเอกชน
3. รูปแบบกิจการกระจายเสียงชุมชน เกิดจากการมีปัญหาร่วม ความต้องการร่วม และความสนใจร่วมของชุมชนที่เกิดจากตัวประชาชนเอง

กิจการวิทยุชุมชนระบบ FM เป็นหนึ่งในกิจการที่เติบโตอย่างรวดเร็ว การจัดตั้งสถานีวิทยุชุมชนในประเทศไทยขณะนี้มีมากมาย ซึ่งคาดว่ามีประมาณ 2,000 สถานีทั่วประเทศ แต่เนื่องจากยังไม่มีกฎหมายรองรับ จึงทำให้สถานีวิทยุชุมชนที่มีอยู่ในขณะนี้เป็นสถานีที่ผิดกฎหมาย และบางสถานีมีปัญหาส่งคลื่นวิทยุรบกวนสถานีวิทยุคลื่นหลักและรบกวนข่ายวิทยุสื่อสารของวิทยุการบิน ตลอดจนมีการรบกวนคลื่นวิทยุโทรทัศน์บางพื้นที่ ทางราชการจึงมีการแจ้งให้หยุดการส่งกระจายเสียงสำหรับสถานีที่มีปัญหา การกำหนดกฎเกณฑ์ชั่วคราวในระยะแรกในการจัดตั้งสถานีวิทยุชุมชน คือ กำลังส่ง 30 วัตต์ เสาอากาศสูง30 เมตรจากพื้นดินและเขตบริการไม่เกิน 15 กิโลเมตร สถานีวิทยุชุมชนหลายสถานีไม่ปฏิบัติตาม และใช้ความถี่วิทยุอย่างไม่จำกัดจำนวนความถี่วิทยุและอุปกรณ์ทำงานไม่ได้มาตรฐานทางเทคนิคทำให้เกิดการรบกวนอย่างมาก อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาการขออนุญาตจัดตั้งสถานีวิทยุกระจายเสียงที่ได้ปฏิบัติมาแต่เดิม ซึ่ง กบว. ได้อนุญาตจัดสรรความถี่และจัดตั้งสถานี ปรากฏว่ามีกฎเกณฑ์และมีมาตรฐานเทคนิครัดกุมมากกว่าการจัดตั้งสถานีวิทยุชุมชนในปัจจุบันมาก

2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กิจการด้านการกระจายเสียงของสถานีวิทยุชุมชนในปัจจุบันส่งผลต่อกิจการด้านการบินเป็นอย่างมาก โดยปัญหาที่เกิดขึ้นจากกรณีวิทยุชุมชนรบกวนการสื่อสารการบิน ในลักษณะมีคลื่นแทรกเป็นคำพูดและเสียงเพลงซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการติดต่อสื่อสารระหว่างนักบินกับผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศไม่ชัดเจน อาจทำให้เกิดความเข้าใจผิดและส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยทางการบิน โดยเฉพาะในกรณีสภาพอากาศไม่ดี อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรงได้

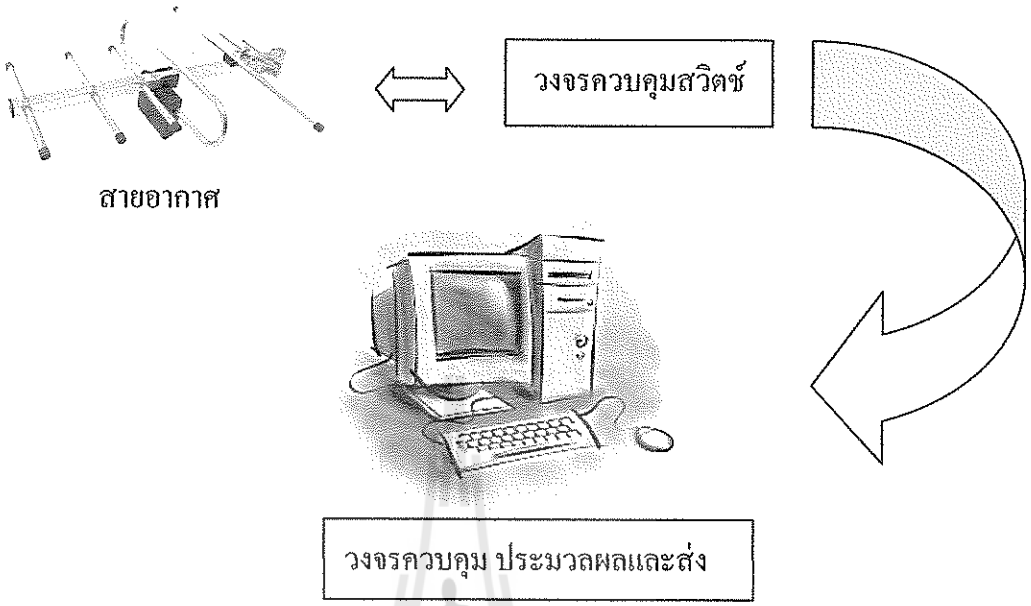
สาเหตุสำคัญ คือ เครื่องส่งไม่ได้คุณภาพทางเทคนิค (ไม่มีการควบคุมทางหน่วยงานของทางราชการ) มีสถานีวิทยุชุมชนจำนวนมากไม่จำกัดสถานีและความถี่ที่ใช้งาน ทำให้ความถี่วิทยุในอากาศจำนวนมากมีการผสมคลื่นสัญญาณรบกวนสถานีวิทยุหลักที่มีอยู่เดิม สถานีวิทยุชุมชนหลายสถานีใช้เครื่องส่งกำลังสูงและส่งคลื่นความถี่ใกล้เคียงกับคลื่นวิทยุหลักเดิมทำให้เกิดการรบกวน ดังนั้น การจัดสรรความถี่วิทยุสำหรับภาคประชาชน จะต้องมีการพิจารณาความเหมาะสมทางด้านเทคนิคและมีการควบคุมปริมาณสถานี กำลังส่ง คลื่นความถี่ ให้ถูกต้อง ก่อนที่จะมีการอนุญาต

3. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษา - ออกแบบสายอากาศและอุปกรณ์การวัดค่าและหาทิศทางของคลื่นรบกวน
2. เพื่อศึกษาการหาทิศทางโดยการใช้เทคนิคด้านสวิชต์มาใช้กับสายอากาศ
3. เพื่อศึกษาวงจรเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมจาก SDR
4. เพื่อศึกษาการประมวลผลค่าสัญญาณคลื่นรบกวน
5. เพื่อศึกษาและออกแบบการสร้างโปรแกรมประมวลผลการหาทิศทางคลื่นรบกวน

4. ขอบเขตงาน

1. ศึกษาลักษณะการรับและส่งสัญญาณของสายอากาศแต่ละชนิด
2. ออกแบบสายอากาศที่ใช้จับสัญญาณคลื่นรบกวน
3. ออกแบบวงจรสวิตช์ให้กับสายอากาศ
4. ศึกษาวงจรเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมจาก SDR
5. เขียนโปรแกรมประมวลผลการหาทิศทางคลื่นรบกวน
6. สร้างอุปกรณ์ต้นแบบทั้งหมดและทดสอบเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์



รูปที่ 1 โครงสร้างขอบเขตโครงงาน

5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษามาประยุกต์ในการทำงาน
2. สามารถนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการประกอบวิชาชีพ
3. สามารถนำความรู้ทางทฤษฎีต่างๆ มาใช้ในทางปฏิบัติงานจริง
4. สามารถทำงานร่วมกันเป็นทีมได้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาคลื่นวิทยุชุมชนกับความปลอดภัยการจราจรทางอากาศ

"วิทยุชุมชน" เกิดขึ้นครั้งแรก เมื่อปี พ.ศ. 2552 จากการรวมตัวของกลุ่มองค์กรต่างๆ ด้วยเป้าหมายเพื่อใช้เป็นช่องทางในการสะท้อนปัญหาและความต้องการของชุมชน รวมทั้งเปิดโอกาสให้ตัวแทนชุมชนได้มีส่วนร่วมในรายการของสถานีและจากการสำรวจในปัจจุบันพบว่า สถานีวิทยุชุมชนในประเทศไทยมีมากกว่า 8,508 สถานีทั่วประเทศ ทำให้หลายฝ่ายตั้งข้อสังเกตว่าคลื่นวิทยุชุมชน โดยเฉพาะคลื่นวิทยุที่ไม่ได้ขึ้นทะเบียนกับคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) อาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้คลื่นวิทยุชุมชนไปรบกวนคลื่นวิทยุที่ใช้ในกิจการควบคุมการจราจรทางอากาศ อีกทั้งคลื่นรบกวนดังกล่าวส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยทางการบิน เนื่องจากทำให้การสื่อสารระหว่างนักบินกับผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศไม่ชัดเจน และหากสื่อสารผิดพลาดอาจส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรงต่อชีวิตทรัพย์สิน และชื่อเสียงของประเทศชาติได้ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันภาครัฐได้มีการจัดตั้งห้องปฏิบัติการทดสอบเครื่องส่งวิทยุขึ้นทั่วประเทศ โดยกำหนดให้ผู้ประกอบการวิทยุชุมชนต้องลงทะเบียนกับ กสทช. เพื่อลดปัญหาเครื่องส่งวิทยุชุมชนและวิทยุกระจายเสียงไม่ได้มาตรฐานจนเกิดการส่งคลื่นรบกวนคลื่นวิทยุที่ใช้งานในกิจการการบินแล้วก็ตาม แต่ปัญหาดังกล่าวก็ยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

สาเหตุปัญหา คลื่นวิทยุชุมชนรบกวนคลื่นวิทยุที่ใช้งานในกิจการควบคุมการจราจรทางอากาศ จากการตรวจสอบพบสาเหตุสำคัญที่ทำให้คลื่นวิทยุชุมชนเข้ามารบกวนคลื่นวิทยุที่ใช้งานในกิจการควบคุมการจราจรทางอากาศ คือ เกิดจากคุณภาพเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงไม่ได้มาตรฐาน คุณภาพการเชื่อมต่อของสายอากาศและความสูงของเสาอากาศที่ไม่ถูกต้องตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด ปัญหาและอุปสรรคในช่วงที่ผ่านมาสำหรับคลื่นวิทยุชุมชุนที่ยื่นทดลองออกอากาศและส่งคลื่นรบกวนคลื่นวิทยุที่ใช้ในกิจการควบคุมการจราจรทางอากาศ กสทช. จะตรวจสอบและดำเนินการตามมาตรการต่างๆ พร้อมทั้งสั่งระงับการออกอากาศทันทีและหากพบว่าสถานีวิทยุชุมชนใดที่ไม่ได้ยื่นขอจดทะเบียนแล้วยังมีการส่งคลื่นวิทยุรบกวน กสทช. จะดำเนินการตามกฎหมายขั้นเด็ดขาด แต่จากสภาพโดยทั่วไปของการตรวจสอบหาสถานีต้นกำเนิดของสัญญาณคลื่นรบกวน ไม่สามารถทำได้อย่างทันท่วงทีจึงทำให้เกิดความล่าช้าในการแก้ปัญหา จนกระทั่งให้สัญญาณรบกวน ดังกล่าวหายไปก่อนที่จะตรวจพบทำให้คลื่นรบกวน ดังกล่าวยังคงเป็นปัญหาอยู่ในปัจจุบัน มาตรการและแนวทางแก้ไขปัญหา ทางบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทยจำกัด (บวท.) และกระทรวงคมนาคม ได้ประสานกับ กสทช. เพื่อผลักดันการบังคับใช้กฎหมายในการแก้ปัญหา

วิทยุชุมชน และเพิ่มจำนวนสถานีตรวจสอบความถี่คลื่นวิทยุรบกวนให้มากขึ้น นอกจากนี้ยังจัดตั้งคณะทำงานร่วมกันระหว่าง กสทช.และ บริษัท วิทยุการบินฯ เพื่อบูรณาการการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างเป็นรูปธรรม

2.2 คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมการจราจรทางอากาศ

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือ ITU (International Telecommunication Union) ได้กำหนดย่านความถี่สากลใช้เพื่อกิจการควบคุมจราจรทางอากาศเหมือนกันทุกประเทศทั่วโลก ภายใต้การเสนอแนะขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) ที่ย่านความถี่ 118 – 137 MHz

2.2.1 คลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ในระบบ / อุปกรณ์ของบริษัทฯ

ระบบติดตามอากาศยาน

Primary Surveillance (PSR)	1260 – 1400 MHz และ 2700 – 3300 MHz
Secondary Surveillance (SSR)	1030 MHz และ 1090 MHz
Advanced Surface Movement Radar	9000 – 9500 MHz

ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ

Non – Directional Beacon (NDB) และ Compass Locator (COM.LO)	130 – 535 MHz
Very High Frequency OMNI - Directional Range (VOR)	108 – 117.975 MHz
Distance Measuring Equipment (DME)	960 – 1215 MHz
Instrument Landing System (ILS)	108 – 117.975 MHz
Localizer Glide Slope	328.6 – 335.4 MHz
Maker	74.8 – 75.2 MHz

ระบบสื่อสารการบิน

วิทยุสื่อสาร ย่าน VHF	117.975 – 137 MHz
วิทยุสื่อสาร ย่าน UHF	225 – 400 MHz

อุปกรณ์วิทยุสื่อสาร บริเวณท่าอากาศยาน

Air – Ground	117.975 – 137 MHz
Ground – Ground	150 170 MHz และ ย่าน 400 MHz
Trunked Radio System	ย่าน 800 MHz

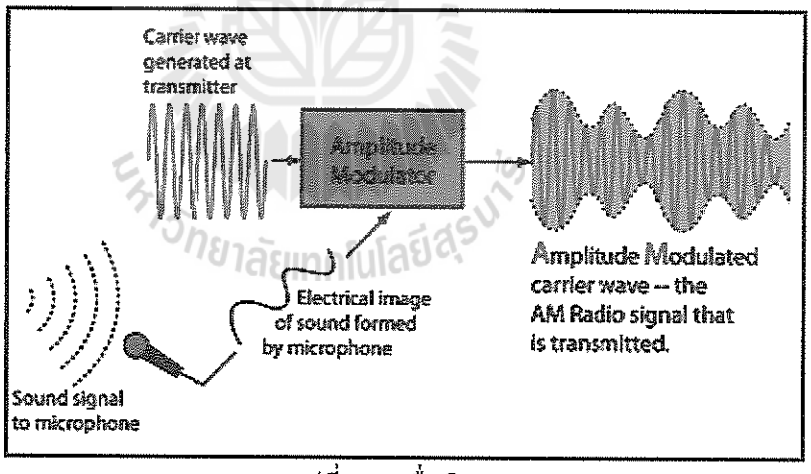
บริการสื่อสารการบินด้วยข้อมูล

สื่อสารการบินด้วยข้อมูล ย่าน HF	2850 – 22000 KHz
สื่อสารการบินด้วยข้อมูล ย่าน VHF	117.975 – 137 MHz

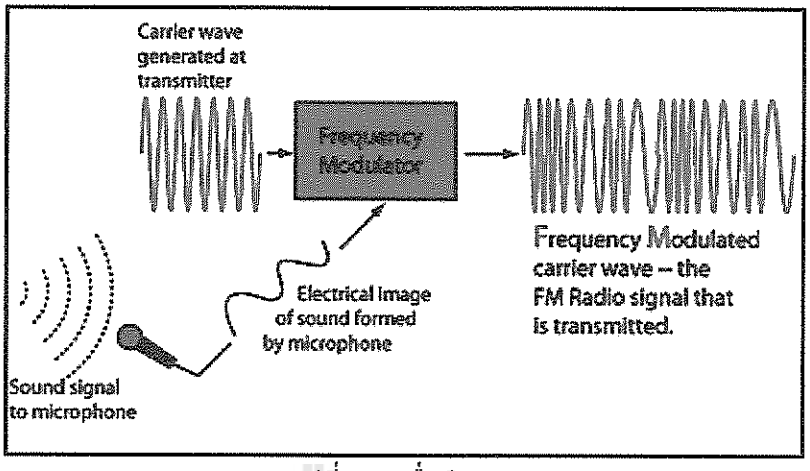
2.2.2 ปัญหาคลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมจราจรทางอากาศถูกรบกวน

คลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ในการควบคุมจราจรทางอากาศอยู่ในย่านความถี่ 118-137 MHz ซึ่งเป็นคลื่นที่ตรงกับความถี่ของคลื่นวิทยุ AM

คลื่นวิทยุ AM เป็นการรวมกันระหว่างสัญญาณเสียงกับคลื่นพาหะ ทำให้เกิดคลื่นวิทยุที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณที่ส่งออกอากาศตามสัญญาณเสียง โดยความถี่ของคลื่นพาหะยังคงที่ ซึ่งแตกต่างจากคลื่นวิทยุ FM ที่ลักษณะของคลื่นวิทยุจะมีการเปลี่ยนแปลงทางความถี่ตามสัญญาณเสียง ขณะที่ขนาดของสัญญาณที่ส่งออกอากาศไม่มีการเปลี่ยนแปลง



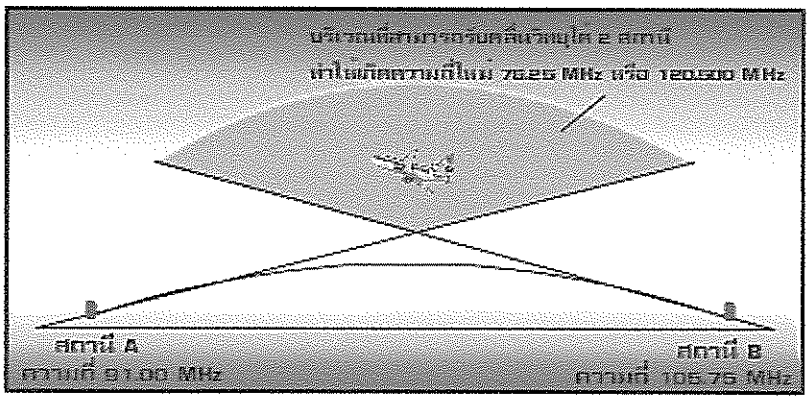
รูปที่ 2.1 คลื่นวิทยุ AM



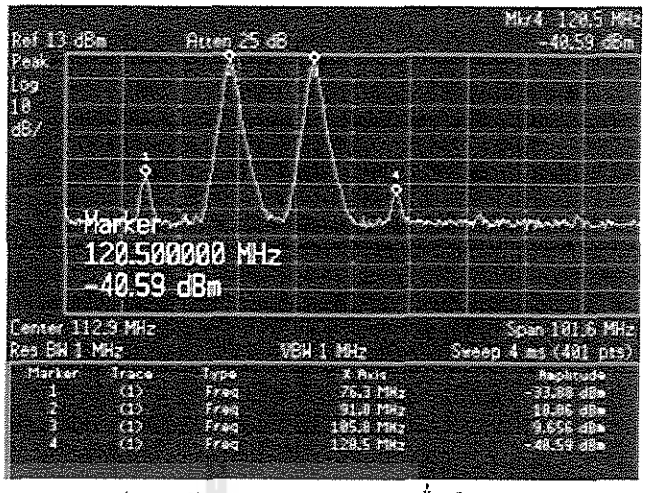
รูปที่ 2.2 คลื่นวิทยุ FM

2.2.3 การรบกวนคลื่นวิทยุ AM เกิดขึ้นได้อย่างไร

1. เหตุรบกวนจาก AM Noise หากความถี่ของคลื่นวิทยุ FM ตรงกับความถี่ของคลื่นวิทยุ AM จะเกิดการรบกวนขึ้น แต่จะสามารถรับฟังเป็นเสียงออกมาได้ชัดเจนเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณที่เรียกว่า AM Noise ซึ่งถูกส่งออกอากาศมาพร้อมกับคลื่นวิทยุ FM ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้สัญญาณวิทยุ FM มีลักษณะคล้ายกับคลื่นวิทยุ AM จึงเป็นเหตุให้เครื่องรับวิทยุ AM จึงเป็นเหตุให้เครื่องรับวิทยุ AM สามารถรับฟังเป็นเสียงได้
2. เหตุการณ์รบกวนจาก Intermodulation เมื่อคลื่นวิทยุตั้งแต่ 2 คลื่นขึ้นไป ถูกรับได้พร้อมกันในอากาศ จะทำให้เกิดคลื่นความถี่ใหม่ หากความถี่นั้นตรงกับความถี่ที่ใช้ในการควบคุมจราจรทางอากาศก็จะเกิดการรบกวนขึ้น เช่น สถานี A ความถี่ที่ 1 (91 MHz) สถานี B ความถี่ที่ 2 (105.75 MHz) จะเกิด Intermodulation Products เป็นความถี่ใหม่ คือ ความถี่ที่ 3 = 2 x 91.00 – 105.75 = 76.25 MHz และความถี่ที่ 4 = 2 x 105.75 – 91.00 = 120.500 MHz ซึ่งจะรบกวน Area Control Sector 1 ของวิทยุการบิน

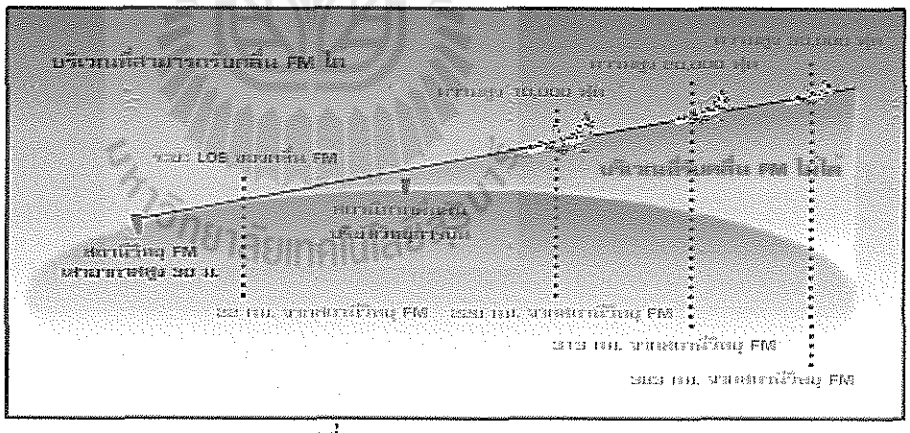


รูปที่ 2.3 การส่งคลื่นวิทยุ AM

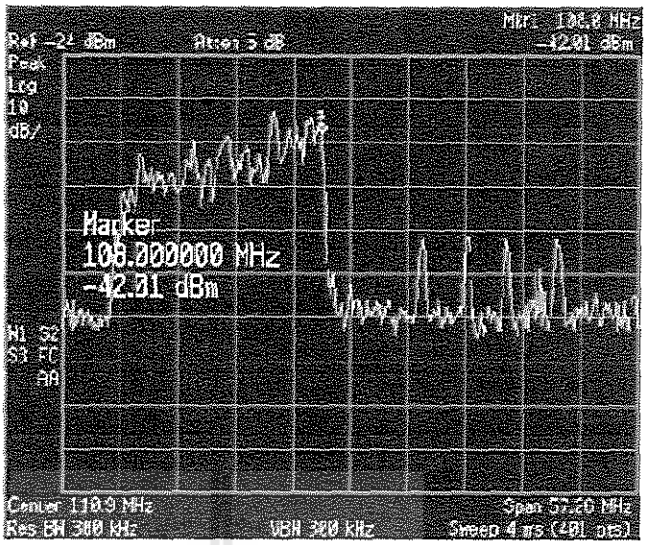


รูป 2.4 ลักษณะการรบกวนคลื่นวิทยุ AM

3. เหตุรบกวนจากย่านความถี่ของคลื่น FM ปกติเครื่องส่ง FM จะต้องไม่ส่งสัญญาณแปลกปลอม (Spurious Emission) ออกมา โดยคลื่นความถี่จะอยู่ในย่าน 88 – 108 MHz แต่เมื่อเครื่องส่งหรือระบบสายอากาศของสถานีวิทยุ FM ไม่ได้มาตรฐานจะทำให้ส่งคลื่นแปลกปลอมออกมานอกย่านที่กำหนด หากความถี่นั้นตรงกับย่าน 118 – 137 MHz ก็จะเกิดการรบกวนขึ้นที่เครื่องรับ AM ในกิจการการบินทันที



รูปที่ 2.5 ลักษณะการรบกวนการบิน



รูปที่ 2.6 ลักษณะการรบกวนคลื่นวิทยุ FM

เมื่อสถานีวิทยุ FM ออกอากาศ เครื่องรับวิทยุภาคพื้นดินจะรับสัญญาณได้ไกลสุดประมาณ 22 km. หากส่งคลื่นแปลกปลอมออกมาด้วยจะไม่รบกวนสถานีภาคพื้นดินของบริษัทวิทยุการบิน แต่จะรบกวนเครื่องบินบนอากาศเนื่องจากคลื่นสามารถเดินทางได้ตามระยะ Line of Sight (LOS)

2.3 การวิเคราะห์ปัญหารบกวนของวิทยุชุมชนในขณะนี้

1. อุปกรณ์เครื่องส่งไม่ได้มาตรฐานทางเทคนิค เนื่องจากสถานีวิทยุชุมชนบางสถานีนำเครื่องส่งวิทยุที่ผลิตภายในประเทศ โดยช่างเทคนิคซึ่งขาดความรู้ที่แท้จริงในการผลิตเครื่องส่งวิทยุเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาคือ

- ความถี่ที่ส่งออกอากาศคลาดเคลื่อน มีอาการบางครั้งมีการรบกวนมาก ช่วงเวลารบกวนไม่แน่นอน

- การขยายกำลังทำไม่ถูกต้อง มีการ Over Drive ภาค RF ทำให้มีคลื่นรบกวนเต็มตลอดย่านความถี่ 88-108 MHz รบกวนคลื่นวิทยุโทรทัศน์ทุกช่อง

- ไม่มีการติดตั้งวงจรลดทอนกำลังของคลื่นความถี่ฮาร์โมนิคที่สองและวงจรจำกัดกำลังของคลื่นความถี่แปลกปลอมอื่น ๆ เช่น Harmonic Filter, Low pass Filter ทำให้มีการรบกวนข่ายวิทยุสื่อสารที่มีความถี่สูงกว่าย่านความถี่ 88-108 MHz และคลื่นโทรทัศน์ช่องสูง

2. ระบบการส่งวิทยุกระจายเสียง FM ในต่างประเทศ จะติดตั้งเสาอากาศที่สถานีเครื่องส่งจุดเดียวกัน เช่น หอไอเฟล ประเทศฝรั่งเศส ความสูง 330 เมตร หอโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ความสูง 333 เมตร ทำให้ไม่เกิดการรบกวนคลื่นความถี่วิทยุในกรณีที่จุดรับฟังสถานีวิทยุอยู่ ใกล้สถานีใดก็จะมีผลทำให้เกิดรบกวนสถานีอื่นที่อยู่ไกลจากจุดรับฟัง เมื่อสถานีเครื่องส่งอยู่ที่จุดเดียวกัน การ

รบกวนจะน้อยลง แต่วิทยุชุมชนของประเทศไทยขณะนี้จัดตั้งสถานีกระจายอยู่ทั่วไปทุกพื้นที่ บางสถานีกำลังส่งสูง ดังนั้นถ้าอยู่ใกล้สถานีใดก็ทำให้มีการรบกวนจากสถานีวิทยุชุมชนนั้นๆ มาก

3. การกำหนดความถี่ซึ่งมีความแตกต่างจากความถี่วิทยุในพื้นที่ มีค่าผลต่างเมื่อนำมาลบกันเท่ากับ 10.7±0.1 MHz เช่น ใช้ความถี่ 92.25 MHz และในพื้นที่นั้นสามามารับฟังคลื่นความถี่103.00 MHz ความแตกต่างของความถี่เท่ากับ 10.75 MHz ซึ่งใกล้เคียงกับความถี่ของ IF (Intermediate Frequency) ของเครื่องรับ FM ทำให้เครื่องรับทำงานผิดพลาดรับฟังได้เฉพาะความถี่ใดความถี่หนึ่งหรือทั้งสองความถี่ ขึ้นอยู่กับความแรงของคลื่นวิทยุ แต่ไม่สามารถรับฟังวิทยุสถานีอื่น แม้จะหมุนเปลี่ยนไปรับสถานีอื่น

4. ตามข้อกำหนดทางเทคนิคสถานีวิทยุที่ความถี่ใกล้เคียงกันควรมีการรบกวนน้อยที่สุด60 dB (หนึ่งในพนเท่า) ซึ่งจะมีความถี่ห่างกัน 800 kHz แต่สถานีวิทยุชุมชุนในกรุงเทพฯ ใช้ความถี่ห่างกันระหว่างช่องความถี่สถานีวิทยุคลื่นหลัก 250 kHz จะมีการรบกวน 2 dB (26%) ซึ่งตามหลักการไม่ควรอนุญาตให้มีการใช้ความถี่ใกล้เคียงลักษณะนี้

5. การรบกวนคลื่นโทรทัศน์ จะมีการรบกวน คือ

- คลื่นความถี่ฮาร์โมนิคที่สองคือ176-216 MHz (ของความถี่ FM 88-108 MHz) ตรงกับคลื่นความถี่วิทยุโทรทัศน์ช่อง 5-11 หากไม่มีฮาร์โมนิคฟิลเตอร์ที่เครื่องส่งหรือผู้ที่อยู่ใกล้สถานีส่งวิทยุชุมชนอาจถูกรบกวนได้แล้วแต่ความถี่ที่ออกอากาศไปตรงกับช่องโทรทัศน์ใด \

- การผสมคลื่นความถี่วิทยุหลายสถานีหรือคลื่นฮาร์โมนิคไปผสมกับคลื่นวิทยุหรือมีการผสมคลื่นหลาย ๆ สถานีกลางอากาศ (Intermodulation) ซึ่งจะมีผลรบกวนกับคลื่นโทรทัศน์ที่มีสัญญาณต่ำหรือเครื่องรับโทรทัศน์อยู่ใกล้กับกลุ่มสถานีวิทยุ

6. การรบกวนคลื่นวิทยุสื่อสารโทรคมนาคม เช่น วิทยุควบคุมการบิน เครื่องส่งวิทยุที่ไม่มีการควบคุมคลื่นความถี่แปลกปลอม (Spurious Emission) หรือมีวงจรลดทอนกำลังของคลื่นฮาร์โมนิคที่สองจะมีการรบกวนสูง ส่วนมากเป็นเครื่องส่งผลิตเองภายในประเทศไม่ได้มาตรฐาน

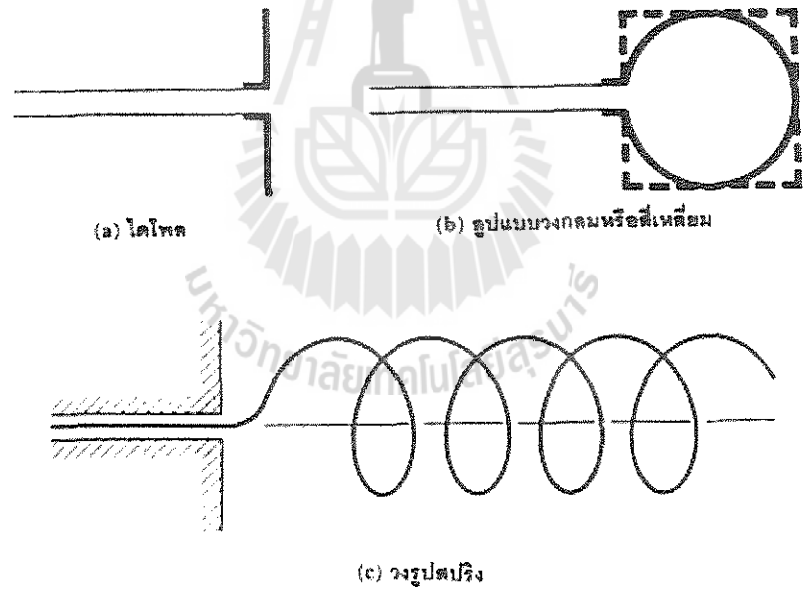
2.4 สายอากาศ (Antenna)

สายอากาศ หรือที่ศัพท์ภาษาอังกฤษเรียกว่า Antenna หรือ Aerial หรือ Electromagnetic Radiator คือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแผ่กระจายกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปหรือในทางกลับกัน ใช้สำหรับรับกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้ามา สายอากาศจะทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์การนำทาง (Guiding Device) ให้แก่คลื่น เช่น สายส่ง (Transmission Line) สัญญาณหรือ ท่อนำคลื่น (Waveguide) กับอากาศว่าง (Free-space) หรือที่บ่อยครั้งมักจะเรียกว่า ตัวกลางไม่มีขอบเขต (Unbound Medium)

ส่วนหน้าที่หลักของสายอากาศก็คือ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานของคลื่นที่เดินทางในอุปกรณ์การนำทางให้อยู่ในรูปพลังงานของคลื่นที่เดินทางในอวกาศว่างในกรณีที่เป็นสายอากาศการส่ง (Transmitting Antenna) หรือในทางกลับกันเมื่อทำหน้าที่เป็นสายอากาศการรับ (Receiving Antenna) ก็จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานของคลื่นที่เดินทางในอวกาศว่างให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปพลังงานของคลื่นที่เดินทางในอุปกรณ์การนำทาง โดยการทำงานทั้งสองหน้าที่จะต้องทำได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าเทียมกันเท่าที่จะเป็นไปได้ และที่สำคัญในขณะที่ใช้งานนั้นกำลังงานของคลื่นที่แผ่กระจายออกไปในอวกาศว่างจะต้องมีแบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern) ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่กำหนดหรือที่ได้ออกแบบเอาไว้

2.5 ชนิดของสายอากาศ

1. สายอากาศแบบลวดตัวนำ (wire antennaรู

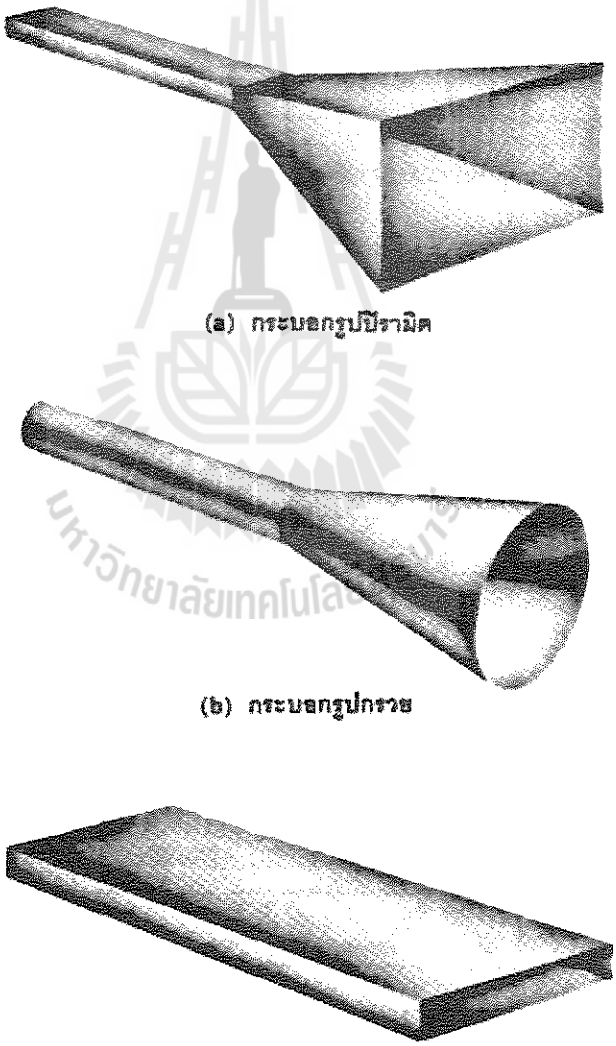


รูปที่ 2.7 สายอากาศเส้นลวดองค์ประกอบเดี่ยวแบบเส้นตรง แบบบ่วงและแบบเกรียว

สายอากาศชนิดเส้นลวดจะมีรูปร่างที่แตกต่างและหลากหลาย โดยสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้ คือ กลุ่มที่เป็นเส้นลวดตรง เช่น สายอากาศไดโพล โมโนโพล กลุ่มที่มีลักษณะเป็นบ่วงหรือลูป เช่น สายอากาศแบบบ่วงวงกลม (Circular Loop) แบบบ่วงสี่เหลี่ยม (Square Loop) และแบบงบ่วงรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (Rhombic Loop) เป็นต้น อีกกลุ่มหนึ่งจะเป็นสายอากาศแบบเกลียว

(Helical Antennas) ซึ่งอาจจะเป็นเกลียวเหมือนกันแต่ต่างกันที่รัศมี สายอากาศชนิดเส้นลวดจัดได้ว่าเป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด ความยาวของสายอากาศจะคำนวณจากความยาวคลื่น (Wavelength) ของความถี่ที่ใช้งาน แต่จะมีข้อจำกัด คือ จะใช้งานได้กับย่านความถี่ช่วงแรกของความถี่ไมโครเวฟ (สูงสุดที่ 1 – 2 GHz) เท่านั้น เพราะขนาดจะสั้นมากและในทางตรงกันข้ามสายอากาศจะมีขนาดที่ยาวมากหากใช้งานที่ความถี่ต่ำเกินไป

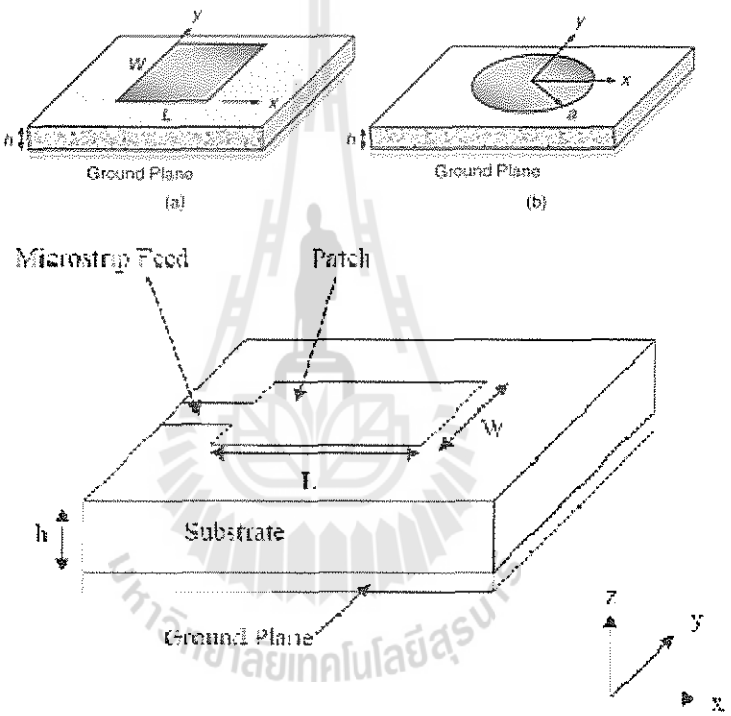
2. สายอากาศแบบอะเพอร์เจอร์ (Aperture Antennas)



รูปที่ 2.8 สายอากาศชนิดอะเพอร์เจอร์เดี่ยวแบบปากแตรรูปทรงต่างๆ

สายอากาศอะเพอร์เจอร์ ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาในช่วงระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 พร้อมกับการเกิดเทคโนโลยีทางด้านสายนำสัญญาณชนิดท่อนำคลื่น (Waveguide) โดยในครั้งแรกนั้นท่อนำคลื่นมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้เป็นสายส่งคลื่นไมโครเวฟที่มีกำลังส่งสูง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากหลอดแม็กนีตรอน (Magnetron) และหลอดไคลสตรอน (Klystron) โดยสายอากาศชนิดอะเพอร์เจอร์นี้นิยมใช้งานในย่านความถี่ตั้งแต่ 1 – 20 GHz

3. สายอากาศแผ่นพิมพ์ (Printed Patch Antennas)



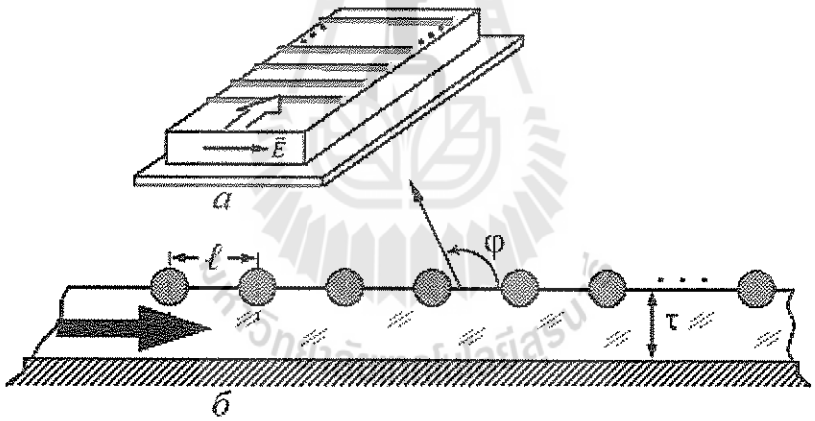
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสายอากาศซึ่งใช้ตัวแผ่พลังงานแบบแผ่นพิมพ์ชนิดต่างๆ

สายอากาศซึ่งใช้ตัวแผ่พลังงานเป็นแบบแผ่นพิมพ์ ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาในช่วงต้นของปี ค.ศ. 1970 โดยโครงสร้างของสายอากาศแผ่นพิมพ์ประกอบด้วยแผ่นตัวนำซึ่งทำหน้าที่ในการแผ่กระจายคลื่น วางอยู่บนแผ่นไดอิเล็กตริกซับเสรต (Dielectric Substrate) โดยมีระนาบกราวด์โลหะรองรับอยู่ด้านล่างอีกชั้นหนึ่ง ปัจจุบันส่วนที่เป็นแผ่นซึ่งใช้ในการแผ่พลังงาน ได้ถูกพัฒนาออกมาในลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 1980 ได้มีการพัฒนาสายอากาศ ใช้ตัวแผ่พลังงานแบบร่องแผ่นพิมพ์ (Printed Slot Radiators) มาใช้งานในย่านไมโครเวฟที่มีความถี่สูงกว่า 10 GHz ซึ่งในปัจจุบันยังคงเป็นที่สนใจและถูกพัฒนาออกมาในหลายรูปแบบอย่างต่อเนื่อง โดยสามารถนำมาใช้กับวงจรรวมทางอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้น

4. สายอากาศแบบคลื่นรั่ว (Leaky-Wave Antennas)

สายอากาศชนิดนี้ได้ถูกออกแบบจากท่อนำคลื่นที่ใช้งานในย่านคลื่นมิลลิเมตร (Millimeter Wave) เช่น ตัวนำคลื่นชนิดไดอิเล็กตริก (Dielectric Guide) สายไมโครสตริป (Microstrip Line) สายอากาศชนิดนี้จะถูกใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 30 GHz ขึ้นไปจนถึงความถี่อินฟราเรด (Infrared Frequency) โครงสร้างของท่อหรือสายส่งจะทำให้ขาดความต่อเนื่องด้วยระยะห่างที่เท่ากัน โดยที่ปลายของท่อหรือของสายส่งจะทำให้เกิดการแผ่คลื่นในลักษณะที่คล้ายกับการรั่วออกมาที่ผิวของไดอิเล็กตริกหรือที่ผิวของสายส่งที่ถูกนำมาสร้างเป็นสายอากาศ ซึ่งปัจจุบันนี้สายอากาศแบบคลื่นรั่วยังคงเป็นที่สนใจของนักวิจัยตลอดมา เนื่องจากสามารถสร้างออกมาได้ในหลายรูปแบบมาก

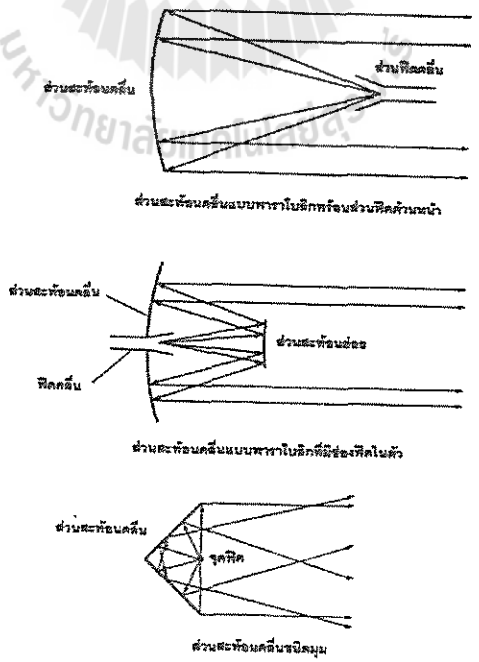


รูปที่ 2.10 สายอากาศแบบคลื่นรั่วซึ่งเกิดจากการทำให้ปลายของท่อนำคลื่นไดอิเล็กตริกขาดความ ต่อเนื่อง

5. สายอากาศแบบตัวสะท้อน (Reflector Antennas)

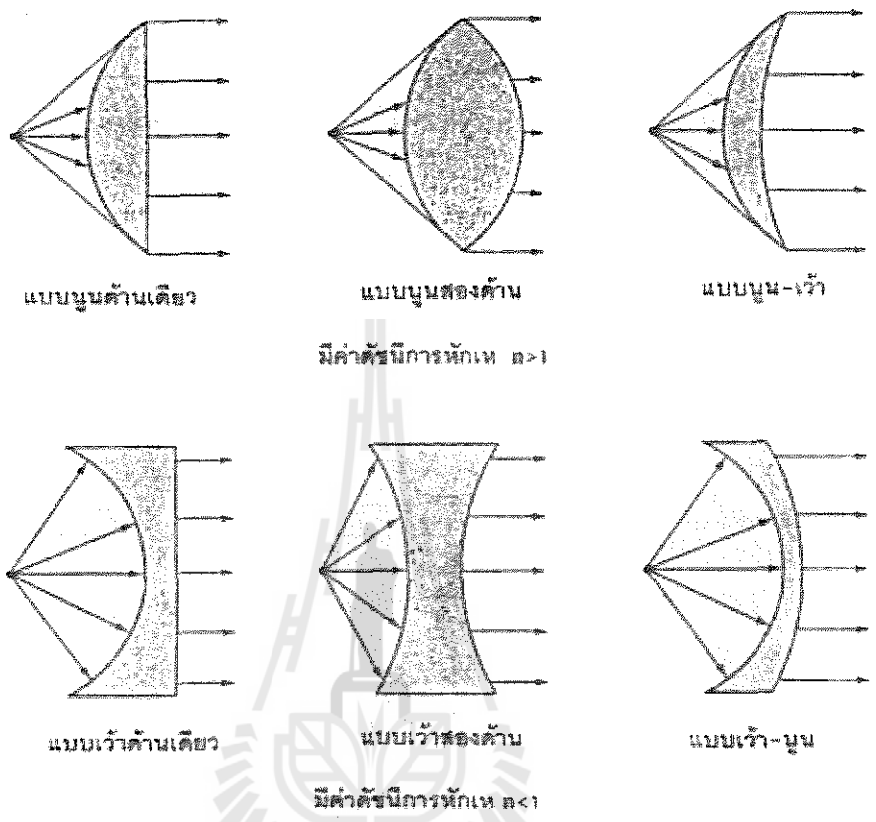
หลักการของสายอากาศแบบตัวสะท้อน จะใช้หลักการในการรวมพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดที่เดินทางเป็นเส้นขนานเข้ามาตกกระทบกับผิวของตัวสะท้อนให้ไปอยู่ที่ตำแหน่งจุดโฟกัส (Focal Point) ซึ่งอยู่ด้านหน้าของตัวสะท้อนและเป็นบริเวณที่มีการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ (Signal Receiver) หรือตัวป้อน (Feeder) สัญญาณเอาไว้ ณ จุดเดียวกันนี้ ในทางตรงกันข้าม เมื่อมีการส่งคลื่นจากจุดโฟกัสลงไปตกกระทบกับผิวของตัวสะท้อน ก็จะเกิดการสะท้อนของคลื่นในลักษณะของคลื่นที่เป็นเส้นขนานกันออกไปในอวกาศว่าง ลักษณะผิวของตัว

สะท้อนที่สามารถให้คุณสมบัติของการสะท้อนดังกล่าว ได้แก่ ตัวสะท้อนแบบจานพาราโบลา (Parabolic Dish) ซึ่งมีการใช้งานมาเป็นระยะเวลานานแล้ว แต่ผู้ที่นำจานแบบพาราโบลามาใช้ในการรับส่งคลื่นวิทยุเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1888 ได้แก่ Heinrich Hertz ส่วนตัวสะท้อนแบบมุม (Corner Reflector) ยังคงมีใช้กันอยู่บ้าง แต่ไม่มากนัก อย่างไรก็ตามเนื่องจากสายอากาศแบบตัวสะท้อนนี้เป็นสายอากาศที่ให้ค่าอัตราขยาย (Gain) และค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่สูงมาก จึงนิยมนำมาใช้ในงานการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุที่มีระยะไกลมากๆ เช่น การสื่อสารกับยานสำรวจอวกาศกับสถานีภาคพื้นโลก การสื่อสารดาวเทียม เป็นต้น แต่เนื่องจากสายอากาศประเภทนี้มีขนาดใหญ่น้ำหนักมาก ทำให้การติดตั้งและการบำรุงรักษาค่อนข้างลำบากและยุ่งยาก จากสถิติของสายอากาศแบบตัวสะท้อนที่มีขนาดใหญ่ระดับโลกที่ควรรู้จักคือ สายอากาศตัวสะท้อนแบบพาราโบลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 m ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ Max Plank Institute for Radioastronomy Radio Telescope ที่เมือง Effelsberg ประเทศเยอรมัน สายอากาศแบบเดียวกันนี้อีกแห่งหนึ่งซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน ติดตั้งอยู่ที่ The Green Bank Telescope (The national Radio Astronomy Observatory) ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับตัวสะท้อนแบบทรงกลม (Spherical Reflector) ที่ถือว่าใหญ่ที่สุดในโลก จะเป็นของ National Astronomy and Ionosphere Center ของประเทศสหรัฐอเมริกา แต่มีสถานที่ติดตั้งอยู่ที่เมือง Arecibo ประเทศเปอร์โตริโก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่มากถึง 304.8 เมตร



รูปที่ 2.11 สายอากาศแบบตัวสะท้อนชนิดต่างๆ

6. สายอากาศแบบเลนส์ (Lens Antennas)

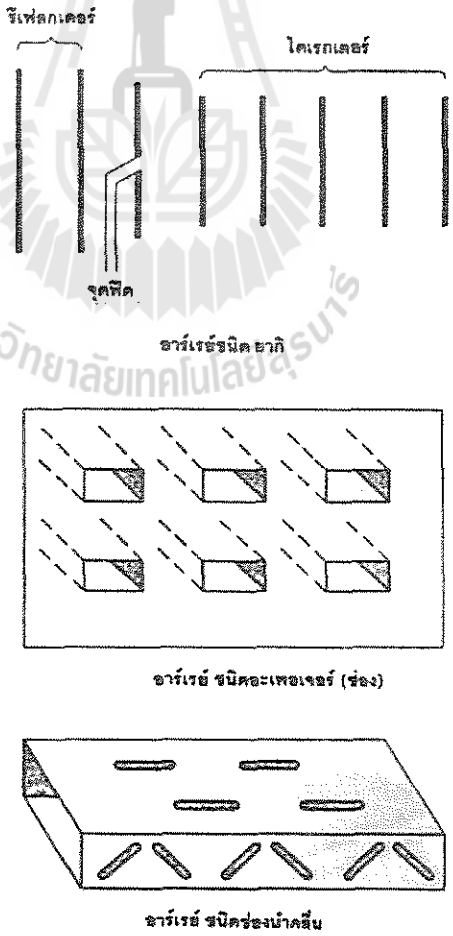


รูปที่ 2.12 สายอากาศแบบเลนส์ซึ่งแบ่งตามรูปร่างและค่าดัชนีการหักเห

สายอากาศแบบเลนส์จะมีหลักการทำงานคล้ายกับตัวสะท้อนที่ใช้ในสายอากาศแบบตัวสะท้อน โดยทำหน้าที่รวมเอาพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระจัดกระจายในทิศทางที่ไม่คงที่ ให้อยู่ในรูปของคลื่นระนาบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Plane Wave) โดยทั่วไปมักจะนำเลนส์มาใช้เป็นตัวสะท้อนในงานความถี่สูงมากๆ (สูงกว่า 100 GHz) และมีการแบ่งชนิดและการตั้งชื่อของเลนส์ตามรูปร่างและชนิดของวัสดุที่ใช้

7. แถวลำดับของสายอากาศ (Antenna Arrays)

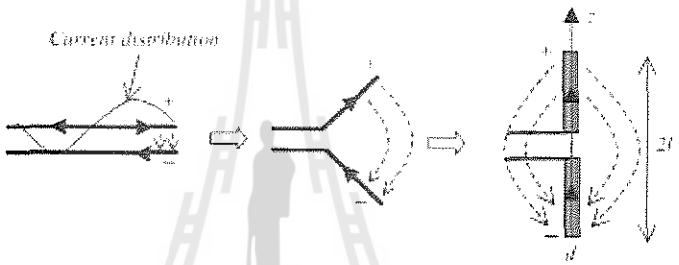
การนำสายอากาศมาจัดเป็นแถวลำดับ คือ การนำสายอากาศหรือตัวแผ่พลังงานที่มีลักษณะเหมือนกันตั้งแต่สองตัวขึ้นไป มาจัดวางเรียงกันตามรูปทรงเชิงเรขาคณิต เพื่อให้ได้คุณสมบัติในการแผ่พลังงานตามลักษณะเฉพาะที่ผู้ออกแบบต้องการ ซึ่งแตกต่างจากการใช้คุณสมบัติของสายอากาศเพียงตัวเดียว นอกจากการจัดวางให้สายอากาศมีลักษณะเป็นแถวลำดับเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการแล้ว ยังสามารถควบคุมการเปลี่ยนทิศทางของรูปแบบการแผ่พลังงานของแถวลำดับ หรือควบคุมการกวาดด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Scanning) โดยการควบคุมการเลื่อนเฟสและแอมปลิจูดของสัญญาณที่ป้อนให้กับแถวลำดับ การจัดแถวลำดับแบบนี้จะเรียกว่า แถวลำดับแบบจัดเฟส ทั้งนี้การออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศแบบแถวลำดับนี้จะไม่มีลักษณะที่ตายตัว แต่จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ในปัจจุบันได้นำเอาเทคโนโลยีด้านการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) มาช่วยในการออกแบบทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ๆ เช่น สายอากาศเก่ง (Smart Antennas) และสายอากาศการติดตาม (Tracking Antennas) เป็นต้น



รูปที่ 2.13 สายอากาศแถวลำดับที่สร้างจากสายอากาศพื้นฐานชนิดต่างๆ

2.6 สายอากาศโมโนโพล

สายอากาศโมโนโพล เป็นการพัฒนารูปแบบและการทำงานจากสายอากาศไดโพลที่ทำงานแบบสองขั้ว โดยนำมาใช้เพียงแขนด้านบนของไดโพล และป้อนสัญญาณเข้าที่กึ่งกลางของไดโพลเช่นเดิมแต่ใช้วิธีเทียบกับระนาบกราวด์แทน ดังนั้นหากเป็นโมโนโพลที่มาจากไดโพลครึ่งคลื่นก็จะมีความยาวของโมโนโพลเท่ากับหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่น ($\lambda/4$) หรือที่เรียกเป็นภาษาอังกฤษว่า Quarter-Wavelength Momopole การแจงรูปกระแสที่เกิดขึ้นบนโมโนโพลนี้จะมีลักษณะเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นบนแขนด้านบนของไดโพลครึ่งคลื่น โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่จุดป้อนสัญญาฯและลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งมีค่าเป็นศูนย์เมื่ออยู่ที่ปลายของโมโนโพล พื้นฐานการทำงานของสายอากาศไดโพลแสดงดังรูป

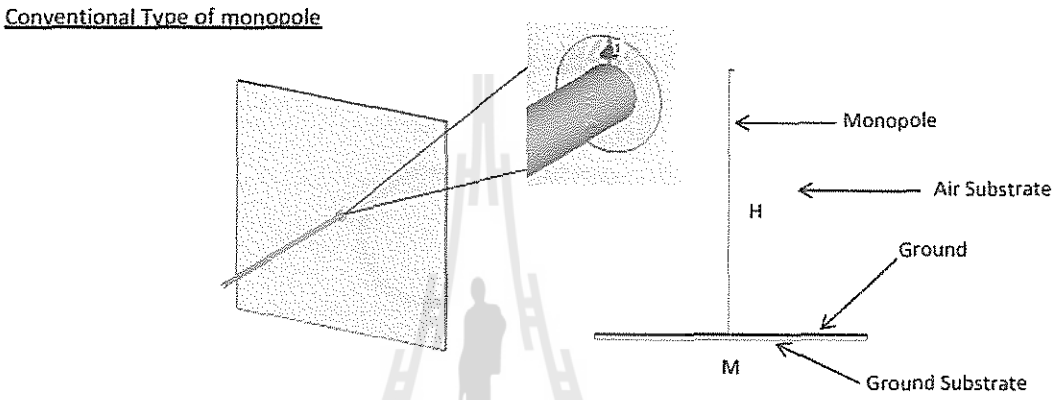


รูปที่ 2.14 โครงสร้างพื้นฐานสายอากาศไดโพล

โครงสร้างจะเป็นสายส่งสองตัวนำปลายเปิดสองเส้น จุดที่ความยาวปลายสุดเท่ากับ $\lambda/4$ เมื่อโค้งหรือหักงอให้ปลายสายมีลักษณะบานออกหรือหันไปทางตรงข้ามกันจะทำให้สายตัวนำเกิดการแผ่กระจายคลื่นออกไป ซึ่งเรียกว่า สายอากาศไดโพล ความยาวทั้งหมดของสายอากาศไดโพลเท่ากับ $\lambda/2$ ของความถี่ที่ใช้งาน ส่วนสายอากาศโมโนโพลจะใช้ตัวนำด้านบนเพียงตัวเดียวที่เป็นตัวแผ่กระจายคลื่น ส่วนตัวนำอันล่างจะเป็นระนาบกราวด์ จะเห็นได้ว่า ที่ความถี่เดียวกัน สายอากาศโมโนโพลจะมีความยาวตัวแผ่กระจายคลื่น เท่ากับ $\lambda/4$ แต่สายอากาศไดโพล จะเท่ากับ $\lambda/4$ สองข้าง สามารถพิจารณาได้ว่า สายอากาศไดโพลอาศัยหลักการทำงานครึ่งหนึ่งของสายอากาศไดโพลและมีระนาบกราวด์เข้ามาทดแทนอีกครึ่งหนึ่งเพื่อให้กระบวนการทำงานสมบูรณ์ สายอากาศโมโนโพลจะป้อนสัญญาณเพียงขั้วเดียวและจะใช้ระนาบกราวด์แทนขั้วที่เหลือ แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลจะคล้ายกับสายอากาศไดโพล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของระนาบกราวด์ ซึ่งในทางอุดมคติแล้วระนาบกราวด์ของสายอากาศโมโนโพลจะเป็นระนาบกราวด์สมบูรณ์แบบ และเป็นอนันต์ ส่งผลให้แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นมีเพียงด้านบน หรือเพียงครึ่งบนของสายอากาศไดโพล แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะพบว่า ไม่สามารถออกแบบระนาบกราวด์ได้ตามอุดมคติ ดังนั้นระนาบกราวด์สายอากาศโมโนโพลในทางปฏิบัติจึงเล็กกว่าในทางทฤษฎีมาก จึงทำ

ให้แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นเกิดการเปลี่ยนทิศทางออกไปทางด้านหลังของระนาบกราวด์ด้วย หากออกแบบให้สายอากาศโมโนโพลมีระนาบกราวด์ขนาดเล็กมาก จะพบว่า แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นมีลักษณะคล้ายกับสายอากาศไดโพล ซึ่งมักจะเรียกกันว่า มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นคล้ายรอบตัว (like omnidirectional)

การออกแบบสายอากาศโมโนโพล



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของสายอากาศแบบโมโนโพลทั่วไป

จากรูป จะเห็นว่าโครงสร้างโดยทั่ว ไปของสายอากาศแบบโมโนโพล ประกอบด้วย 3 ส่วน คือกราวด์ ซับสเตรตและเสาโมโนโพล ในส่วนของซับสเตรตจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อยคือ Ground Substrate และ Air Substrate ซึ่งในการออกแบบนี้ ซับสเตรตที่มีผลต่อการออกแบบจริงคือ Air Substrate เท่านั้น โดยมีค่า $\varepsilon_r = 1$ ส่วน Ground Substrate ใช้เป็นเพียงฐานรองของชั้นกราวด์เท่านั้น ในรูปกราวด์จะมีรูปทรงเป็น 4 เหลี่ยมจัตุรัสกว้างด้านล่ะ M มิลลิเมตร ส่วนเสาโมโนโพลสูง H มิลลิเมตร ตำแหน่งของการป้อนสัญญาณ (feed point) จะอยู่ที่จุดกึ่งกลางของแผ่นกราวด์โดยจะกัดเอาส่วนทองแดงออกเป็นรูปวงกลม เพื่อไม่ให้ซับสเตรตและกราวด์ มีการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าต่อกัน โดยที่ขนาด M และ H สามารถหาได้ดังนี้

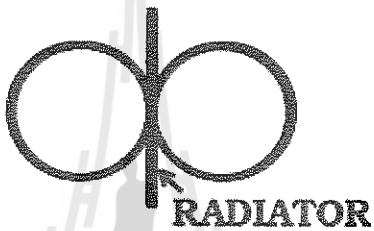
$$M \cong \frac{\lambda}{3} \ (m) \qquad (1)$$

$$H \cong \frac{\lambda}{4} \ (m) \qquad (2)$$

การปรับเปลี่ยนขนาดของกราวด์จะส่งผลต่อความถี่เล็กน้อย แต่จะส่งผลต่อ Input impedance มากกว่า ซึ่งจะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศ ทั้งสองสมการเป็นสมการโดยประมาณเท่านั้น

2.7 สายอากาศแบบมีทิศทาง (Directive Antenna)

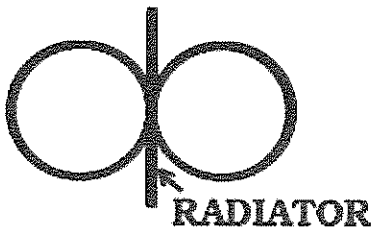
สายอากาศแบบทิศทางจะแผ่พลังงานเป็นรูปวงกลมรอบตัวมันเอง จะมีพลังงานส่วนน้อยที่จะแผ่ไปในทิศทางที่กำหนด ในการทำสายอากาศให้เป็นแบบทิศทางนั้น จำนวนพลังงาน RF ที่จะส่งไปในทิศทางที่กำหนดจะเพิ่มขึ้นได้หลายเท่าโดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มกำลังส่ง



รูปที่ 2.16 A SIMPLE HALF-WAVE RADIATOR

1) TERMINOLOGY ทิศทางแพร่กระจายพลังงานก็คือ ทิศทางที่มุ่งไปข้างหน้าและทิศทางตรงกันข้ามก็คือ ทิศทางที่มุ่งไปด้านหลัง ชิ้นส่วนของสายอากาศที่แพร่กระจายพลังงานเราเรียกว่า RADIATOR และชิ้นส่วนซึ่งวางอยู่ในทิศทางของการแพร่กระจายพลังงานก็คือ ส่วนหน้าของสายอากาศ และมีชื่อว่า DIRECTOR ชิ้นส่วนที่อยู่หลัง RADIATOR ก็คือ ตัวสะท้อน (REFLECTOR) ซึ่งรับสัญญาณคลื่นจากด้านหลัง และสะท้อนส่งไปข้างหน้า ชิ้นส่วนประกอบต่างๆ รวมกันเรียกว่า ARRAY และถ้าชิ้นส่วนที่เป็นตัวขับกำลังงาน (RADIATOR) ไปกระตุ้นการทำงานของชิ้นส่วนอื่นๆ มันก็มีชื่อว่า PARASITIC ARRAY

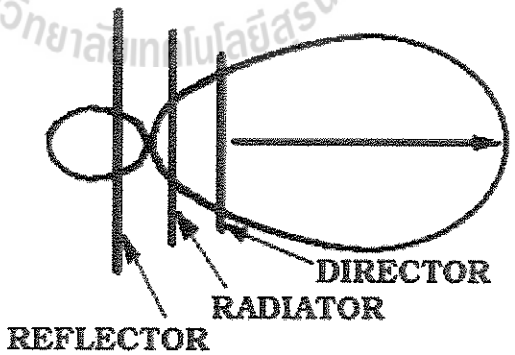
2) PARASITIC REFLECTOR เหมือนกับ RADIATOR ตามปกติแล้วจะทำด้วยวัตถุชนิดเดียวกัน แต่ยาวกว่าประมาณ 5% PARASITIC REFLECTOR จะถูกกระตุ้นด้วยพลังงานจาก RADIATOR และไม่ต้องการพลังงานจากตัวของมันเอง เมื่อใส่ PARASITIC REFLECTOR ประมาณ 0.15 – 0.25 ของความยาวคลื่นเข้าไปที่ข้างหลังของ RADIATOR พลังงานก็แพร่กระจายกลับไปข้างหน้า พลังงานที่แพร่กระจายไปข้างหลังยกเว้นส่วนที่สูญเสียไปใน REFLECTOR จะพุ่งไปข้างหน้าเพื่อไปเสริมกับการแพร่กระจายที่พุ่งไปข้างหน้า สายอากาศ HALF-WAVE แพร่พลังงานไปในพื้นที่ที่ลดลง และกำลัง (POWER) ที่พุ่งไปในทิศทางข้างหน้าก็จะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.17 A RADIATOR WITH A REFLECTOR

3) PARASITIC DIRECTORS จะมีขนาดสั้นกว่า RADIATOR 5% และตั้งอยู่หน้า RADIATOR ประมาณ 0.15-0.25 ของความยาวคลื่น อาจจะใช้ตัว DIRECTOR จำนวน 1 หรือมากกว่านั้น ใน YAGI ARRAY RADIATOR เป็นตัวส่งพลังงานเข้าไปกระตุ้นตัว DIRECTOR เพื่อส่งพลังงาน RF พุ่งไปข้างหน้าในลักษณะลำคลื่น ตัว DIRECTOR ทำให้เกิดผลในการทำงานคล้ายๆ กับการท างานของเลนซ์ของสายตา

4) YAGI ARRAY จะใช้ชิ้นส่วน PARASITIC จำนวน 2 ชิ้นหรือมากกว่า ประกอบด้วยชิ้นส่วน อันหนึ่งทำหน้าที่ขับ อีกชิ้นหนึ่งทำหน้าที่สะท้อน และอาจจะมี DIRECTOR เพิ่มขึ้นอีก 1 อันหรือมากกว่านั้นก็ได้ ตามปกติแล้ว YAGI ARRAY จะมีกำลังเพิ่มขึ้นประมาณ 7 dB (5 เท่า) เหนือสายอากาศ HALF - WAVE การปรับแต่งที่ทำอย่างละเอียดถูกต้องเกี่ยวกับความยาวและระยะสามารถจะ Concentrate สัญญาณ 3 - 9 ในทิศทางที่พุ่งไปข้างหน้า ฉะนั้นจะมีพลังสามารถเพิ่มกำลังได้ถึง 9 dB (8 เท่า) เหนือกว่าสายอากาศ HALF - WAVE

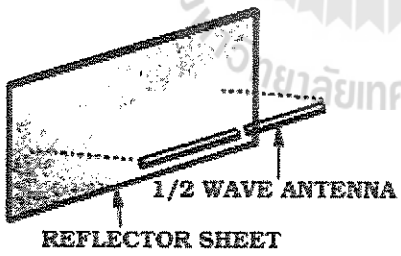


รูปที่ 2.18 A RADIATOR WITH A REFLECTOR AND A DIRECTOR

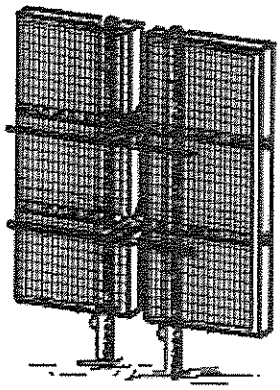
5) IMPEDANCE MATCHING จะก่อให้เกิดปัญหาเมื่อเราใช้ DIPOLE แบบธรรมดาเป็นชิ้นส่วนสำหรับขับหรือใช้เป็นตัวแพร่กระจายคลื่นใน PARASITIC ARRAY เมื่อจำนวนของชิ้นส่วนใน ARRAY เพิ่มขึ้น INPUT IMPEDANCE ของชิ้นส่วนที่เป็นตัวขับจะลดลง เมื่อใช้ CONVENTIONAL DIPOLE เป็น DRIVEN ELEMENT ใน YAGI ARRAY ซึ่งมี 3 ชิ้นส่วน INPUT IMPEDANCE ก็จะมีประมาณ 8 โอห์ม เมื่อเปรียบเทียบ กับ IMPEDANCE ของสายอากาศซึ่งเป็น 73 โอห์ม FOLDED DIPOLE ที่ใช้เป็น DRIVEN ELEMENT จะเพิ่ม INPUT IMPEDANCE โดยไม่ต้องใช้ IMPEDANCE-TRANSFORMATION ความต้านทางการแพร่พลังงานจะเพิ่มขึ้นเป็นแฟกเตอร์ของ 4 หรือมากกว่านี้ ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปตามแต่การออกแบบของ FOLDED DIPOLE

6) REFLECTOR ANTENNAS มักใช้ REFLECTORS เพื่อช่วยปรับแต่งรูปร่างการแพร่กระจาย คลื่นของสายอากาศ สำหรับในการใช้วิทยุแบบ MULTICHANEL REFLECTOR ตัวนี้จะเพิ่มกำลังและทิศทางข้างหน้าและลดการแพร่กระจายคลื่นทางด้านหลัง REFLECTOR เป็นตัวสกัดพลังงานวิทยุและส่งกำลังย้อนกลับไปในทิศทางอื่นๆ ทำนองเดียวกันกับกระจกเงาสะท้อนแสง

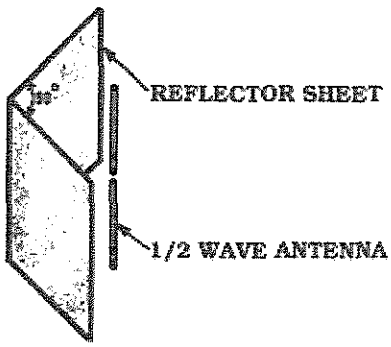
ก) REFLECTOR แบบทั่วๆ ไปมีดังต่อไปนี้ คือ PLANE REFLECTOR, CORNER REFLECTOR และ PARABOLIC REFLECTOR อาจจะใช้แบบอื่นอีกก็ได้



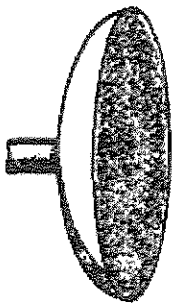
รูปที่ 2.19 A PLANE REFLECTOR



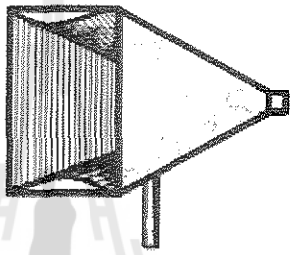
รูปที่ 2.20 A TYPICAL FORM OF A PLANE REFLECTOR



รูปที่ 2.21 A CORNER REFLECTOR



รูปที่ 2.22 A PARABOLIC REFLECTOR



รูปที่ 2.23 A HORN-ANTENNA

ข) REFLECTOR ของสายอากาศส่วนมากมักจะตั้งอยู่กลางแจ้ง เพราะฉะนั้นก็จะทำให้เป็นประโยชน์อย่างมากในการที่จะใช้ฉากหรือตะแกรง, แผ่นเจาะรู เพราะทั้งสามอย่างนี้จะลดการต้านลม แต่จะทำหน้าที่สะท้อนพลังงานวิทยุได้ดีเท่ากับแผ่นทึบ REFLECTOR แบบง่ายๆ นอกจากใช้ PARASITIC ELEMENT บางๆ จะประกอบด้วยแผ่นโลหะแบนๆ ที่เจาะเป็นรูปหรือฉากเช่นเดียวกับที่ใช้กับเครื่องวิทยุถ่ายทอดแบบ AN/TRC-24 ผลที่ได้ประโยชน์จาก REFLECTOR นี้สามารถจะเพิ่มขึ้นได้อีกด้วยการใช้ชิ้นส่วนหลายๆ อันวางในระยะที่เหมาะสม

ค) REFLECTOR แบบแบนจะเปลี่ยนรูปร่างของทิศทางคู่ให้เป็นขนาดใหญ่มีทิศทางเดียวด้วยการสะท้อนกลับพลังงานข้างหลังให้พุ่งไปข้างหน้า แต่ไม่ได้ทำให้เป็นลำคลื่น

7) Directivity AND GAIN ผลเพิ่มที่รับมาข้างหน้าในความเข้มของสนามเป็นฟังชั่นของระยะช่องว่างระหว่างชิ้นส่วน DIPOLE กับตัว REFLECTOR จำนวนชิ้นส่วนของ DIPOLE ที่จะใช้ รวมทั้งขนาดและรูปร่างของ REFLECTOR

ก) CORNER REFLECTOR ประกอบด้วย แผ่นสะท้อนแบนๆ จำนวน 2 แผ่น ตัดกันเป็นมุมฉาก ทำให้เกิดเป็นมุมแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส มุมที่ใช้อาจจะเล็กหรือใหญ่กว่า 90 องศาก็ได้ แต่ว่าจะไม่เกิดประโยชน์อะไรขึ้น ถ้าทำมุมน้อยกว่า 60 องศา

ข) ถ้า RADIATOR แบบ DIPOLE ตั้งอยู่ในพื้นราบที่แบ่งมุมเป็น 2 ส่วนเท่ากัน และขนานกับแผ่น 2 แผ่นที่มาตัดกัน ก็จะทำให้ได้รับผลเพิ่มจาก 10-15 dB เมื่อใช้ ISOTROPIC DIPOLE ข้อเสียประการหนึ่งของสายอากาศแบบ PLANE REFLECTOR และแบบ CORNER REFLECTOR ก็คือ มันจะรวมพลังงานอยู่ในที่ที่ราบอันเดียวเท่านั้น

ค) ระบบสายอากาศที่ใช้ในเครื่องเรดาร์และวิทยุถ่ายทอด จะต้องมีเครื่องกำหนดทิศทางคุณภาพสูง ทั้งในแนวนอนและแนวตั้งเพื่อที่จะส่งพลังงานให้ได้มากที่สุดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง สายอากาศชนิด REFLECTOR ซึ่งใช้กันมากที่สุดเพื่อให้ได้ผลดังกล่าวมักจะใช้ REFLECTOR แบบ PARABOLOID หรือ PARABOLIC ถ้าใส่ HALF-WAVE DIPOLE ที่ FOCUS ของ REFLECTOR ก็จะทำให้เกิดโฟกัสของลำคลื่นเกือบสมบูรณ์ ปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดผลเพิ่มและโฟกัสลำคลื่น ก็คือพื้นที่ทั้งหมดของผิวสะท้อนมุมของลำคลื่นที่มันสะท้อนจะเป็นปฏิภาคกับความยาวคลื่นของพลัง RF และจะเป็นปฏิภาคกลับกับเส้นผ่านศูนย์กลาง (APERTURE) ของ REFLECTOR สายอากาศแบบ PARABOLIC จะทำให้ เกิด FORWARD GAIN ที่มากที่สุดของสายอากาศแบบ REFLECTOR ทั้งหลาย การที่จะได้ผลเพิ่มมากกว่า 60 dB ก็สามารถกระทำได้ด้วยการใช้สายอากาศขนาดใหญ่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
ชุดอุปกรณ์ต้นแบบและผลการทดลอง

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงชุดอุปกรณ์ต้นแบบ คือ สายอากาศแบบ Corner Reflector เพื่อทำการทดสอบการหาทิศทางของสัญญาณรบกวนการจราจรทางอากาศ ซึ่งจะประกอบด้วยตัว Corner Reflector Antenna ที่เชื่อมต่อกับ Switch เพื่อควบคุมการทำงานของสายอากาศ และส่งข้อมูลที่ได้ไปยัง SDR เพื่อแสดงผลที่จอโน๊ตบุ๊ค ซึ่งเนื้อหาในบทนี้แบ่งเป็นหัวข้อย่อย ดังนี้ 3.1) กล่าวนำ 3.2) การออกแบบชุดอุปกรณ์ต้นแบบ 3.3) การประกอบชุดอุปกรณ์ต้นแบบ 3.4) การทดสอบชุดอุปกรณ์ต้นแบบ และ 3.5) สรุปผลการทดลอง

3.2 การออกแบบชุดอุปกรณ์ต้นแบบ

ชุดอุปกรณ์ต้นแบบคือ สายอากาศแบบ Corner Reflector ประกอบด้วย ตัวสายอากาศ และ Switch ที่เชื่อมต่ออยู่กับ SDR และส่งไปประมวลผลที่โน้ตบุ๊ค

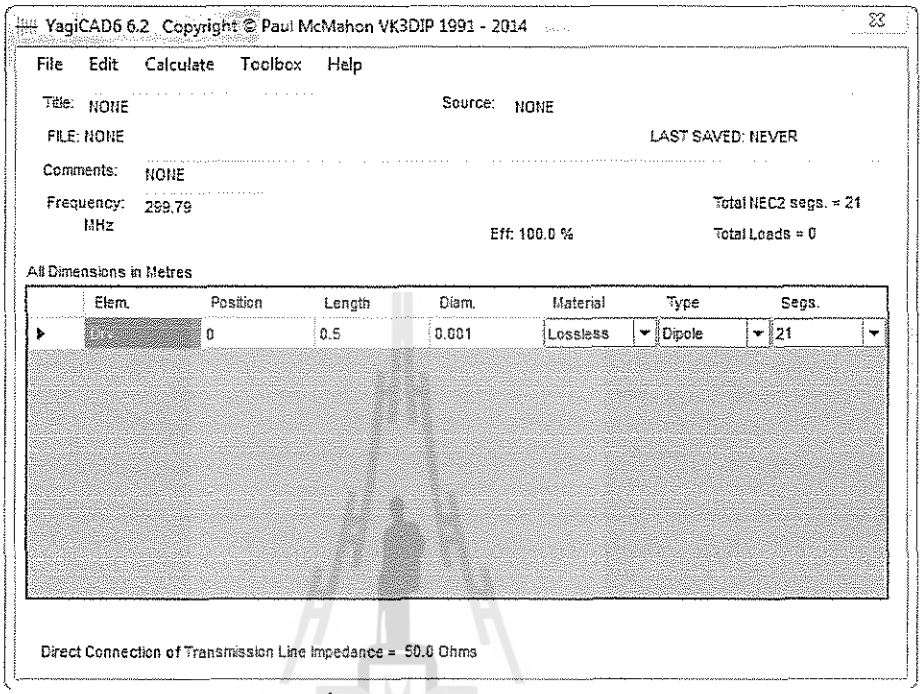
การวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ คือ ใช้สายอากาศแบบมีทิศทาง 4 ตัวเพื่อจับสัญญาณรบกวนการจราจรทางอากาศ โดยเลือกใช้สายอากาศที่มี gain ไม่สูงมาก มี bandwidth ครอบคลุมย่านความถี่ VHF ของ FM และ Air Band ที่ประมาณ 88 – 140 MHz

3.2.1 เลือกใช้สายอากาศยากิ แบบ 5E

3.2.2 เลือกใช้สายอากาศแบบ Corner Reflector

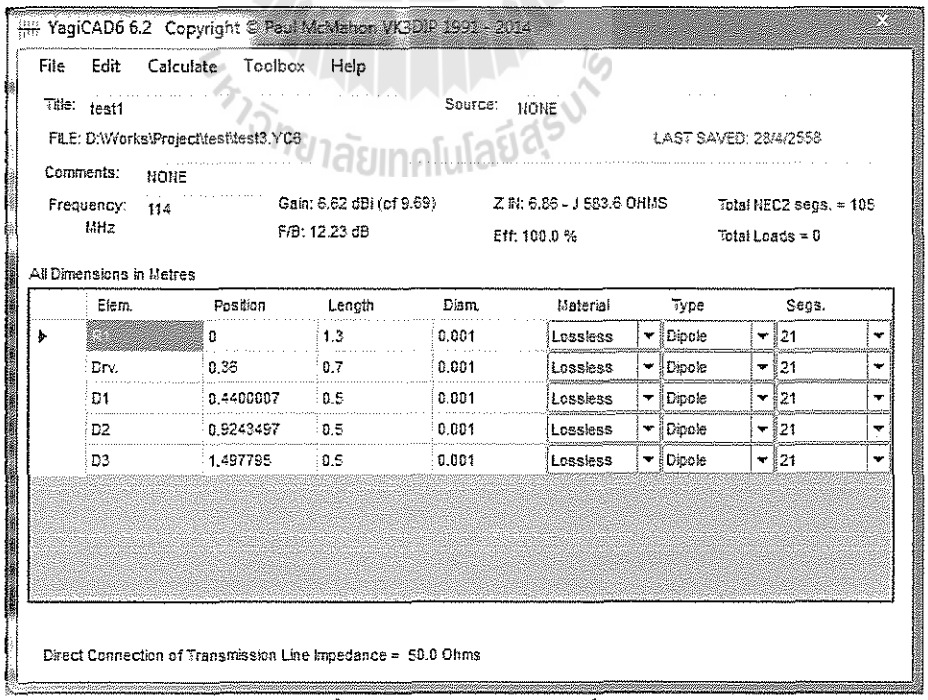
3.2.1 สายอากาศยากิแบบ 5E

1. ออกแบบโดยใช้โปรแกรม YagiCAD เป็น Freeware ที่สามารถดาวน์โหลดได้จาก http://www.yagicad.com/yagicad/yagicad.htm

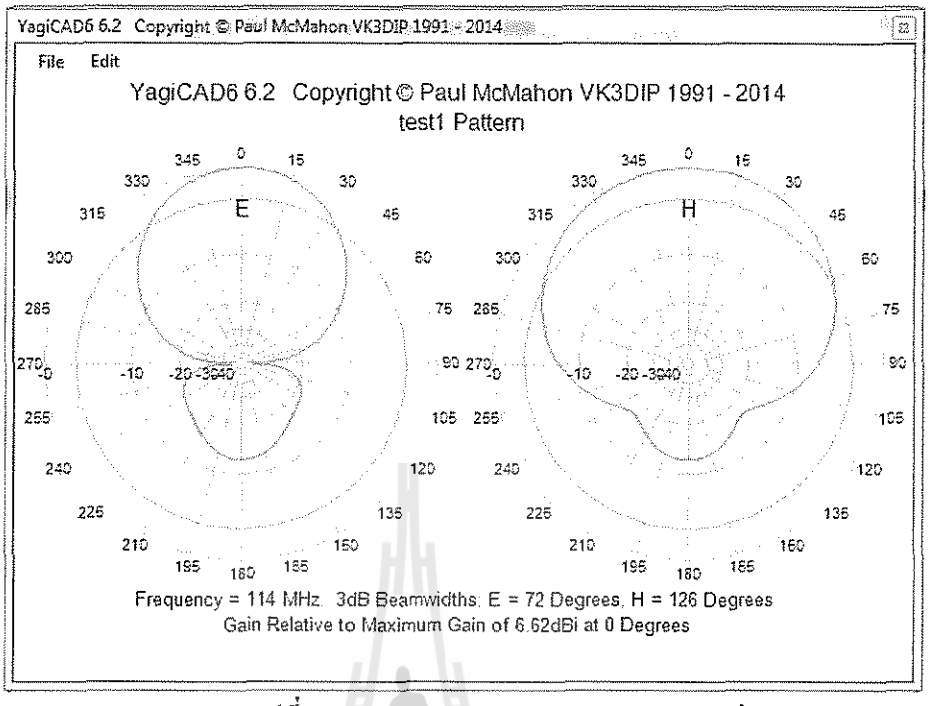


รูปที่ 3.1 หน้าต่างโปรแกรม YagiCAD

- ใส่ข้อมูลสายอากาศตามที่ออกแบบ

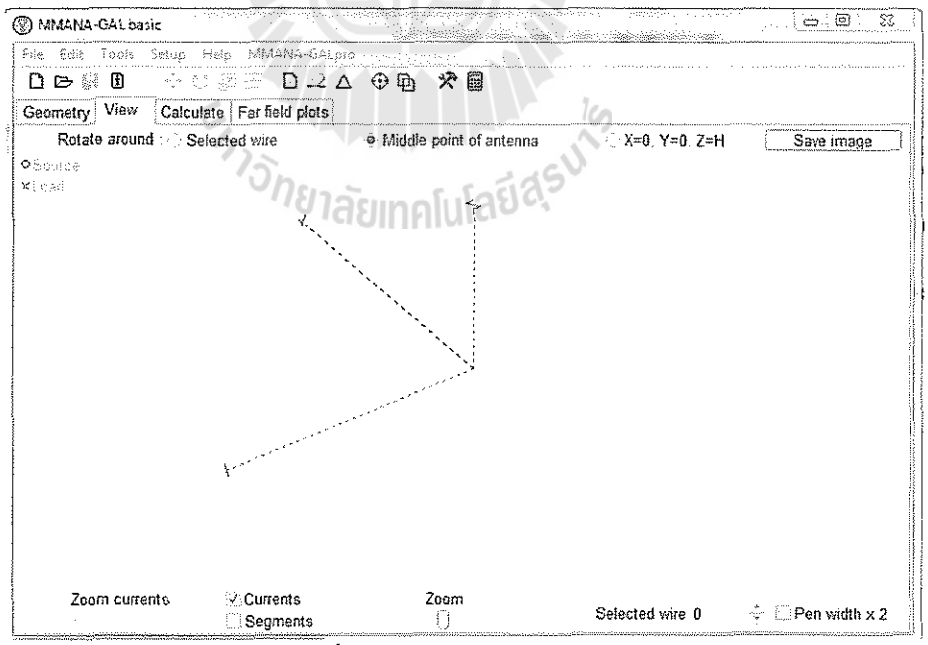


รูปที่ 3.2 ข้อมูลสายอากาศที่ต้องการ



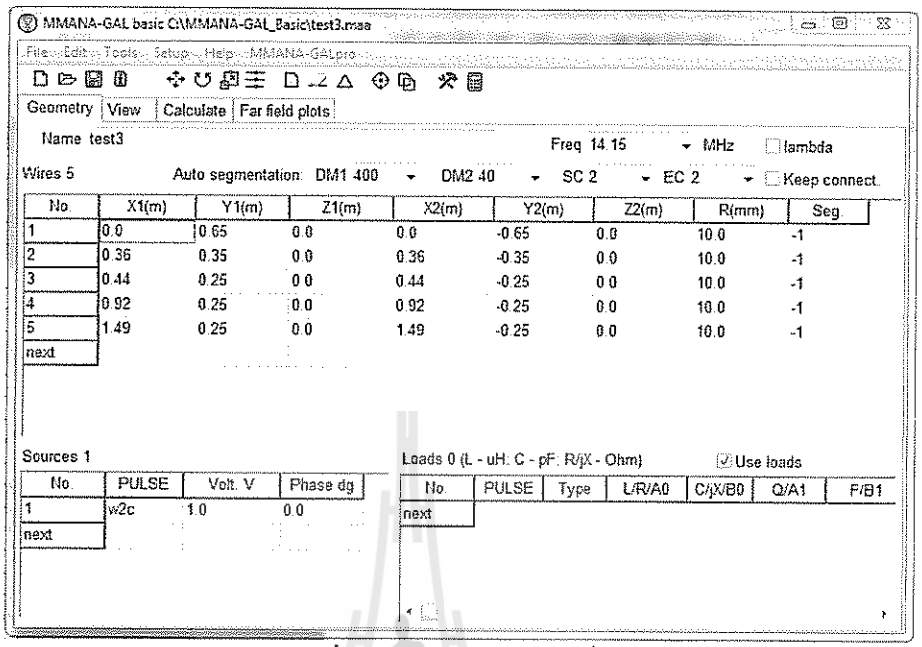
รูปที่ 3.3 Radiation Pattern จากการคำนวณค่า

3. ออกแบบโดยใช้โปรแกรม MMANA เป็น Freeware ที่สามารถดาวน์โหลดได้จาก http://hamsoft.ca/pages/mmana-gal.php

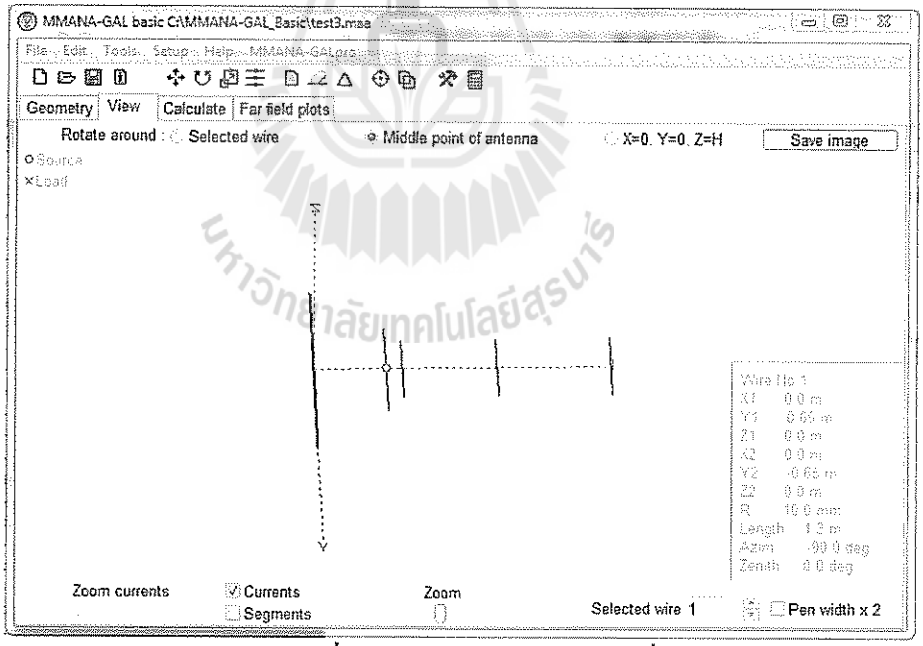


รูปที่ 3.4 หน้าต่างโปรแกรม MMANA

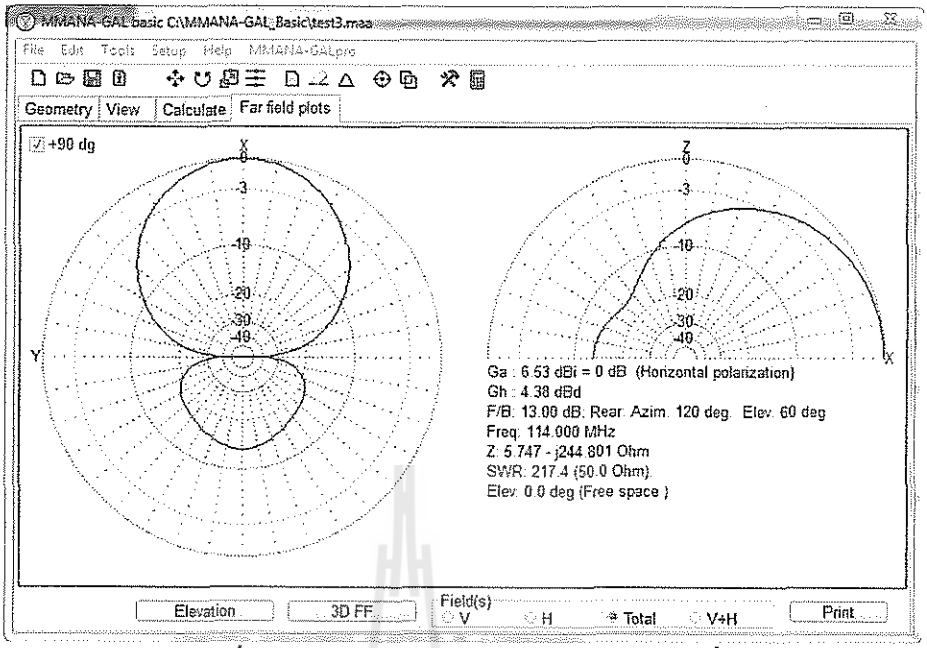
- ใส่ข้อมูลสายอากาศตามที่ออกแบบ



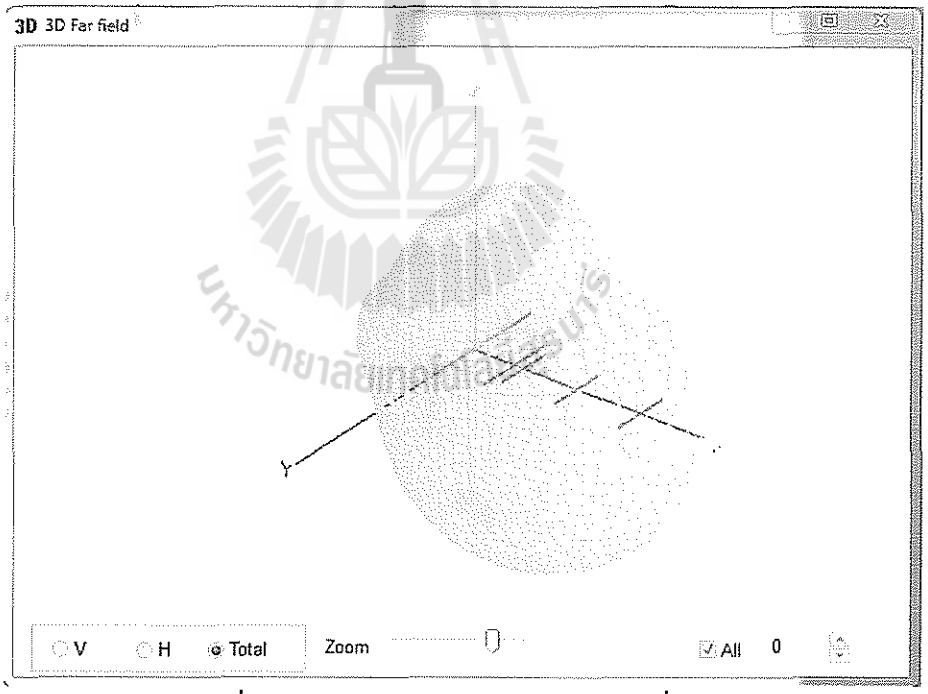
รูปที่ 3.5 ข้อมูลสายอากาศที่ต้องการ



รูปที่ 3.6 VIEW ของสายอากาศที่คำนวณ



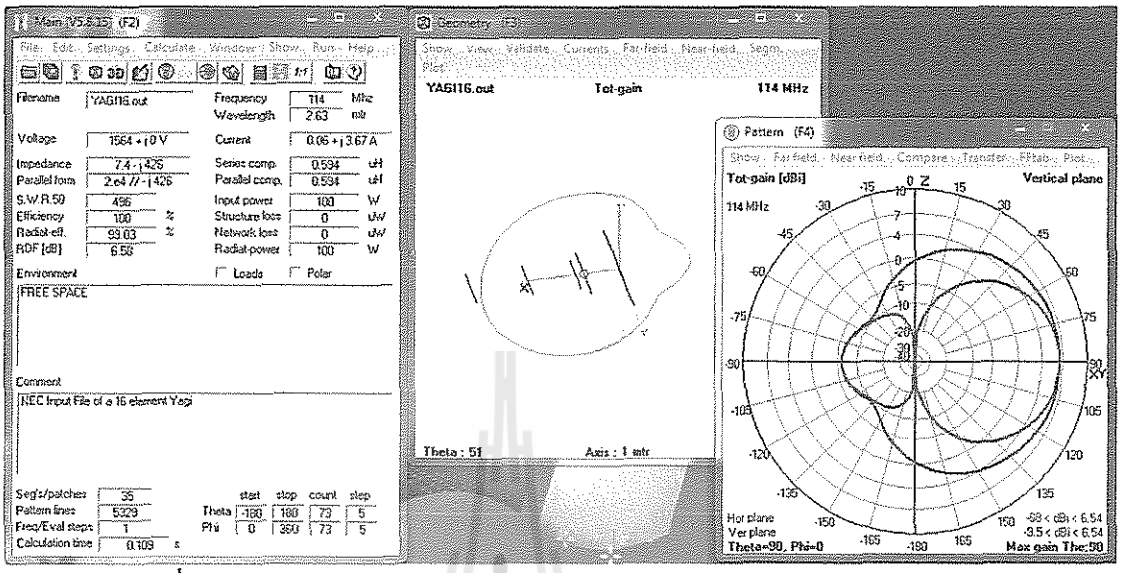
รูปที่ 3.7 FAR FIELD PLOTS ของสายอากาศที่คำนวณ



รูปที่ 3.8 3D FAR FIELD ของสายอากาศที่คำนวณ

4. ออกแบบโดยใช้โปรแกรม 4nec2 เป็น Freeware ที่สามารถดาวน์โหลดได้จาก

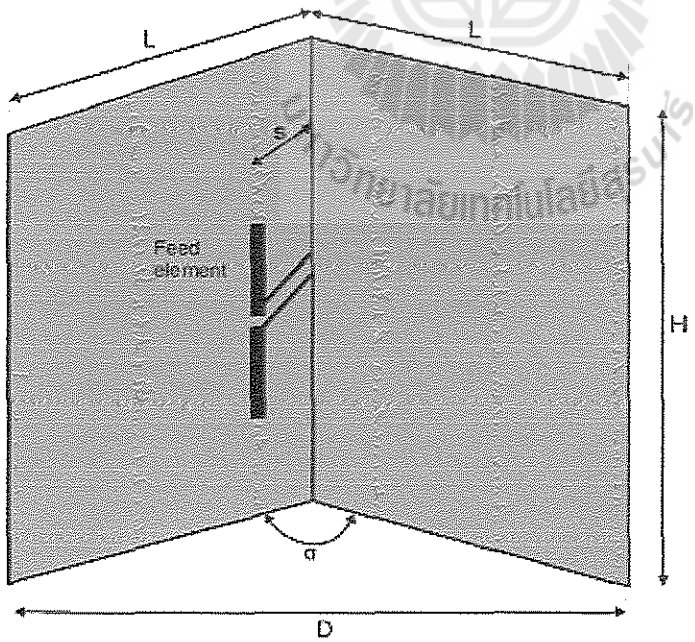
http://www.qsl.net/4nec2/



รูปที่ 3.9 หน้าต่างโปรแกรม 4nec2 และการแสดงผลแบบ Pattern และ Far – Field

3.2.2 เลือกใช้สายอากาศแบบ Corner Reflector

1. Designed antenna calculation



As per our calculations:

- Freq. = 114 MHz
- C = 3x10^8 m/s.
- $\lambda = \frac{c}{f} = 2.632$ m. = l
- $\frac{\lambda}{2} = 1.306$ m.
- $\frac{\lambda}{4} = 0.6578$ m.
- S: $\frac{l}{3} < s < \frac{2l}{3} =$

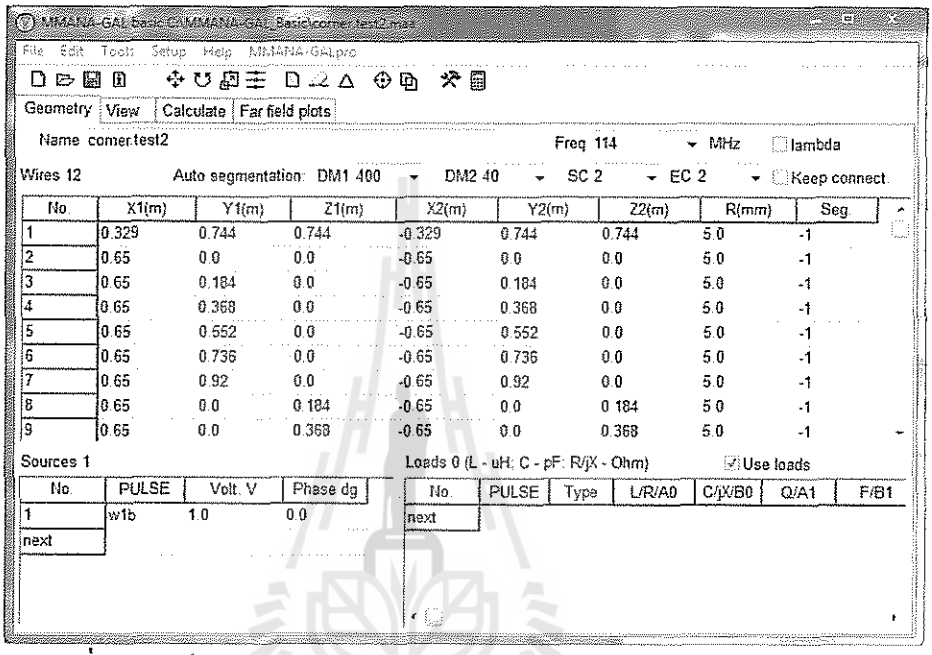
0.8773 < s < 1.7546 choose

1.316 m.

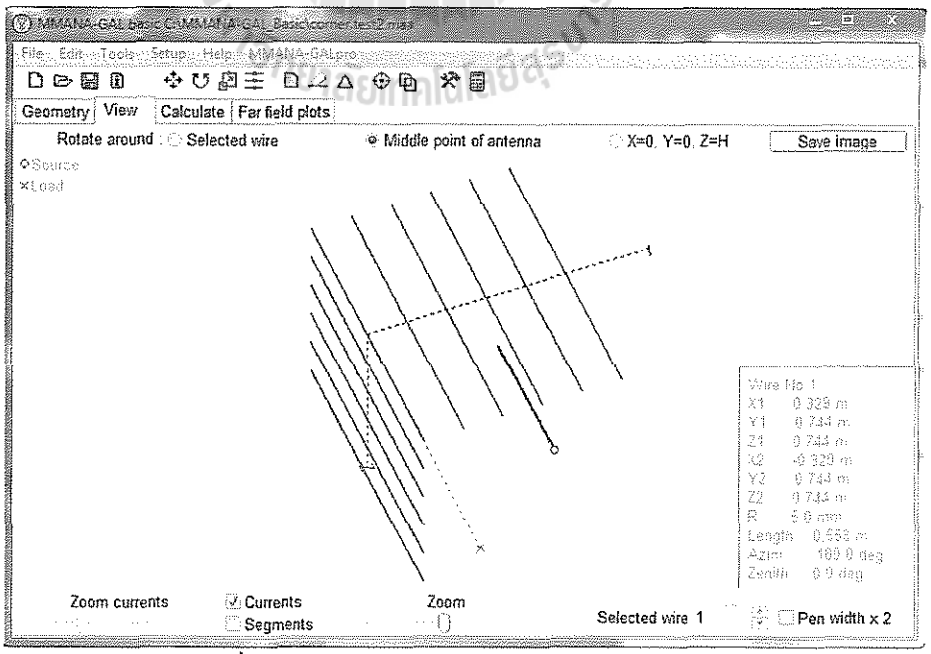
รูปที่ 3.10 CORNER REFLECTOR ANTENNA

- D: l < D < 2l = 2.632 < D < 5.264 choose 3.948 m.

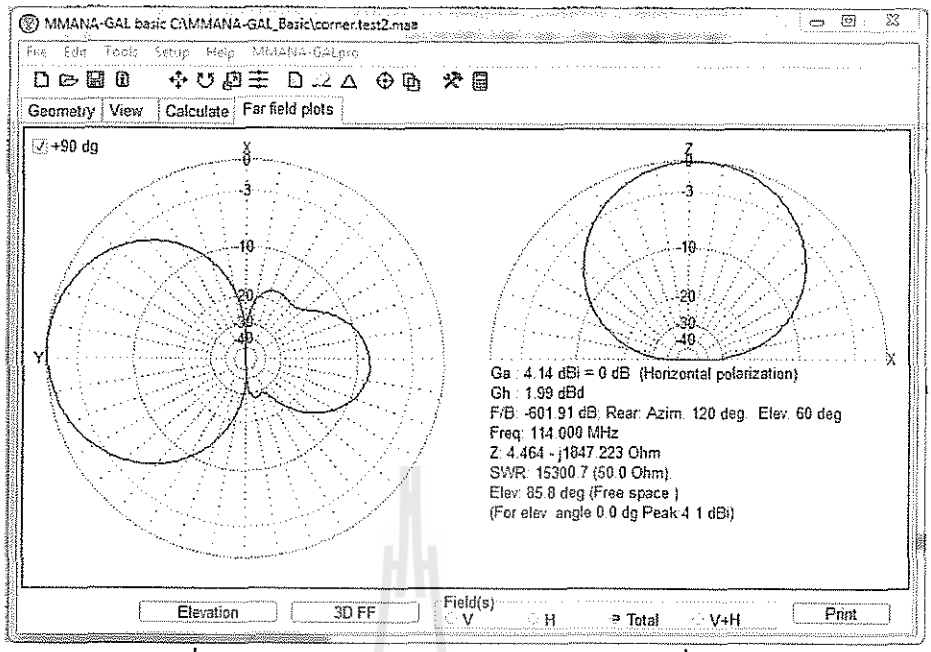
- L: L >> 2s = 2.632 m.
- The height is 1.2 to 1.45 times greater than the length which is 3.158 m. as in our design.
- ปรับขนาดให้เหมาะสมกับการใช้งาน เปลี่ยนจาก dipole เป็น monopole เป็นลดขนาดของ Reflector
- จำลองพารามิเตอร์ต่างๆ ในโปรแกรม MMANA



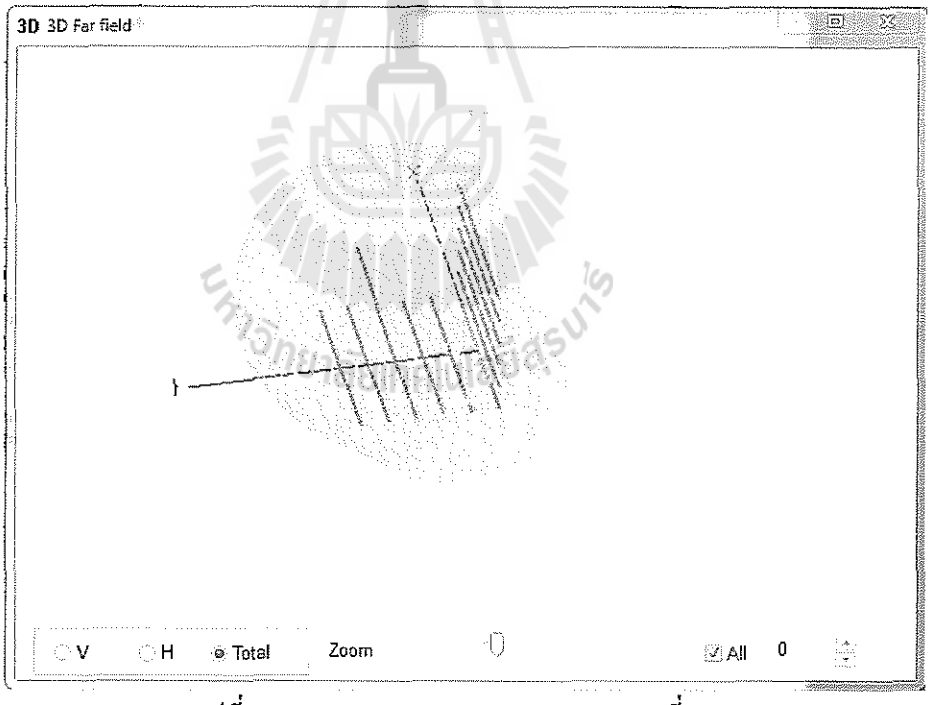
รูปที่ 3.11 สร้างสายอากาศแบบ Corner Reflector กำหนดขนาดและตำแหน่ง



รูปที่ 3.12 แบบจำลองสายอากาศ Corner Reflector

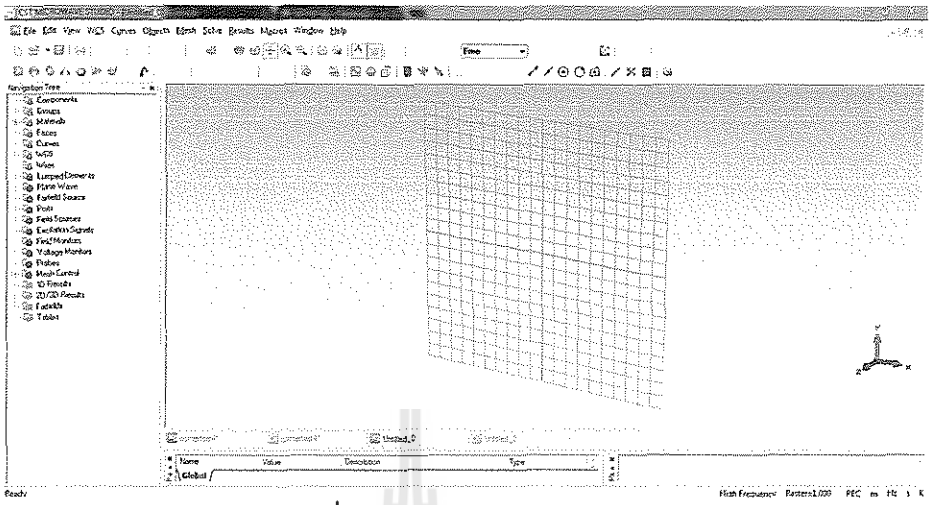


รูปที่ 3.13 FAR FIELD PLOTS ของสายอากาศที่คำนวณ



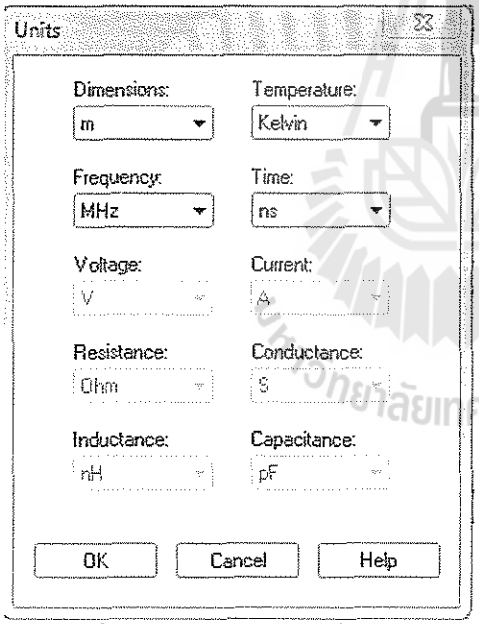
รูปที่ 3.14 3D FAR FIELD ของสายอากาศที่คำนวณ

2. จำลอง Corner Reflector Antenna ในโปรแกรม CST

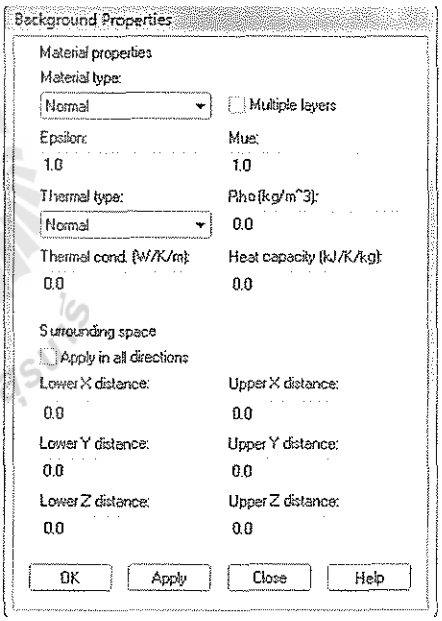


รูปที่ 3.15 หน้าต่างโปรแกรม CST

- ตั้งค่าหน่วยที่ใช้ในการสร้าง พร้อมทั้งกำหนด Background

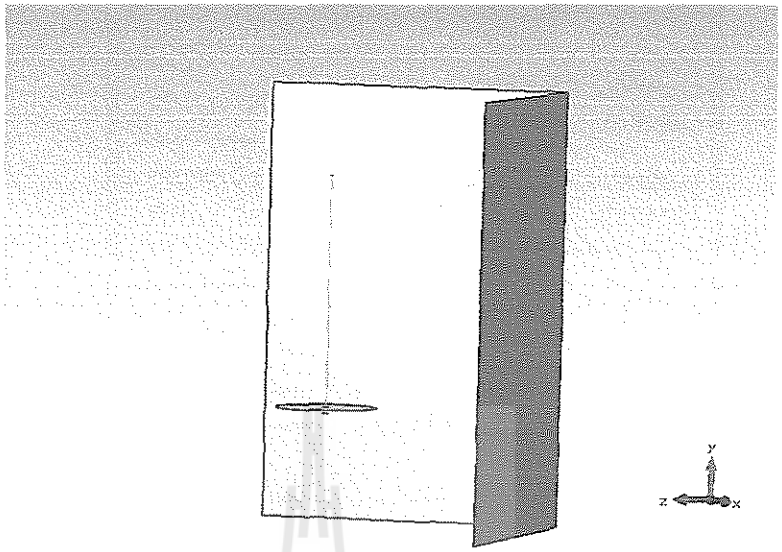


รูปที่ 3.16 กำหนดหน่วยที่ใช้



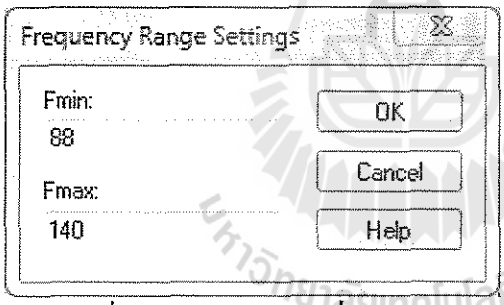
รูปที่ 3.17 กำหนด Background

- สร้าง Corner Reflector Antenna ตามที่ออกแบบ

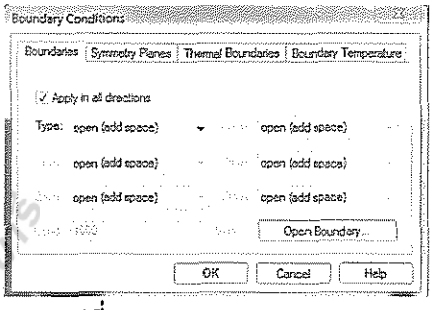


รูปที่ 3.18 สร้าง Antenna ตามที่ออกแบบ

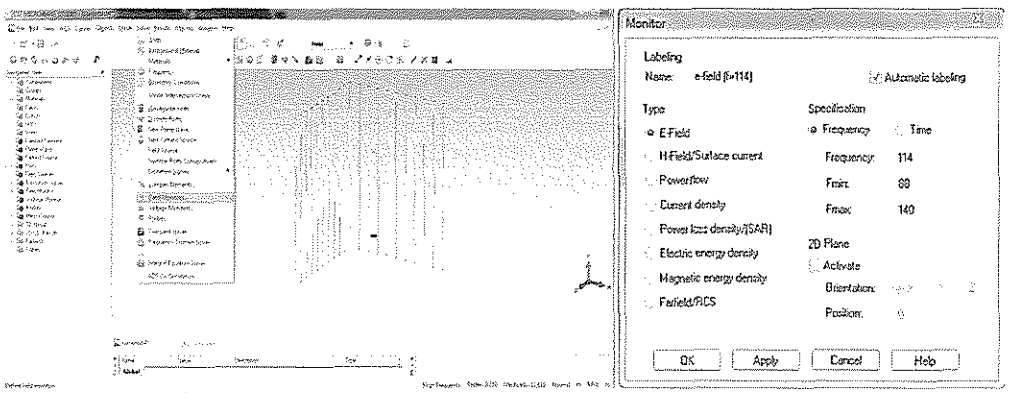
- ทำการ simulation เพื่อดูผลการแผ่คลื่นของสายอากาศ



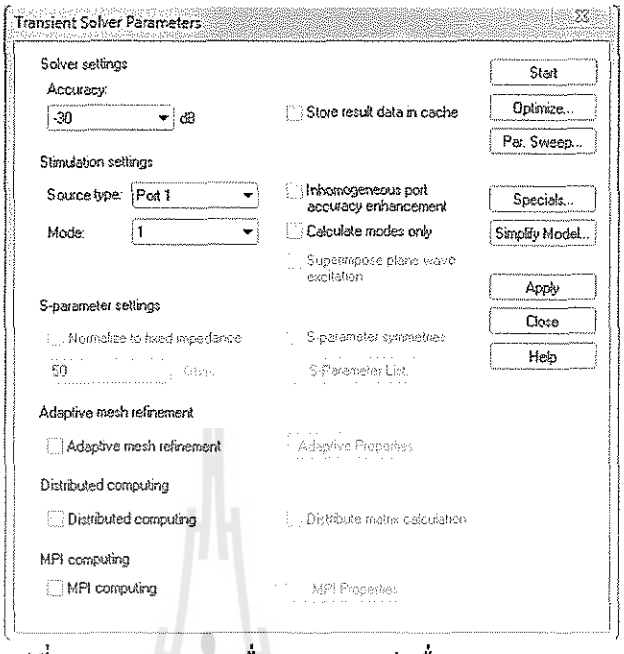
รูปที่ 3.19 กำหนดความถี่ใช้งาน



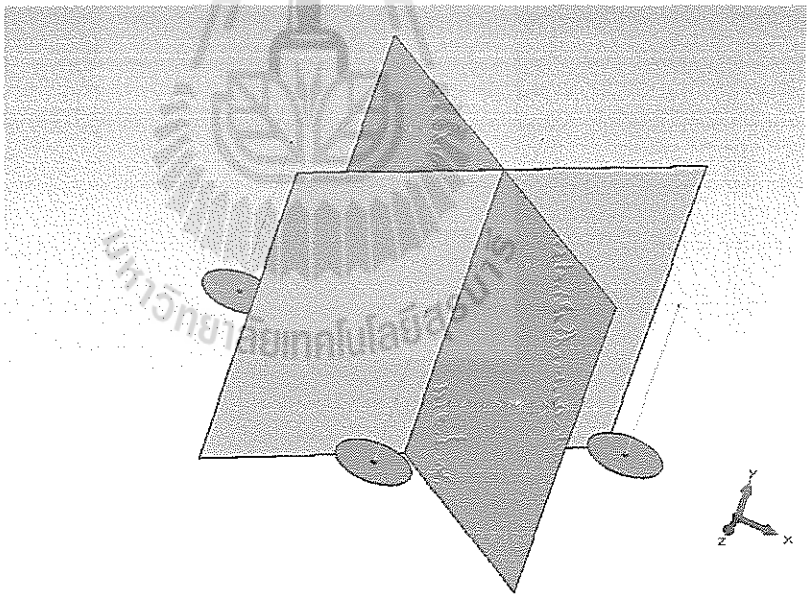
รูปที่ 3.20 กำหนด Boundary



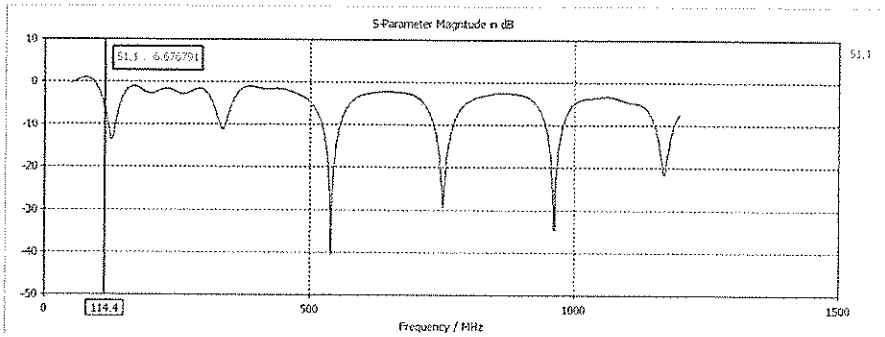
รูปที่ 3.21 กำหนดการแสดงผล เลือก E-Field, H-Field และ Far – Field



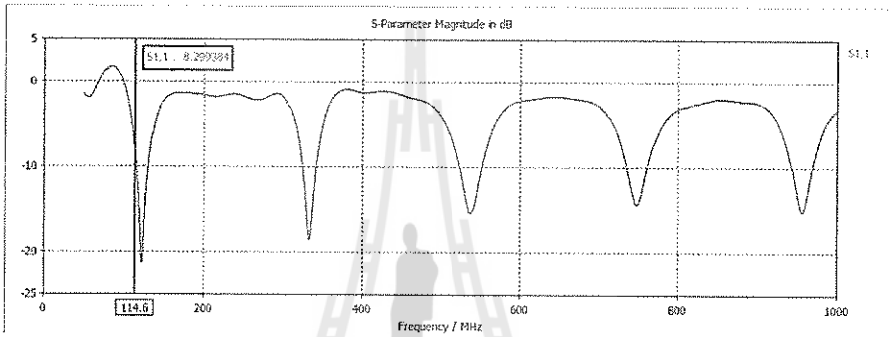
รูปที่ 3.22 Transient เพื่อดูผลการแผ่คลื่นของสายอากาศ



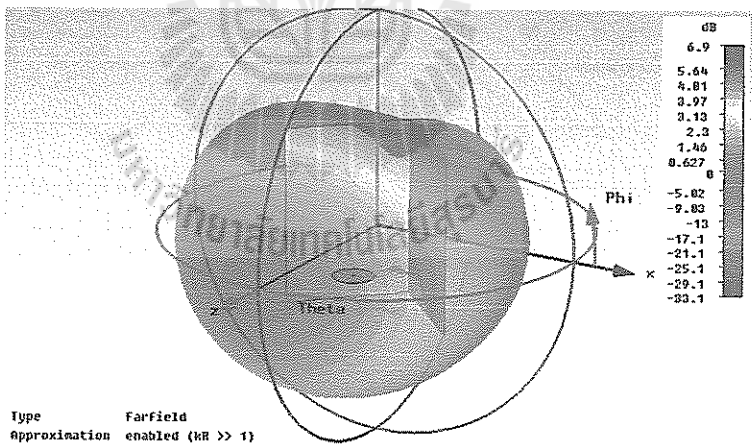
รูปที่ 3.23 สร้างสายอากาศตามแบบที่ใช้งาน



รูปที่ 3.24 S_{11} สำหรับสายอากาศหนึ่งตัว

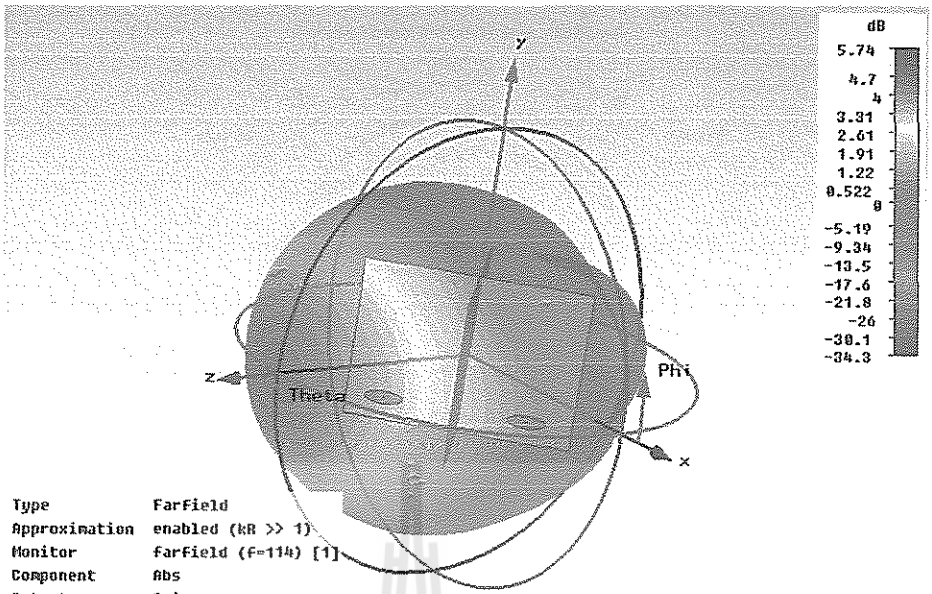


รูปที่ 3.25 S_{11} สำหรับสายอากาศสี่ตัว



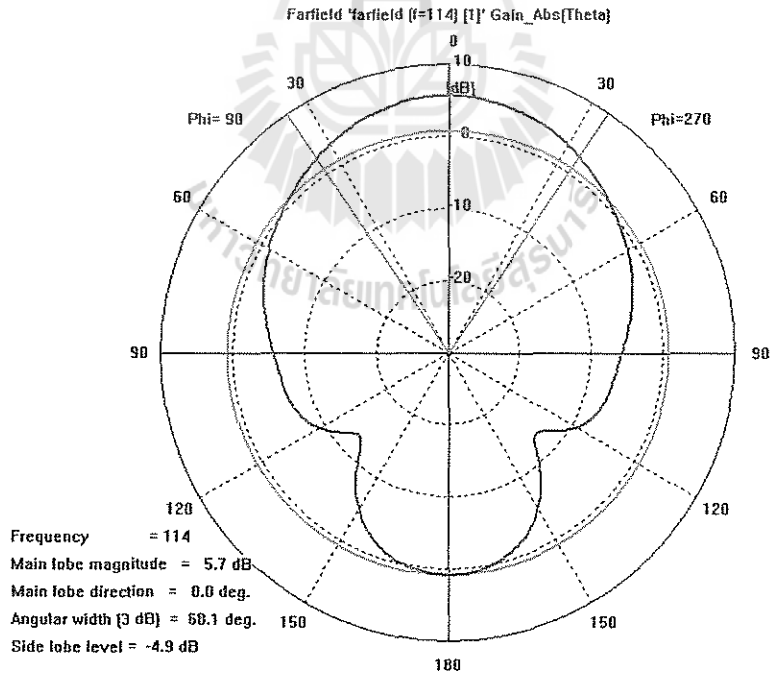
Type	Farfield
Approximation	enabled (kR >> 1)
Monitor	Farfield (f=114) [1]
Component	Abs
Output	Gain
Frequency	114
Rad. effic.	-0.5703 dB
Tot. effic.	-2.952 dB
Gain	6.897 dB

รูปที่ 3.26 ผลการแผ่คลื่น Far – Field ของสายอากาศหนึ่งตัว

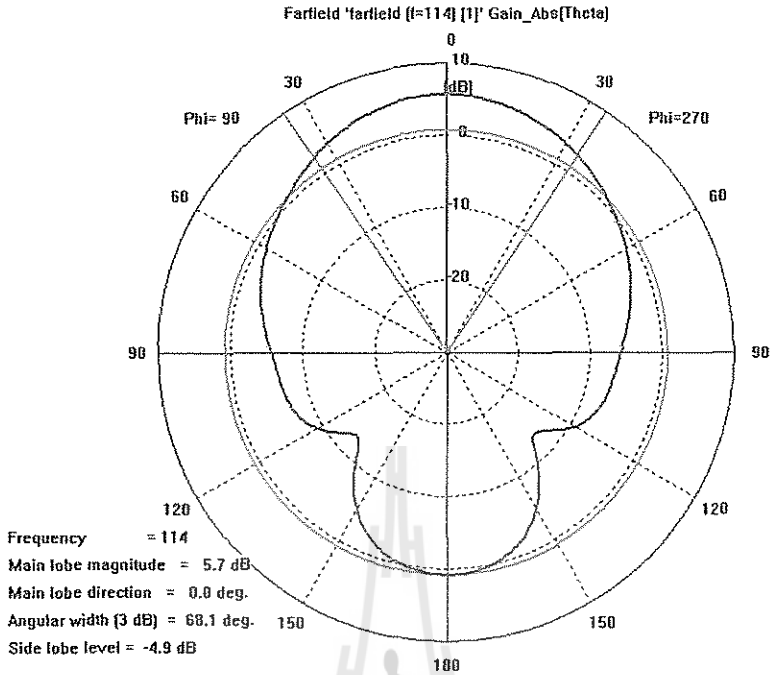


Type	FarField
Approximation	enabled (kR >> 1)
Monitor	farfield (f=114) [1]
Component	Abs
Output	Gain
Frequency	114
Rad. effic.	-1.026 dB
Tot. effic.	-3.219 dB
Gain	5.743 dB

รูปที่ 3.27 ผลการแผ่คลื่น Far – Field ของสายอากาศสี่ตัว



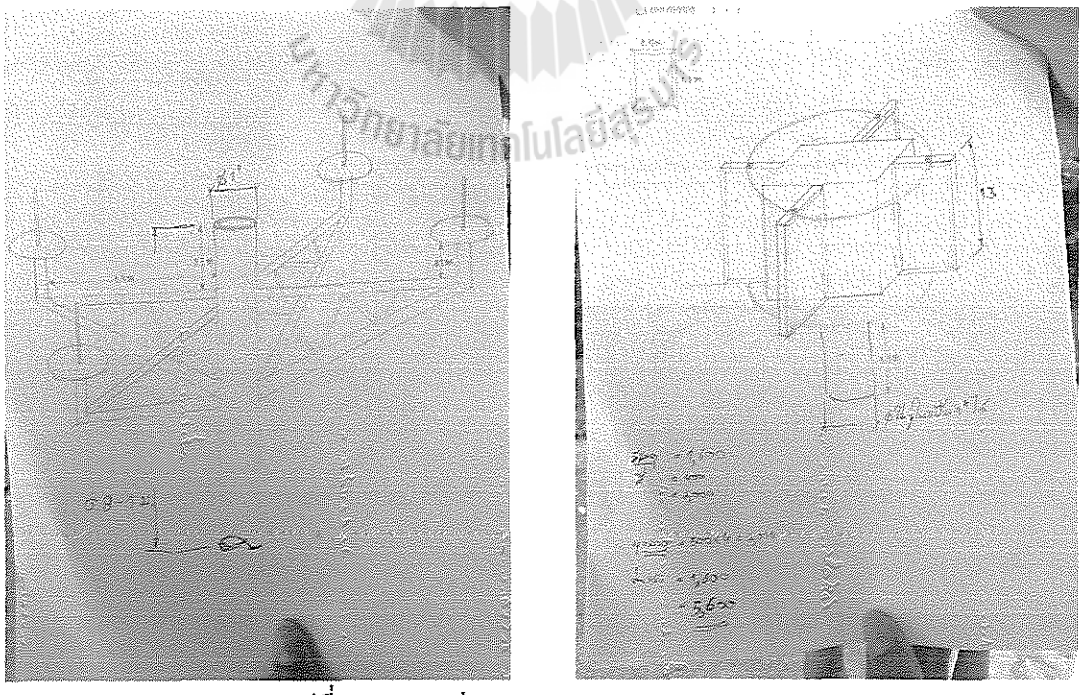
รูปที่ 3.28 การแสดง Pattern ของสายอากาศ ในระยะ Far – Field ของสายอากาศหนึ่งตัว



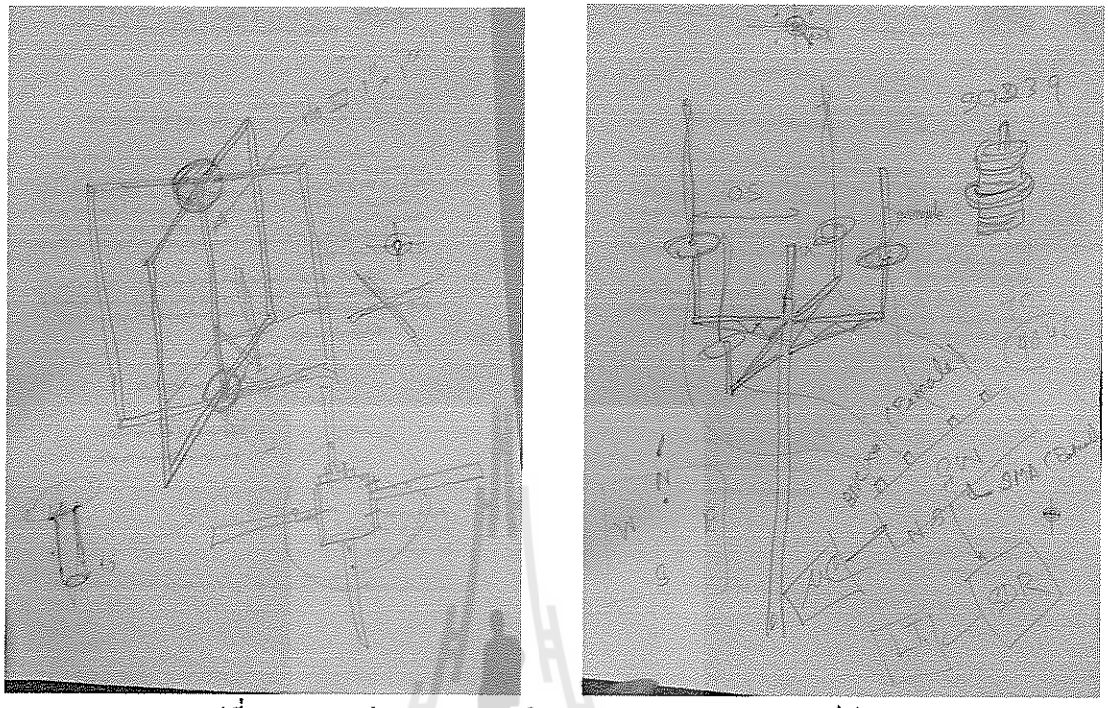
รูปที่ 3.29 การแสดง Pattern ของสายอากาศ ในระยะ Far – Field ของสายอากาศสี่ตัว

3.3 การประกอบชุดอุปกรณ์ต้นแบบ

- ออกแบบร่างลงในกระดาษเพื่อสร้างสายอากาศ และเขียนภาพรวมของการทำงานของชุดอุปกรณ์ต้นแบบ

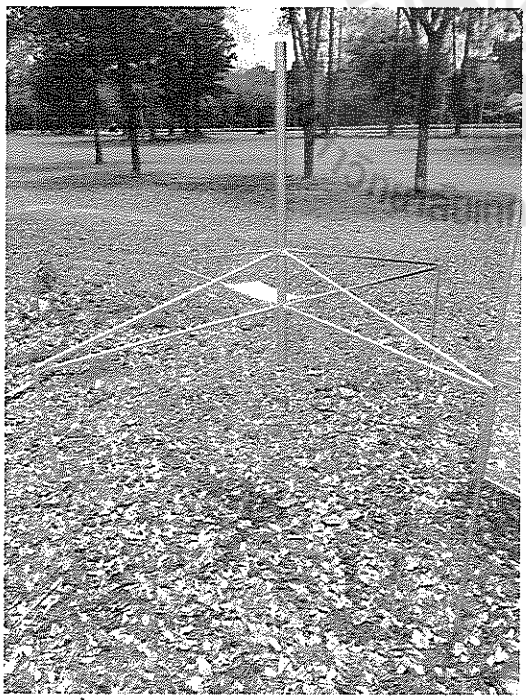


รูปที่ 3.30 แบบร่างสายอากาศและ Corner Reflector

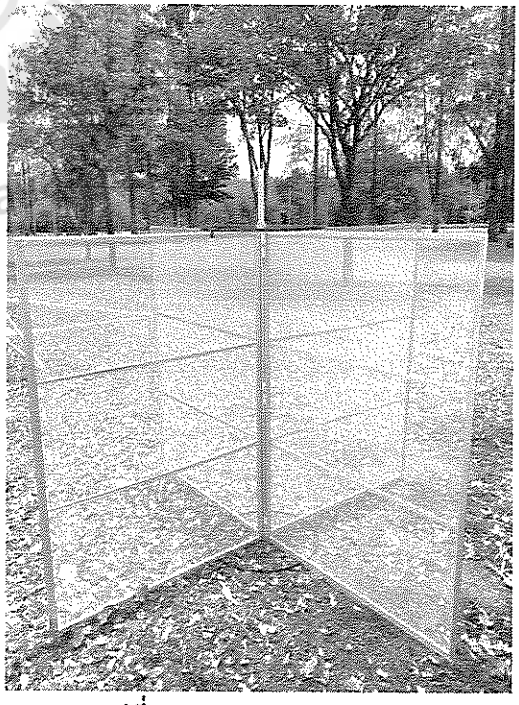


รูปที่ 3.31 แบบร่างการทำงานโดยภาพรวมของชุดอุปกรณ์ต้นแบบ

- จัดหาอุปกรณ์สำหรับชุดอุปกรณ์ต้นแบบ



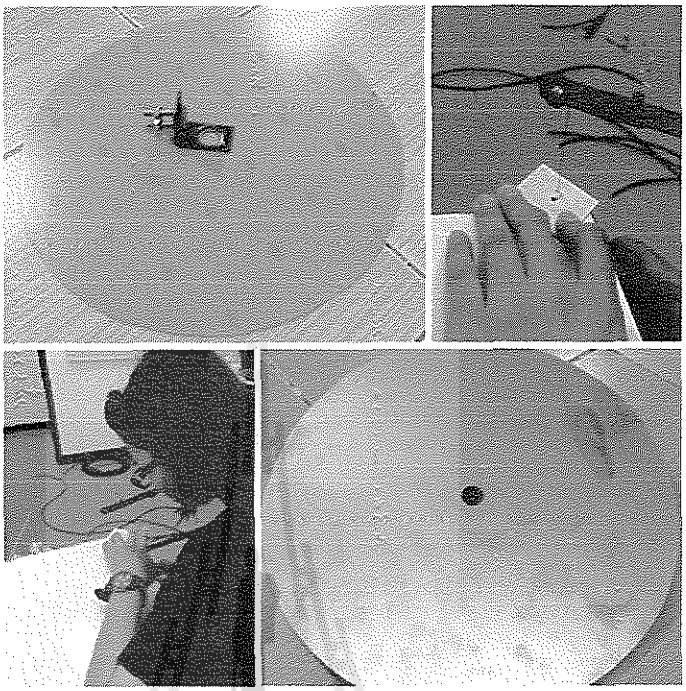
รูปที่ 3.32 โครงสร้างฐานของสายอากาศ



รูปที่ 3.33 Corner Reflector

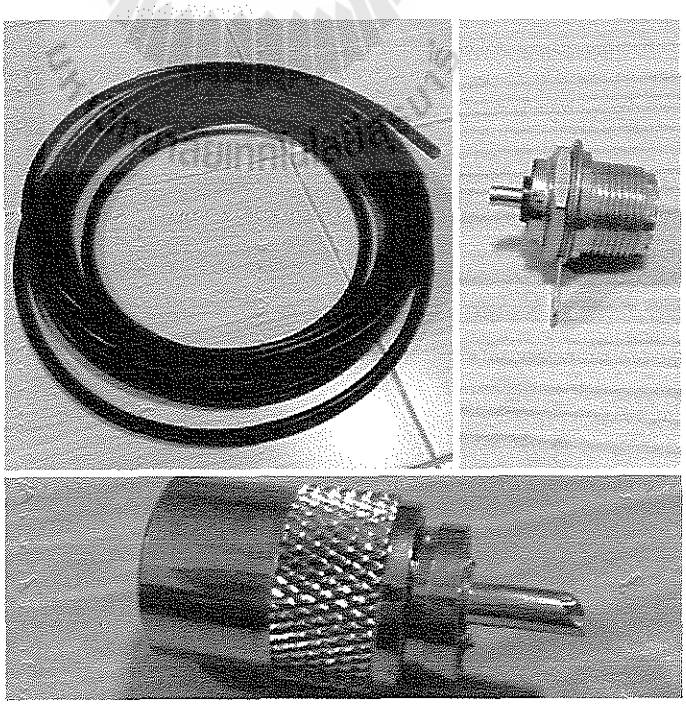
- ทำตัวสายอากาศ monopole

- ใช้ PCB เป็นฐานกราวด์ เจาะรูตรงกลางเพื่อใส่ SO 239 Connector

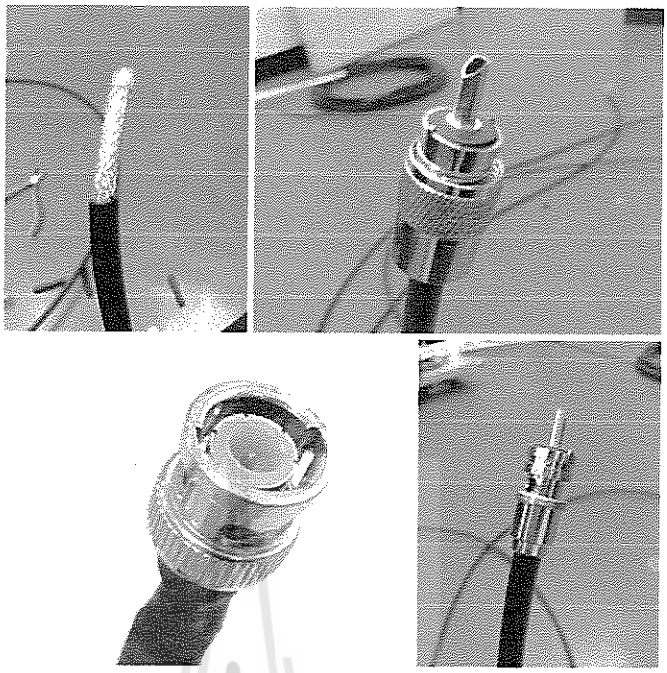


รูปที่ 3.34 ขั้นตอนการทำฐาน monopole

- เข้าหัวสาย S-5C-FB (LF) ด้วย SO 239 Connector ทั้ง Male และ Female

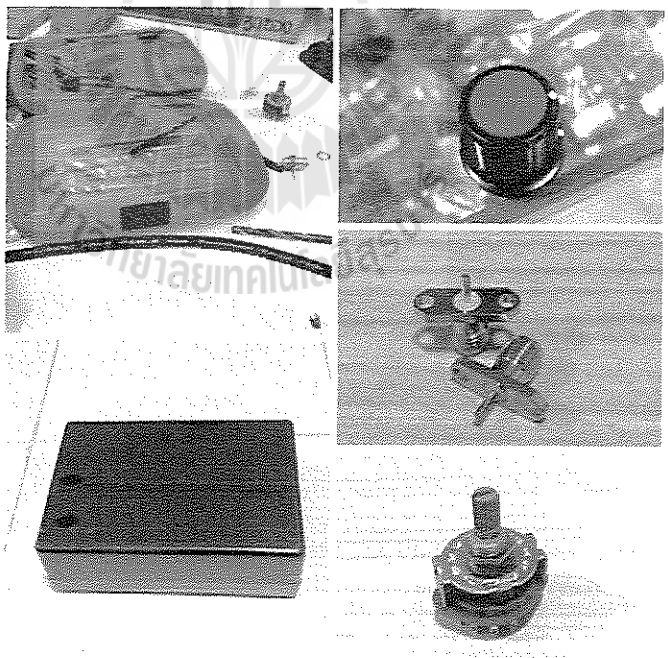


รูปที่ 3.35 สาย S-5C-FB (LF) และ SO 239 Connector



รูปที่ 3.36 เข้าหัวสาย SO 239 Connector

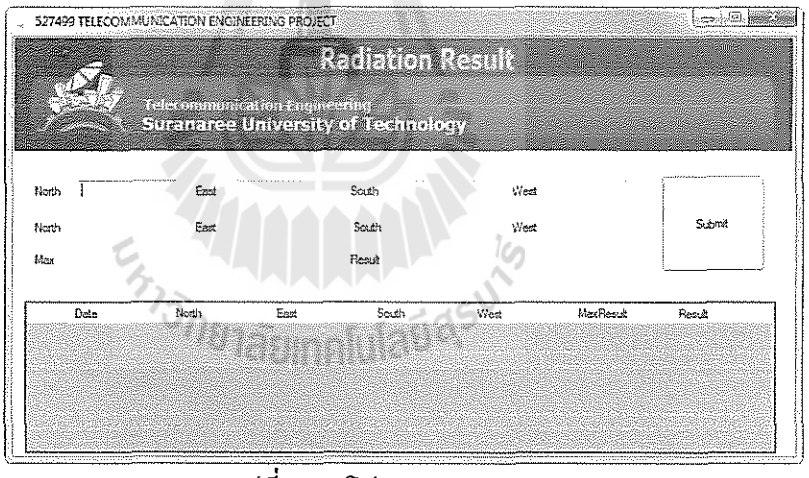
- ทำสวิตซ์ เพื่อเลือกการรับสัญญาณจากสายอากาศแต่ละตัว



รูปที่ 3.37 อุปกรณ์สำหรับกล่องสวิตซ์

รูปที่ 3.38 กล่องสวิตซ์

- ออกแบบและทำโปรแกรมประมวลผลหาทิศทางของสายอากาศที่รับสัญญาณได้มากที่สุด

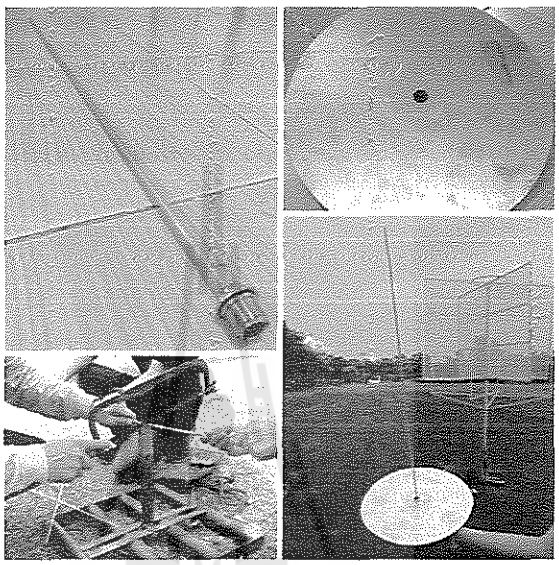


รูปที่ 3.39 โปรแกรม Radiation Result

3.4 การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ

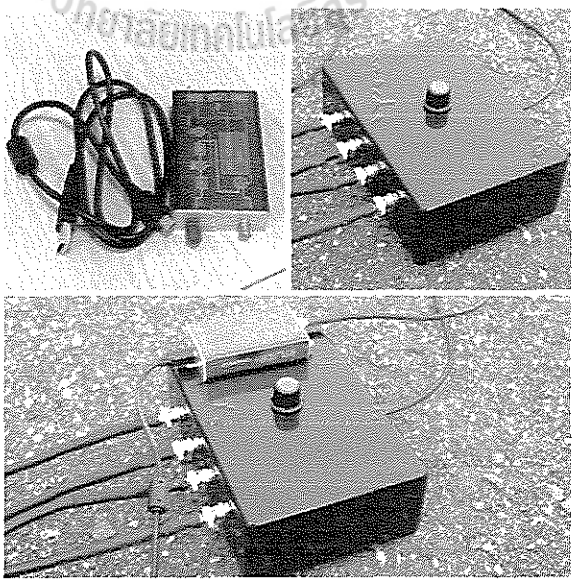
3.4.1 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

- ตั้งโครง Antenna กับฐานรอง
- สวม Corner Reflector เข้ากับโครงฐาน
- ยึดฐานกราวด์และโมโนโพล เข้ากับโครงฐาน



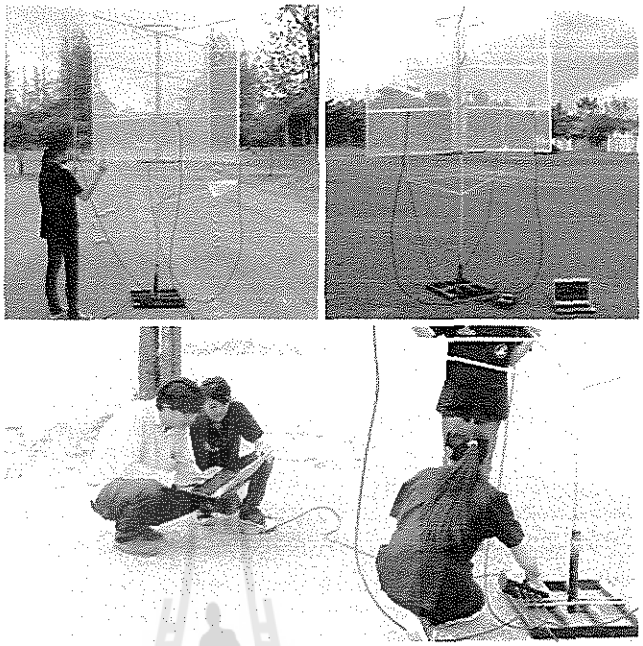
รูปที่ 3.40 Monopole

- ต่อสาย connector จากโมโนโพลเข้ากล่องสวิตซ์
- ต่อสาย RG-223U จากกล่องสวิตซ์เข้า SDR



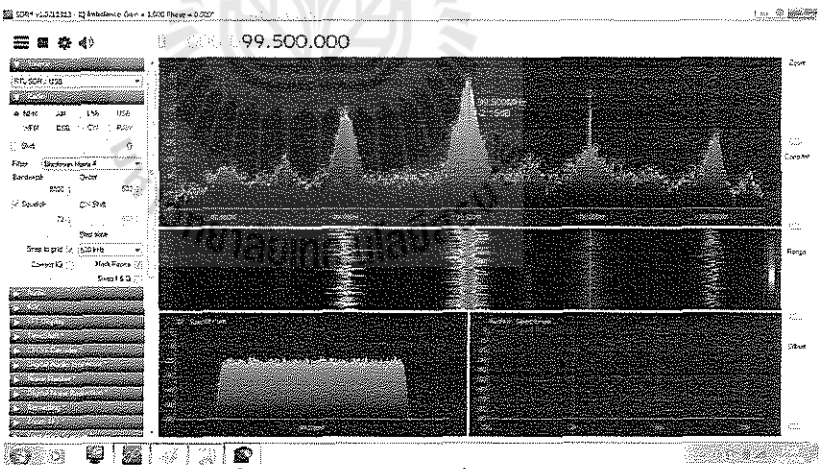
รูปที่ 3.41 สวิตซ์ และ SDR

- ต่อ SDR เข้าโน๊ตบุ๊ค เพื่อประมวลผลการรับสัญญาณ



รูปที่ 3.42 วัดค่าสัญญาณคลื่นวิทยุ

- วัดค่าสัญญาณคลื่นวิทยุจากสายอากาศแต่ละตัว

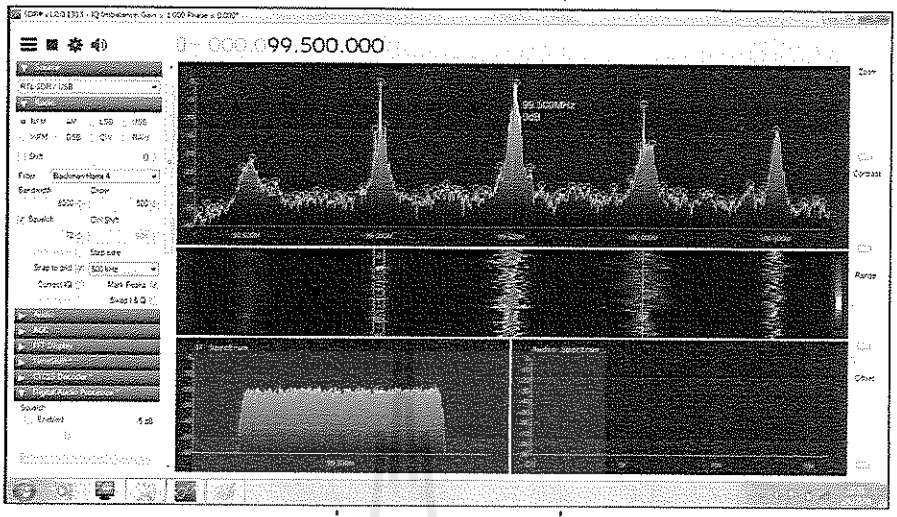


รูปที่ 3.43 ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุใน software

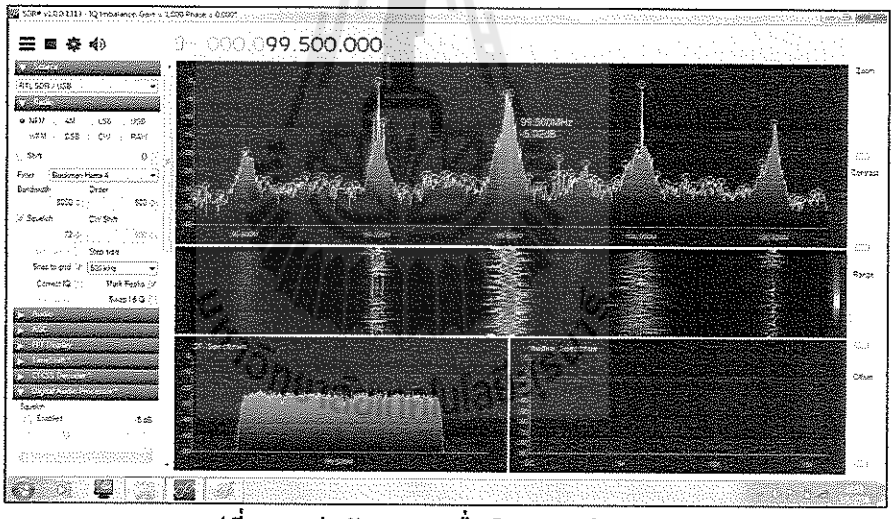
- นำค่าสัญญาณคลื่นวิทยุที่ได้จากสายอากาศแต่ละตัวไปป้อนลงในโปรแกรม Radiation Result เพื่อประมวลผลหาทิศทางของสายอากาศที่รับสัญญาณได้มากที่สุด

3.4.2 ผลการทดลอง

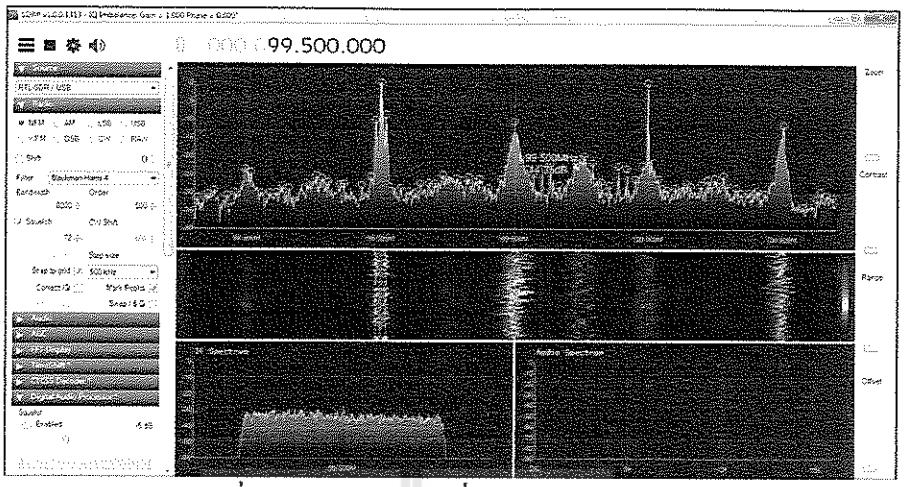
Case 1: วัดค่าสัญญาณที่เสาส่งสัญญาณอยู่ทางทิศเหนือ



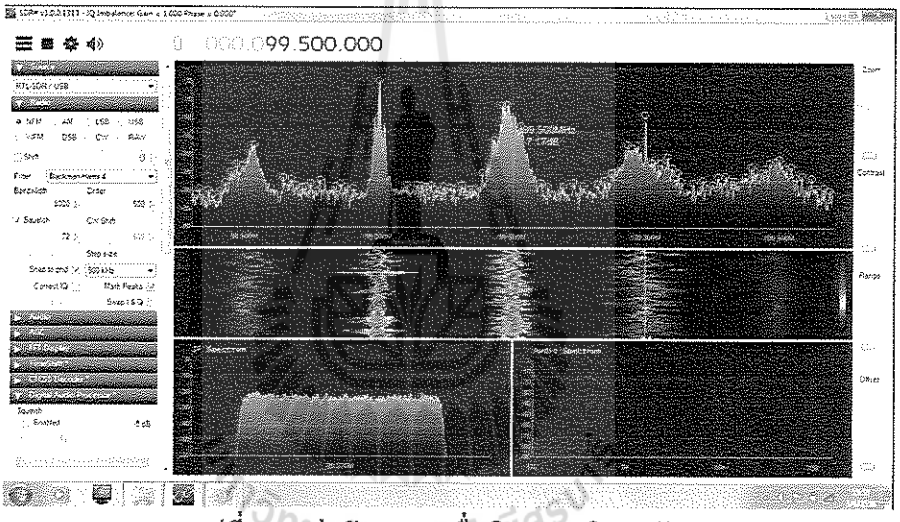
รูปที่ 3.44 ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศเหนือ



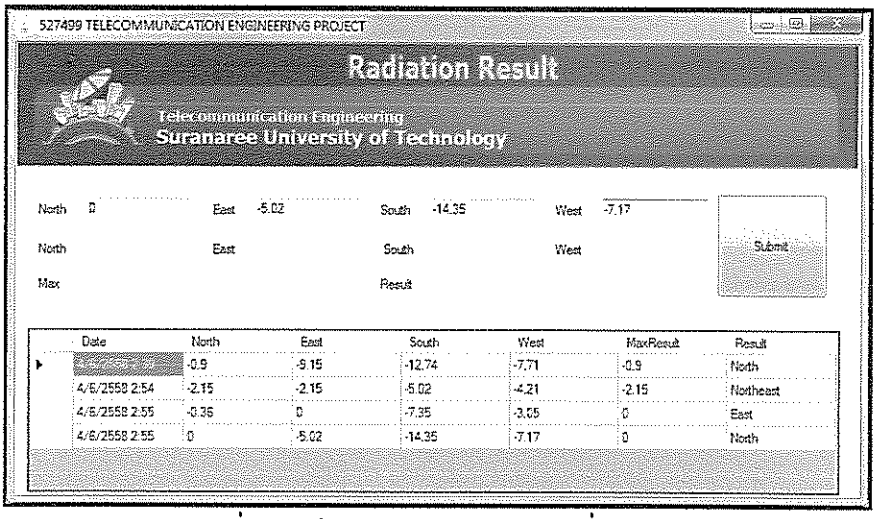
รูปที่ 3.45 ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศตะวันออก



รูปที่ 3.46 ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศใต้

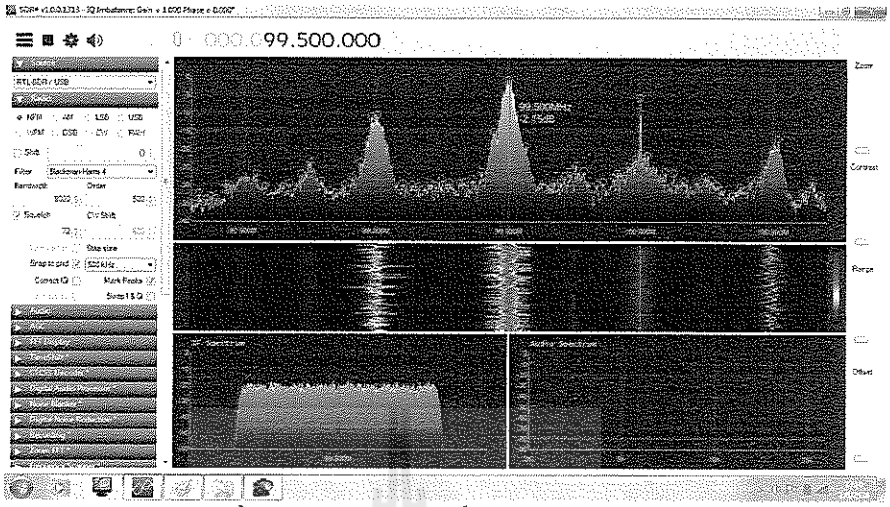


รูปที่ 3.47 ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศตะวันตก

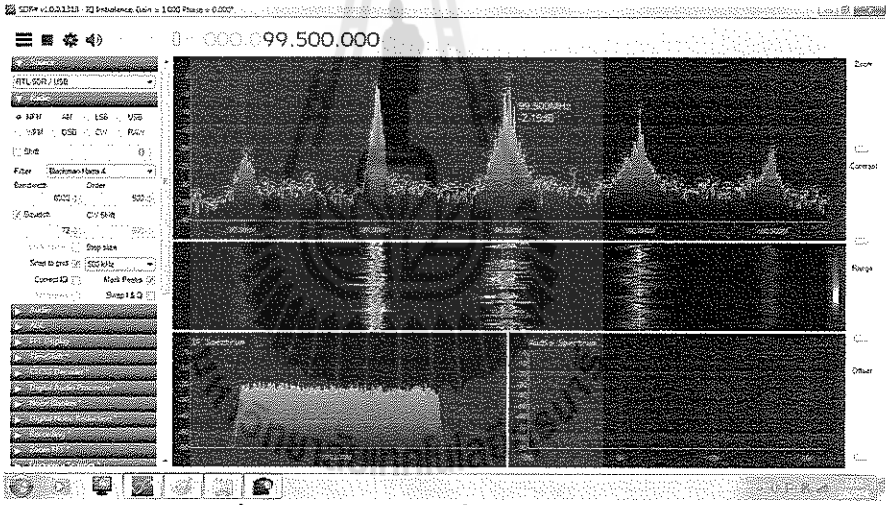


รูปที่ 3.48 ป้อนค่าลงในโปรแกรมเพื่อประมวลผล

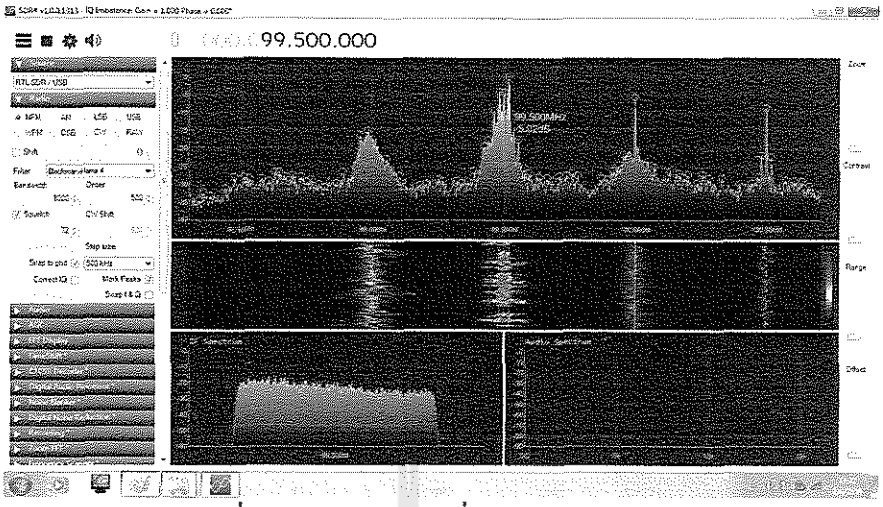
Case 2: วัดค่าสัญญาณที่เสาส่งสัญญาณอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



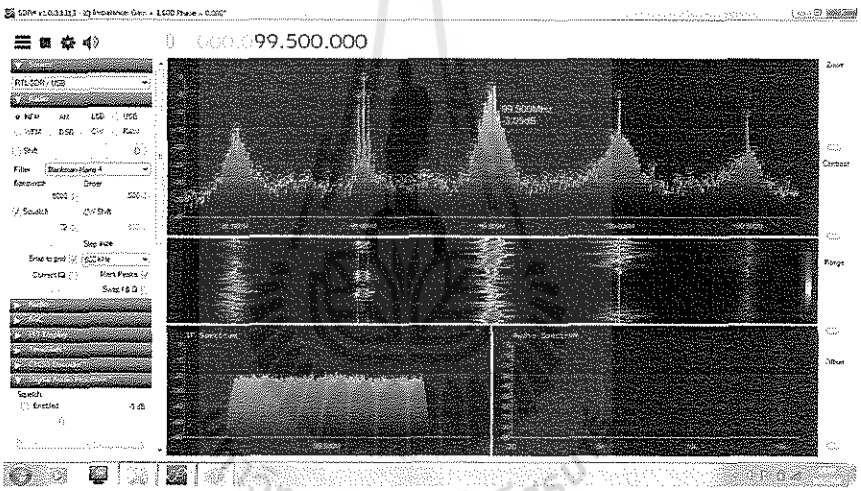
รูปที่ 3.49 ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศตะวันเหนือ



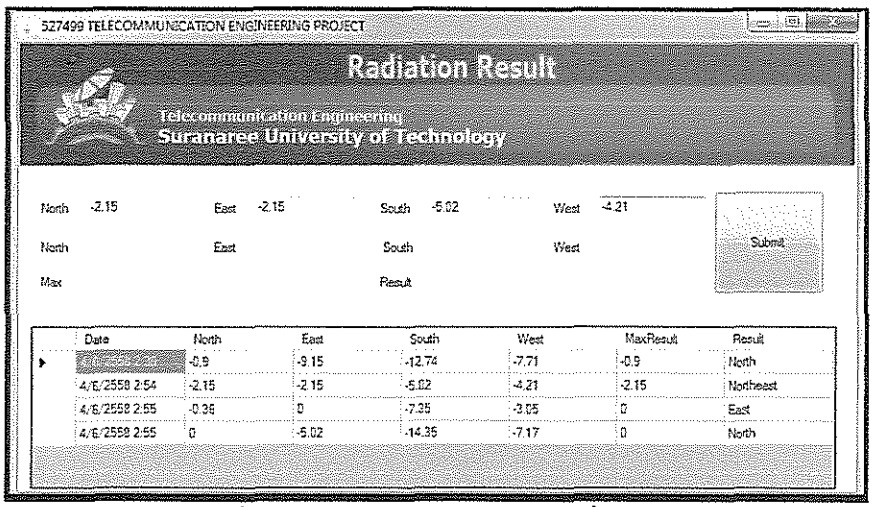
รูปที่ 3.50 ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศตะวันออก



รูปที่ 3.51 ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศใต้



รูปที่ 3.52 ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุทางทิศตะวันตก



รูปที่ 3.53 ป้อนค่าลงในโปรแกรมเพื่อประมวล

3.5 สรุปผลการทดลอง

ชุดอุปกรณ์ต้นแบบ คือ Corner Reflector Antenna 4 ตัว เพื่อทำการทดลองในการใช้สายอากาศค้นหาทิศทางของคลื่นวิทยุที่รบกวนการจราจรทางอากาศ โดยทำการวัดค่าสัญญาณคลื่นวิทยุที่สายอากาศแต่ละตัวรับได้ แล้วนำค่าที่ได้ไปป้อนในโปรแกรม Radiation Result เพื่อให้โปรแกรมทำการ Normalized และแสดงค่าทิศทางที่คลื่นมีความแรงที่สุดออกมา ผลปรากฏว่า

Case1: สถานีส่งสัญญาณอยู่ทางทิศเหนือของสายอากาศ ทำให้สายอากาศทางทิศเหนือรับคลื่นได้แรงที่สุด ส่วนทิศตะวันออกและทิศตะวันตก มีความแรงของสัญญาณรองลงมาและทิศใต้จะรับสัญญาณคลื่นได้น้อยที่สุด

Case2: สถานีส่งสัญญาณอยู่ทางทิศตะวันออกเหนือของสายอากาศ ทำให้สายอากาศทางทิศเหนือและทิศตะวันออกรับคลื่นได้เท่ากันและมีค่าแรงที่สุด ส่วนทิศตะวันตกและทิศใต้จะมีความแรงของสัญญาณรองลงมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ข้อสรุปของโครงงาน

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปต่างๆ ของโครงงานการค้นหาทิศทางคลื่นวิทยุที่รบกวนการจราจรทางอากาศ ซึ่งเนื้อหาในบทนี้แบ่งหัวข้อย่อย ดังนี้ 4.1) กล่าวนำ 4.2) ปัญหาระหว่างการปฏิบัติงานและแนวทางการแก้ไขปัญหา 4.3) ข้อเสนอแนะ 4.4) แนวทางการพัฒนา และ 4.5) บทสรุปของโครงงาน

4.2 ปัญหาระหว่างการปฏิบัติงานและแนวทางการแก้ไขปัญหา

ตารางที่ 4.1 ปัญหาระหว่างการปฏิบัติงานและแนวทางการแก้ไขปัญหา

ปัญหาระหว่างการปฏิบัติงาน	สาเหตุและแนวทางการแก้ไขปัญหา
การออกแบบสายอากาศ	สาเหตุ: การออกแบบสายอากาศเพื่อให้ได้ตามคุณสมบัติที่ต้องการ เช่น Gain ความสูง เป็นต้น แนวทางการแก้ไขปัญหา: ออกแบบให้ได้สายอากาศมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับที่ต้องการมากที่สุด
ขนาดของชุดอุปกรณ์ต้นแบบ	สาเหตุ: ความถี่ใช้งานต่ำ ทำให้ λ มีค่าสูงมาก แนวทางการแก้ไขปัญหา: ปรับเปลี่ยนและลดขนาดของ Reflector โดยเปลี่ยนสายอากาศจาก Dipole เป็น Monopole เพื่อลดขนาดของชุดอุปกรณ์ต้นแบบ
การประกอบชุดอุปกรณ์ต้นแบบ	สาเหตุ: ชุดอุปกรณ์ต้นแบบ มีขนาดใหญ่มาก
การวัดผลการทดลอง	สาเหตุ: ผลการทดลองที่ได้จะไม่ให้ผลที่แตกต่างของสายอากาศแต่ละตัว หากว่าตั้งสายอากาศใกล้กับสถานีส่งมากเกินไป แนวทางการแก้ไขปัญหา: ตั้งชุดอุปกรณ์ต้นแบบให้ไกลจากสถานีส่งเพื่อวัดสัญญาณคลื่นวิทยุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3 แนวทางในการพัฒนา

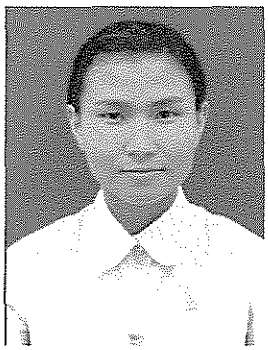
ขั้นตอนการทำงานของตัวชุดอุปกรณ์ต้นแบบนั้น เป็นการวัดค่าและเก็บผล เพื่อนำผลที่ได้ไปป้อนในโปรแกรม แต่เนื่องจากหากนำไปติดตั้งเพื่อใช้งานจริงในพื้นที่ต่างๆ อาจไม่สะดวกในการเก็บค่าด้วยตัวเอง จึงอาจมีการหาวิธีเพื่อให้โปรแกรมสามารถส่งค่าไปประมวลผลที่โปรแกรมที่อยู่ห่างไกลได้อัตโนมัติ

4.4 บทสรุปของโครงงาน

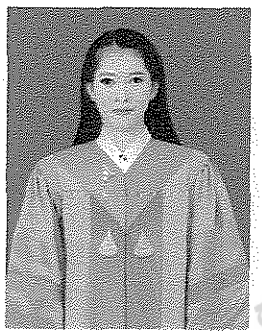
โครงงานเรื่อง การค้นหาทิศทางสัญญาณคลื่นวิทยุที่รบกวนการจราจรทางอากาศ ได้จัดทำชุดอุปกรณ์ต้นแบบ คือ Corner Reflector Antenna 4 ตัว เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดสัญญาณคลื่นวิทยุและค้นหาทิศทางที่คลื่นวิทยุดังกล่าวมีสัญญาณที่แรงที่สุด โดยทำการวัดค่าสัญญาณคลื่นวิทยุที่สายอากาศแต่ละตัวรับได้ แล้วนำค่าที่ได้ไปป้อนในโปรแกรม Radiation Result เพื่อให้โปรแกรมทำการ Normalized และแสดงค่าทิศทางที่คลื่นมีความแรงที่สุดออกมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

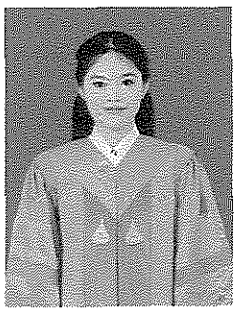
ประวัติผู้เขียน



นางสาว กรรณิการ์ สมณียาม เกิดเมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2536 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลหัวนา อำเภอเมือง จังหวัดหนองบัวลำภู สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนศรีบุญเรืองวิทยาคาร อำเภอศรีบุญเรือง จังหวัดหนองบัวลำภู เมื่อปี พ.ศ. 2554 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปี ที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นางสาว นิศาชล เครือแก้ว เกิดเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2535ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลหายโศก อำเภอบ้านผือ จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนสตรีราชินูทิศ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี เมื่อปี พ.ศ. 2554 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นางสาว ภรภัทร เปรมฤดีชัยศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2535 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลนิคมสร้างตนเอง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนสุรธรรมพิทักษ์ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2554 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

[1] **กิจการวิทยุกระจายเสียง.** (ม.ป.ป.). เข้าถึงได้จาก: http://www.bangkapi.ac.th/MediaOnLine/weerawanWMD/unit5_part13.htm (วันที่สืบค้นข้อมูล: 31 มี.ค. 2558)

[2] ทีมเฉพาะกิจสำนักประชาสัมพันธ์. (2556). **ปัญหาคลื่นวิทยุชุมชนกับความปลอดภัยการจราจรทางอากาศ.** เข้าถึงได้จาก: http://www.senate.go.th/w3c/senate/spaw2/uploads/files/18-09-56%20%E0%B8%9B%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%97%E0%B8%A2%E0%B8%B8%E0%B8%AF_1.pdf (วันที่สืบค้น: 4 พ.ค. 2558)

[3] บริษัท วิทยุการบิน จำกัด. (ม.ป.ป.). **คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมการจราจรทางอากาศ.** เข้าถึงได้จาก: http://www.aerothai.co.th/thai/eng_frequency_th.php (วันที่สืบค้น: 4 พ.ค. 2558)

[4] แผนกวิชาการสื่อสารประเภทวิทยุและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ กองทัพบก โรงเรียนทหารสื่อสาร กรมทหารสื่อสาร. (2545). **สายอากาศแบบทิศทาง (DIRECTIVE ANTENNA).** เข้าถึงได้จาก: http://signalkm.cloud.rta.mi.th/wp-content/uploads/2012/07/%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A8-%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%97%E0%B8%A2%E0%B8%B8.pdf (วันที่สืบค้น: 5 พ.ค. 2558)

[5] รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์. (2551). คำจำกัดความของสายอากาศ. ใน **วิศวกรรมสายอากาศ** (หน้า 1). กรุงเทพมหานคร: บริษัท จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์ จำกัด.

[6] รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์. (2551). ชนิดของสายอากาศ. ใน **วิศวกรรมสายอากาศ** (หน้า 6-14). กรุงเทพมหานคร: บริษัท จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์ จำกัด.

[7] รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์. (2551). โมโนโพล. ใน **วิศวกรรมสายอากาศ** (หน้า 149). กรุงเทพมหานคร: บริษัท จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์ จำกัด.

[8] วีรศักดิ์ เชิงเชาว์. (2548). **วิทยุชุมชนระบบ FM (Community FM Radio Broadcasting).** เข้าถึงได้จาก: http://www.prd.go.th/ewt_dl_link.php?nid=24877&filename=expert (วันที่สืบค้น: 5 พ.ค. 2558)

บรรณานุกรม(ต่อ)

[9] M. Malatong. (ม.ป.ป.). **Monopole Designing.** เข้าถึงได้จาก: http://eestaff.kku.ac.th/~nantakan/Microwave/2.%20CST%20-%20Monopole%20Design%20-%20MetaSolver%20KKU%20-%20MM.pdf (วันที่สืบค้น: 5 พ.ค. 2558)

[10] SIKANDAR HUNZAI. (2011). CORNER REFLECTOR ANTENNA. เข้าถึงได้จาก: https://sikandarhyat.wordpress.com/2011/12/27/corner-reflector-antenna/ (วันที่สืบค้น: 12 มี.ค. 2558)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี