**ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม**
**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม**
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**ใบรับรองปริญญานิพนธ์**

**ชื่อหัวข้อ** สายอากาศแบบกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz
2.4 GHz Can Antenna for Wireless LAN

ชื่อนักศึกษา 1. นายเอกรินทร์ โพธิ์ดก รหัสประจำตัว 48035353
2. นายศักดา ทรงจำรอง รหัสประจำตัว 48035516

**หลักสูตร** ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
**สาขาวิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม และ ~~วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์~~
**อาจารย์ที่ปรึกษา** อ.ประเสริฐ เดนพันค้อ
**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์

| คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| 1. อ.สุขสันต์ พาณิชพาพิบูล | |
| 2. อ.ประเสริฐ เดนพันค้อ | |
| 3. รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ | |
| 4. อ.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ | |
| 5. อ.พรพิมล ฉายรัศมี | |

**วัน/เดือน/ปีที่สอบ** วันอังคารที่ 24 เดือนเมษายน พ.ศ. 2550 เวลา 10.00 น.
**สถานที่สอบ** ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....
(รศ.สุรสิทธิ์ ราตรี)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
วันที่ 30 เดือน เม.ย. พ.ศ. 50

<BT492362>
สายอากาศแบบกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# ปริญญานิพนธ์

## สายอากาศแบบกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz

## 2.4 GHZ CAN ANTENNA FOR WIRELESS LAN

เอกรินทร์ โพธิ์ดก
ศักดา ทรงจำรอง

วพ.
0881
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....75170
วัน,เดือน,ปี.....24 ต.ค. 2550

b.....11816314
i.....

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ~~สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์~~
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

# ปริญญานิพนธ์

**เรื่อง** สายอากาศแบบกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz

2.4 GHz Can Antenna for Wireless LAN

**วัตถุประสงค์**

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการออกแบบสายอากาศแบบกระป๋องความถี่ 2.4 GHz สำหรับเครือข่ายไร้สาย
2. เพื่อออกแบบสายอากาศ 2.4 GHz สำหรับเครือข่ายไร้สาย
3. เพื่อสร้างสายอากาศสำหรับความถี่ 2.4 GHz สำหรับเครือข่ายไร้สาย
4. เพื่อทดลองการทำงานของสายอากาศความถี่ 2.4 GHz สำหรับเครือข่ายไร้สาย
5. เพื่อนำไปใช้ในการรับความถี่ย่าน 2.4 GHz สำหรับเครือข่ายไร้สาย

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ได้แนวทางและหลักการออกแบบสายอากาศ 2.4 GHz สำหรับเครือข่ายไร้สาย
2. ได้แบบสายอากาศ 2.4 GHz สำหรับเครือข่ายไร้สาย
3. ได้สายอากาศ 2.4 GHz สำหรับเครือข่ายไร้สาย
4. ได้ผลการทดลองการทำงานของสายอากาศ 2.4 GHz สำหรับเครือข่ายไร้สาย
5. ได้นำไปใช้งานในย่านความถี่ 2.4 GHz

| | |
|---|---|
| **ชื่อหัวข้อ** | สายอากาศแบบกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz |
| **นักศึกษา** | นายเอกรินทร์ โพธิ์ดก |
| | นายศักดา ทรงจำรอง |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | อาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** | รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ |
| **หลักสูตร** | ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมโทรคมนาคม |
| | วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ |
| **ปีการศึกษา** | 2549 |


**บทคัดย่อ**


ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอหลักการออกแบบสายอากาศ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย เพื่อเป็นการทดแทนสายอากาศเดิมซึ่งมีราคาสูง ในการออกแบบสร้างครั้งนี้เราจะใช้กระป๋องโลหะในการออกแบบและสร้างสายอากาศ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย และทำการทดสอบความแรงของสายอากาศ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย โดยใช้โปรแกรม Netstumbler เพื่อหาค่าความแรงของสัญญาณพบว่าสายอากาศแบบกระป๋องใช้งานความถี่ไร้สาย 2.4 GHz เส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตรแบบอลูมิเนียมมีความแรงของสัญญาณเท่ากับ -74 dB ซึ่งเป็นความแรงของสัญญาณที่ดีที่สุดของสายอากาศแบบกระป๋อง

| | | |
|---|---|---|
| **Thesis Title** | 2.4 GHz Can Antenna for Wireless LAN | |
| **Students** | Mr.Aekarin | Phodok |
| | Mr.Sakda | Songjamrong |
| **Advisor** | Mr.Prasert | Kenpankho |
| **Co-Advisor** | Assoc.Prof.Wisuit | Sunthonkanokpong |
| **Education Level** | Bachelor of Science in Industrial Education | |
| **Program in** | Telecommunication Engineering | |
| | Electronics Engineering | |
| **Academic Year** | 2006 | |

**ABSTRACT**

The thesis presents the construction of 2.4 GHz Can Antenna for WirelessLAN which is offered to use instead of an expensive Wireless LAN Antenna. The 2.4 GHz Can Antenna for Wireless LAN is designed and constructed by using can stanless and frequency at 2.4 GHz. It is also tested the strength signal by using Netstumbler program and showed that 2.4 GHz Can Antenna for Wireless LAN built by an aluminium at diameter 85 mm has an intensity signal at -74 dB for the best received signal.

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ดีขึ้นนั้น เนื่องจากความร่วมมือร่วมใจของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ และ รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ และอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านเป็นอย่างมากที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนถึงข้อมูลและอุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทดลอง และในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนถึงข้อมูลและอุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทดลองโครงงาน และในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องอินเตอร์เน็ตคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม และสำนักหอสมุดกลางที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าข้อมูล

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ชมรมมุสลิม และชมรมพัฒนาจริยธรรมและคุณธรรม สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่คอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ วิศวกรรมโทรคมนาคมและวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่คอยให้กำลังใจเสมอมา และเพื่อน ๆที่คอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ขอบคุณครับจากใจจริง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VII |
| สารบัญรูป | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 จุดมุ่งหมายของโครงงาน | 1 |
| 1.3 สมมุติฐานของการจัดโครงงาน | 1 |
| 1.4 ขีดความสามารถของโครงงาน | 1 |
| 1.5 ขั้นตอนการทำงานโครงงาน | 2 |
| 1.6 เนื้อหาโดยสังเขป | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 3 |
| 2.1 กล่าวนำ | 3 |
| 2.2 ทฤษฎีเสาอากาศเบื้องต้น | 3 |
| 2.2.1 ทฤษฎีเสาอากาศ | 3 |
| 2.2.2 ประเภทของเสาอากาศ | 4 |
| 2.2.3 วิธีคำนวณระยะทางใช้งานสูงสุดของระบบไวร์เลสแลน | 4 |
| 2.2.4 หลักการสายอากาศ | 7 |
| 2.2.5 โครงสร้างของสายอากาศแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ | 11 |
| 2.3 ตัวกลางในการนำข้อมูล (Media) | 18 |
| 2.3.1 สายส่งข้อมูล | 18 |
| 2.3.2 การตัดสายนำสัญญาณให้ลงแลมด้าเพื่อทำเฟสชิ้งไลน์ | 19 |
| 2.3.3 มาตรฐานของสายนำสัญญาณ | 21 |
| 2.3.4 การเลือกใช้สายนำสัญญาณ | 21 |
| 2.3.5 สำหรับพารามิเตอร์ของสายนำสัญญาณโทรทัศน์นั้นประกอบไปด้วย | 22 |
| 2.4 มาตรฐาน Wireless LAN | 26 |

# สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 2.4.1 มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11 | 27 |
| 2.5 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานกับเครือข่ายไร้สาย | 30 |
| 2.5.1 PCI Card | 30 |
| 2.5.2 PCMCIA Card | 31 |
| 2.5.3 USB Adapter | 31 |
| 2.5.4 Wireless Broadband Router | 31 |
| 2.6 ภาชนะบรรจุที่ทำด้วยโลหะ | 32 |
| 2.6.1 กระป๋องบรรจุอาหาร | 32 |
| 2.6.2 ปี๊บบรรจุอาหาร | 34 |
| 2.6.3 แผ่นอลูมิเนียม (Aluminium foil) | 35 |
| บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน | 36 |
| 3.1 กล่าวนำ | 36 |
| 3.2 การออกแบบและสร้างสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz | 36 |
| 3.3 ขั้นตอนการประกอบสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz | 38 |
| บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง | 42 |
| 4.1 กล่าวนำ | 42 |
| 4.2 การทดลองการทำงานของสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz | 42 |
| 4.2.1 การทดลองเพื่อหาความแรงของสัญญาณความถี่ไร้สาย 2.4 GHz | 42 |
| 4.3 การทดลองเพื่อหาความแรงของสัญญาณภายในคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม | 43 |
| 4.3.1 การใช้สายอากาศเดิมที่มากับ USB Wireless LAN Card | 43 |
| 4.3.2 การใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร | 45 |
| 4.3.3 การใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร | 46 |
| 4.3.4 การใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร | 48 |
| 4.4 การทดลองเพื่อหาความแรงของสัญญาณสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz (นอกสถานที่) | 49 |
| 4.4.1 สายอากาศเดิมที่มากับ USB Wireless LAN Card | 49 |
| 4.4.2 สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร | 51 |
| 4.4.3 สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร | 51 |

# สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 4.4.4 สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร | 52 |
| บทที่ 5 บทสรุป | 55 |
| 5.1 บทสรุป | 55 |
| 5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข | 57 |
| 5.3 แนวทางการพัฒนา | 58 |
| บรรณานุกรม | 59 |
| ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ | 61 |
| ภาคผนวก ข โครงสร้างและรูปแบบของสายอากาศกระป๋อง | 66 |
| ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์ | 68 |
| ภาคผนวก ง รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ | 70 |
| ภาคผนวก จ ผังงาน | 100 |
| ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งาน | 102 |
| ประวัติผู้แต่ง | 107 |


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 สายอากาศไมโครเวฟแบบจานสะท้อนอันเดียว | 12 |
| 2.2 สายอากาศไมโครเวฟแบบจานสะท้อนสองอัน | 13 |
| 2.3 ประเภท Twisted Pair | 19 |
| 2.4 คุณสมบัติสายโคแอกเชียลที่นิยมใช้งาน | 24 |
| 2.4 (ต่อ) คุณสมบัติสายโคแอกเชียลที่นิยมใช้งาน | 25 |
| 2.4 (ต่อ) คุณสมบัติสายโคแอกเชียลที่นิยมใช้งาน | 26 |
| 2.5 ชุดมาตรฐานของ WLAN ในปัจจุบัน ประกอบด้วย | 27 |
| 3.1 สูตรคำนวณสายอากาศกระป๋อง | 37 |
| 3.1 (ต่อ) สูตรคำนวณสายอากาศกระป๋อง | 38 |
| 4.1 ผลการทดลองสายอากาศกระป๋องในระยะทางต่าง ๆ | 53 |
| 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองสายอากาศกระป๋องในระยะทางต่าง ๆ | 54 |
| ค.1 รายการอุปกรณ์ของสายอากาศ 2.4 GHZ ในเครือข่ายไร้สาย | 69 |
| ฉ.1 แก้ไขปัญหาเบื้องต้น | 105 |
| ฉ.2 ข้อมูลจำเพาะ | 106 |

# สารบัญรูป


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 โครงสร้างของสายอากาศและรูปแบบการตอบสนองของสายอากาศที่ไม่ต้องต่อเข้าโดยตรงกับสายนำสัญญาณ | 7 |
| 2.2 ผลการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากตัวสะท้อนคลื่น | 8 |
| 2.3 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลที่มีตัวสะท้อนคลื่นเปรียบเทียบกับสายอากาศไดโพลมาตรฐาน | 9 |
| 2.4 ผลของการเพิ่มตัวนำคลื่นที่มีการต่อการแพร่กระจายคลื่น | 10 |
| 2.5 ความต้านทานของไดโพล ณ จุดต่าง ๆ | 10 |
| 2.6 สายอากาศแบบสล็อต | 11 |
| 2.7 สายอากาศแบบฮอร์น | 11 |
| 2.8 โครงสร้างของสายอากาศแบบพาราโบลา | 14 |
| 2.9 สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์ | 15 |
| 2.10 สายอากาศแบบฮอร์นรีเฟลกเตอร์ | 16 |
| 2.11 สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน | 16 |
| 2.12 สายอากาศแบบเกรโกเรียน | 17 |
| 2.13 ประเภทของกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลคเกอร์ | 33 |
| 2.14 กระป๋องกระดาษ | 34 |
| 2.15 ปี๊บบรรจุอาหาร | 34 |
| 2.16 แผ่นอลูมิเนียม | 35 |
| 3.1 ส่วนประกอบของสายอากาศกระป๋อง | 36 |
| 3.2 โครงสร้างของสายอากาศกระป๋อง | 36 |
| 3.3 Connector ทำการเชื่อมต่อกับ ลวดทองแดง | 38 |
| 3.4 การติดตั้ง Connector เข้ากับกระป๋อง | 39 |
| 3.5 ด้านในของการติดตั้ง Connector กับกระป๋อง | 39 |
| 3.6 สายนำสัญญาณพร้อมกับ Connector | 40 |
| 3.7 การต่อ UBS Wireless LAN Card กับสายนำสัญญาณเข้ากับสายอากาศกระป๋อง | 40 |
| 3.8 การเชื่อมต่อสายอากาศกระป๋องเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ | 41 |
| 4.1 การต่อ USB Wireless LAN Card เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ | 43 |
| 4.2 สายอากาศเดิมที่มากับ USB Wireless LAN Card | 44 |

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 4.3 กราฟความแรงของสัญญาณของสายอากาศเดิมที่มากับ USB Wireless LAN Card | 44 |
| 4.4 การต่อใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตรเข้ากับคอมพิวเตอร์ | 45 |
| 4.5 กราฟความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร | 46 |
| 4.6 การต่อใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตรเข้ากับคอมพิวเตอร์ | 47 |
| 4.7 กราฟความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร | 47 |
| 4.8 การต่อใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตรเข้ากับคอมพิวเตอร์ | 48 |
| 4.9 ความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลลิเมตร | 49 |
| 4.10 การใช้สายอากาศเดิมที่มากับ UBS Wireless LAN Card (นอกสถานที่) | 50 |
| 4.11 กราฟความแรงของสัญญาณของสายอากาศสายอากาศเดิมที่มากับ UBS Wireless LAN Card (นอกสถานที่) | 50 |
| 4.12 ความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร | 51 |
| 4.13 ความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร | 52 |
| 4.14 กราฟความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร | 53 |
| ก.1 ด้านแนวตั้งของกระป๋องที่ต่อ Connector | 62 |
| ก.2 ด้านแนวนอนของกระป๋องที่ต่อ Connector | 62 |
| ก.3 USB Wireless LAN Card สำเร็จรูป | 63 |
| ก.4 สาย RG-58 พร้อมกับ Connector | 63 |
| ก.5 การเชื่อมต่อระหว่าง USB Wireless LAN กับสายอากาศกระป๋อง | 64 |
| ก.6 การต่อสายอากาศกระป๋องใช้งานจริงกับคอมพิวเตอร์ | 64 |
| ก.7 การใช้งานสายอากาศกระป๋องนอกสถานที่ | 65 |
| ข.1 โครงสร้างสายอากาศกระป๋อง | 67 |
| ข.2 รายละเอียดของโครงสร้างสายอากาศกระป๋อง | 67 |
| จ.1 ผังงานของสายอากาศกระป๋อง | 101 |
| จ.2 โครงสร้างรูปแบบสายอากาศกระป๋อง | 101 |
| ฉ.1 ส่วนประกอบต่างๆของสายอากาศ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย (แนวตั้ง) | 104 |
| ฉ.2 ส่วนประกอบต่างๆของสายอากาศ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย (แนวนอน) | 104 |

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีไร้สายได้รับความนิยมมากขึ้น ซึ่งส่วนสำคัญของเทคโนโลยีไร้สายคือสายอากาศ ซึ่งสายอากาศได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายและมีอยู่หลากหลายรูปแบบ เทคโนโลยีเหล่านี้ส่วนใหญ่มีราคาค่อนข้างสูงและยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

เพื่อเป็นการลดการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ โครงงานนี้จึงได้ศึกษาและพัฒนาวัสดุที่จะสามารถใช้เป็นสายอากาศรับสัญญาณซึ่งจะต้องเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและราคาถูกจึงได้ศึกษาวัสดุโลหะชนิดต่างๆ และพบว่ากระป๋องโลหะสามารถนำมาใช้รับสัญญาณได้ ซึ่งโครงงานจะทำการออกแบบและทดสอบว่ากระป๋องโลหะชนิดไหนสามารถนำมาใช้รับสัญญาณได้ดีที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเทคโนโลยีในการรับสัญญาณให้ดีที่สุดและมีราคาย่อมเยา

## 1.2 จุดมุ่งหมายของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาแนวทางและหลักการออกแบบสายอากาศ 2.4 GHZ ในเครือข่ายไร้สาย
2. เพื่อออกแบบสายอากาศ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย
3. เพื่อสร้างสายอากาศสำหรับความถี่ 2.4 GHzในเครือข่ายไร้สาย
4. เพื่อทดลองการทำงานของสายอากาศความถี่ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย
5. เพื่อนำไปใช้ในการรับความถี่ย่าน 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย

## 1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงงาน

การจัดทำและออกแบบสร้างสายอากาศสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สายสามารถทำได้ด้วยวัสดุอย่างง่าย และราคาถูก

## 1.4 ขีดความสามารถของโครงงาน

1. สายอากาศแบบกระป๋องสามารถรับสัญญาณได้ไกล 150 เมตร
2. สายอากาศแบบกระป๋องสามารถมีอัตราการขยายสัญญาณ
3. สายอากาศแบบกระป๋องสามารถตอบสนองย่านความถี่ที่ 2.4 GHz

## 1.5 ขั้นตอนของการทำโครงงาน

1. ศึกษาวัสดุและการทำงานของสายอากาศ
2. ศึกษาโปรแกรมในการคำนวณความถี่
3. จัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในออกแบบ
4. วิเคราะห์ทฤษฎีที่ได้ศึกษาในบทที่ 2 นำมาใช้ในการออกแบบและสร้างสายอากาศ
5. ทดสอบการทำงาน
6. แก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องและปัญหา

## 1.6 เนื้อหาโดยสังเขป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปริญญานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ วิธีการดำเนินการ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และส่วนประกอบของปริญญานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐาน ที่เป็นทฤษฎีที่ได้ศึกษามาใช้ในการออกแบบกระป๋อง และพัฒนา

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบกระป๋อง ซึ่งจะกล่าวถึงภาพรวมของชิ้นงานทั้งหมด และส่วนต่างๆที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง ซึ่งจะทำการอธิบายถึงรายละเอียดการทำงานที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมารวมทั้ง การทดลองประสิทธิภาพของสายอากาศกระป๋องในสภาวะแวดล้อมการใช้งานจริง

บทที่ 5 เป็นบทวิจารณ์และสรุป ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงเนื้อหาโดยสรุปของปริญญานิพนธ์ วิจารณ์สิ่งที่ได้รับ และข้อเสนอแนะสำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข โครงสร้างและรูปแบบของสายอากาศกระป๋อง

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

ภาคผนวก จ ผังงาน

ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งาน

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและหลักการ

## 2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ในบทนี้เป็นทฤษฎีและหลักการที่จะนำมาใช้ประกอบการสร้างโครงงาน โดยประกอบด้วย ทฤษฎีเสาอากาศเบื้องต้น ตัวกลางในการส่งข้อมูล

## 2.2 ทฤษฎีเสาอากาศเบื้องต้น

### 2.2.1 ทฤษฎีเสาอากาศ

เสาอากาศเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญตัวหนึ่งในระบบสื่อสารไร้สาย ทำหน้าที่แพร่กระจายและรับสัญญาณที่แพร่กระจายออกมาจากเสาอากาศต้นอื่น ถ้าคุณใช้เสาอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำก็จะไม่สามารถรับสัญญาณหรือส่งสัญญาณวิทยุออกไปได้เลย เพื่อเป็นการวัดประสิทธิภาพการทำงานของเสาอากาศจึงได้มีการกำหนดเสาอากาศในทางทฤษฎีขึ้นมาเรียกว่า เสาอากาศแบบไอโซโทรปิก (Isotropic Antenna) เสาอากาศนี้มีการแพร่กระจายคลื่นเป็นรูปทรงกลมคล้ายลูกโป่ง นั่นหมายถึงว่าไม่ว่าคุณจะอยู่บริเวณใดของเสาอากาศนี้ก็จะสามารถรับสัญญาณได้ดี

เทคนิคที่ใช้เพิ่มอัตราขยายของเสาอากาศ (Antenna Gain) ทำได้โดยการกำหนดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นนี้ใหม่ คล้ายกับการบีบลูกโป่ง ซึ่งทำให้การแพร่กระจายของคลื่นที่เราต้องการเนื่องจากการเพิ่มระยะการรับ - ส่งคลื่นเราต้องการให้เพิ่มระยะทางในแนวนอนมากกว่าแนวดิ่ง

อัตราขยายของเสาอากาศนั้นจะวัดจากค่าพลังในทิศทางที่ต้องการสูงสุดเมื่อเทียบกับพลังที่แพร่กระจายมาจากเสาอากาศในทางทฤษฎีแบบไอโซโทรปิก หากเสาอากาศนี้มีอัตราขยายสูงๆ ก็คล้ายกับการบีบลูกทรงกลมนี้ออกเป็นรูปแบบต่างๆ นั่นก็จะทำให้เกิดผลกระทบด้านพื้นที่ได้ครอบคลุมและองศาการกระจายคลื่นลดลง ตัวอย่างเช่น เสาอากาศแบบไดโพล (Dipole Antenna) จะมีรูปโปร่งการกระจายคลื่นคล้ายรูปโดนัท นั่นหมายถึงเรากำลังใช้มือบีบลูกโป่งตรงกลางสองข้างจนมีรูปร่างคล้ายโดนัท นี้ก็ทำให้การแพร่กระจายของคลื่นในตรงกลางของโดนัทลดลงแต่จะไปเพิ่มการแพร่กระจายด้านแนวนอนทั้งสองข้าง

สูตรที่ใช้คำนวณอัตราขยายของเสาอากาศ G เมื่อเทียบกับเสาอากาศแบบไอโซโทรปิก

$$G = \frac{P_{directional}}{P_{bitropic}} \qquad (2.1)$$

ในการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุจะเป็นรูปแบบ 3 มิติ ดังนั้น ต้องมีการวัดการกระจายคลื่นจากทั้งแนวนอน (E-Plane) และแนวตั้ง (H-Plane) รูปดังต่อไปนี้ก็คือ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของเสาอากาศรอบทิศทางแบบไดโพล (Dipole Antenna) ที่มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นคล้ายรูปโดนัท หากมองจากแนวนอนก็จะเห็นคล้ายรูปโดนัทผ่าครึ่งแต่ถ้ามองจากแนวตั้งจะเห็นว่าเป็นรูปทรงกลมประโยชน์จากรูปแบบการกระจายคลื่นแบบนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้กับอาคารสูงๆ ที่มีอุปกรณ์ไวร์เลสมากๆ หากคุณใช้เสาอากาศแบบนี้คลื่นก็จะแพร่กระจายไปในแนวนอนได้ดี นั่นหมายถึงในชั้นเดียวกันสามารถรับสัญญาณได้ดี แต่ในแนวตั้งจะแพร่กระจายคลื่นไม่ดี ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้คลื่นเดินทางไปรบกวนชั้นบนและล่างได้เป็นอย่างดี

**2.2.2 ประเภทของเสาอากาศ**

เสาอากาศสามมารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ จากรูปแบบการกระจายของคลื่นคือ

1. เสาอากาศแบบรอบตัว (Omni Directional Antenna) เสาอากาศประเภทนี้มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง 360 องศา เหมาะสำหรับใช้ติดต่อกับเครื่องลูกข่ายที่เคลื่อนไหวอยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่ไม่แน่นอน เสาอากาศประเภทนี้จะเป็นเสาอากาศพื้นฐานที่ติดมาพร้อมกับอุปกรณ์สื่อสารทั่วไป ชื่อของเสาอากาศแบบนี้ที่นิยมใช้กัน ได้แก่ เสาอากาศแบบไดโพล อัตราขยายของเสาอากาศแบบนี้ในระบบไวร์เลสแลนมีตั้งแต่ 2-12 dBi
2. เสาอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna) เป็นเสาอากาศที่มีทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นที่มีทิศทางชัดเจน เหมาะสำหรับการติดต่อระหว่างจุดต่อจุด สามารถเพิ่มระยะทางการใช้งานได้ไกลกว่าเสาอากาศแบบรอบตัว แต่มีข้อเสียคือ ถ้าไม่อยู่ในทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นจะไม่สามารถรับสัญญาณได้เลย ชื่อของเสาอากาศแบบนี้ที่นิยมใช้กัน ได้แก่ เสาอากาศแบบเซ็กเตอร์ เสาอากาศแบบ ยากิ เสาอากาศแบบกริด เสาอากาศแบบจาน อัตราขยายของเสาอากาศแบบนี้ในระบบไวร์เลสแลนมีตั้งแต่ 6-21 dBi เสาอากาศแบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อลดการรบกวนกันของอุปกรณ์ในระบบไวร์เลสแลนที่มีช่องสัญญาณให้เลือกใช้จำนวนน้อยๆ

**2.2.3 วิธีคำนวณระยะทางใช้งานสูงสุดของระบบไวร์เลสแลน**

**2.2.3.1 การออกแบบระบบสื่อสารไร้สายทั่งไป**

ผู้ออกแบบส่วนใหญ่มักจะต้องการให้สัญญาณเดิน ทางไปได้ไกลๆ และต้องการให้สัญญาณมีความคมชัด นั่นหมายความว่าจะต้องส่งสัญญาณให้มีความแรงมากพอที่จะเดินทางไปถึงปลายทางโดยจะต้องคำนวณเผื่อถึงอัตราสูญเสียประเภทต่างๆ ด้วย ยิ่งเป็นความถี่ย่านไมโครเวฟที่อุปกรณ์ไวร์เลสแลนใช้งานอยู่ก็จะมีอัตราการสูญเสียค่อนข้างสูง และอ่อนไหวจากผลกระทบรอบข้างได้มาก เมื่อออกแบบระบบสื่อสารไร้สาย

จึงต้องเผื่อค่าความแรงสัญญาณให้มากพอที่เครื่องรับวิทยุจะทำงานได้ เพื่อให้เข้าใจมากขึ้นเราจะมาทำความเข้าใจกับอุปสรรคที่ทำให้คลื่นมีความแรงลดลงดังต่อไปนี้

1. การลดทอนสัญญาณของคลื่นตามระยะทาง การลดทอนนี้เกิดจากความแรงของสัญญาณที่ลดลงซึ่งแปรผันกับระยะทาง ที่เกิดขึ้นในสภาวะสุญญากาศโดยมามีตัวแปรอื่นๆ มาเกี่ยวข้องในสภาวะนี้จะไม่มีสิ่งกีดขว้างมาเกี่ยวข้อง เราเรียกค่านี้ว่า "อัตราลดทอนในสภาวะสุญญากาศ
2. การลดทอนของคลื่นที่เดินทางผ่านตัวกลาง ที่มีความสามารถดูดซับสัญญาณได้ เช่นต้นไม้ ผนัง หน้าต่าง กระจก หรือพื้นอาคาร อัตราการลดทอนนั้นจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัตถุ ยิ่งวัตถุมีความหนาก็จะมีอัตราลดทอนที่สูง โดยทั่วไปจะมีค่าดังต่อไปนี้
   ต้นไม้ มีอัตราการลดทอนอยู่ระหว่าง 10-20 dB โดยจะขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของต้นไม้ต้นไม้ที่มีใบมากจะมีอัตราการลดทอนที่สูง
   ผนัง มีอัตราการลดทอนอยู่ระหว่าง 10-15 dB โดยจะขึ้นอยู่กับความหนาและวัสดุที่ใช้ถ้าเป็นผนังยิปซัมเบาจะมีอัตราการลดทอนน้อยกว่าผนังปูนและอิฐ
   พื้นอาคาร มีอัตราการลดทอนระหว่าง 12-27 dB โดยจะขึ้นอยู่กับความหนาและวัสดุที่ใช้ หากเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวนมาก จะมีอัตราการลดทอนที่สูงกว่าปกติ และ ถ้าเป็นพื้นไม้จะมีอัตราการลดทอนที่ต่ำกว่ามาก
   กระจก มีอัตราลดทอนไม่มากแต่ถ้าเป็นการะจกเคลือบปรอทป้องกันความร้อนจะมีอัตราการลดทอนที่สูงมากกว่า
3. การกระจายของสัญญาณอันเกิดจากเครื่องรับและส่งได้อยู่ในระยะสายตา คลื่นก็จะเดินทางผ่านวัตถุมากมายเกิดการตกกระทบแล้วสะท้อนกระจายออกเป็นคลื่นต่างๆ ที่มาจากหลายทิศทาง ทำให้เกิดปัญหาสัญญาณเพี้ยน ยากต่อการทำงานของภาครับวิทยุที่จะนำสัญญาณที่ต้องการมาใช้งานได้

**2.2.3.2 การคำนวณค่าความแรงสัญญาณระหว่างภาครับและส่ง (Link Margin)**

การคำนวณค่าความแรงของสัญญาณที่เชื่อมต่อกันระหว่างภาครับและส่ง นั้นให้ประเมินว่าในระหว่างภาคส่งมีความแรงของสัญญาณดีเพียงใด หากค่านี้มีค่าน้อยเมื่อมีสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบ สื่อสารก็จะทำให้การสื่อสารล้มเหลวลงได้ หากค่านี้มีค่ามากก็แสดงถึงโอกาสที่จะรับสัญญาณได้ชัดเจนมีมากขึ้น และมีโอกาสที่คลื่นจะเดินทางได้ไกลขึ้น ค่านี้มีตัวแปรที่มีผลกระทบดังต่อไปนี้

1. กำลังส่งของคลื่นวิทยุ (Transmit power)
2. อัตราขยายของเสาอากาศภาคส่ง (Transmit antenna gain)
3. อัตราการลดทอนของสายนำสัญญาณภาคส่ง (Transmit cable loss)
4. อัตราการลดทอนของสายนำสัญญาณภาครับ (Receive antenna gain)

5. ความแรงของสัญญาณต่ำสุดที่ภาครับจะทำงานได้ (Minimum received signal level)

6. อัตราการลดทอนของสายนำสัญญาณภาครับ (Receive cable loss)

รูปแบบการคำนวณค่าความแรงของสัญญาณวิทยุส่วนใหญ่จะใช้หน่วยเป็นเดซิเบล เพราะว่าสะดวกกว่าวิธีอื่น หากต้องคำนวณด้วยตัวเลขธรรมดาคงต้องเป็นค่าจุดทศนิยมและมีสูตรต่างๆตามมาอยู่มากมาย ดังนั้น ก่อนทำการคำนวณจึงต้องแปลงค่าต่างๆ ให้อยู่ในรูปเดซิเบลก่อน

ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นการคำนวณค่าความแรงสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่างภาครับและส่งของแอ็กเซส-พอยน์กับไวร์เลสแลนการ์ดที่ภาครับมีคามไวที่ -83 dBm ทั้งสองใช้เสาอากาศที่มีอัตราขยายเท่ากับ 2.2 dBi และต่อสายนำสัญญาณย่อย ก่อนจึงต่อเข้าสายนำสัญญาณหลัก ไปสู่เสาอากาศ

การคำนวณค่าความแรงสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่างภาครับและส่ง (Link Margin)

| | | |
|---|---|---|
| กำลังส่ง (Tx Power) | | 15 dBm |
| อัตราลดทอนสายนำสัญญาณย่อย (Pigtail loss) | | -3 dB |
| อัตราลดทอนสายนำสัญญาณหลัก (Main Cable loss) | | -0.5 dB |
| อัตราขยายเสาอากาศภาคส่ง (Tx Antenna gain) | | 2.2 dBi |
| ค่าอัตราส่งประสิทธิผล (EIRP) | Sub total1 | 3.7 dBm |
| อัตราขยายเสาอากาศภาครับ (Rx antenna gain) | | 2.2 dBm |
| อัตราลดทอนสายนำสัญญาณหลัก (Main Cable loss) | | -0.5 dB |
| อัตราลดทอนสายนำสัญญาณย่อย (Pigtail loss) | | -3 dB |
| ความแรงของสัญญาณต่ำสุดที่ภาครับจะทำงานได้ (Rx sensitivity) | | -83 dB |
| Link Margin | Total | 95.4 dB |

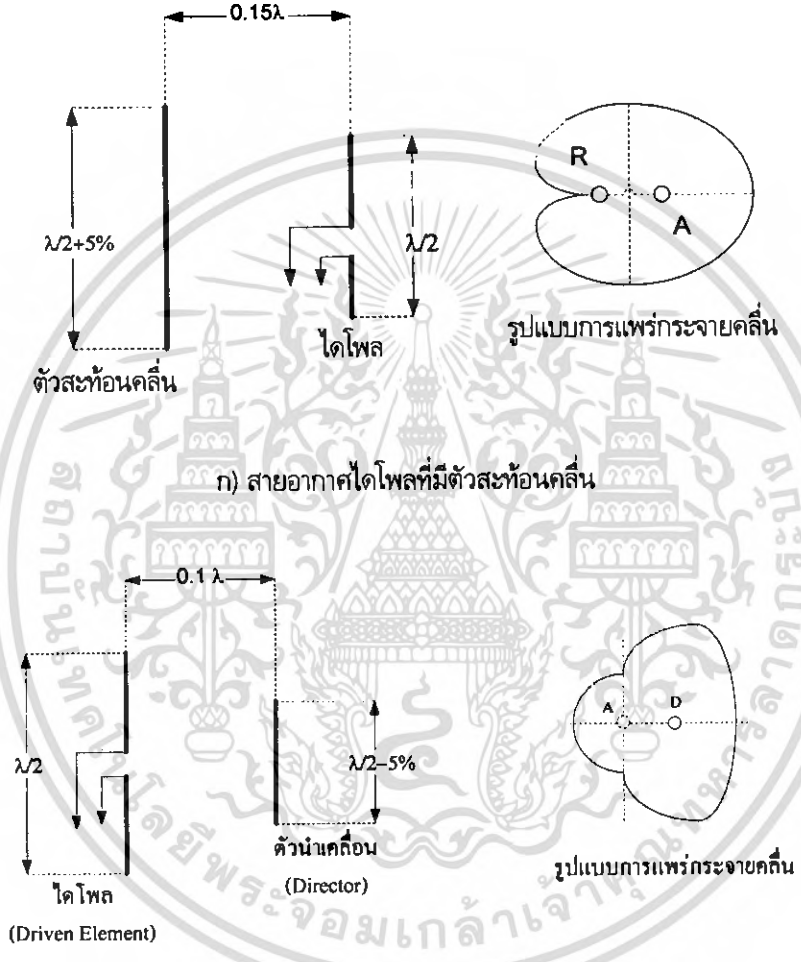
**2.2.3.3 การคำนวณระยะทางสูงสุดที่จะใช้งานได้**

ในการคำนวณระยะทางสูงสุดที่จะใช้งานระบบไวร์เลสแลนนี้จะต้องป้อนค่าตัวแปรอื่นๆเพิ่มเข้าไปด้วยเพราะการคำนวณเฉพาะค่าอัตราลดทอนในสภาวะสุญญากาศ นั้นไม่เพียงพอเพราะในสภาวะปกติ คลื่นของระบบไวร์เลสนั้นจะมีอัตราการลดทอนค่อนข้างสูงกว่าคลื่นทั่วไปคลื่นนี้มีผลกระทบจากสภาพ แวดล้อมต่างๆมาก ดังนั้น ในการคำนวณจึงต้องเป็นตัวแปรเกี่ยวกับอัตราการสูญเสียในสภาวะแวดล้อม และค่าการกระจายของสัญญาณหลังจากนั้นก็นำค่า Link Margin ที่คำนวณได้ด่อนหน้านั้นมาแทนค่าในสมการ

$$\text{Link Margin (dB)} = 40+10\times n\times\log(r) + L_{\text{allowed loss}} \qquad (2.2)$$

### 2.2.4 หลักการสายอากาศ

สายอากาศไดโพลแบบครึ่งคลื่น ($\lambda/2$) มาตรฐานที่ใช้ในระบบสื่อสารโดยจะเป็นมาตรฐานหรือเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศชนิดอื่นๆ อัตราขยายของสายอากาศจะวัดจากสัญญาณแรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของตัวไดโพล (Driven Element) ของสายอากาศ




**รูปที่ 2.1** โครงสร้างของสายอากาศและรูปแบบการตอบสนองของสายอากาศที่ไม่ต้องต่อเข้าโดยตรงกับสายนำสัญญาณ

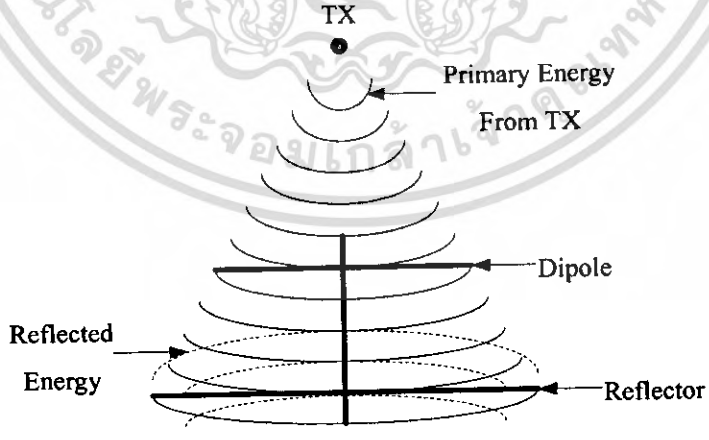
แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของไดโพล (Driven Element) จะเกิดขึ้นดังรูป แบบการแพร่กระจายคลื่นและจะตอบสนองที่ความถี่ใช้งาน อัตราการขยายของสายอากาศจะเป็นอัตราส่วนของแรงดันซึ่งแสดงเป็นหน่วย dB โดยทั่วไปแล้วสายอากาศแบบไดโพลจะมีอัตราขยายไม่เกิน 6 dB

การเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศสามารถทำได้โดยเพิ่มสายอากาศที่ไม่ได้ต่อเข้าโดยตรงกับสายนำสัญญาณ (Parasitic Element) เข้าไปทั้งข้างหน้าและข้างหลังของไดโพล ซึ่งเรียกว่า ตัวนำคลื่น (Director) และตัวสะท้อนคลื่น (Reflector) โดยความยาวและตำแหน่งของตัวนำคลื่นและตัวสะท้อนคลื่นไม่สามารถที่จะต่อเข้าไปโดยตรงเพราะพลังที่เกิดขึ้นที่ตัวนำคลื่นและตัวสะท้อนคลื่นจะเกิดจากการ คัปปลิ้งสัญญาณหากไดโพล ซึ่งจะส่งผลต่อการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

รูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นการต่อและรูปแบบของการตอบสนองของการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากการต่อตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น

**2.2.4.1 ตัวสะท้อนคลื่น (Reflector)**

เมื่อต่อสายอากาศที่ไม่ได้ต่อเข้าโดยตรงกับสายนำสัญญาณ โดยวางไว้ทางด้านหลังของไดโพลที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.15% และมีความยาวคลื่นมากกว่าไดโพลประมาณ 5 % มันจะทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนคลื่น รูปที่ 2 เป็นผลที่เกิดจากตัวสะท้อนคลื่นที่เกิดจากการแพร่กระจายคลื่นจะเห็นว่าคลื่นที่ผ่านตัวไดโพลมาจะถูกลดทอนโดยตัวสะท้อนคลื่น สัญญาณที่ถูกเหนี่ยวนำมาที่ตัวสะท้อนคลื่นจะมาจากไดโพลแต่ตัวสะท้อนคลื่นไม่ใช่รีซีสทีฟโหลด ดังนั้นพลังงานที่เกิดขึ้นที่ตัวสะท้อนคลื่นจึงมาจากการแพร่ กระจายคลื่น ระยะห่างของตัวสะท้อนคลื่นกับไดโพลมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่น พลังงานที่ตัวสะท้อนคลื่นส่งมายังไดโพลจะมีเฟสเดียวกันกับสัญญาณที่ไดโพลรับมา ดังนั้นสัญญาณที่สะท้อนกลับไปจึงมีการรวมกันกับสัญญาณที่รับเข้ามา สายอากาศแบบนี้จะเพิ่มอัตราขยายขึ้น ซึ่งมากกว่าใช้ไดโพลตัวเดียว

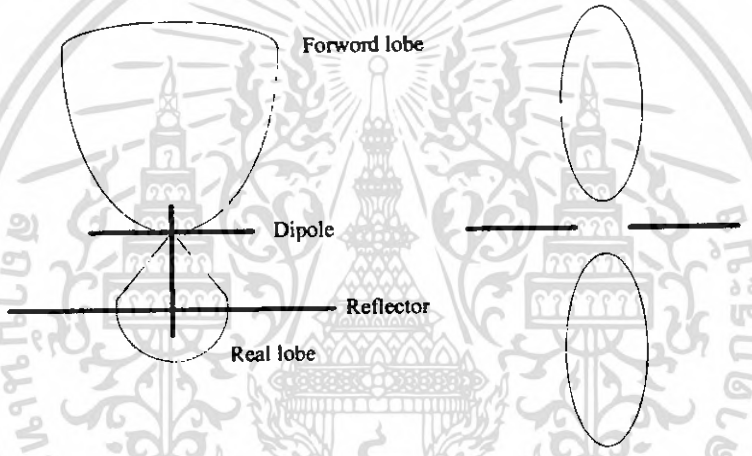



**รูปที่ 2.2** ผลการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากตัวสะท้อนคลื่น

ตัวสะท้อนคลื่นจะส่งผลโดยตรงกับการแพร่กระจายคลื่นเพราะสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจะกลับเฟส ทำให้การแพร่กระจายคลื่นทางด้านหน้าของไดโพลเปลี่ยนไป

สายอากาศไดโพลที่มีตัวสะท้อนจะมีรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 1 (ก) (เปรียบเทียบกับรูปที่ 3 (ข) ซึ่งเป็นการแพร่คลื่นของไดโพล) จะเห็นว่าส่วนหน้าจะยาวขึ้นแต่จะแคบลง ทำให้ความแรงในการรับสัญญาณทางด้านหน้าเพิ่มขึ้นการตอบสนองทางด้านหลังของไดโพลจะลดลงจากรูปจะเห็นว่าส่วนหลังจะเล็กลงมาก

การเพิ่มขึ้นของสัญญาณทางด้านหน้าเปรียบเทียบกับสัญญาณทางด้านหลังจะใช้ในการหาค่า เฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิภาพของสายอากาศ เรียกว่า "อัตราส่วนหน้าต่อหลัง" (Front to Black radio) ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญในการเลือกใช้สายอากาศของการสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุ



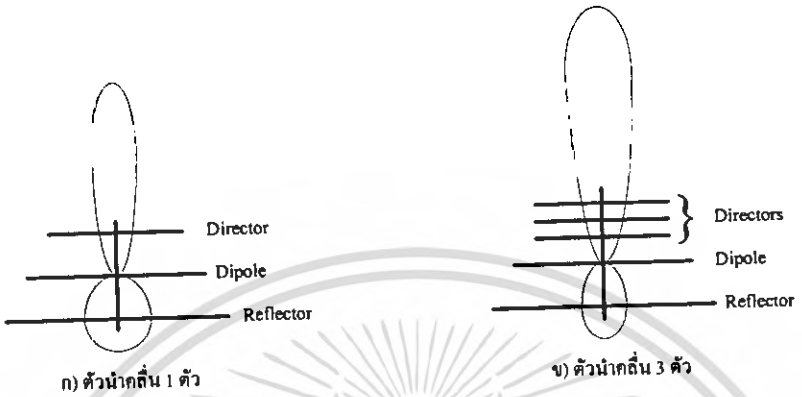

ก) สายอากาศไดโพลที่มีตัวสะท้อนคลื่น ข) สายอากาศไดโพล

**รูปที่ 2.3** รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลที่มีตัวสะท้อนคลื่นเปรียบเทียบกับสายอากาศไดโพลมาตรฐาน

**2.2.4.2 ตัวนำคลื่น (Director)**

สายอากาศที่ไม่ได้ต่อเข้าโดยตรงกับสายนำสัญญาณ (Parasitic Element) อีกชนิดหนึ่งก็คือตัวนำคลื่น ตัวนำคลื่นจะวางอยู่ห่างจากไดโพลประมาณ $0.12\lambda$ ทางด้านหน้าของไดโพล และมีความยาวน้อยกว่าตัวไดโพลประมาณ 5% ตัวนำคลื่นจะช่วยเพิ่มความแรงของสัญญาณจากไดโพลที่ได้รับผลจากตัวสะท้อนคลื่น ผลการตอบสนองจะทำให้รูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นทางด้านหน้าของไดโพลแคบลง การเสริมกันของ

สัญญาณจะทำให้อัตราการขยายเพิ่มขึ้นแต่โลปจะแคบลงทำให้สามารถรับสัญญาณได้ไกลขึ้น รูปที่ 4 เปรียบเทียบให้เห็นระยะของการแพร่กระจายคลื่นระหว่างการใช้ตัวนำคลื่น 1 ตัว กับการใช้ตัวนำคลื่น 3 ตัว



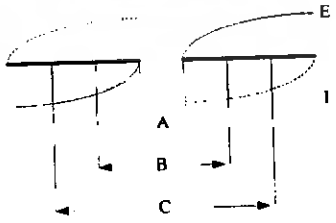

**รูปที่ 2.4** ผลของการเพิ่มตัวนำคลื่นที่มีการต่อการแพร่กระจายคลื่น

**2.2.4.3 สายอากาศแบบยากิ**

ในทางปฏิบัติสายอากาศบางชนิดอาจประกอบด้วยไดโพล 1 ตัวและสายอากาศที่ไม่ได้ต่อเข้าตรงกับสายนำสัญญาณ (Parasitic Element) 2 ตัว (ตัวสะท้อนคลื่น 1 ตัวและตัวนำคลื่น 1 ตัวหรือมากกว่า) ซึ่งเรียกว่าสายอากาศแบบยากิ โดยนักฟิสิกส์ชาวญี่ปุ่นชื่อ เดส ซึกุยากิ เป็นผู้คิดค้น

สายอากาศแบบยากิเป็นสายอากาศอีกชนิดหนึ่งที่มีอัตราการขยายสูง แต่อย่างไรก็ตามการตอบสนองต่อความถี่มีข้อจำกัด ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการตอบสนองต่อความถี่ของสัญญาณ ซึ่งได้ แก่ จำนวนของสายอากาศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และระยะห่างของสายอากาศแต่ละตัวดังนั้นจึงได้คิด ค้นสายอากาศที่มีการตอบสนองความถี่ทั้งและแคบ โดยขึ้นอยู่กับการใช้งาน

การเพิ่มจำนวนขององค์ประกอบของสายอากาศแบบยากิจะทำให้อิมพิแดนซ์ของไดโพลต่ำลง สัญญาณที่มาจากตัวนำคลื่นและตัวสะท้อนคลื่นจะเพิ่มสัญญาณที่ตัวไดโพล ทำความต้านทานลดลง

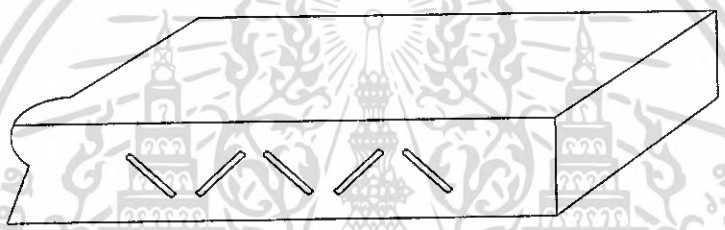



**รูปที่ 2.5** ความต้านทานของไดโพล ณ จุดต่าง ๆ

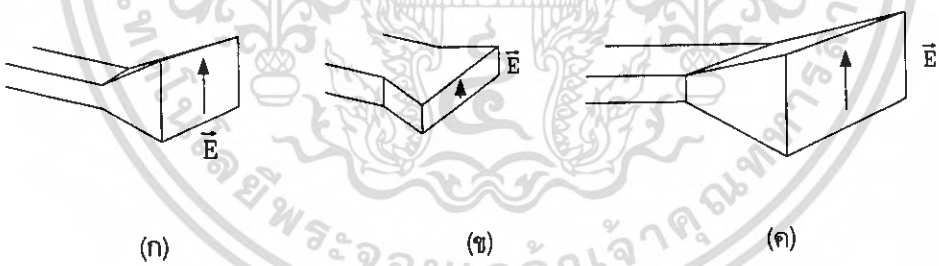
### 2.2.5 โครงสร้างของสายอากาศแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ

เนื่องจากการส่งกำลังคลื่นจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศจะใช้ท่อน้ำคลื่นเป็นหลัก ดังนั้นสายอากาศที่สร้างขึ้นจึงมักมีส่วนเกี่ยวข้องกับท่อน้ำคลื่นดังจะเห็นได้จากรูปต่าง ๆ ที่แสดงข้างล่างนี้ สายอากาศแบบช่องเปิดที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟนี้อาจแบ่งกว้าง ๆ ออกเป็น 3 แบบ ด้วยกัน คือ แบบสล็อต แบบฮอร์น และแบบจานสะท้อน

รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของสายอากาศแบบสล็อต (Slot antenna) ซึ่งเป็นการตัดช่องเปิดแคบ ๆ บนผนังของท่อน้ำคลื่น การตัดช่องเปิดไปลักษณะตามรูปจะทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแผ่กระจายออกสู่บรรยากาศภายนอกได้ แต่เนื่องจากการเจาะช่องเปิดเพียงช่องเดียวจะมีกำลังคลื่นส่งผ่านออกไปได้น้อยและอัตราขยายของสายอากาศก็มีค่าต่ำ ดังนั้นในการใช้งานจริงมักเจาะช่องสล็อตหลาย ๆ ช่อง และอาศัยหลักการของสายอากาศอะเรย์ในการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศนั้น



**รูปที่ 2.6** สายอากาศแบบสล็อต

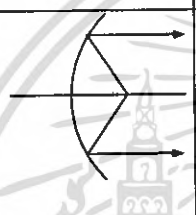
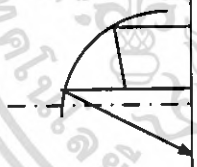
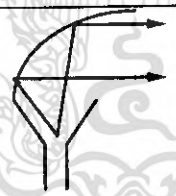



**รูปที่ 2.7** สายอากาศแบบฮอร์น

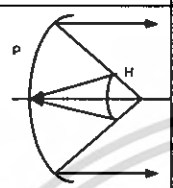
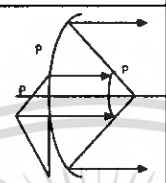
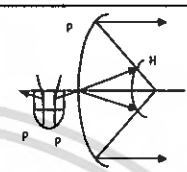
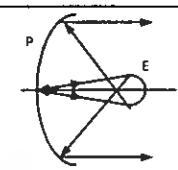
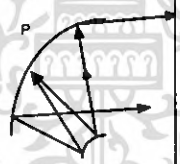
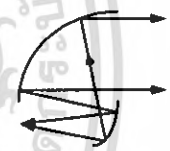
รูปที่ 2.7 แสดงสายอากาศแบบฮอร์นซึ่งอาศัยการลู่ปลายของท่อน้ำคลื่นในการทำให้มีพื้นที่ในการกระจายคลื่นมากขึ้นเพื่อให้มีอัตราขยายสูงขึ้น การขยายขนาดของปากฮอร์นจะทำได้ 3 แบบ ตามรูปคือ การขยายในระนาบของสนามไฟฟ้าตามรูป (ก) การขยายในระนาบของสนามแม่เหล็กตามรูป (ข) และการขยายออกไปทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก แบบที่สามนี้มีโครงสร้างเหมือนรูปพีระมิดจึงถูกเรียกว่า ฮอร์นรูปพีระมิด (Pyramidal horn) สำหรับฮอร์น 2 แบบแรกนั้นเรียกว่า ฮอร์นรูปพัด (Sectoral horn)

สายอากาศแบบที่ใช้จานสะท้อนนั้นมีหลายแบบด้วยกัน ตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของสายอากาศที่ใช้จานสะท้อนอันเดียว และจานสะท้อนสองอันตามลำดับ ในแต่ละแบบก็จะแบ่งออกเป็นโครงสร้างแบบสมมาตรและไม่สมมาตร ข้างล่างนี้จะอธิบายโครงสร้างของสายอากาศแบบจานสะท้อนที่มีที่ใช้อย่างกว้างขวางอย่างคร่าว ๆ

**ตารางที่ 2.1** สายอากาศไมโครเวฟแบบจานสะท้อนอันเดียว

| Type | | Standard Type | Low-sidelobe type | Shaped (multi-) beam type | Beam Scanning type |
|---|---|---|---|---|---|
| Symmetrical type | Shape |  | | | |
| | Name | Paraboloid | Microwave Absorber attached | Multi-beam | Spherical reflector |
| Asymmetrical type | Shape |  |  | | |
| | Name | Offset Paraboloid | Horn-reflector | Offset Multi-beam | Dually-curved |

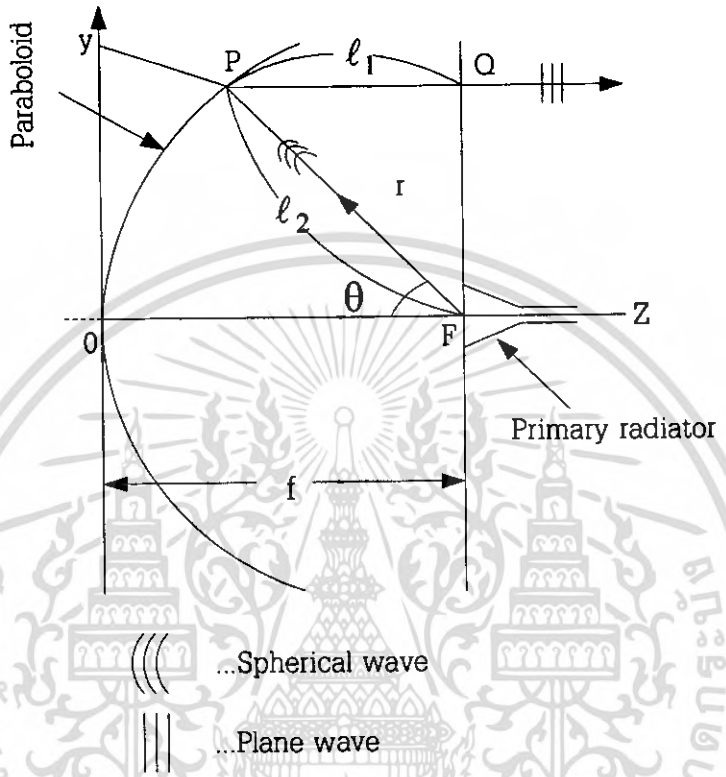
**ตารางที่ 2.2** สายอากาศไมโครเวฟแบบจานสะท้อนสองอัน

| | | Cassegrain type | | | Gregorian type |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Standard type | Shaped reflector type | | |
| | | | Near-field type | Guided-beam type | Standard type |
| Symmetrical type | Shape |  |  |  |  |
| | Name | Standard Cassegrain | Modified Cassegrain (horn-reflector type) | 2-reflector type 4-reflector type | Standard Gregorian |
| Asymmetrical type | Shape |  | | |  |
| | Name | Open-Cassegrain | | Offset Cassegrain | Offset Gregorain |

**2.2.5.1 สายอากาศแบบพาราโบลา (Paraboloidal antenna)**

สายอากาศแบบพาราโบลามีโครงสร้างดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.8 กล่าวคือ จานสะท้อนจะเป็นรูปพาราโบลอยด์รอบแกน z และมีตัวกระจายคลื่นขั้นต้น (Primary radiatior ) วางอยู่ตำแหน่งจุดโฟกัสของจานพาราโบลอยด์ โครงสร้างของสายอากาศนี้จึงเป็นแบบสมมาตร ในโครงสร้างนี้คลื่นทรงกลม( Spherical wave ) ที่ออกจากตัวกระจายคลื่นขั้นต้น เมื่อสะท้อนที่ผิวของจานจะให้คลื่นระนาบ (Plane wave) ออกมาที่ช่องเปิดของจานพาราโบลอยด์ จึงเท่ากับเป็นการขยายพื้นที่ของการกระจายคลื่น สายอากาศแบบนี้มีที่ใช้อย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นงานสื่อสารไมโครเวฟบนภาคพื้นดิน หรือใช้รับสัญญาณจากดาวเทียมทั้งนี้เพราะว่ามีโครงสร้างที่ง่ายและมีอัตราขยายสูง สำหรับตัวกระจายคลื่นขั้นต้น ถ้าเป็นความถี่ช่วงไมโครเวฟก็จะใช้ฟีด

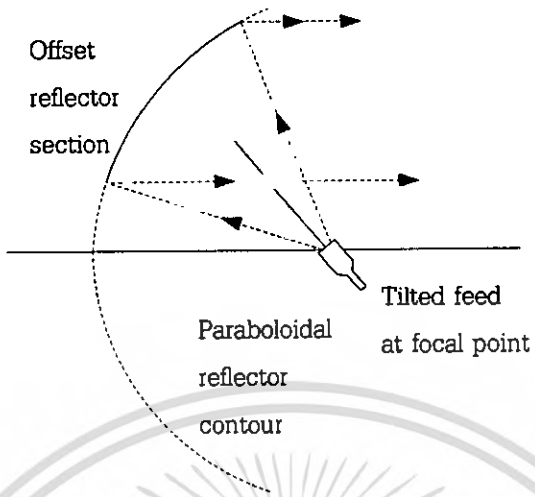
ฮอร์นรูปร่างต่าง ๆ ซึ่งจะกล่าวถึงในตอนหลัง ถ้าเป็นความถี่ช่วงที่ต่ำกว่า 1GHz ลงมามักใช้เป็นสายอากาศแบบยากิไดโพล




**รูปที่ 2.8** โครงสร้างของสายอากาศแบบพาราโบลา

**2.2.5.2 สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์**

สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์มีโครงสร้างที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 กล่าวคือ ตัวจากสะท้อนจะเป็นส่วนหนึ่งของพาราโบลอยด์ และตัวกระจายคลื่นขึ้นต้นจะวางอยู่บริเวณจุดโฟกัสของพาราโบลอยด์ ลักษณะเฉพาะของสายอากาศแบบนี้คือ ตัวกระจายคลื่นขั้นต้นจะไม่อยู่ตรงกลางของจานสะท้อนและส่วนใหญ่จะอยู่นอกบริเวณทางผ่านของคลื่นจากจานสะท้อน ลักษณะดังกล่าวนี้ทำให้มีชื่อเรียกว่าสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์




**รูปที่ 2.9** สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์

ในโครงสร้างสายอากาศนี้คลื่นทรงกลมจากตัวกระจายคลื่นขั้นต้นเมื่อสะท้อนที่จานสะท้อนแล้วเปลี่ยนเป็นคลื่นระนาบที่ตั้งฉากกับแกนสมมาตรคือ แกน Z สายอากาศแบบนี้มีข้อดีที่พื้นที่ประสิทธิผลค่อนข้างสูง เพราะไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดของสายอากาศบังเส้นทางผ่านของคลื่น แต่ก็มีข้อเสียตรงที่โครงสร้างแบบไม่สามมาตรจะทำให้โพลาไรเซชันในแนวตั้งฉาก (Cross - polarization) ในทิศที่ไม่ใช่ด้านหน้ามีระดับสูงขึ้น

สายอากาศแบบนี้ส่วนใหญ่จะใช้เป็นสายอากาศของสถานภาคพื้นดินดาวเทียม และโดยมากจะใช้ในย่านความถี่สูงกว่าแบนด์ X ขึ้นไป เช่น ใช้เป็นสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์จากดาวเทียมตรงสำหรับบ้านเรือนทั่วไป เป็นต้น

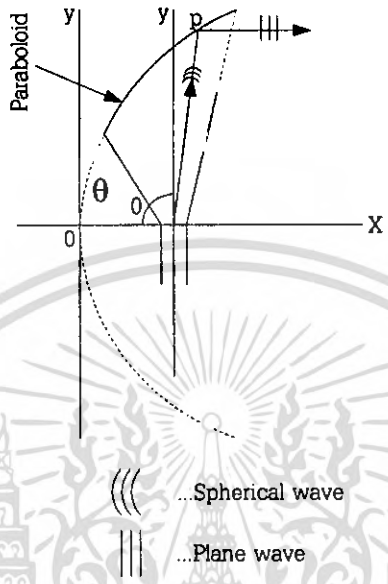
**2.2.5.3 สายอากาศแบบฮอร์นรีเฟลกเตอร์**

สายอากาศแบบฮอร์นรีเฟลกเตอร์เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.10 ตามโครงสร้างสายอากาศแบบนี้เป็นสายอากาศแบบออฟเซตชนิดหนึ่ง จานสะท้อนของสายอากาศเป็นส่วนหนึ่งของพาราโบลอยด์ เมื่อคลื่นทรงกลมจากท่อนำคลื่นสะท้อนที่จานสะท้อนนี้จะให้คลื่นระนาบออกมา สายอากาศแบบนี้มีโครงสร้างแบบไม่สมมาตร จึงทำให้ระดับของโพลาไรเซชันในแนวตั้งฉากในทิศที่ไม่ใช่ด้านหน้ามีระดับสูงแต่ก็มีข้อดีคือระดับของไซด์โลบค่อนข้างต่ำ จึงมีที่ใช้งานสื่อสารด้วยไมโครเวฟทั้งในภาคพื้นดิน และเป็นสถานีภาคพื้นดินในงานสื่อสารดาวเทียม

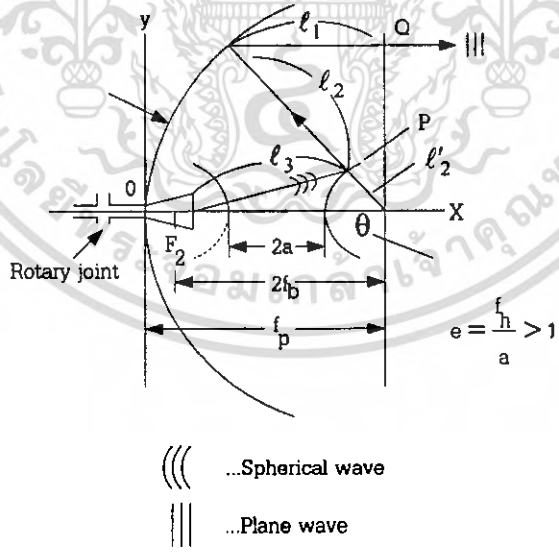
**2.2.5.4 สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน (Cassegrain antenna)**

สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรนนี้มีโครงสร้างดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.11 คือ เป็นสายอากาศที่มีจานสะท้อน 2 อัน (Dual reflector) โดยที่จานสะท้อนหลัก (Main reflector) เป็นรูปพาราโบลอยด์และจาน

สะท้อนรอง (Sub-reflector) เป็นรูปไฮเปอร์โบลอยด์ และจานสะท้อนทั้งสองนี้มีจุดโฟกัส $F_1$ ร่วมกัน จากรูปคลื่นทรงกลมที่ออกจากฟีดฮอร์นเมื่อสะท้อนจที่จานสะท้อนรองก็จะยังคงเป็นคลื่นทรงกลมและเสมือน




**รูปที่ 2.10** สายอากาศแบบฮอร์นรีเฟลกเตอร์




**รูปที่ 2.11** สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

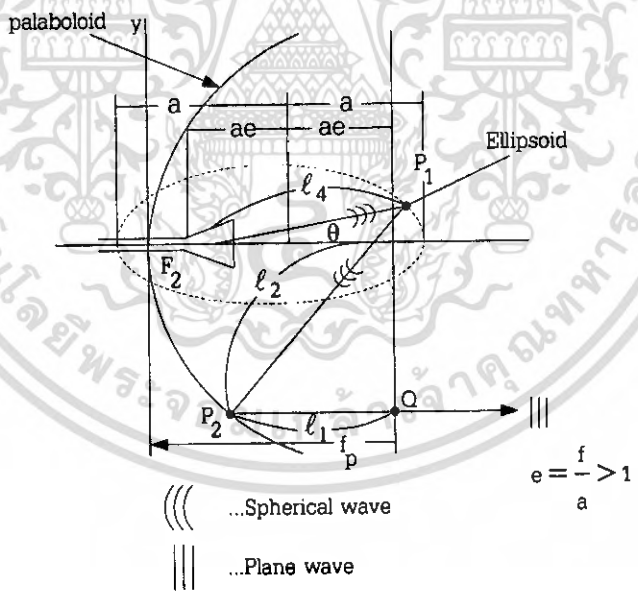
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



กับว่าเป็นคลื่นทรงกลมที่กระจายออกจากจุด $F_1$ เพราะฉะนั้นคลื่นนี้เมื่อสะท้อนที่จานสะท้อนที่จานสะท้อนหลังก็จะทำให้ได้เป็นคลื่นระนาบออกมาสายอากาศแบบแคสเซ็กเกรนนี้เป็นแบบสมมาตร โดยทั่วไปจะมีระดับโพลาไรเซชันในแนวตั้งฉากต่ำ โครงสร้างสายอากาศแบบนี้ทำให้สามารถวางอุปกรณ์รับ-ส่งคลื่นไว้ด้านหลังจานสะท้อน และไม่ต้องเดินท่อนำคลื่นเป็นระยะทางยาว จึงสามารถลดปัญหาการสูญเสียเนื่องจากท่อนำคลื่นและให้ความสะดวกในการติดตั้งและใช้จานสายอากาศ สายอากาศแบบนี้จึงมีที่ใช้อย่างกว้างขวางในสายอากาศภาคพื้นดินดาวเทียม (Earth station antenna) ปัจจุบันสายอากาศที่ใช้งานสื่อสารดาวเทียมโดยทั่วไปจะใช้โครงสร้างแบบนี้

**2.2.5.5 สายอากาศแบบเกรโกเรียน (Gregorian)**

สายอากาศแบบเกรโกเรียนนี้มีโครงสร้างดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.12 คือมีจานสะท้อน 2 อัน โดยที่จานสะท้อนหลักเป็นผิวโค้งรูปพาราโบลอยด์ และจานสะท้อนรองเป็นผิวโค้งรูปอีลิปซอยด์ (Ellipsoid) และจานทั้งสองนี้มีจุดโฟกัสร่วมกันที่ $F_1$ คลื่นทรงกลมที่ออกจากฟีดฮอร์นเมื่อสะท้อนที่ผิวของจานสะท้อนหลัก ซึ่งจะให้คลื่นระนาบออกมาในสายอากาศแบบนี้ จุดที่เป็นศูนย์กลางเฟส (Phase center) ของฟีดฮอร์นจะต้องอยู่ที่จุดโฟกัสอีกจุดหนึ่ง $F_2$ ของจานสะท้อนรองดังแสดงไว้ในรูป สายอากาศแบบนี้มีลักษณะพิเศษเช่นเดียวกับแบบเคสเซ็กเกรนแต่มีโครงสร้างที่ยุ่งยากมากกว่า จึงมีที่ใช้น้อยกว่าแบบเคสเซ็กเกรน




**รูปที่ 2.12** สายอากาศแบบเกรโกเรียน

75170

## 2.3 ตัวกลางในการนำข้อมูล (Media)

### 2.3.1 สายส่งข้อมูล

สายส่งข้อมูล หรือ Cable เป็นอุปกรณ์อย่างหนึ่งในระบบ Network ที่ใช้เป็นทางเดินของข้อมูลระหว่าง Workstation กับ Server มีลักษณะคล้ายสายไฟหรือสายโทรศัพท์ แล้วแต่ชนิดของ Cable แต่การเลือกใช้ Cable นั้น ควรคำนึงถึงความปลอดภัย (Safety) และคลื่นรบกวน (Interference) เป็นสำคัญ Cable ที่ดีไม่ควรเป็นตัวนำไฟ เมื่อเกิดอัคคีภัยขึ้นและสามารถป้องกันคลื่นรบกวนจากอำนาจแม่เหล็ก (Electromagnetic Interference-EMI) และคลื่นวิทยุได้ (Radio Frequency Interference-RFI)

#### 2.3.1.1 Coaxial Cable หรือ สาย Coax

Coaxial Cable หรือ สาย Coax นอกจากใช้ในระบบ Network แล้วยังสามารถนำไปใช้กับระบบ TV และ Mainframe ได้ด้วย สาย Coax นั้นเป็นสายที่ประกอบไปด้วยแกนของทองแดงหุ้มด้วยฉนวนและสายดิน (ลักษณะเป็นฝอย) แล้วหุ้มด้วยฉนวนอีกชั้นหนึ่ง

ในปัจจุบันได้เปลี่ยนจากลวดทองแดงมาเป็นเป็นลวดเงินที่พันกันหลายๆ เส้นแทน ทั้งนี้เพื่อป้องกันการรบกวนที่เรียกว่า "Cross Talk" ซึ่งเป็นการรวบกวนที่เกิดจากสายสัญญาณข้างเคียง ดังนั้นจึงออกแบบให้กลายเป็นเส้นเล็กพันเกลียวนั่นเอง

Coaxial Cable แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ Thick Coaxial Cable (ชนิดหนา) และ Thin Coaxial Cable (ชนิดบาง) โดยแบบ Thick จะเดินได้เป็นระยะทางที่ไกลกว่าคือ 500 เมตร ส่วน Thin จะเดินได้สูงสุดเพียง 200 เมตร (ตามทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของ Network Card ที่ดีระยะทางอาจได้ถึง 600 เมตร และ 300 เมตร ใน Thick และ Thin ตามลำดับ)

ข้อดีของ Coaxial Cable ก็คือ ปลอดภัยจากการถูกรบกวน อีกทั้งตัวมันเองก็ไม่รบกวนผู้อื่นและสามารถทำงานที่ความเร็วสูงถึง 100 Megabit/Sec นอกจากนั้นยังง่ายในการติดตั้ง จึงทำให้เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย

#### 2.3.1.2 Twisted Pair Cable

Twisted Pair Cable เป็นสายส่งสัญญาณที่ประกอบไปด้วยสายทองแดง 2 เส้นขึ้นไปบิดกันเป็นเกลียว (Twist) และหุ้มด้วยฉนวน โดยแบ่งเป็น 2 แบบคือแบบไม่มี Shield และแบบมี Shield จะมีฉนวนในการป้องกันสัญญาณรบกวนหรือระบบป้องกันสัญญาณรบกวน เราเรียกว่า Cable ทั้ง 2 ชนิดว่า "Unshielded Twisted Pair (UTP)" และ Shielded Twisted Pair (STP)" ตามลำดับ สาย UTP เป็นสายที่มีราคาถูกและหาง่ายแต่ป้องกันสัญญาณรบกวน EMI ได้ไม่ดีเท่ากับสาย STP

นอกจากนั้นสาย Twisted Pair ยังถูกจัดแบ่งออกเป็นระดับต่างๆ 5 ระดับตามคุณภาพคือ Type 1,2,3,4 และ 5 ดังนี้

**ตารางที่ 2.3** ประเภท Twisted Pair

| Type/CAT | Description |
|---|---|
| Level 1 | สำหรับการสื่อสารแบบเสียง (Voice) |
| Level 2 | ใช้ได้ทั้งการสื่อสารแบบเสียงและข้อมูล ชนิดนี้ไม่นำมาใช้ใน Network |
| Level 3 | ใช้ได้เช่นเดียวกับ Level 2 ความเร็ว 16 MHz อัตราการส่งข้อมูลคือ 10 เมกะบิต/วินาที มักใช้กับระบบ 10 BASE-T |
| Level 4 | สำหรับระบบ 4 Mbps Token Ring และ 10 BASE-T ขนาดใหญ่ความเร็ว 20 MHz อัตราส่งข้อมูลคือ 16 เมกะบิต/วินาที |
| Level 5 | ใช้สำหรับ Network ที่ต้องการความเร็วสูงซึ่งความเร็วที่วัดได้มีค่าสูงถึง 100 MHz อัตราการส่งข้อมูลคือ 100 เมกะบิต/วินาที |

ปัจจุบัน จะใช้แบบ Level 5 เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากราคาถูกลงมากและสามารถใช้ได้ทั้งความเร็วแบบ 10 Mbps. (ใน Ethernet Card) และ 100 Mbps (ใน Fast Ethernet Card)

**2.3.1.3 Fiber Optic Cable**

Fiber Optic Cable ใยแก้วนำแสงชนิดใหม่ล่าสุด ประกอบไปด้วยท่อใยแก้วที่มีขนาดเล็กและบางมากเรียกว่า "CORE" ล้อมรอบ ด้วยชั้นของใยแก้วที่เรียกว่า "CLADDING" อัตราการส่งถ่ายข้อมูลถึง 565 เมกะบิตต่อวินาทีหรือมากกว่า ป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดีมากขนาดของสายเล็กมากและเบามากแต่มีราคาแพง ปัจจุบันเป็นที่ใช้กันแพร่หลายมาก

## 2.3.2 การตัดสายนำสัญญาณให้ลงแลมด้าเพื่อทำเฟสชิ้งไลน์

โดยปรกติเมื่อนำสายนำสัญญาณมาใช้งานตามปรกติ ค่าตัวคูณความเร็วของสายนำสัญญาณก็แทบไม่ต้องสนใจ แต่ถ้าใช้สายนำสัญญาณมาต่อเพื่อขนานสายอากาศหลายๆ ต้นเข้าด้วยกัน เช่น สายอากาศแบบยากิหลายๆ แสต็ก หรือ สายอากาศไดโพลหลายๆ ห่วง สายนำสัญญาณที่ถูกนำมาใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่า "เฟสชิ่งไลน์ (Phasing line)" ซึ่งจะต้องคำนวณความยาวสายอากาศเทียบกับความยาวคลื่น โดยความยาวคลื่นหาได้จากสูตร

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{300}{f} \qquad (2.3)$$

$\lambda$ คือ ความยาวคลื่นมี หน่วยเป็นเมตร

v คือ ความถี่ที่ใช้งาน มีหน่วยเป็น MHz

f คือ ความเร็วของคลื่นวิทยุในอากาศ

ค่าความยาวคลื่นที่ได้ออกมานี้ เมื่อนำมาใช้กับสายนำสัญญาณ หรือ สายเฟสชิ่งไลน์ จะเรียกว่า ความยาวทางไฟฟ้า (Electrical length) ซึ่งเมื่อต้องการตัดสายสายนำสัญญาณมาใช้งานจริงๆ จะต้องคูณค่าตัวคูณความเร็วของสายนำสัญญาณกับค่าความยาวทางไฟฟ้าก่อน ค่าที่ได้ออกมาจึงคือค่าความยาวจริงที่ใช้ในทางปฏิบัติ

ตัวอย่าง เช่น ใช้สายนำสัญญาณเบอร์ RG-8 แบบโฟม มีค่าตังคูณความเร็ว 0.8 มาทำเฟสชิ่งไลน์ยาวครึ่งความยาวคลื่นของความถี่ 145 MHz จะได้ความยาวทางไฟฟ้าเท่ากับ (300/145) X (1/2) เท่ากับ 1.0344 เมตร

ก่อนจะตัดสินใจนำสายนำสัญญาณเบอร์ใดมาใช้งาน ก็จำเป็นต้องทราบค่าตัวคูณความเร็วของ สายนำสัญญาณเบอร์นั้นๆ ด้วย ลองมาดูตัวอย่างการใช้งานจริงกันบ้าง เช่น ถ้าต้องการนำสายอากาศ ยากิ แบบ 5 อี 2 ต้น มาแสต็กเข้าด้วยกันจะต้องใช้สายเฟสชิ่งไลน์อิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม ยาว 3/4 แลมด้า ในทางไฟฟ้า ต่อจากสายอากาศแต่ละต้นและนำปลายสายอีกด้านหนึ่งมาต่อขนานกัน อิมพีแดนซ์รวมที่จุดนี้ จะเป็น 50 โอห์ม และต่อสายนำสัญญาณ 50 โอห์ม จากจุดนี้ ไปยังเครื่อง รับ-ส่ง วิทยุ ซึ่งการต่อใช้งานสาย ในลักษณะนี้เพื่อจัดเฟสในระบบสายอากาศรวมหลายๆ ต้น หรือ เรียกว่า ควอเตอร์เวฟทรานสฟอร์เมอร์ (Quarter wave transformer) เราจะต้องกำหนดความยาวของสายเฟสชิ่งไลน์เป็นเศษส่วนของความ ยาวคลื่น แต่เศษต้องเป็นเลขคี่ เช่น 3/4, 5/4, 7/4, 9/4 ส่วนจะเป็นเท่าไรขึ้นอยู่กับแบบของสายอากาศ ที่จะนำมาแสต็กกัน วิธีการนี้มีหลักการมาจากสูตร

$$Z_o = \sqrt{Z_s Z_i} \qquad (2.4)$$

$Z_o$ คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่นำมาใช้

$Z_s$ คือ ค่าอิมพีแดนซ์ที่ต้องการ

$Z_i$ คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

ดังที่กล่าวมาแล้ว เราจะต้องทำสายอากาศแต่ละต้นให้มีอิมพีแดนซ์ 100 โอห์ม ก่อน เมื่อนำสองต้นมาต่อขนานกับอิมพีแดนซ์ก็จะลดลงเหลือ 50 โอห์ม พอดี เมื่อลองแทนค่า อิมพีแดนซ์ของสาย 75 โอห์ม ค่าอิมพีแดนซ์ที่ต้องการ คือ 100 โอห์ม เราจะได้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแต่ละต้นประมาณ 56 โอห์ม เมื่อต่อสายเฟสชิ่งไลน์เข้าไปจะได้อิมพีแดนซ์รวมที่ปลายสายอีกด้านหนึ่งจะได้อิมพีแดนซ์ 100 โอห์มทันที เมื่อนำสายอากาศที่ต่อสายเฟสชิ่งไลน์แล้วสองต้นมาขนานกันก็จะได้ ค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม เพื่อต่อสายนำสัญญาณเข้า เครื่องวิทยุ รับ-ส่ง แต่ก่อนที่จะตัดสายนำสัญญาณจะต้องไม่ลืมคูณค่าความ เร็วของสายนำสัญญาณเข้าไปก่อน

### 2.3.3 มาตรฐานของสายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณทุกแบบถูผลิตตามมาตรฐาน MIL-C-17 ในกิจการทางด้านทหารของสหรัฐอเมริกา และ JIS C 3501 ของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งบริษัทผู้ผลิตต่างๆจะนำมาผลิตสายนำสัญญาณยี่ห้อของตนตามมาตรฐานจำพวกนี้และกำหนดเบอร์ของสายออกมาซึ่งจะบอกคุณลักษณะของสายนำสัญญาณเช่น

**2.3.3.1 มาตรฐาน MIL- C -17 RG-58 A/U**

RG ย่อมาจาก Radio Guide ก็คือสายนำสัญญาณวิทยุนั่นเอง

58 เป็นเบอร์ของสาย

อักษรตัวแรก อาจมีหรือไม่มีก็ได้แสดงการเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงวัสดุ เช่น เปลือกหุ้ม จำนวนลวดตัวนำ อิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย การสูญเสียต่างกันเล็กน้อย

/U หมายถึง Utility หรือ Universal คือการใช้งานทั่วไป

**2.3.3.2 มาตรฐาน JIS C 3501 5D-FB**

ตัวเลขตัวแรก คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก โดยประมาณ ของไดอิเล็กทริก

อักษรหลังตัวเลข คือ ค่าอิมพีแดนซ์ C = 75 โอห์ม D = 50 โอห์ม

อักษรหลังขีด แสดงวัสดุที่ทำไดอิเล็กทริก F คือ โฟม ถ้าเป็นเลข 2 คือ PE

อักษรตัวสุดท้าย แสดงลักษณะของชิลด์ และเปลือกหุ้มสาย

B = ชิลด์ทองแดง + ชิลด์ อะลูมิเนียม + PVC

E = ชิลด์ทองแดง + PE

L = ชิลด์อะลูมิเนียม + PVC

N = ชิลด์ทองแดง + ไนล่อยถัก

V = ชิลด์ทองแดง + PVC

W = ชิลด์ทองแดงทักสองชั้น + PVC

### 2.3.4 การเลือกใช้สายนำสัญญาณ

สำหรับทาวเวอร์แล้วควรใช้สายนำสัญญาณเส้นใหญ่ๆและค่าการสูญเสียต่ำ เพื่อให้ความสูงของสายอากาศเกิดประโยชน์เต็มที่ และการสูญเสียน้อยที่สุด ถ้าใช้สายนำสัญญาณเล็กๆ บางครั้ง สายอากาศที่อยู่ต่ำกว่าแต่การสูญเสียน้อยจะรับส่งได้ดีกว่าเสียอีก

สายอากาศทิศทางที่ต้องใช้โรเตอร์ช่วยหมุนหาทิศทาง ควรใช้สายนำสัญญาณแบบที่มีตัวนำตรงกลางหลายๆ เส้น จะได้ไม่ขาดเร็วเกินไป แต่ก็ไม่ควรใช้สายโฟม เพราะไดอิเล็กทริกนิ่มและมีรูพรุนเมื่อถูโค้งงอบ่อยๆ ตัวนำตรงกลางอาจเบียดออกด้านข้างไม่อยู่ในแนวกลางเหมือนเดิม อิมพีแดนซ์ของสาย อากาศจะเปลี่ยนไปทำให้ค่าการสูญเสียเพิ่มขึ้น

สายโฟมและสายที่มีตัวนำตรงกลางเส้นเดียวมีการสูญเสียน้อย เหมาะสำหรับการใช้งานตายตัว เช่น ใช้กับสายอากาศแบบรอบตัว

สายอากาศที่ต้องตากแดดตากฝนอยู่ตลอดปี ควรเลือกใช้สายนำสัญญาณแบบที่เปลือกหุ้มทำจากสาร NMV แทน PVC เช่น สายเบอร์ RG-58 C/U แทน RG-58 A/U

## 2.3.5 สำหรับพารามิเตอร์ของสายนำสัญญาณโทรทัศน์นั้นประกอบไปด้วย

### 2.3.5.1 Impedance (Z)

Impedance (Z) คือ ความต้านทานภายในสายนำสัญญาณ โดยที่จะมีค่าอยู่ที่ 300 โอห์ม สำหรับสายแบบ Twin Lead Line และจะมีค่า 75 โอห์ม สำหรับสายอากาศทีวี และมีค่า 50 โอห์มสำหรับนำไปใช้กับการสื่อสารที่เป็นระบบดิจิตอล

### 2.3.5.2 Attenuation

Attenuation หมายถึงการลดความแรงของสัญญาณ ซึ่ง Attenuation เป็นธรรมชาติของการส่งชุดสัญญาณในระยะไกล หน่วยของ Attenuation ปกติใช้เป็น decibel ถ้า PS เป็นกำลังของสัญญาณที่ปลายของการส่ง (แหล่งกำเนิด) ของวงจรการสื่อสาร และ PD เป็นกำลังของสัญญาณที่ปลายด้านรับ (จุดหมาย) โดยกำลังของ Attenuation AP เป็น Decibel ตามสูตรคำนวณ

$$AP = 10 \log10 (PS/ PD) \quad (2.6)$$

Attenuation สามารถแสดงในรูปของความต่างศักย์ ถ้า AV เป็นความต่างศักย์ของ Attenuation เป็น Decibel, VS เป็นความต่างศักย์ของแหล่งกำเนิด และ VD เป็นความต่างศักย์ที่ปลายทาง จะได้

$$AV = 20 \log10 (VS/ VD) \quad (2.7)$$

ในสายเคเบิลแบบดั้งเดิมและ Fiber optic การระบุ Attenuation จะอยู่ในรูปแบบของตัวเลข Decibel ต่อฟุต, 1000 ฟุต, กิโลเมตรหรือไมล์ โดยค่า Attenuation ต่อหน่วยความยาวยิ่งน้อย ประสิทธิภาพของสายเคเบิ้ลจะมากขึ้น ถ้ามีความจำเป็นในการส่งสัญญาณผ่านสายเคเบิ้ล ที่มีระยะทางไกล ควรเพิ่ม Repeater ในสายเคเบิ้ล ซึ่ง Repeater จะเพิ่มความแข็งแรงของสัญญาณ ทำให้สามารถเพิ่มช่วงของการสื่อสารได้ โดยที่ Attenuation ควรมีค่าต่ำๆ (ไม่ควรมีค่าสูงกว่า 45 dB)

### 2.3.5.3 SWR

SWR ย่อมาจากคำว่า Standing Wave Ratio เป็นอัตราส่วนระหว่าง Traveling กับ Reflected wave โดยไม่คิดค่าเวลา โดย SWR แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ 1.Voltage standing wave ratio (VSWR) และ 2. Current standing wave ratio (ISWR)

โดยปกติแล้วเราจะวัด ค่า VSWR และ ISWR ที่จุดเดียวกัน จึงนิยมใช้ค่า VSWR ในการวิเคราะห์ และ VSWR = ISWR = SWR โดยค่า SWR นิยมวัดออกมาโดยการใช้เครื่องมือวัดคือ SWR meter โดยค่าที่ออกมาได้นั้น จะเป็นอัตราส่วนระหว่าง แรงดันสูงสุด ต่อ แรงดันต่ำสุดภายในระบบ นั้นๆ โดยการวัดค่า SWR จะเป็นการวัดประสิทธิภาพการส่งกำลังของเครื่องส่งผ่านสายนำสัญญาณ ไปยังสายอากาศในระบบเดียวกันโดยในที่นี้ ตามที่ทราบกันดีว่า Output ที่จุดต่อสายอากาศของเครื่องรับส่ง และ โทรทัศน์ทั่วไปนิยมทำให้มีค่าอิมพิแดนซ์ 75 โอห์ม ดังนั้น หากต้องการถ่ายถอดกำลังส่งสูงสุดออกไป เราจะต้องใช้ สายนำสัญญาณ และสายอากาศที่มีค่าอิมพิแดนซ์ เท่ากับ 75 โอห์มด้วย

ค่า SWR ไม่ควรเกิน 1.5:1 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ เนื่องมาจากว่าหาก SWR มากกว่า 1 แสดงว่ามีการสะท้อนกลับของสัญญาณเกิดขึ้น และจากการสะท้อนกลับของสัญญาณนี้จะทำให้เกิดการเสริมเฟส หรือหักล้างเฟส ในช่วงที่มีการเสริมเฟสกันนั้นจะทำให้สัญญาณจุดนั้นมีค่าสูงและสิ่งที่ตามมาก็คือค่า เอฟเฟคทีพโวล์เทจ และค่าเอฟทีพเคอเรนท์จะสูงตามไปด้วย ผลก็คือค่าเหล่านี้จะไปเพิ่มค่าความสูญเสียในสายส่ง โดยเอฟเฟคทีพโวล์เทจจะทำให้ Dielectric loss เพิ่มขึ้น ส่วนเอฟเฟคทีฟเคอเรนท์จะทำให้ Conduction loss เพิ่มสูงขึ้น

**2.3.5.4 Signal-to-Noise Ratio**

Signal-to-Noise Ratio หรือ S/N หรือ SNR คือการวัดค่าความแรงของสัญญาณเทียบกับเสียงรบกวนในสาย โดยที่จะมีผลออกมาเป็นหน่วย Decibels (dB) ถ้าเราให้ความแรงของสัญญาณเป็น Vs โดยมีหน่วยเป็น Microvolts และระดับของสัญญาณกวน (Noise) เป็น Vn โดยมีหน่วยเป็น Microvolts เหมือนกัน

สูตรของการคำนวณ Signal-to-Noise Ratio ก็คือ 20 log10 (Vs/Vn)

สมมติว่า Vs=10.0 microvolt และ Vn = 1.00 microvolt ดังนั้น

$$SNR = 20 \log10 (10.0) = 20.0 \text{ dB}$$

ทีนี้สมมติว่ามีสัญญาณกวน (Vn) มากขึ้นเป็น 7.69 microvolt โดยที่ให้ Vs = 10.0 microvolt เหมือนเดิม เพราะฉะนั้น 10 หารด้วย 7.69 จะได้เท่ากับ 1.3 พอเอา 1.3 ไปเข้าสูตร

$$SNR = 20 \log10 (1.3) = 2.28 \text{ dB}$$

ด้วยค่า 2.28dB นี่ เราจะเห็นว่าความเร็วที่ได้ก็จะต้องลดลงไปด้วย เนื่องจากสัญญาณกวน โดยที่อาจจะมาจากหลายสาเหตุ เช่น คุณภาพของสายไม่ดี ฯลฯ

สูตรของการคำนวน Signal-to-Noise Ratio ก็คือ

$$SNR (dB) = 10 \log \{P (signal) / P (noise)\}$$

หรือ $$SNR (dB) = 20 \log \{A (signal) / A (noise)\}$$

โดยที่ P เป็น กำลังเฉลี่ย และ A เป็น แอมพลิจูด RMS

ในการคำนวณหากมีการหาคิดค่าความแรงของสัญญาณในหน่วยเดซิเบลแล้วก็สามารถนำค่านั้นมาลบกันได้เลย ซึ่งตรงตามสูตรคณิตศาสตร์ที่ว่า

$$SNR_{dB} = Signal_{dB} - Noise_{dB} \quad (2.8)$$

ดังนั้น ค่า SNR ยิ่งมาก ยิ่งดี

**2.3.5.5 ค่าความเร็วของคลื่นวิทยุในสายนำสัญญาณ**

ค่าความเร็วของคลื่นวิทยุในสายนำสัญญาณการเดินทางของคลื่นวิทยุในสายนำสัญญาณนั้น เดินทางได้ช้ากว่าในบรรยากาศและช้ากว่าความเร็วแสงในบรรยากาศ ซึ่งค่าความเร็วของคลื่นวิทยุ ในสายนำสัญญาณมีค่าสัมพันธ์กับค่าคงที่ของวัสดุที่นำมาทำเป็นไดอิเล็กทริกของสาย (Dielectric constant) ค่าความเร็วนี้ได้มาจากอัตราส่วนของความเร็วคลื่นในสาย (v) ต่อความเร็วคลื่นในบรรยากาศ(c) หรือ (v/c) ซึ่งบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ของความเร็วแสง โดยทั่วไปแล้วค่าความเร็วของคลื่นในสายเราจะเรียกว่า ตัวคูณความเร็วของสาย เช่น สายนำสัญญาณเบอร์ RG - 58A/U มีค่าตัวคูณความเร็ว 0.66 ซึ่งรายละเอียดของสายนำสัญญาณเบอร์ต่างๆ แสดงอยู่ในตารางที่ 2.4

**ตารางที่ 2.4** คุณสมบัติสายโคแอกเชียลที่นิยมใช้งาน

| | ค่าอิมพีแดนซ์ (Ohm) | ตัวคูณความเร็ว (%) (Velocity Factor) | ค่าความจุไฟฟ้า (pF/ฟุต) | เส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว) | วัสดุที่ใช้ทำไดอิเล็กทริก | แรงดันใช้งานสูงสุด (Vrms) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RG - 6 | 75 | 75 | 18.6 | 0.266 | Foam PE | 400 |
| RG - 8X | 52 | 75 | 26 | 0.242 | Foam PE | 300 |
| RG - 8 | 52 | 66 | 29.5 | 0.405 | PE | 4000 |
| RG - 8 foam | 50 | 80 | 25.4 | 0.405 | Foam PE | 1500 |
| RG - 8A | 52 | 66 | 29.5 | 0.405 | PE | 5000 |
| RG - 9 | 51 | 66 | 30 | 0.42 | PE | 4000 |
| RG - 9A | 51 | 66 | 30 | 0.42 | PE | 4000 |
| RG - 9B | 50 | 66 | 30.8 | 0.42 | PE | 5000 |
| RG - 11 | 75 | 66 | 20.6 | 0.405 | PE | 4000 |
| RG - 11 foam | 75 | 80 | 16.9 | 0.405 | Foam PE | 1600 |
| RG - 11A | 75 | 66 | 20.6 | 0.405 | PE | 5000 |
| RG - 12 | 75 | 66 | 20.6 | 0.475 | PE | 4000 |
| RG - 12A | 75 | 66 | 20.6 | 0.475 | PE | 5000 |

**ตารางที่ 2.4 (ต่อ)** คุณสมบัติสายโคแอกเซียลที่นิยมใช้งาน

| | ค่าอิมพีแดนซ์ (Ohm) | ตัวคูณความเร็ว (%) (Velocity Factor) | ค่าความจุไฟฟ้า (pF/ฟุต) | เส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว) | วัสดุที่ใช้ทำไดอิเล็กทริก | แรงดันใช้งานสูงสุด (Vrms) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RG -17 | 52 | 66 | 29.5 | 0.87 | PE | 11000 |
| RG - 17A | 52 | 66 | 29.5 | 0.87 | PE | 11000 |
| RG - 55A | 50 | 66 | 30.8 | 0.216 | PE | 1900 |
| RG - 55B | 53.5 | 66 | 28.5 | 0.216 | PE | 1900 |
| RG - 58 foam | 53.5 | 79 | 28.5 | 0.195 | Foam PE | 600 |
| RG - 58A | 53.5 | 66 | 28.5 | 0.195 | PE | 1900 |
| RG - 58B | 53.5 | 66 | 28.5 | 0.195 | PE | 1900 |
| RG - 58C | 50 | 66 | 30.8 | 0.195 | PE | 1900 |
| RG - 59 | 73 | 66 | 21 | 0.242 | PE | 2300 |
| RG - 59 foam | 75 | 79 | 16.9 | 0.242 | Foam PE | 800 |
| RG - 59A | 73 | 66 | 21 | 0.242 | PE | 2300 |
| RG - 62 | 93 | 86 | 13.5 | 0.242 | Air Space PE | 750 |
| RG - 62A | 93 | 86 | 13.5 | 0.242 | Air Space PE | 750 |
| RG - 62B | 93 | 86 | 13.5 | 0.242 | Air Space PE | 750 |
| RG - 133A | 95 | 66 | 16.2 | 0.405 | PE | 4000 |
| RG - 141 | 50 | 70 | 29.4 | 0.19 | PTFE | 1900 |
| RG - 141A | 50 | 70 | 29.4 | 0.19 | PTFE | 1900 |
| RG - 142 | 50 | 70 | 29.4 | 0.206 | PTFE | 1900 |
| RG - 142A | 50 | 70 | 29.4 | 0.206 | PTFE | 1900 |
| RG - 142B | 50 | 70 | 29.4 | 0.195 | PTFE | 1900 |
| RG - 174 | 50 | 66 | 30.8 | 0.1 | PE | 1500 |
| RG - 213 | 50 | 66 | 30.8 | 0.405 | PE | 5000 |
| RG - 214 | 50 | 66 | 30.8 | 0.425 | PE | 5000 |
| RG - 215 | 50 | 66 | 30.8 | 0.475 | PE | 5000 |
| RG - 216 | 75 | 66 | 20.6 | 0.425 | PE | 5000 |
| RG - 223 | 50 | 66 | 30.8 | 0.212 | PE | 1900 |
| 9913 (Belden) | 50 | 84 | 24 | 0.405 | Air Space PE | N/A |

**ตารางที่ 2.4 (ต่อ)** คุณสมบัติสายโคแอกเชียลที่นิยมใช้งาน

| | ค่าอิมพีแดนซ์ (Ohm) | ตัวคูณความเร็ว (%) (Velocity Factor) | ค่าความจุไฟฟ้า (pF/ฟุต) | เส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว) | วัสดุที่ใช้ทำไดอิเล็กทริก | แรงดันใช้งานสูงสุด (Vrms) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9914 (Belden) | 50 | 78 | 26 | 0.405 | Foam PE | N/A |

ความหมายของตัวย่อของสารที่ทำเป็นไดอิเล็กทริก

| | |
|---|---|
| PE | โพลีเอททีลีน อุณหภูมิใช้งาน (C) -65 ถึง +80 |
| Foam PE | โฟมโพลีเอททีลีน อุณหภูมิใช้งาน (C) -65 ถึง +80 |
| PTFE | เทฟล่อน อุณหภูมิใช้งาน (C) -250 ถึง +250 |

## 2.4 มาตรฐาน Wireless LAN

มาตรฐานของระบบเครือข่ายไร้สาย จะมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการ คือ The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) โดยทำหน้าที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากล สำหรับ IEEE ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับ wireless ประกอบด้วย

1. 802.11 - Working Group for Wireless Local Area Networks
2. 802.15 - Working Group for Wireless Personal Area Networks
3. 802.16 - Working Group for Broadband Wireless Access Standards

แต่เทคโนโลยีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดสำหรับ WLAN คือเทคโนโลยีตามมาตรฐาน IEEE 802.11 เนื่องจากอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN มีราคาไม่แพงนักและถูกลงเรื่อยๆ อีกทั้งมีสมรรถนะในการรับส่งข้อมูลค่อนข้างสูง ง่ายต่อการติดตั้งและใช้งาน IEEE 802.11 WLAN ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ และมีแนวโน้มว่าในอนาคตอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่างๆ จะมีอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ติดตั้งจากโรงงานหรือ Built-in มาด้วย

**ตารางที่ 2.5** ชุดมาตรฐานของ WLAN ในปัจจุบัน ประกอบด้วย

| มาตรฐาน IEEE | ย่านความถี่ | อัตราการรับ-ส่ง | เทคโนโลยีที่ใช้ |
|---|---|---|---|
| IEEE 802.11b | 2.45 GHz | 11 Mbps | DSSS |
| IEEE 802.11a | 5.8 GHz | 54 Mbps | OFDM |
| IEEE 802.11g | 2.4 GHz | 54 Mbps | OFDM / Security |

มาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2540 โดย IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) และเป็นเทคโนโลยีสำหรับ WLAN ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด คือข้อกำหนด (Specification) สำหรับอุปกรณ์ WLAN ในส่วนของ Physical (PHY) Layer และ Media Access Control (MAC) Layer โดยในส่วนของ PHY Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้อุปกรณ์มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 Mbps โดยมีสื่อ 3 ประเภทให้เลือกใช้ได้แก่ คลื่นวิทยุที่ความถี่สาธารณะ 2.4 และ 5 GHz, และ อินฟราเรด (Infrared) (1 และ 2 Mbps เท่านั้น) สำหรับในส่วนของ MAC Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้ กำหนดให้มีกลไกการทำงานที่เรียกว่า CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับหลักการ CSMA/CD (Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในเครือข่าย LAN แบบใช้สายนำสัญญาณ นอกจากนี้ในมาตรฐาน IEEE802.11 ยังกำหนดให้มีทาง เลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN โดยกลไกการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) และการตรวจสอบผู้ใช้ (Authentication) ที่มีชื่อเรียกว่า WEP (Wired Equivalent Privacy) ด้วย

### 2.4.1 มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11

เครือข่ายไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2540 โดยสถาบัน IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) ซึ่งมีข้อกำหนดระบุไว้ว่าผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายในส่วนของ PHY Layer นั้นมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลที่ความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยมีสื่อนำสัญญาณ 3 ประเภทให้เลือกใช้งาน อันได้แก่ คลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์, 2.5 กิกะเฮิรตซ์และคลื่นอินฟาเรด ส่วนในระดับชั้น MAC Layer นั้นได้กำหนดกลไกของการทำงานแบบ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับ CSMA/CD(Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernetซึ่งนิยมใช้งานบนระบบเครือข่ายแลนใช้สายโดยมีกลไกในการเข้ารหัสข้อมูลก่อนแพร่กระจายสัญญาณไปบนอากาศ พร้อมกับมีการตรวจสอบผู้ใช้งานอีกด้วย

**2.4.1.1 มาตรฐาน IEEE 802.11**

ในยุคเริ่มแรกนั้นให้ประสิทธิภาพการทำงาน ที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งไม่มีการรับรองคุณภาพของการให้บริการที่เรียกว่า QOS (Quality of Service) ซึ่งมีความสำคัญในสภาพแวดล้อมที่มีแอพพลิเคชันหลากหลายประเภทให้ใช้งาน นอกจากนั้นกลไกในเรื่องการรักษาความปลอดภัย ที่นำมาใช้ก็ยังมีช่องโหว่จำนวนมาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงาน ขึ้นมาหลายชุดด้วยกัน เพื่อทำการพัฒนาและปรับปรุงมาตรฐานให้มีศักยภาพเพิ่มสูงขึ้น

1. IEEE 802.11a เป็นมาตรฐานที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่เมื่อปี พ.ศ. 2542 โดยใช้เทคโนโลยี OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์ ไร้สายมีความสามารถ ในการรับส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูงสุด 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยใช้คลื่นวิทยุย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต ให้ใช้งานโดยทั่วไปในประเทศไทย เนื่องจากสงวนไว้สำหรับ กิจการทางด้านดาวเทียม ข้อเสียของผลิตภัณฑ์มาตรฐาน IEEE 802.11a ก็คือมีรัศมีการใช้งาน ในระยะสั้น และมีราคาแพง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11a จึงได้รับความนิยมน้อย
2. IEEE 802.11b เป็นมาตรฐานที่ถูกตีพิมพ์และเผยแพร่ออกมาพร้อมกับมาตรฐาน IEEE 802.11a เมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและได้รับความนิยมในการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมา ให้รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่ เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ร่วมกับเทคโนโลยี DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูล ได้ด้วยอัตราความเร็วสูงสุดที่ 11เมกะบิตต่อวินาที โดยใช้คลื่นสัญญาณวิทยุ ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้งานในแบบสาธารณะทางด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และ การแพทย์โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้มีชนิด ทั้งผลิตภัณฑ์ที่รองรับเทคโนโลยี Bluetooth,โทรศัพท์ไร้สายและ เตาไมโครเวฟ จึงทำให้การใช้งานนั้นมีปัญหาในเรื่องของสัญญาณรบกวนของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ข้อดีของมาตรฐาน IEEE 802.11b ก็คือ สนับสนุนการใช้งานเป็นบริเวณกว้างกว่ามาตรฐาน IEEE 802.11a ผลิตภัณฑ์มาตรฐาน IEEE การค้า Wi-Fi ซึ่งกำหนดขึ้นโดย WECA (Wireless Ethernet Computability Alliance)โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้ผ่านการตรวจสอบและรับรองว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEEE 802.11b ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกัน กับผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตรายอื่นๆ ได้
3. IEEE 802.11g เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้งานกันมากในปัจจุบันและได้เข้ามาทดแทนผลิตภัณฑ์ที่ รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b เนื่องจากสนับสนุนอัตราความเร็วของการรับส่งข้อมูลในระดับ 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยใช้เทคโนโลยี OFDM บนคลื่นสัญญาณวิทยุ ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และให้รัศมีการทำงาน ที่มากกว่า IEEE 802.11a พร้อมความสามารถในการ

ใช้งานร่วมกันกับมาตรฐาน IEEE 802.11b ได้ (Backward-Compatible) IEEE 802.11e เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับการใช้งานแอพพลิเคชันทางด้านมัลติเมียอย่าง VOIP (Voice over IP) เพื่อควบคุมและรับประกันคุณภาพของการใช้งานตามหลักการ QOS (Quality of Service) โดยการปรับปรุง MAC Layer ให้มีคุณสมบัติในการรับรอง การใช้งานให้มีประสิทธิภาพ ความเร็วระดับ 54 Mbps จะต้องนั่งห่างจากตัวเครื่อง Access Point ไม่เกิน 10 เมตร และถ้าระยะทางเพิ่มขึ้นเป็นกว่า 20 เมตร ความเร็วก็มักจะลดลงเหลือแค่ 1.5 Mbps

4. IEEE 802.11f มาตรฐานนี้เป็นที่รู้จักกันในนาม IAPP (Inter Access Point Protocol) ซึ่งเป็น มาตรฐาน ที่ออกแบบมาสำหรับจัดการกับผู้ใช้งานที่เคลื่อนที่ข้ามเขตการให้บริการของ Access Point ตัวหนึ่งไปยัง Access Point อีกตัวหนึ่ง เพื่อให้บริการในแบบโรมมิงสัญญาณระหว่างกัน
5. IEEE 802.11h มาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายที่ใช้งานย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ให้ทำงานถูกต้องตามข้อกำหนดการใช้ความถี่ของประเทศในทวีปยุโรป
6. IEEE 802.11i เป็นมาตรฐานในด้านการรักษาความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สาย โดยการปรับปรุง MAC Layer เนื่องจากระบบเครือข่ายไร้สายมีช่องโหว่มากมายในการใช้งานโดยเฉพาะฟังก์ชัน การเข้า รหัสแบบ WEP 64/128-bit ซึ่งใช้คีย์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับสภาพการใช้งาน ที่ต้องการความมั่นใจในการรักษาความปลอดภัย ของการสื่อสารระดับสูง มาตรฐาน IEEE 802.11i จึงกำหนดเทคนิคการเข้ารหัสที่ใช้คีย์ชั่วคราว ด้วย WPA, WPA2 และการเข้ารหัสในแบบ AES (Advanced Encryption Standard) ซึ่งมีความน่าเชื่อถือสูง
7. IEEE 802.11k เป็นมาตรฐานที่ใช้จัดการการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย ทั้งจัดการการใช้งานคลื่นวิทยุให้มีประสิทธิภาพมีฟังก์ชันการเลือกช่องสัญญาณ การโรมมิงและการควบคุมกำลังส่ง นอกจากนั้นก็ยังมีการร้องขอและ ปรับแต่งค่าให้เหมาะสมกับการทำงาน การหารัศมีการใช้งานสำหรับเครื่องไคลเอนต์ที่เหมะสมที่สุดเพื่อให้ระบบ จัดการสามารถทำงานจาก ศูนย์กลางได้
8. IEEE 802.11n เป็นมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายที่เข้ามาแทนที่มาตรฐาน IEEE 802.11a, IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน อัตราการส่งผ่านข้อมูลสูงสุดในทางทฤษฎีจะมากกว่า 200Mbps ส่วนความเร็วจริงที่ได้รับจะอยู่ที่ประมาณ 100 Mbps ซึ่งเป็นตัวเลขที่เท่ากับค่าสเปก ความเร็วสูงสุดของระบบแลนไร้สายแบบ Fast Ethernet พอดี ค่าสเปกของ 802.11n ที่ดีขึ้นกว่า 802.11g นั้นเกิดจากเทคนิคในการออกแบบที่สำคัญอันหนึ่งซึ่งเรียกกันว่า MIMO ซึ่งหมายถึง การเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณใน

การรับ-ส่งข้อมูล ด้วยการเพิ่มจำนวนเสาอากาศทั้งที่เครื่องส่ง และเครื่องรับให้มากขึ้นเป็นจำนวนเท่าๆกันอย่างเช่นถ้าหากเครื่องส่งมีเสาอากาศ 2 ต้น เครื่องรับก็ต้องมีเสาอากาศ 2 ต้นด้วย โดยมีเงื่อนไขว่าการจัดวางตำแหน่งของเสาอากาศทุกต้นของฝั่งเครื่องส่งและเครื่องรับจะต้องมีขนาดและระยะตำแหน่งต่างๆ ที่ตรงกันแป๊ะ จึงจะสามารถรับ-ส่งผ่านช่องสัญญาณทุกช่องได้

ข้อดีของเทคนิคแบบ MIMO คือ การเพิ่มความเร็วจะไม่ต้องถูกจำกัด ด้วยย่านความถี่วิทยุที่รัฐบาลเป็นผู้จัดสรรให้อีกต่อไป ซึ่งเป็นการก้าวข้ามทฤษฎีเก่าๆโดยสิ้นเชิง เพราะแต่ก่อนนี้คนเคยเชื่อกันว่า เมื่อต้องการเพิ่มความเร็วในการรับส่งข้อมูล ก็ต้องเพิ่มความกว้างของช่วงความถี่ในการสื่อสาร (Bandwidth) เท่านั้น แต่เนื่องจากการใช้งานคลื่นวิทยุในช่วงความถี่ต่างๆนั้น รัฐบาลของแต่ละประเทศมีการควบคุมอย่างเข้มงวด โอกาสที่จะเพิ่มความเร็วจึงแทบเป็นไปไม่ได้เลย

ข้อเสียของเทคนิคแบบ MIMO คือความยุ่งยากในการออกแบบและผลิตเสาอากาศที่ต้องมีความเที่ยงตรงเป็นอย่างยิ่ง และเนื่องจากการจัดวางขนาดและระยะตำแหน่งของเสาอากาศในระบบ MIMO ต้องเหมือนกัน จึงจะสามารถสื่อสารกันได้ ทำให้ตัวมาตรฐาน 802.11n ผ่านการรับรองได้ยากขึ้นไปอีก เพราะผู้ผลิตรายต่างๆ มีมุมมองในด้านการออกแบบและผลิตเสาอากาศไม่เหมือนกัน ปัจจุบันนี้ก็เริ่มมีอุปกรณ์ WLAN ที่ใช้เทคนิคMIMO วางตลาดในสหรัฐฯ บ้างแล้วแต่ผู้ที่ตัดสินใจใช้อุปกรณ์เหล่านั้นจะต้องเสี่ยงกับปัญหาCompatibi lity ในอนาคตเอาเอง ถ้าหากไม่เข้ากับมาตรฐาน 802.11n ที่กำลังจะออกมา

9. IEEE 802.1x เป็นมาตรฐานที่ใช้งานกับระบบรักษาความปลอดภัย ซึ่งก่อนเข้าใช้งานระบบเครือข่าย ไร้สายจะต้อง ตรวจสอบสิทธิ์ในการใช้งานก่อน โดย IEEE 802.1x จะใช้โพรโตคอลอย่าง LEAP, PEAP, EAP-TLS, EAP-FAST ซึ่งรองรับการตรวจสอบผ่านเซิร์ฟเวอร์ เช่น RADIUS, Kerberos เป็นต้น

## 2.5 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานกับเครือข่ายไร้สาย

เครือข่ายไร้สายที่จะนำมาใช้งานประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์ประเภทต่างๆ มากมาย ซึ่งมีทั้งออกแบบมาสำหรับใช้งานกับผู้ใช้งานภายในบ้านและผู้ใช้งานภายในองค์กรต่างๆ

### 2.5.1 PCI Card

ในเมนบอร์ดรุ่นใหม่ๆ หลายๆ รุ่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมนบอร์ดในระดับไฮเอนด์ จะมีคุณสมบัติ ไร้สายแบบ Built-in ให้มาด้วย แต่ถ้าท่านต้องการให้ เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพีซีที่มีอยู่ต้องการ ใช้งานร่วมกับระบบไร้สาย ได้ก็สามารถเลือกติดตั้ง PCI Card ได้ ด้วยการถอดฝาครอบเครื่อง ของเราออกแล้วติดตั้ง เข้าไปได้ทันที การ์ดอีเทอร์เนตไร้สายแบบนี้นั้นจะมีเสาส่งสัญญาณแบบ Dipole ให้มาด้วย 1 เสา ถอดเปลี่ยน

ได้มาให้พร้อมกันด้วยซึ่งผู้ใช้งานนั้นสามารถที่จะปรับองศา ให้หันไปทิศทางที่ Access Point ตั้งอยู่เพื่อให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนสัญญาณ ระหว่างกันนั้นดีขึ้นได้

**2.5.2 PCMCIA Card**

เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่มีจำหน่ายในปัจจุบันนี้นิยมผนวกรวมความสามารถในการใช้งานเครือข่ายไร้สายเข้าไว้ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งโน้ตบุ๊กที่ใช้งานเทคโนโลยี Intel Centrino ของทาง Intel แต่ถ้าเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กของท่านไม่สามารถใช้งานเครือข่ายไร้สาย ก็สามารถหาซื้อ การ์ดแบบ PCMCIA Card Bus Adapter มาติดตั้งได้ โดยลักษณะของตัวการ์ดจะมีขนาดเล็กเท่าบัตรเครดิต บางเบาและน้ำหนักน้อย จึงสามารถติดตั้งเข้ากับสล๊อตแบบ PCMCIA ของเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ได้โดยง่ายทีเดียว

**2.5.3 USB Adapter**

เป็นการ์ดที่ออกแบบมาให้ใช้งานได้ทั้งเครื่องคอมพิวเตอร์พีซีและโน้ตบุ๊ก โดยมีให้เลือกใช้ ทั้งแบบที่เชื่อมต่อผ่านสายนำสัญญาณและในแบบที่ต่อเข้ากับพอร์ต USB โดยตรง การ์ดเครือข่ายไร้สายแบบ USB นับว่า ได้ให้ความคุ้มค่าสำหรับการใช้ทีเดียว Access Point เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวกลางในการรับและส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้ง การ์ดเครือข่าย ไร้สายให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ลักษณะการทำงานจะเป็นเช่นเดียวกับ Hub ที่ใช้กับระบบเครือข่าย ใช้สาย โดย Access Point จะมีพอร์ต RJ-45 สำหรับใช้เพื่อเชื่อมโยงเข้ากับเครือข่ายใช้สายที่ใช้งานกัน

**2.5.4 Wireless Broadband Router**

อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงระดับ ADSL ซึ่งออกแบบมาสำหรับจุดประสงค์ การใช้งานอย่างหลากหลายเป็นทั้ง Router, Switch และ Access Point ปกติผู้ผลิตจะออกแบบมาให้มีพอร์ต เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แบบใช้สายจำนวน 4 พอร์ต แต่ผู้ผลิตหลายรายก็ออกอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กขนาดพ็อกเก็ต ที่มีปุ่มสลับโหมด การทำงานมาให้ใช้ ซึ่งเหมาะสำหรับการเคลื่อนย้ายบ่อยครั้ง Wireless Bridgeเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาสำหรับใช้เชื่อมต่อเครือข่าย 2 เครือข่าย ให้สื่อสารกันได้ มีให้เลือกใช้งาน ทั้งแบบติดตั้งภายนอกซึ่งใช้เชื่อมต่อเครือข่ายระหว่างอาคาร และแบบที่ติดตั้งภายในอาคาร โดย Wireless Bridge มี 2 ลักษณะให้เลือกใช้ คือ แบบที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างจุดต่อจุด (Point-to-Point) และแบบจุดต่อหลายจุด (Point-To-Multipoint) Wireless Print Server สำหรับเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องพิมพ์เพื่อให้มีความสามารถในแบบไร้สาย มีทั้งรุ่นที่ออกแบบมา สำหรับ ใช้งานกับเครื่องพิมพ์ที่มีพอร์ต Parallel, USB หรือทั้งสองพอร์ต ร่วมกันด้วย POE (Power Over Ethernet) Adapter เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาสำหรับแก้ไขข้อยุ่งยากในการเดินสายไฟฟ้าเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ ไร้สาย โดยหันมาใช้วิธีการจ่ายไฟผ่านสายนำสัญญาณ UTP ที่ยังมีคู่สายที่ยังไม่ถูกนำมา ใช้งานมาทำหน้าที่แทน ซึ่งอุปกรณ์POE Adapter จะมี 2 ส่วน คือ Power Injector เป็นอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าและนำสัญญาณ ข้อมูลจาก Switch Hub เข้าไปสู่อุปกรณ์ไร้สาย อย่าง Access Point และอีกอุปกรณ์เป็น Spliter ที่ใช้แยกสัญญาณข้อมูลและ ไฟฟ้าให้กับ Access

Point ผู้ผลิตหลายรายในปัจจุบันออกแบบให้ Switch สนับสนุน มาตรฐาน IEEE 802.3af (POE) มาพร้อมด้วย

## 2.6 ภาชนะบรรจุที่ทำด้วยโลหะ

ภาชนะบรรจุหีบห่อที่ทำด้วยโลหะ สำหรับอุตสาหกรรม แปรรูปอาหารระดับครัวเรือนที่ใช้กันมากที่สุด คือ กระป๋อง ปี๊บ และภาชนะอลูมิเนียม

### 2.6.1 กระป๋องบรรจุอาหาร

วัสดุที่ใช้ทำกระป๋องบรรจุอาหาร มี 3 ชนิด คือ 1. แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก (Tin plate) หรือที่เรียกว่าเหล็กวิลาส 2. แผ่นเหล็กทินฟรี (Tin free steel) เป็นแผ่นเหล็กที่ไม่ได้เคลือบดีบุกแต่เคลือบโครเมียม 3. แผ่นอลูเนียม

ประเภทกระป๋องบรรจุอาหาร แบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำได้เป็น 3 ประเภทดังนี้ คือ

**2.6.1.1 กระป๋องเคลือบดีบุก** กระป๋องชนิดนี้ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกเหมาะสำหรับบรรจุ ผักผลไม้ที่มีสีอ่อน ไม่มีสีขาวละลายน้ำ มีความเป็นกรดต่ำ (pH สูงกว่า 4.5) และมีโปรตีนต่ำ เช่น ลิ้นจี่ ลำไย เงาะ แห้ว สับปะรด เป็นต้น ผลไม้เหล่านี้ เมื่อใส่กระป๋องชนิดนี้ จะทำให้มีรสชาติและสีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากกว่าบรรจุในกระป๋องเคลือบแลคเกอร์ ทั้งนี้เพราะกรดในผลไม้เมื่อทำปฏิกิริยากับดีบุกที่เคลือบผิวกระป๋อง จะทำให้อาหารมีกลิ่นและรสเฉพาะรวมทั้งทำให้อาหารมีสีขาวขึ้น

**2.6.1.2 กระป๋องเคลือบแลคเกอร์** กระป๋องชนิดนี้ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกหรือแผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม หรือแผ่นอลูมิเนียม แล้วนำมาเคลือบแลคเกอร์ที่ผิวอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันมิให้คุณภาพของอาหารเสียไปเหมาะสำหรับบรรจุอาหารที่ทำปฏิกิริยากับดีบุกหรือเหล็กแล้วทำให้คุณภาพอาหารเสียไป ใช้บรรจุอาหารจำพวกเนื้อสัตว์และปลาที่มีสารประกอบของกำมะถันอยู่ในปริมาณที่สูง เช่น ผลิตภัณฑ์ อาหารทะเลหรือผักบางชนิด รวมทั้งผักหรือผลไม้ที่มีสี และอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรดค่อนข้างสูง เช่น ผลไม้บางชนิด นอกจากนี้อาหารบางชนิดที่มีการเติมสารฟอกสี พวกโซเดียมเมตตาไบซัลไฟท์ จำเป็นต้องบรรจุในกระป๋องเคลือบแลคเกอร์ เช่น เห็ด หน่อไม้ หน่อไม้ฝรั่ง ฯลฯ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อกำมะถันทำปฏิกิริยากับดีบุกที่เคลือบกระป๋องทำให้เกิดรอยดำ แม้ว่าบริโภคแล้วจะไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย แต่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในการเลือกใช้กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ ผู้ผลิตต้องเลือกใช้ชนิดของแลคเกอร์ให้เหมาะสมกับอาหารแต่ละชนิดด้วย

แลคเกอร์มีหลายชนิดแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ ประเภททนกรด ทนกำมะถัน และประเภททั่วไป เหมาะจะใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละประเภทดังนี้

1. ประเภททนกรด สำหรับกระป๋องบรรจุผักผลไม้แปรรูป ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด เช่น น้ำมะเขือเทศ สตรอเบอรี่กระป๋อง สับปะรด ฯลฯ
2. ประเภททนกำมะถัน สำหรับกระป๋องบรรจุอาหารทะเล ซึ่งมีปริมาณกำมะถันประกอบอยู่สูง เช่น ปลาซาดิน หอยลาย ฯลฯ

3. ประเภททั่วไป สำหรับประป๋องบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารทั่วไปที่ไม่มีฤทธิ์เป็นกรด และไม่มีกำมะถันประกอบอยู่ เช่น นมข้นหวาน นมข้นจืด

หมายเหตุ อาหารจำพวกเนื้อสัตว์และปลา จะมีกรดอะมิโน กรดอะมิโนจะมีกำมะถันเป็นองค์ประกองอยู่สูง

**รูปที่ 2.13** ประเภทของกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลคเกอร์

**2.6.1.3 กระป๋องอลูมิเนียม** ถึงแม้การใช้แผ่นเหล็กทำภาชนะบรรจุจะมีความก้าวหน้ามากก็ยังมีผู้สนใจที่จะหาภาชนะบรรจุจากโลหะอื่นๆ อีก โลหะที่ได้รับความสนใจมากคือ อลูมิเนียมมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนของกรดและมีน้ำหนักเบา กระป๋องอลูมิเนียมที่ใช้บรรจุอาหารก็มี เช่น ปลากระป๋อง เครื่องดื่ม นมผง ฯลฯ กระป๋องอลูมิเนียมเกือบทุกชนิดเป็นแบบที่ใช้ความสะดวกในการเปิด เช่น มีแหวนสำหรับเปิดฝาออก หรือเปิดขอบข้างริมตะเข็บ

**2.6.1.4 กระป๋องกระดาษ (Composite can)** เป็นภาชนะบรรจุที่ทำจากวัสดุ 2 ชนิด คือ ตัวกระป๋องทำด้วยกระดาษแข็ง แต่ฝาทำด้วยโลหะหรือพลาสติก ตัวทำด้วยกระดาษแข็ง โดยปกติทำด้วยกระดาษกร๊าฟเมื่อม้วนตัวกระดาษแข็งเรียบร้อย แล้วก็บุทับอีกทีหนึ่ง สิ่งที่ใช้บุอาจทำด้วย Panchment paper กระดาษชุบเทียน แผ่นอลูมิเนียม Glassine หรือกระดาษชุบ โพลิเอทิลีน ฝาอาจจะทำเป็นแบบครอบหรือสวม หรืออาจทำเป็นตะเข็บคู่ กระป๋องแบบนี้มีลักษณะที่ดีกว่ากระป๋องโลหะ เพราะสามารถทำลายได้ง่าย ในปัจจุบันกระป๋องแบบนี้ใช้บรรจุอาหารจำพวก มันฝรั่งทอดกรอบ (Potato chip) ถั่วอบ หรืออาหารแห้งอื่นๆ เป็นต้น

รูปที่ 2.14 กระป๋องกระดาษ

### 2.6.2 ปี๊บบรรจุอาหาร

ปี๊บที่ใช้บรรจุอาหาร มี 2 ชนิดคือ ปี๊บเคลือบดีบุก และปี๊บเคลือบแลคเกอร์ ซึ่งปี๊บแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติ เช่นเดียวกับกระป๋องบรรจุอาหาร คุณภาพของปี๊บและกระป๋องบรรจุอาหาร ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นเหล็กน้ำหนักของดีบุกที่เคลือบบนแผ่นเหล็ก แลคเกอร์ที่เคลือบ ความสนิทแน่นรอยต่อของตะเข็บ ขนาดของปี๊บหรือกระป๋องและคุณลักษณะของอาหาร และวิธีการเก็บรักษาปี๊บ

รูปที่ 2.15 ปี๊บบรรจุอาหาร

**2.6.3 แผ่นอลูมิเนียม (Aluminums foil)**

คือ แผ่นอลูมิเนียมที่บางมาก ราคาค่อนข้างสูง มักใช้บรรจุขนมที่ต้องการ การป้องกันความชื้นและก๊าซสูง ตลอดจนขนมมีราคาแพง เช่น ช๊อคโกแลต นอกจานี้ยังสามารถใช้ห่ออาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารพวกเนื้อสัตว์ เพื่อย่างหรืออบได้ดีอีกด้วย

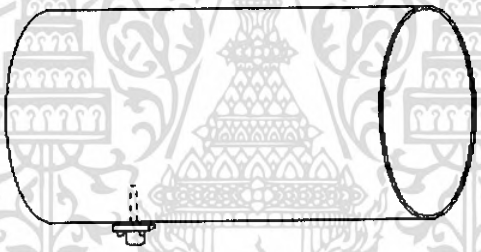
**รูปที่ 2.16** แผ่นอลูมิเนียม

# บทที่ 3
# การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

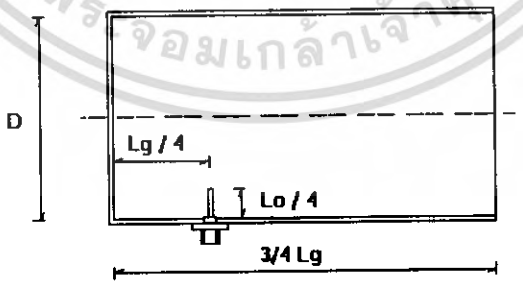
## 3.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบและพัฒนานั้นจะใช้ทฤษฎีที่ศึกษาในบทที่ 2 มาใช้ในการออกแบบและสร้างสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงภาพรวมของการออกแบบและสร้างสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz ทั้งหมด และอธิบายรายละเอียดของส่วนต่างๆในการออกแบบและสร้างสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz พร้อมทั้งบอกถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการออกแบบและสร้างสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz

## 3.2 การออกแบบและสร้างสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz



**รูปที่ 3.1** ส่วนประกอบของสายอากาศกระป๋อง




**รูปที่ 3.2** โครงสร้างของสายอากาศกระป๋อง

โดยที่

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของกระป๋อง หรือความกว้างของกระป๋อง หน่วยเป็นมิลลิเมตร

Lg/4 = ระยะห่างระหว่างก้นกระป๋องกับ Connector

Lo/4 = ความสูงของลวดทองแดง

3/4Lg = ความยาวของกระป๋องที่ต้องการ

Lo = 122 mm ที่ความถี่ 2.45 GHz หรือ Lo / 4 = 31 mm

**ตารางที่ 3.1** สูตรคำนวณสายอากาศกระป๋อง

| D in mm | D in inches | Lower cut off frequency in MHz | Upper cut off frequency in MHz | $L_g$ | $1/4\ L_g$ | $3/4\ L_g$ | $1/4\ L_o$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 73 | 2.874 | 2407.236 | 3144.522 | 752.281 | 188.07 | 564.211 | 30.176 |
| 74 | 2.913 | 2374.706 | 3102.028 | 534.688 | 133.672 | 401.016 | 30.176 |
| 75 | 2.952 | 2343.043 | 3060.668 | 440.231 | 110.057 | 330.173 | 30.176 |
| 76 | 2.992 | 2312.214 | 3020.396 | 384.708 | 96.177 | 288.531 | 30.176 |
| 77 | 3.031 | 2282.185 | 2981.17 | 347.276 | 86.819 | 260.457 | 30.176 |
| 78 | 3.07 | 2252.926 | 2942.95 | 319.958 | 79.989 | 239.968 | 30.176 |
| 79 | 3.11 | 2224.408 | 2905.697 | 298.955 | 74.738 | 224.216 | 30.176 |
| 80 | 3.149 | 2196.603 | 2869.376 | 282.204 | 70.551 | 211.653 | 30.176 |
| 81 | 3.188 | 2169.485 | 2833.952 | 268.471 | 67.117 | 201.353 | 30.176 |
| 82 | 3.228 | 2143.027 | 2799.391 | 256.972 | 64.243 | 192.729 | 30.176 |
| 83 | 3.267 | 2117.208 | 2765.664 | 247.178 | 61.794 | 185.383 | 30.176 |
| 84 | 3.307 | 2092.003 | 2732.739 | 238.719 | 59.679 | 179.039 | 30.176 |
| 85 | 3.346 | 2067.391 | 2700.589 | 231.329 | 57.832 | 173.497 | 30.176 |
| 86 | 3.385 | 2043.352 | 2669.187 | 224.81 | 56.202 | 168.607 | 30.176 |
| 87 | 3.425 | 2019.865 | 2638.507 | 219.01 | 54.752 | 164.258 | 30.176 |
| 88 | 3.464 | 1996.912 | 2608.524 | 213.813 | 53.453 | 160.36 | 30.176 |
| 89 | 3.503 | 1974.475 | 2579.214 | 209.126 | 52.281 | 156.845 | 30.176 |
| 90 | 3.543 | 1952.536 | 2550.556 | 204.876 | 51.219 | 153.657 | 30.176 |
| 91 | 3.582 | 1931.08 | 2522.528 | 201.002 | 50.25 | 150.751 | 30.176 |
| 92 | 3.622 | 1910.09 | 2495.11 | 197.456 | 49.364 | 148.092 | 30.176 |

**ตารางที่ 3.1 (ต่อ)** สูตรคำนวณสายอากาศกระป๋อง

| D in mm | D in inches | Lower cut off frequency in MHz | Upper cut off frequency in MHz | $L_g$ | $1/4\ L_g$ | $3/4\ L_g$ | $1/4\ L_o$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 93 | 3.661 | 1889.551 | 2468.28 | 194.196 | 48.549 | 145.647 | 30.176 |
| 94 | 3.7 | 1869.449 | 2442.022 | 191.188 | 47.797 | 143.391 | 30.176 |
| 95 | 3.74 | 1849.771 | 2416.317 | 188.405 | 47.101 | 141.304 | 30.176 |
| 96 | 3.779 | 1830.502 | 2391.147 | 185.821 | 46.455 | 139.365 | 30.176 |
| 97 | 3.818 | 1811.631 | 2366.496 | 183.415 | 45.853 | 137.561 | 30.176 |
| 98 | 3.858 | 1793.145 | 2342.348 | 181.169 | 45.292 | 135.877 | 30.176 |
| 99 | 3.897 | 1775.033 | 2318.688 | 179.068 | 44.767 | 134.301 | 30.176 |

## 3.3 ขั้นตอนการประกอบสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz

1. นำ Connector กับ ลวดทองแดงมาเชื่อมต่อให้สูงประมาณ 31 มิลลิเมตร (เมื่อเชื่อมต่อเสร็จแล้วมาวัดระดับความสูงจากผิวกระป๋องสูงขึ้นไป 31 มิลลิเมตร ถ้ายาวกว่าให้ตัดออก ดังรูปการเตรียมกระป๋อง)

**รูปที่ 3.3** Connector ทำการเชื่อมต่อกับ ลวดทองแดง

2. ทำการเจาะกระป๋องตามสูตรดังข้างต้น

3. นำ Connector ที่เชื่อมกับเส้นลวดทองแดงแล้วนำมายึดกับกระป๋องที่เราทำการเจาะรูกระป๋องไว้แล้ว

**รูปที่ 3.4** การติดตั้ง Connector เข้ากับกระป๋อง

**รูปที่ 3.5** ด้านในของการติดตั้ง Connector กับกระป๋อง

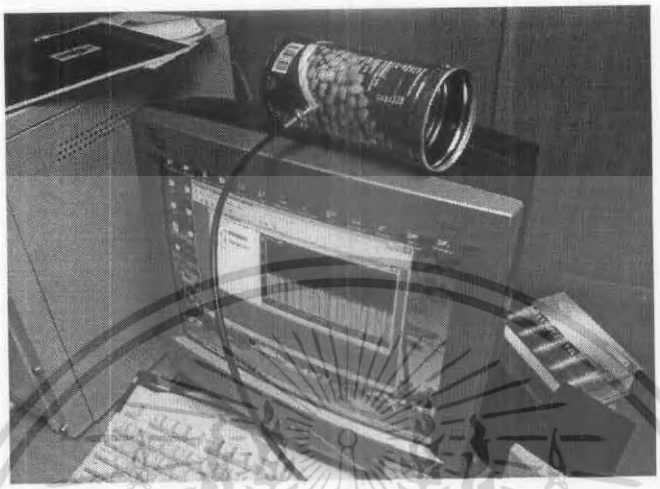
4. นำสายสัญญาณที่เข้าหัวนำสัญญาณแล้วนำมาต่อเข้าที่หัวนำสัญญาณของกระป๋องและอีกด้านเข้าหัวนำสัญญาณของ USB Wireless LAN Card

**รูปที่ 3.6** สายนำสัญญาณพร้อมกับ Connector

**รูปที่ 3.7** การต่อ UBS Wireless LAN Card กับสายนำสัญญาณเข้ากับสายอากาศกระป๋อง

5. เมื่อทำการประกอบเสร็จแล้วเราก็นำพอร์ต USB ที่ USB Wireless LAN Card เข้าที่พอร์ต USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์

6. ทำการลงไดร์เวอร์ของ USB Wireless LAN Card หลังจากนั้นก็ทำการต่ออินเตอร์เน็ตได้



**รูปที่ 3.8** การเชื่อมต่อสายอากาศภายนอกเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# บทที่ 4

# การทดลองและผลการทดลอง

## 4.1 กล่าวนำ

ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz ซึ่งจะใช้โปรแกรม Netstumbler เป็นตัววัดสัญญาณความแรงของสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz

## 4.2 การทดลองการทำงานของสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz

หน้าที่หลักของสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz คือการรับสัญญาณWireless LAN Card จากตัว Access Point ที่ส่งกระจายคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม เพื่อหาความแรงของสัญญาณของสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz จากนั้นเราก็ทำการออกไปทดสอบนอกสถานที่เพื่อหาระยะทางที่ตัวสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz นี้สามารถรับได้จริง

### 4.2.1 การทดลองเพื่อหาความแรงของสัญญาณความถี่ไร้สาย 2.4 GHz

#### 4.2.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำกระป๋องโลหะที่เราได้นำมาทำสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz
2. ทำการต่อ USB Wireless LAN Card เข้ากับสาย RG-58 และตัวสายอากาศกระป๋อง
3. ต่อ USB Wireless LAN Card ที่พร้อมใช้งานเข้ากับคอมพิวเตอร์ และทำการลงตัวติดตั้งของตัว USB Wireless LAN Card
4. เปิดโปรแกรม Netstumbler เพื่อทำการทดสอบความแรงของสัญญาณ
5. เปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากสายอากาศต้นเดิมกับสายอากาศกระป๋อง ดูผลการทดลองและทำการบันทึกผล

#### 4.2.1.2 ผลการทดลอง

หลังจากที่ทำการต่อ USB Wireless LAN Card เข้ากับพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์ แล้วลงตัวติดตั้งของ USB Wireless LAN Card จากนั้นก็เปิดตัวโปรแกรม Netstumbler เพื่อวัดความแรงของสัญญาณในเครือข่ายไร้สาย ทั้งนี้ความแรงของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับระยะความห่างของตัวส่งและตัวรับ สิ่งกีดขวาง หรือแม้แต่วัสดุที่นำมาทำสายอากาศกระป๋อง ดังรูปที่ 4.1

**รูปที่ 4.1** การต่อ USB Wireless LAN Card เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

## 4.3 การทดลองเพื่อหาความแรงของสัญญาณภายในคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

### 4.3.1 การใช้สายอากาศเดิมที่มากับ USB Wireless LAN Card

#### 4.3.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำสายอากาศเดิมที่มากับ USB Wireless LAN Card ใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz
2. ทำการต่อ USB Wireless LAN Card เข้ากับคอมพิวเตอร์
3. เปิดโปรแกรม Netstumbler เพื่อทำการทดสอบความแรงของสัญญาณ

#### 4.3.1.2 ผลการทดลอง

เป็นการทดสอบความแรงของสัญญาณที่มาจากการใช้สายอากาศแบบ USB Wireless LAN Car โดยใช้โปรแกรม Netstumbler ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งความแรงของตัวสัญญาณที่ส่งมาจาก Access Point ด้วย ซึ่งความแรงของสัญญาณที่ใช้สายอากาศแบบ USB Wireless LAN Card จะมีความแรงของสัญญาณเท่ากับ -82 dBm แสดงดังรูปที่ 4.3

**รูปที่ 4.2** สายอากาศเดิมที่มากับ USB Wireless LAN Card

**รูปที่ 4.3** กราฟความแรงของสัญญาณของสายอากาศเดิมที่มากับ USB Wireless LAN Card

### 4.3.2 การใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร

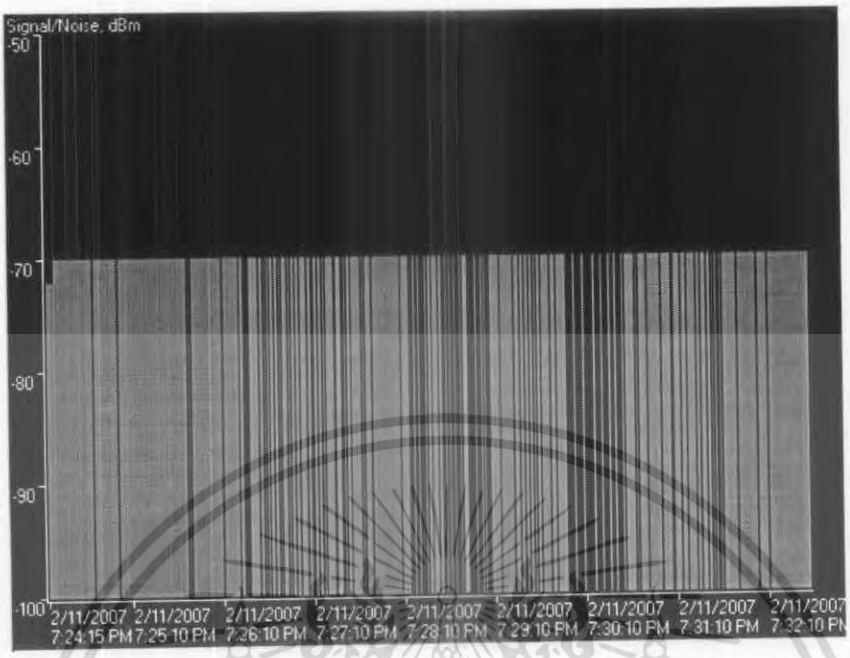
#### 4.3.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำกระป๋องที่เราได้นำมาทำสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย2.4GHz
2. ทำการต่อ USB Wireless LAN Card เข้ากับสาย RG-58 และตัวสายอากาศกระป๋อง
3. ต่อ USB Wireless LAN Card ที่พร้อมใช้งานเข้ากับคอมพิวเตอร์
4. เปิดโปรแกรม Netstumbler เพื่อทำการทดสอบความแรงของสัญญาณ
5. เปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณที่ได้จากสายอากาศต้นเดิมกับสายอากาศกระป๋องที่ทำมาดูผลการทดลองและทำการบันทึกผล

#### 4.3.2.2 ผลการทดลอง

เป็นการทดสอบความแรงของสัญญาณที่มาจากการใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตรโดยใช้โปรแกรม Netstumbler ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งความแรงของตัวสัญญาณที่ส่งมาจาก Access Point ด้วย ซึ่งความแรงของสัญญาณที่ใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตรจะมีความแรงของสัญญาณเท่ากับ -70 dBm แสดงดังรูปที่ 4.5

**รูปที่ 4.4** การต่อใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตรเข้ากับคอมพิวเตอร์




**รูปที่ 4.5** กราฟความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร

### 4.3.3 การใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร

#### 4.3.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำกระป๋องที่เราได้นำมาทำสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz
2. ทำการต่อ USB Wireless LAN Card เข้ากับสาย RG-58 และตัวสายอากาศกระป๋อง
3. ต่อ USB Wireless LAN Card ที่พร้อมใช้งานเข้ากับคอมพิวเตอร์
4. เปิดโปรแกรม Netstumbler เพื่อทำการทดสอบความแรงของสัญญาณ
5. เปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากสายอากาศเดิมกับสายอากาศกระป๋องที่ทำมาดูผลการทดลอง และทำการบันทึกผล

#### 4.3.3.2 ผลการทดลอง

เป็นการทดสอบความแรงของสัญญาณที่มาจากการใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตรโดยใช้โปรแกรม Netstumbler ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งความแรงของตัวสัญญาณที่ส่งมาจาก Access Point ด้วย ซึ่งความแรงของสัญญาณที่ใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตรจะมีความแรงของสัญญาณเท่ากับ -74 dBm แสดงดังรูปที่ 4.7

**รูปที่ 4.6** การต่อใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตรเข้ากับคอมพิวเตอร์

**รูปที่ 4.7** กราฟความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร

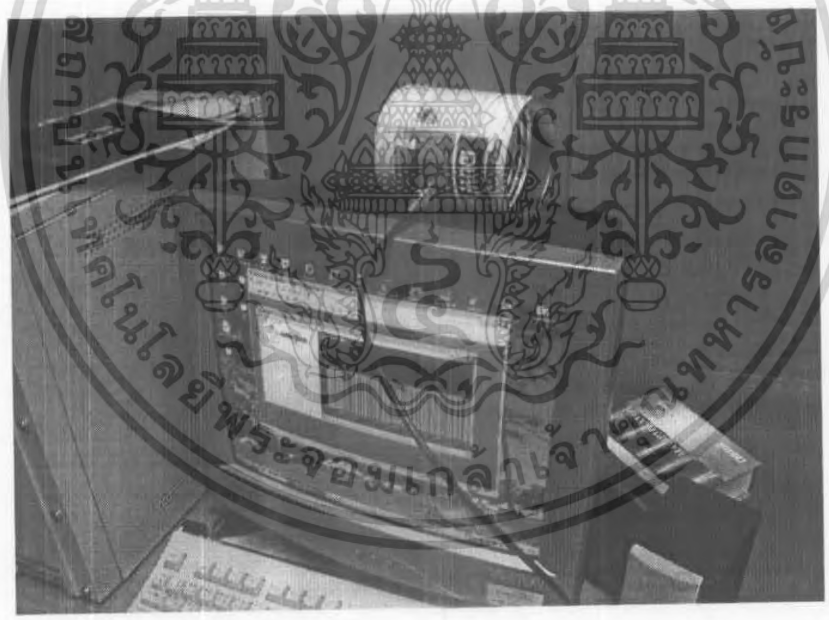
### 4.3.4 การใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร

#### 4.3.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

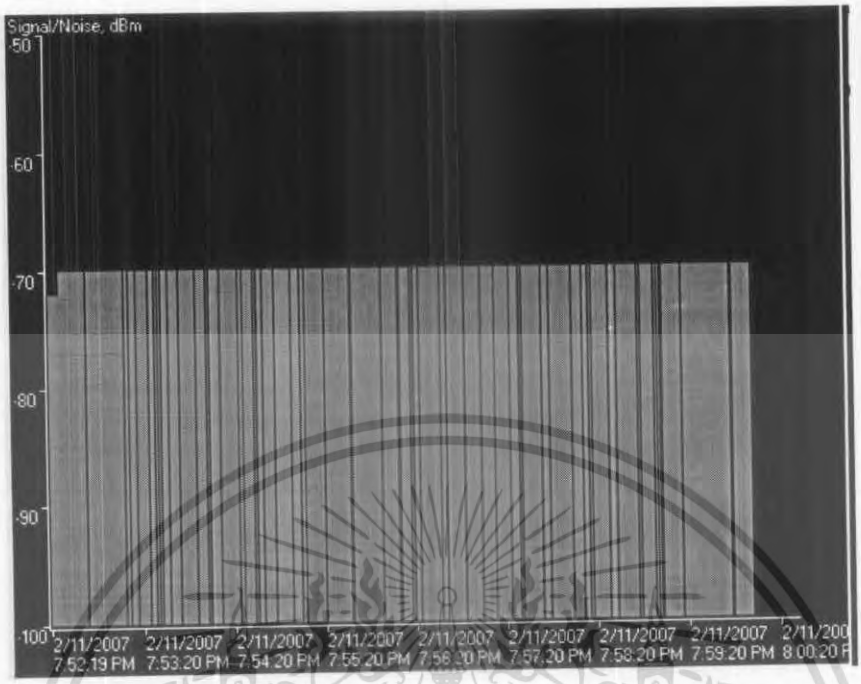
1. นำกระป๋องที่เราได้นำมาทำสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย2.4 GHz
2. ทำการต่อ USB Wireless LAN Card เข้ากับสาย RG-58 และตัวสายอากาศกระป๋อง
3. ต่อ USB Wireless LAN Card ที่พร้อมใช้งานเข้ากับคอมพิวเตอร์
4. เปิดโปรแกรม Netstumbler เพื่อทำการทดสอบความแรงของสัญญาณ
5. เปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากสายอากาศต้นเดิมกับสายอากาศกระป๋องที่ทำมา ดูผลการทดลองและทำการบันทึกผล

#### 4.3.4.2 ผลการทดลอง

เป็นการทดสอบความแรงของสัญญาณที่มาจากการใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตรโดยใช้โปรแกรม Netstumbler ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งความแรงของตัวสัญญาณที่ส่งมาจาก Access Point ด้วย ซึ่งความแรงของสัญญาณที่ใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตรจะมีความแรงของสัญญาณเท่ากับ -70 dBm แสดงดังรูปที่ 4.9



**รูปที่ 4.8** การต่อใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตรเข้ากับคอมพิวเตอร์




**รูปที่ 4.9** ความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร

## 4.4 การทดลองเพื่อหาความแรงของสัญญาณสายอากาศกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz (นอกสถานที่)

### 4.4.1 สายอากาศเดิมที่มากับ USB Wireless LAN Card

#### 4.4.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำสายอากาศเดิมที่มากับ USB Wireless LAN Card (นอกสถานที่) ใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz
2. ทำการต่อ USB Wireless LAN Card เข้ากับคอมพิวเตอร์
3. เปิดโปรแกรม Netstumbler เพื่อทำการทดสอบความแรงของสัญญา

#### 4.4.1.2 ผลการทดลอง

เป็นการทดสอบความแรงของสัญญาณที่มาจากการใช้สายอากาศแบบ USB Wireless LAN Card (นอกสถานที่) โดยใช้โปรแกรม Netstumbler ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งความแรงของตัวสัญญาณที่ส่งมาจาก Access Point ด้วย ซึ่งความแรงของสัญญาณที่ใช้สายอากาศแบบ USB Wireless LAN Card (นอกสถานที่) จะมีความแรงของสัญญาณเท่ากับ -84 dBm แสดงดังรูปที่ 4.11

**รูปที่ 4.10** การใช้สายอากาศเดิมที่มากับ UBS Wireless LAN Card (นอกสถานที่)

**รูปที่ 4.11** กราฟความแรงของสัญญาณของสายอากาศสายอากาศเดิม
ที่มากับ UBS Wireless LAN Card (นอกสถานที่)

### 4.4.2 สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร

#### 4.4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz
2. ต่อสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องต่อกับ USB Wireless LAN Card โดยเปลี่ยนเอาเสาเดิมออกแล้วแทนด้วยสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องแล้วต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์
3. เปิดโปรแกรม Netstumbler เพื่อทำการทดสอบความแรงของสัญญาณ

#### 4.4.2.2 ผลการทดลอง

เป็นการทดสอบความแรงของสัญญาณที่มาจากการใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร โดยใช้โปรแกรม Netstumbler ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งความแรงของตัวสัญญาณที่ส่งมาจาก Access Point ด้วย ซึ่งความแรงของสัญญาณที่ใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร (นอกสถานที่) จะมีความแรงของสัญญาณเท่ากับ -82 dBm แสดงดังรูปที่ 4.12

**รูปที่ 4.12** ความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร

### 4.4.3 สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร

#### 4.4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz

2. ทำการต่อสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องต่อกับ USB Wireless LAN Card โดยเปลี่ยนเอาเสาเดิมออกแล้วแทนด้วยสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องแล้วต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์
3. เปิดโปรแกรม Netstumbler เพื่อทำการทดสอบความแรงของสัญญาณ

**4.4.3.2 ผลการทดลอง**

เป็นการทดสอบความแรงของสัญญาณที่มาจากการใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร โดยใช้โปรแกรม Netstumbler ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับความแรงของตัวสัญญาณที่ส่งมาจาก Access Point ด้วย ซึ่งความแรงของสัญญาณที่ใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร (นอกสถานที่) จะมีความแรงของสัญญาณเท่ากับ -82 dBm แสดงดังรูปที่ 4.13

**รูปที่ 4.13** ความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร

### 4.4.4 สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร

**4.4.4.1 ขั้นตอนการทดลอง**

1. นำสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz
2. ทำการต่อสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องต่อกับ USB Wireless LAN Card โดยเปลี่ยนเอาเสาเดิมออกแล้วแทนด้วยสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องแล้วต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์
3. เปิดโปรแกรม Netstumbler เพื่อทำการทดสอบความแรงของสัญญาณ

**4.4.4.2 ผลการทดลอง**

เป็นการทดสอบความแรงของสัญญาณที่มาจากการใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตรโดยใช้โปรแกรม Netstumbler ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งความแรงของตัวสัญญาณที่ส่งมาจาก Access Point ด้วย ซึ่งความแรงของสัญญาณที่ใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร (นอกสถานที่) จะมีความแรงของสัญญาณเท่ากับ -78 dBm แสดงดังรูปที่ 4.14

**รูปที่ 4.14** กราฟความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร

**ตารางที่ 4.1** ผลการทดลองสายอากาศกระป๋องในระยะทางต่าง ๆ

| ชนิดของสายอากาศไร้สาย | ระยะห่าง | SSID / Channels | Speed (Mbps) | Send/ Received | SNR / Signal (dBm) | สามารถเล่นอินเตอร์เน็ตได้หรือไม่ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| สายอากาศเดิมที่มากับตัว USB Wireless LAN Card | 0-50 เมตร | WIFI_KMITL(1) | 1 | 770/608 | 20/-80 | ได้ |
| | 50-100 เมตร | WIFI_KMITL(1) | 12 | 119/59 | 24/-76 | ได้ |
| | 100-150 เมตร | - | - | - | - | - |

**ตารางที่ 4.1 (ต่อ)** ผลการทดลองสายอากาศกระป๋องในระยะทางต่าง ๆ

| ชนิดของสายอากาศไร้สาย | ระยะห่าง | SSID / Channels | Speed (Mbps) | Send/ Received | SNR / Signal (dBm) | สามารถเล่นอินเตอร์เน็ตได้หรือไม่ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 150 เมตรขึ้นไป | - | - | - | - | - |
| สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มม. | 0-50 เมตร | WIFI_KMITL(1) | 36 | 710/618 | 40/-60 | ได้ |
| | 50-100 เมตร | WIFI_KMITL(11) | 36 | 207/206 | 30/-70 | ได้ |
| | 100-150 เมตร | WIFI_KMITL(11) | 11 | 261/79 | 22/-78 | ได้ |
| | 150 เมตรขึ้นไป | - | - | - | - | - |
| สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มม. | 0-50 เมตร | WIFI_KMITL(11) | 36 | 868/1244 | 24/-76 | ได้ |
| | 50-100 เมตร | WIFI_KMITL(11) | 11 | 233/180 | 24/-76 | ได้ |
| | 100-150 เมตร | WIFI_KMITL(1) | 1 | 31/0 | 18/-82 | ไม่ได้ |
| | 150 เมตรขึ้นไป | WIFI_KMITL(11) | 2 | 47/9 | 14/-86 | ไม่ได้ |
| สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. | 0-50 เมตร | WIFI_KMITL(11) | 36 | 840/976 | 34/-66 | ได้ |
| | 50-100 เมตร | WIFI_KMITL(1) | 12 | 65/33 | 26/-76 | ได้ |
| | 100-150 เมตร | WIFI_KMITL(11) | 12 | 644/624 | 32/-68 | ได้ |
| | 150 เมตรขึ้นไป | WIFI_KMITL(1) | 5.5 | 17/2 | 20/-80 | ไม่ได้ |

**หมายเหตุ** ค่า SSID ที่ได้มาจากคณะสารสนเทศ (IT)

WIFI_KMITL = คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

KMITL_WIFI = คณะเทคโนโลยีการเกษตร (ตึก L)

แหล่งที่มาของข้อมูลจากสำนักศูนย์วิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# บทที่ 5
# บทสรุป

## 5.1 สรุป

เปรียบเทียบความสามารถและขนาดของกระป๋องในการรับสัญญาณ

1. เส้นผ่าศูนย์กลางของกระป๋อง = 85 มิลลิเมตร
2. ระยะห่างระหว่างก้นกระป๋องกับคอนเน็คเตอร์ = 54 มิลลิเมตร
3. ความสูงของลวดทองแดง = 31 มิลลิเมตร
4. ความยาวของกระป๋องที่ต้องการ = 161.25 มิลลิเมตร

**ผลการทดลอง**

เป็นการทดสอบความแรงของสัญญาณที่มาจากการใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตรโดยใช้โปรแกรม Netstumbler ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งความแรงของตัวสัญญาณที่ส่งมาจากAccess Point ด้วย ซึ่งความแรงของสัญญาณที่ใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร (นอกสถานที่) จะมีความแรงของสัญญาณเท่ากับ -82dBm แสดงดังรูปที่ 5.1

**รูปที่ 5.1** กราฟความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่าศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร

1. เส้นผ่าศูนย์กลางของกระป๋อง = 70 มิลลิเมตร
2. ระยะห่างระหว่างก้นกระป๋องกับคอนเน็คเตอร์ = 98 มิลลิเมตร
3. ความสูงของลวดทองแดง = 25 มิลลิเมตร
4. ความยาวของกระป๋องที่ต้องการ = 105 มิลลิเมตร

**ผลการทดลอง**

เป็นการทดสอบความแรงของสัญญาณที่มาจากการใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตรโดยใช้โปรแกรม Netstumbler ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งความแรงของตัวสัญญาณที่ส่งมาจาก Access Point ด้วย ซึ่งความแรงของสัญญาณที่ใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร (นอกสถานที่) จะมีความแรงของสัญญาณเท่ากับ -82 dBm แสดงดังรูปที่ 5.2

**รูปที่ 5.2** กราฟความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋อง 70 มิลลิเมตร

1. เส้นผ่าศูนย์กลางของกระป๋อง = 100 มิลลิเมตร
2. ระยะห่างระหว่างก้นกระป๋องกับคอนเน็คเตอร์ = 50 มิลลิเมตร
3. ความสูงของลวดทองแดง = 31 มิลลิเมตร
4. ความยาวของกระป๋องที่ต้องการ = 110.75 มิลลิเมตร

**ผลการทดลอง**

เป็นการทดสอบความแรงของสัญญาณที่มาจากการใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร โดยใช้โปรแกรม Netstumbler ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งความแรงของตัวสัญญาณที่ส่งมาจาก Access Point ด้วย ซึ่งความแรงของสัญญาณที่ใช้สายอากาศที่ทำมาจากกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร (นอกสถานที่) จะมีความแรงของสัญญาณเท่ากับ -78 dBm แสดงดังรูปที่ 5.3

**รูปที่ 5.3** กราฟความแรงของสัญญาณของสายอากาศที่ทำมาจากกระป๋อง 100 มิลลิเมตร

การออกแบบสายอากาศแบบกระป๋องใช้งานย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz เพื่อเป็นการทดแทนสายอากาศเดิมซึ่งมีราคาสูง ในการออกแบบสร้างครั้งนี้เราจะใช้กระป๋องโลหะในการออกแบบและสร้างสายอากาศ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย และทำการทดสอบความแรงของสายอากาศ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย โดยใช้โปรแกรม Netstumbler เพื่อหาค่าความแรงของสัญญาณ แต่ความแรงของสัญญาณนั้นก็ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น ความห่างจากตัวส่ง-ตัวรับสัญญาณยิ่งห่างกันมากความแรงของสัญญาณนั้นก็จะยิ่งอ่อนลง การกันของวัตถุเช่นกำแพง ต้นไม้หรือสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ เป็นต้น

## 5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบของสายอากาศกระป๋องใช้งานในย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz ปรากฏว่ามีปัญหาที่เกิดขึ้นหลายประการซึ่ง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. วัสดุที่นำมาทำสายอากาศกระป๋อง เนื่องจากการสร้างสายอากาศกระป๋องใช้งานในย่านความถี่ไร้สาย 2.4 GHz อาศัยหลักการสะท้อนของสัญญาณ
   วิธีการแก้ไข หลักการของการสร้างสายอากาศกระป๋องคือการสะท้อนของสัญญาณแล้วรวมสัญญาณมาที่จุดรับสัญญาณจึงต้องใช้กระป๋องโลหะ และไม่ควรใช้กระป๋องที่ทำมาจากกระดาษ
2. หัวนำสัญญาณชอบหลุดออกจากสายนำสัญญาณ ทำให้เวลาทดลองหากไม่ได้ตรวจสอบจะทำให้ผลที่ได้ผิดพลาดและการรับสัญญาณนั้นลดลงหรืออาจรับสัญญาณไม่ได้เลย
   วิธีการแก้ไข ควรตรวจสอบสายนำสัญญาณและหัวนำสัญญาณว่าอยู่ในสภาพดีหรือไม่ถ้าสายเกิดชำรุดก็ควรทำการเข้าหัวนำสัญญาณใหม่จะเป็นการมั่นใจกว่าการเข้าหัวย้ำเพราะจะเกิดการผิดพลาดได้
3. จากการทดสอบนอกสถานที่ทำให้เราพบปัญหาที่เราไม่สามารถควบคุมได้ คือ แรงลมที่พัดจะมีผลต่อสัญญาณที่ส่งออกมาถ้าเราตั้งเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณไว้ถูกตำแหน่งแล้วก็จะทำให้การรับสัญญาณเครือข่ายไร้สายได้ดีขึ้น สภาพอุณภูมิและความชื้นในอากาศก็มีผลต่อสัญญาณของเครือข่ายไร้สายซึ่งอาจจะทำให้การรับสัญญาณรับได้บ้าง ไม่ได้บ้าง หรือการเกาะติดของสัญญาณไร้สายไม่ดี

## 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. การใช้วัสดุที่มีคุณภาพจะทำให้การรับสัญญาณได้ดีขึ้น เช่น สาย RG-58 Low loss 50 Ohm, Connector Type N, กระป๋องโลหะ เป็นต้น
2. การเพิ่มเสาของสายอากาศให้สูงขึ้นอย่างเหมาะสมจะช่วยให้การรับสัญญาณนั้นดีขึ้น
3. การใช้กระป๋องอลูมิเนียมมาทำสายอากาศในย่านความถี่ 2.4 GHz จะทำให้การรับสัญญาณได้ดีที่สุด

การเปรียบเทียบราคาของสายอากาศ Wireless ที่ขายตามร้านอิเล็กทรอนิกส์กับสายอากาศที่ผลิตที่ขึ้น

ของสายอากาศเดิมที่ขายราคา 1200 บาท

ของที่ผลิตขึ้นมาซึ่งมีอุปกรณ์กระป๋อง (เคลือบอลูมิเนียม) หากได้ทั่วไปไม่ต้องซื้อ

สายโคเอ็กเชียล RG-58 /U LOWLOSS 1 เมตร 120 บาท

คอนเน็คเตอร์ 2 ตัว 100 บาท

สกรูยึดกระป๋อง 10 บาท

ลวดทองแดงขนาด 30 มิลลิเมตรหาได้ทั่วไป

# บรรณานุกรม


บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ . 2534. **หลักการไฟฟ้าสื่อสาร.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ. 2533. **หลักการระบบสื่อสาร** .กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด .

วิวัฒน์ กิรานนท์. 2533. **พื้นฐานการสื่อสาร**.กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย .

อำนาจ มีมงคลและอรรณพ ขันติกุล . 2547. **ออกแบบและติดตั้งเครือข่าย Wireless LAN**. กรุงเทพฯ: อินโฟเพรส.

ADAMSON, T.A.,1988,**Electronic Communication** : Delmar Publishers Inc.

COMRIE,R.,1986,**Underatanding Antennas** : Prentric Hall.

Green. .R. and bourque. 1980.**The theory and servicing of FM AM and FM stereo Receiver**. New Jersey : Prentice-hall Inc.

HARVEY,A.F.,1963, **Microwave Engineering** : Academic Press

IECE,1957,**Communication Transmission Line Theory** : IECE Presss.

Kennedy G and Davis B.1993. **Electronic Communication Syetem**. McGrew Hill Illiois

Laverghetta T .S. **Analog Communication for Technology**. Saunder College Publishing Philadiphia.

TAKEBE,T., SHINOSAKI,T., and MASHIDA,T.,1977,**Exercise of Information Transmission Theory and System** : Kakuken co.

WHEELER,G.J.,1963, **Introduction to Microwaves** : Prentice-Hall

Cisco.2547.**Cisco Networking Academy Program CCNA 1**. แปลโดยสัลยุทธ์ สว่างวรรณ.กรุงเทพฯ : เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า.

ADAMSON, T.A.,1988,**Electronic Communication** (online) Available http://bloggang.com/viewdiary.php?id=hs3lzx&month=12-2005&date=08&group=3&blog=3

COMRIE,R.,1986,**Underatanding Antennas** (online) Available http://ccs.wu.ac.th/wlan/wl.html

Green. .R. and bourque. 1980.**The theory and servicing of FM AM and FM stereo Receiver**. New Jersey (online) Available http://hjem.get2net.dk/ole_nykjaer/oz2oe/antenner/10wg.html

HARVEY,A.F.,1963, **Microwave Engineering** (online) Available

http://ite.nectec.or.th/modules.php?name=News&file=article&sid=95

IECE,1957,**Communication Transmission Line Theory** (online) Available

http://manuka.orcon.net.nz/wificad.jpg

Kennedy G and Davis B.1993. **Electronic Communication Syetem** (online) Available

http://members.ij.net/packrats/Slot_Antenna/Slot_ant.pdf

Laverghetta T .S. **Analog Communication for Technology** (online) Available

http://technology.msnth2.com/article.aspœid=1883&art=product

TAKEBE,T., SHINOSAKI,T., and MASHIDA,T.,1977,**Exercise of Information Transmission Theory and System** (online) Available

http://thaicert.nectec.or.th/paper/wireless.php

WHEELER,G.J.,1963, **Introduction to Microwaves** (online) Available

http://trevor.marshall.com/biquad.htm

Cisco.2547.**Cisco Networking Academy Program CCNA 1** (online) Available

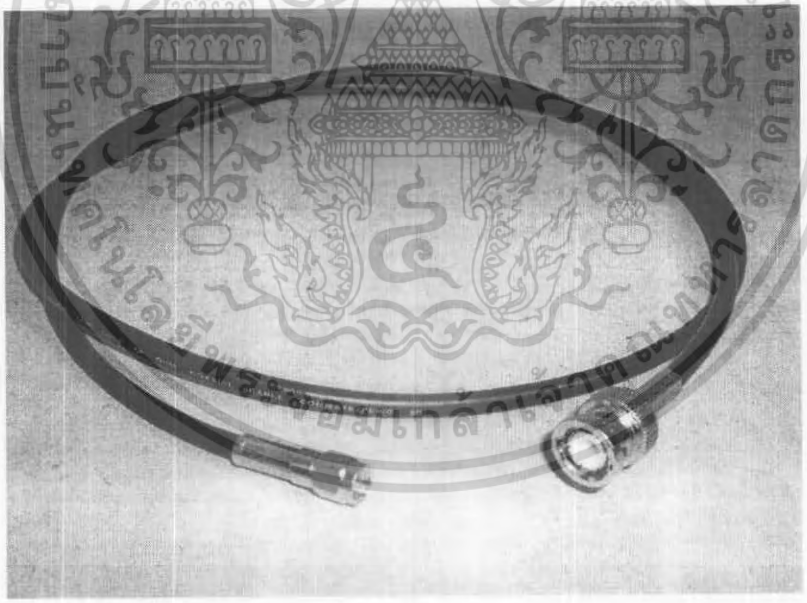
http://turnpoint.net.htm

# ภาคผนวก ก
# เครื่องต้นแบบ

**รูปที่ ก.1** ด้านแนวตั้งของกระป๋องที่ต่อ Connector

**รูปที่ ก.2** ด้านแนวนอนของกระป๋องที่ต่อ Connector

**รูปที่ ก.3** USB Wireless LAN Card สำเร็จรูป



**รูปที่ ก.4** สาย RG-58 พร้อมกับ Connector

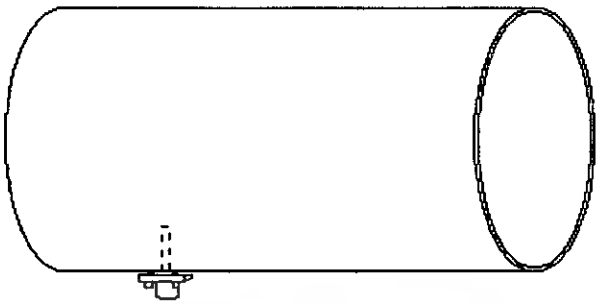
**รูปที่ ก.5** การเชื่อมต่อระหว่าง USB Wireless LAN กับสายอากาศกระป๋อง

**รูปที่ ก.6** การต่อสายอากาศกระป๋องใช้งานจริงกับคอมพิวเตอร์

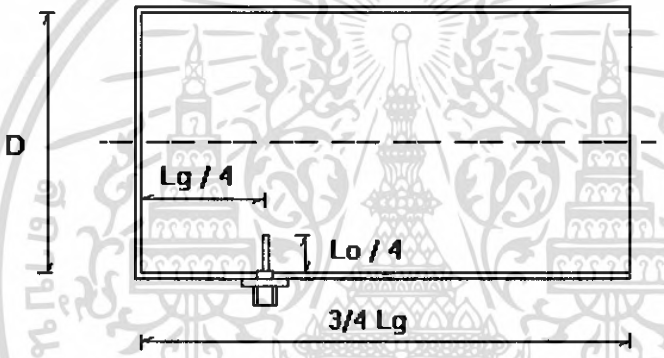
**รูปที่ ก.7** การใช้งานสายอากาศกระป๋องนอกสถานที่

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# ภาคผนวก ข
# โครงสร้างและรูปแบบของสายอากาศกระป๋อง



รูปที่ ข.1 โครงสร้างสายอากาศกระป๋อง




รูปที่ ข.2 รายละเอียดของโครงสร้างสายอากาศกระป๋อง

# ภาคผนวก ค

# รายการอุปกรณ์

**ตารางที่ ค.1** รายการอุปกรณ์ของสายอากาศ 2.4 GHZ ในเครือข่ายไร้สาย

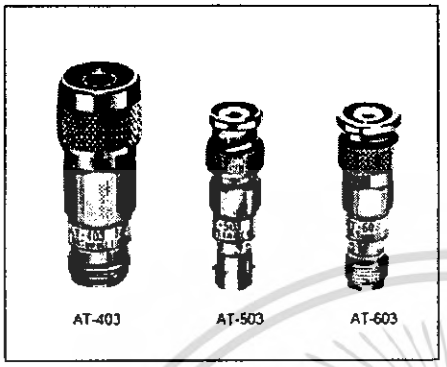
| ชื่ออุปกรณ์ | รายละเอียด | จำนวน |
|---|---|---|
| **กระป๋องโลหะ** | กระป๋องโลหะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 73-99 มิลลิเมตร | 1 กระป๋อง |
| **สาย RG-58** | CFD200-E Low Loss 50 Ohm Coaxial Cable<br>Commate/PEWC 3D | 1 เมตร |
| **RF-CONNECTOR** | | |
| BNC | Male Crimp | 1 ตัว |
| | Female | 1 ตัว |
| N-TYPE | Male Clamp | 1 ตัว |
| | Female Panel | 1 ตัว |
| SMA | RP-SMA Male Crimp | 1 ตัว |
| **ลวดทองแดง** | ลวดทองแดงยาวประมาณ 30 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 มิลลิเมตร | 1 เส้น |
| **USB Wireless LAN** | USB Wireless LAN แบบเปลี่ยนเสาได้ | 1 ตัว |

# ภาคผนวก ง

# รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

# Fixed Attenuators (N,BNC,TNC)

AT-400, AT-500, and AT-600 Series



AT-403 AT-503 AT-603

## ■Features

### 1.Connector Coupling Portion Variations

| Coupling Portion | | HRS Series Name |
|---|---|---|
| N Type | Plug - Jack※ | AT-400 Series |
| BNC Type | Plug - Jack | AT-500 Series |
| TNC Type | Plug - Jack | AT-600 Series |

※Can also be mated with an S type connector.

### 2.Small Size and Economical

Value engineering has been liberally applied to the design and construction to make these attenuators small and very economical.

### 3.High Reliability

These attenuators show stable characteristics for environments of varying temperature, humidity, and gases.

## ■Product Specifications

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ratings | Frequency range | AT-400 Series | DC to 4 GHz | Operating temperature range | -10℃ to +65℃ |
| | | AT-500 and 600 Series | DC to 2 GHz | Operating relative humidity | 95% Max. |
| | Characteristic impedance | 50 ohms | | | |
| | Maximum Input Power | 2W | | | |

| Item | Standard | Conditions |
|---|---|---|
| 1.Vibration | No electrical discontinuity of 1 μs or more | Frequency of 10 to 2000 Hz, overall amplitude of 1.52 mm, acceleration of 98 m/s² for 2 hours in each of 3 directions |
| 2.Shock | No damage, cracks, or parts dislocation | Acceleration of 490 m/s², sine half-wave waveform, 3 cycles in each of the 3 axis |
| 3.Temperature cycle | No damage, cracks, or parts dislocation | Temperature: -55℃ → +5℃ to +35℃ → +65℃ → +5℃ to +35℃<br>Time: 30 → 15 max. → 30 → 15 max. (Minutes)<br>200 cycles |

●The test method conforms to MIL-STD-202

## ■Materials

| Part | Material | Finish |
|---|---|---|
| Connector Body | Brass | Nickel plating |
| Insulator | PTFE | —— |
| Male contacts | Brass | Gold plating |
| Female contacts | Beryllium copper | Gold plating |
| Attenuation element | Metal film | —— |

## ■Ordering Information

AT - 4 01

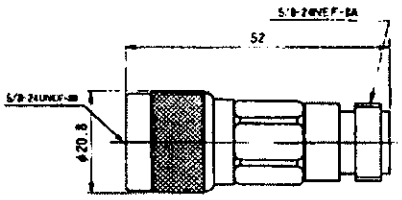
(1) (2) (3)

| | |
|---|---|
| (1) AT: Indicates a fixed attenuator | (3) Attenuation<br>01 : 1dB<br>06 : 6dB |
| (2) Indicates the Series Name (Coupling Portion)<br>4: N plug - jack<br>5: BNC plug - jack<br>6: TNC plug - jack | |

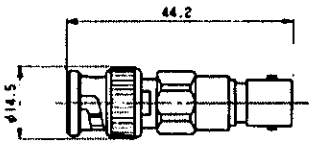
## ■Specifications

| Part Number | Frequency Range (MHz) | V.S.W.R.(Max) | Attenuation (dB) | Power (W) | Connectors | Weight (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AT-401 | DC~2000 | 1.15 | 1±0.3 | 2 | N-P-J | 77 |
| | 2000~4000 | 1.20 | 1±1 | | | |
| AT-402 | DC~2,000 | 1.15 | 2±0.3 | 2 | N-P-J | 77 |
| | 2000~4000 | 1.20 | 2±1 | | | |
| AT-403 | DC~2,000 | 1.15 | 3±0.3 | 2 | N-P-J | 77 |
| | 2000~4000 | 1.20 | 3±1 | | | |
| AT-406 | DC~2,000 | 1.15 | 6±0.3 | 2 | N-P-J | 77 |
| | 2000~4000 | 1.20 | 6±1 | | | |
| AT-410 | DC~2,000 | 1.15 | 10±0.5 | 2 | N-P-J | 77 |
| | 2000~4000 | 1.20 | 10±1 | | | |
| AT-420 | DC~2,000 | 1.15 | 20±0.5 | 2 | N-P-J | 77 |
| | 2000~4000 | 1.20 | 20±1 | | | |
| AT-503 | DC~1000 | 1.15 | 3±0.3 | 2 | BNC-P-J | 25 |
| | 1000~2000 | 1.25 | | | | |
| AT-505 | DC~1000 | 1.15 | 5±0.3 | 2 | BNC-P-J | 25 |
| | 1000~2000 | 1.25 | | | | |
| AT-506 | DC~1000 | 1.15 | 6±0.3 | 2 | BNC-P-J | 25 |
| | 1000~2000 | 1.25 | | | | |
| AT-510 | DC~1000 | 1.15 | 10±0.5 | 2 | BNC-P-J | 25 |
| | 1000~2000 | 1.25 | | | | |
| AT-514 | DC~1000 | 1.15 | 14±1.2 | 2 | BNC-P-J | 25 |
| | 1000~2000 | 1.25 | | | | |
| AT-520 | DC~1000 | 1.15 | 20±0.5 | 2 | BNC-P-J | 25 |
| | 1000~2000 | 1.25 | | | | |
| AT-603 | DC~1000 | 1.15 | 3±0.3 | 2 | TNC-P-J | 29 |
| | 1000~2000 | 1.25 | | | | |
| AT-606 | DC~1000 | 1.15 | 6±0.3 | 2 | TNC-P-J | 29 |
| | 1000~2000 | 1.25 | | | | |
| AT-610 | DC~1000 | 1.15 | 10±0.5 | 2 | TNC-P-J | 29 |
| | 1000~2000 | 1.25 | | | | |
| AT-620 | DC~1000 | 1.15 | 20±0.5 | 2 | TNC-P-J | 29 |
| | 1000~2000 | 1.25 | | | | |

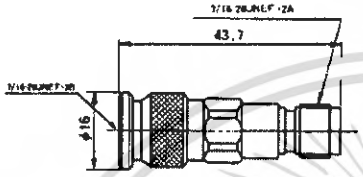
## ■External Dimensions




AT-400 Type

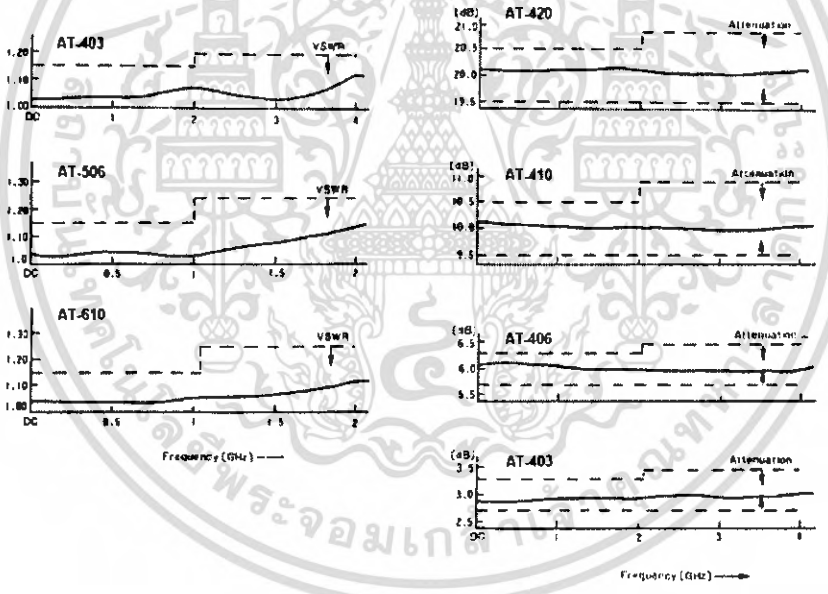



AT-500 Type




AT-600 Type

## ■Typical Data



# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

## Overview

The BNC series are most widely used as 50Ω coaxial connectors, and compact size, light weight, and quick mounting and dismounting (bayonet lock coupling). Suitable for coaxial cables (RG-55, 58/U) with a finished outside diameter of ϕ3-ϕ8.

## Applicable standards

Defense Agency (NDS XC 6103, DSP C 6202)
Japanese Industrial Standards (JIS C 5412)
NTT (Model 2085 3C connector)
*Meets MIL Specifications. (See Products Meeting MIL Specifications Index Table, pages 220-221.)

## Electrical Specifications

| Item | Standard |
|---|---|
| Characteristic impedance | 50Ω (*1) |
| Withstand voltage | 1,500Vr.m.s. for 1min. |
| Insulation resistance | 5,000MΩ or more at 500VDC |
| Contact resistance | 3mΩ or less at 1ADC |
| Applicable frequency range | DC-4GHz |
| Voltage standing wave | 1.2 or less (DC-2GHz) |

(*1) Not different in electrical specifications from the 50Ω cable when connected to the 75Ω coaxial cable (3C-2V) for use at low frequencies (DC-200MHz).

## Main Materials/Finish

| Part | Material | Finish (*2) |
|---|---|---|
| Armor (shell) | Brass | Silver-plated, Nickel-plated |
| Male terminal | Brass | Silver-plated, Gold-plated |
| Female terminal | Beryllium copper | Silver-plated, Gold-plated |
| Beryllium copper | Tetraflouride resin | — |
| Gasket | Silicon rubber | — |

(*2) Surface treatment differs according to the product number unit. For details, see the BNC Connector List.

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

## Plug

| Applicable cable | Part No. | HRS No. | Dimension | | | Shape |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ϕD | ϕd | L | |
| RG-55/U, 58/U | UG-88/U | 302-0001-0 | 5.4 | 11.1 | 26.5 | Fig.1 |
| | UG-88D/U | 302-0070-3 | 5.6 | 12.7 | 28.8 | Fig.1 |
| | 3CA-P2 | 302-0203-5 | 5.6 | 13.7 | 29.5 | Fig.1 |
| RG-59/U, 62/U | UG-260/U | 302-0002-3 | 5.6 | 11.1 | 26.0 | Fig.1 |
| RG-188A/U | BNC-P-188A/U | 302-0215-7 | 3.0 | 8.0 | 25.0 | Fig.4 |
| RG-196A/U | BNC-P-196/U | 302-0214-1 | 2.3 | 5.0 | 27.3 | Fig.6 |
| 5D-2W, | BNC-P-5DW-1 | 302-0189-6 | 8.5 | 14.0 | 35.0 | Fig.3 |
| 5D-2W, 5C-2W | BNC-P-5DW-SA | 302-0217-0 | 8.7 | 15.0 | 33.7 | Fig.2 |
| 5D-2V | BNC-P-5DV | 302-0132-9 | 7.8 | 15.0 | 31.0 | Fig.1 |
| 5D-2V, 5C-2V | BNC-P-5DV-SA | 302-0218-2 | 8.0 | 15.0 | 33.7 | Fig.2 |
| 3C-2Z | 3CZ-P | 302-0216-4 | 6.5 | 13.7 | 29.5 | Fig.1 |
| 3C-2T | 3CT-P | 302-0210-0 | 8.0 | 14.2 | 29.7 | Fig.1 |
| | 3CT-P-1 | 302-0208-9 | 8.4 | 14.0 | 30.0 | Fig.3 |
| | 3CT-P3 | 302-0270-2 | 8.4 | 14.0 | 30.0 | Fig.3 |
| 3D-XW (Irrax cable) | 3DW-P2 | 302-0129-4 | 6.0 | 13.7 | 29.5 | Fig.1 |
| 3C-2W | 3DW-P | 302-0209-1 | 7.1 | 14.2 | 29.7 | Fig.1 |
| 3D-2V, 3C-2V | BNC-P-3DV-SA | 302-0219-5 | 6.3 | 15.0 | 33.7 | Fig.2 |
| 3C-2V | 3CV-P2 | 302-0202-2 | 6.3 | 13.7 | 29.5 | Fig.1 |
| | BNC-P-3 | 302-0030-9 | 6.4 | 11.1 | 26.5 | Fig.1 |
| | 3CV-P3 | 302-0269-3 | 6.6 | 14.0 | 30.0 | Fig.3 |
| 1.5D-2W, 1.5C-2W | BNC-P-1.5WCR | 302-0295-3 | 1.8 | 10.0 | 28.1 | Fig.5 |
| 1.5D-2W | BNC-P-1.5W | 302-0298-4 | 3.9 | 8.0 | 25.0 | Fig.4 |
| 1.5D-2V, 1.5C-2V | BNC-P-1.5CR | 302-0284-0 | 1.8 | 10.0 | 28.1 | Fig.5 |
| 1.5D-2V | BNC-P-1.5 | 302-0267-4 | 3.8 | 8.0 | 25.0 | Fig.4 |

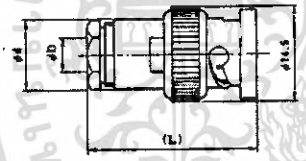


Fig 1

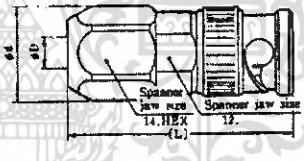


Fig.2

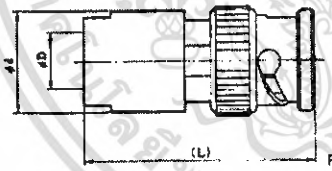


Fig.3

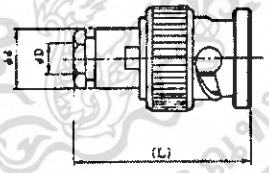


Fig.4

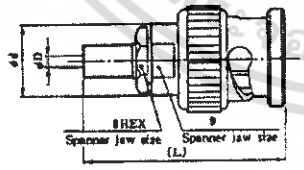


Fig.5

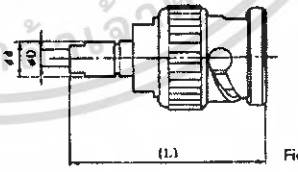


Fig.6

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

## L-shaped Plug

| Applicable cable | Part No. | HRS No. | Dimension | | | | Shape |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | øD | ød | W1 | W2 | |
| BG-55/U, 58/U | UG-913/U(02) | 302-0043-0-02 | 5.4 | 12.7 | 11.1 | 11.1 | Fig.7 |
| RG-59/U, 62/U | BNC-LP-59/U | 302-0075-7 | 6.6 | 12.7 | 11.1 | 11.1 | Fig.7 |
| 3D-XW | 3DW-PL2 | 302-0166-0 | 8.0 | 13.7 | 12.0 | 12.0 | Fig.8 |
| 3C-2W | 3CW-PL | 302-0156-2 | 7.1 | 14.2 | 13.0 | 13.0 | Fig.8 |
| 3C-2V | 3CV-PL | 302-0157-0 | 6.3 | 13.7 | 12.0 | 12.0 | Fig.8 |

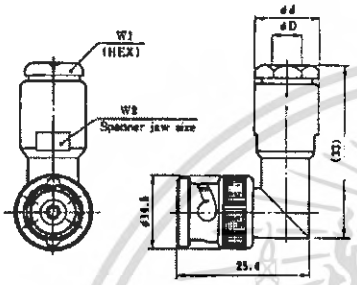



Fig.7

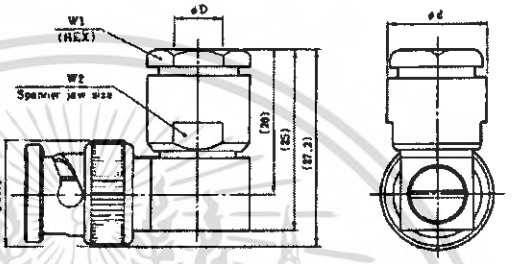



Fig.8

## Jack

| Applicable cable | Part No | HRS No. | Dimension | | | | | Shape |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | øD | ød | W1 | W2 | L | |
| RG-55/U, 58/U | UG-89/U | 302-0034-0 | 5.4 | 11.1 | 9.5 | 12.7 | 28.7 | Fig.9 |
| RG-59/U, 62/U | UG-261/U | 302-0035-2 | 6.6 | 11.1 | 9.5 | 12.7 | 30.0 | Fig.9 |
| 3C-2V | 3CV-J | 302-0008-4 | 6.3 | 11.1 | 9.5 | 11.5 | 28.7 | Fig.9 |
| 1.6D-2W, 1.6C-2W | BNC-J-1.6WCR | 302-0297-9 | 1.8 | — | 8.0 | 13.0 | 31.0 | Fig.10 |
| 1.6D-2V, 1.6C-2V | BNC-J-1.6CR | 302-0298-6 | 1.8 | — | 8.0 | 13.0 | 31.0 | Fig.10 |

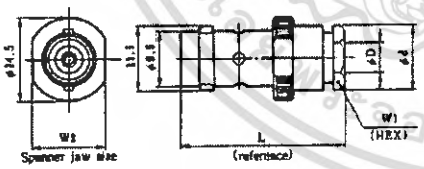



Fig.9

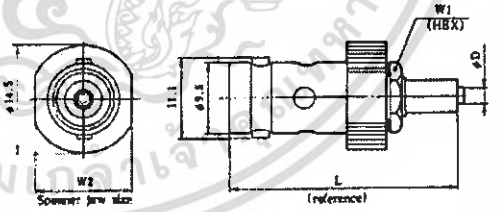



Fig.10

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

## Panel Jack

| Applicable cable | Part No. | HRS No. | Dimensions | | | | | | | | Shape | Mounting hole dimensions |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ϕD | ϕd | L | ℓ | □P | □S | G | W | | |
| RG-55/U, 58/U | UG-291/U | 302-0036-5 | 6.4 | 11.1 | 28.2 | 18.1 | 12.7 | 17.5 | M2.6 ×0.45 | 9.5 | Fig.11 | 1-1 |
| | 3CA-PJ2 | 302-0205-0 | 6.4 | 11.1 | 28.7 | 18.1 | 12.7 | 17.6 | ϕ3 | 9.5 | Fig.11 | 1-2 |
| RG-59/U, 62U | UG-262/U | 302-0007-7 | 6.6 | 11.1 | 28.4 | 18.1 | 12.7 | 17.5 | M2.6 ×0.45 | 9.5 | Fig.11 | 1-1 |
| RG-188A/U | BNC-PJ-188/U | 302-0230-8 | 3.0 | 9.0 | 26.8 | 18.1 | 12.7 | 17.5 | M2.6 ×0.45 | 7.0 | Fig.11 | 1-3 |
| RG-196A/U | BNC-PJ-196/U | 302-0194-6 | 2.3 | 5.0 | 28.0 | 18.1 | 12.7 | 17.5 | M2.0 ×0.45 | 4.0 | Fig.11 | 1-4 |
| 3D-XW (Irrax cable) | BNC-PJ-3DW | 302-0236-4 | 6.0 | 12.0 | 30.4 | 18.1 | 12.7 | 17.5 | ϕ3 | 12.0 | Fig.11 | 1-5 |
| 3C-2W | 3CW-PJ | 302-0139-8 | 7.2 | 14.0 | 31.4 | 18.1 | 12.7 | 17.5 | ϕ3 | 13.0 | Fig.11 | 1-6 |
| 3C-2V | 3CV-PJ2 | 302-0204-8 | 6.3 | 11.1 | 28.7 | 18.1 | 12.7 | 17.5 | ϕ3 | 9.5 | Fig.11 | 1-2 |
| 2.5D-2V | BNC-PJ-1.5DV | 302-0238-0 | 4.7 | 11.1 | 28.7 | 18.1 | 12.7 | 17.5 | ϕ3 | 9.5 | Fig.11 | 1-2 |
| 1.5D-2W | BNC-PJ-1.5 | 302-0228-6 | 4.5 | 9.5 | 26.8 | 18.1 | 12.7 | 17.5 | M2.6 ×0.45 | 7.0 | Fig.11 | 1-7 |
| | BNC-PJ-1.5W-1 | 302-0260-9 | 4.6 | 9.5 | 26.8 | 20.1 | 12.7 | 17.5 | ϕ2.8 | 7.0 | Fig.11 | 1-8 |
| | BNC-PJ-1.5W-2 | 302-0282-1 | 4.5 | 9.5 | 26.8 | 20.1 | 12.7 | 17.5 | M2.6 ϕ3 | 7.0 | Fig.11 | 1-8 |
| 1.5D-2V | BNC-PJ-1.5DV-1 | 302-0285-0 | 3.4 | 9.5 | 26.8 | 18.1 | 12.7 | 17.5 | ϕ3 | 7.0 | Fig.11 | 1-8 |

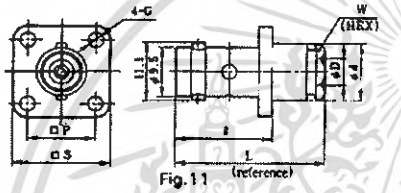


Fig.11

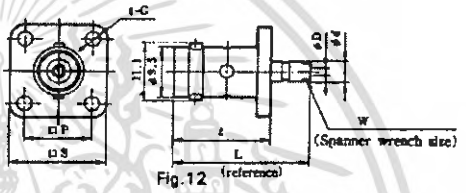


Fig.12

| Applicable cable | Part No. | HRS No. | Dimension | | | | | | Shape | Mounting hole dimensions |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ϕD | ϕd | L | ℓ | W1 | W2 | | |
| RG-55/U, 58/U | BNC-PJ-58 | 302-0108-4 | 5.4 | 1/2-28NEF-2A | 28.5 | 16.9 | 9.5 | 17.0 | Fig.13 | 4-1 |
| 1.5D-2W | BNC-BPJ-1.5W | 302-0284-7 | 4.5 | 3/8-32NEF-2A | 26.8 | 12.8 | 7.0 | 11.0 | Fig.15 | 3-3 |
| | BNC-BPJ-1.5W-1 | 302-0289-0 | 4.6 | 3/8-32NEF-2A | 26.8 | 15.2 | 7.0 | 12.7 | Fig.14 | 2-1 |
| 1.6D-2V | BNC-BPJ-1.6-1 | 302-0252-0 | 3.5 | 3/8-32NEF-2A | 26.8 | 15.2 | 7.0 | 12.7 | Fig.14 | 2-1 |

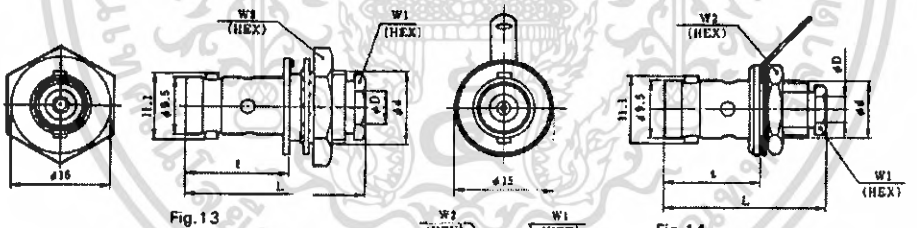


Fig.13 Fig.14

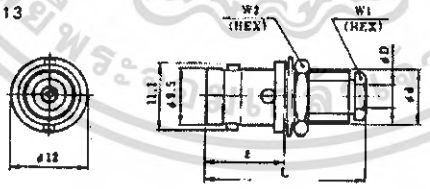


Fig.15

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

## L-shaped Jack

| Applicable cable | Part No. | HRS No. | Dimension | | | | | | | Mounting hole dimensions |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | φD | φd | L | ℓ1 | ℓ2 | W1 | W2 | |
| 1.5D-2V | BNC-LPJ-1.5 | 302-0265-0 | 3.5 | 3/8-32NEF-2A | 33.3 | 21.7 | 14.0 | 7.0 | 12.7 | 2-1 |

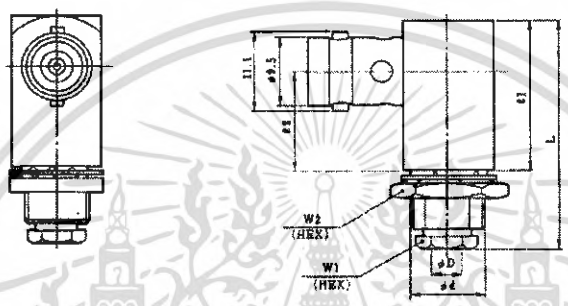



Fig. 16

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

## Receptacles

| Part No. | HRS No. | d | Mounting hole dimensions |
|---|---|---|---|
| UG-280/U | 302-0009-2 | M2.6×0.45 | 1-10 |
| 3C-R | 302-0031-1 | ϕ3 | 1-11 |

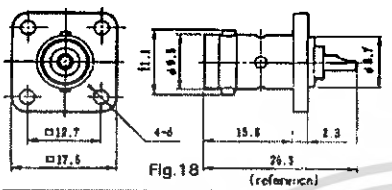


Fig.18

| Part No. | HRS No. | L | ℓ1 | ℓ2 | Remarks | Mounting hole dimensions |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BNC-R-12 | 302-0229-9 | 18.6 | 0 | 1.5 | Tab terminal | 1-12 |
| BNC-R-13 | 302-0239-2 | 21.6 | 2.0 | 1.5 | Tab terminal | 1-12 |

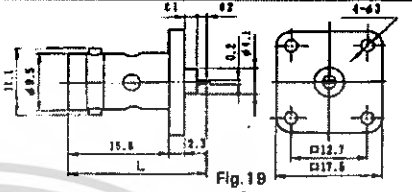


Fig.19

| Part No. | HRS No. | Remarks | Mounting hole dimensions |
|---|---|---|---|
| BNC-R-14 | 302-0245-5 | Round half cut terminal | 1-12 |

| Part No. | HRS No. | Remarks | Mounting hole dimensions |
|---|---|---|---|
| BNC-LR | 302-0020-5 | | 1-11 |

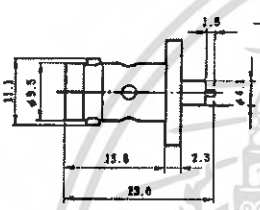
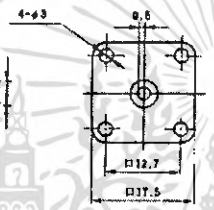


Fig.20



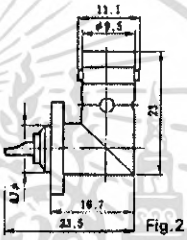
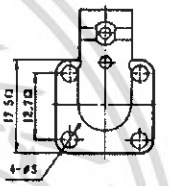



Fig.21




| Part No. | HRS No. | ϕD | L | ℓ | W | Panel-mount type | Shape | Mounting hole dimensions |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| UG-604/U | 302-0016-8 | 14.5 | 26.3 | 13.7 | 12.7 | 2.8 | Fig.25 | 3-1 |
| UG-625/U | 302-0017-0 | 12.7 | 26.3 | 12.7 | 12.7 | 4 | Fig.25 | 2-3 |
| UG-625/U-4 | 302-0221-7 | 12.7 | 26.3 | 12.7 | 12.7 | 4 | Fig.23 | 2-3 |
| UG-625/U-10 | 302-0283-3 | 12.7 | 21.9 | 12.7 | — | 1.9 | Fig.24 | 3-2 |
| UG-625/U-11A | 302-0274-3 | 12.7 | 24.2 | 12.7 | 12.7 | 4 | Fig.25 | 2-4 |
| UG-657/U | 302-0012-7 | 14.6 | 32.8 | 15.2 | 12.7 | 5.8 | Fig.25 | 3-3 |
| UG-657/U-E | 302-0080-7 | 14.6 | 32.8 | 15.2 | 12.7 | 5.8 | Fig.23 | 3-3 |
| UG-1094/U | 302-0178-0 | 12.7 | 27.0 | 11.9 | 12.7 | 4 | Fig.25 | 2-4 |

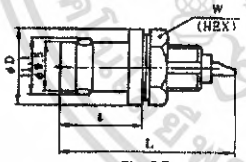


Fig.22

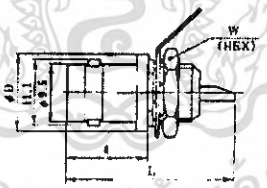


Fig.23

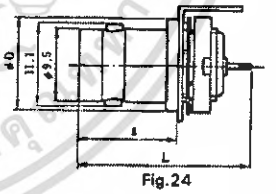


Fig.24

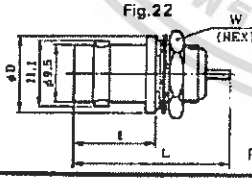
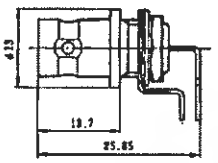


Fig.25

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

| Part No. | HRS No. | Shape | Mounting hole dimensions |
|---|---|---|---|
| BNC-R-17A | 302-0278-4 | Fig.26 | 3-1 |

| Part No | HRS No | Shape | Mounting hole dimensions |
|---|---|---|---|
| BNC-FBR(01) | 302-0268-0-01 | Fig.27 | 2-3 |
| BNC-FBR-DF1 | 302-0287-6 | Fig.28 | 2-3 |
| BNC-FBR-W | 302-0279-7 | Fig.29 | — |



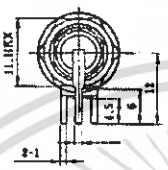
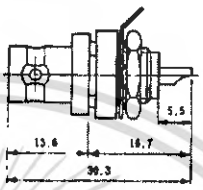
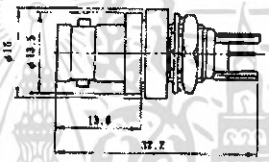




Fig.26




Outside insulating connector

Fig.27



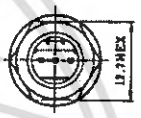



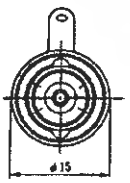

Fig.28

Fig.29

Washer mounted on BNC-FBR(01), shown in Fig.26, to connect the panel to the connector external conductor.

## Plug receptacles

| Part No. | HRS No. | Mounting hole dimensions |
|---|---|---|
| BNC-BPR-3 | 302-0249-6 | 2-1 |



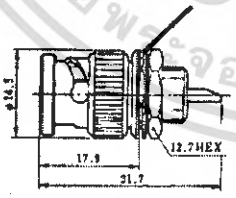




Fig.30

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

## Printed-circuit-board mounting type

| Part No. | HRS No. | Shape | L | ℓ1 | ℓ2 | Mounting hole dimensions |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BNC-R-PC | 302-0241-4 | Fig 31 | 23 1 | 18.1 | 5.0 | 6-1 |
| BNC-R-PC-2 | 302-0243-0 | Fig.32 | 20 4 | 17.1 | 3.3 | 7-2 |
| BNC-R-PC-7 | 302-0280-6 | Fig.31 | 23 1 | 20.64 | 2.46 | 6-1 |

| Part No. | HRS No. | Shape | Mounting hole dimensions |
|---|---|---|---|
| BNC-LR-PC | 302-0242-7 | Fig.33 | 6-1 |
| BNC-LR-PC-1 | 302-0282-4 | Fig.34 | 7-1 |
| BNC-LR-PC-3 | 302-0276-9 | Fig.35 | 6-1 |

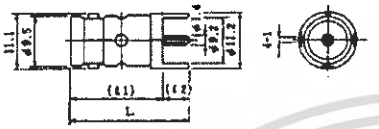


Fig.31

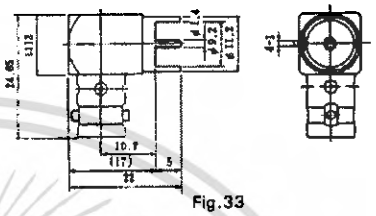


Fig.33

Fig.32

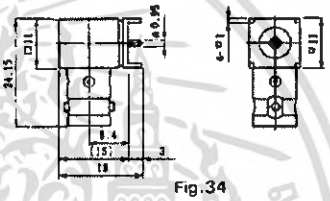


Fig.34

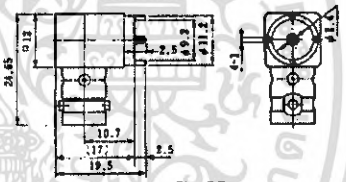


Fig.35

## Lug terminal

| Part No. | HRS No | Remrks |
|---|---|---|
| BNC-EL | 302-0079-8 | Earth Lug |

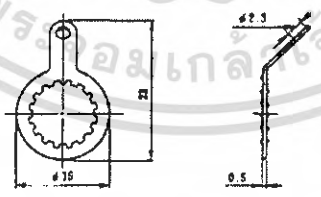


Fig.36

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

## Adapters

| Part No. | HRS No. | Shape |
|---|---|---|
| BNC-A-JJ | 302-0039-3 | Fig.37 |
| BNC-A-JJ-1 | 302-0060-6 | Fig 38 |

Fig.37

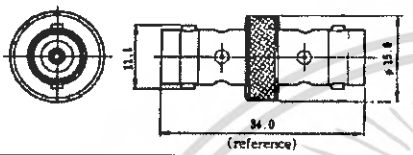


Fig.38

| Part No. | HRS No. | Remarks |
|---|---|---|
| UG-491/U | 302-0022-0 | A-PP |

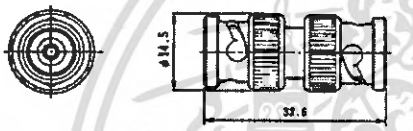


Fig.40

| Part No. | HRS No. | Remarks |
|---|---|---|
| UG-306/U | 302-0023-3 | LA-PJ |

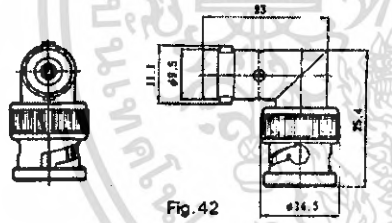


Fig.42

| Part No. | HRS No. | Remarks |
|---|---|---|
| UG-274/U | 302-0025-9 | TA-JPJ |

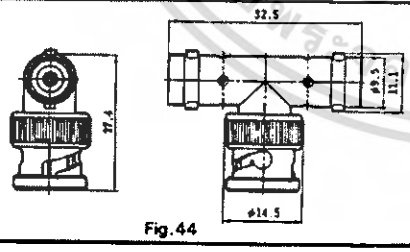


Fig.44

| Part No | HRS No | L | ℓ | d | Shape |
|---|---|---|---|---|---|
| BNC-PA-JJ | 302-0052-1 | 34 | 15.85 | φ3 | Fig.39 |
| UG-414/U | 302-0040-2 | 32.54 | 17.6 | M2.6×0.45 | Fig.39 |

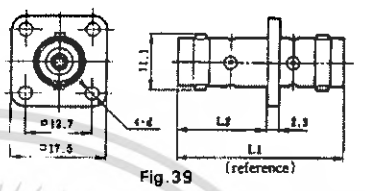


Fig.39

| Part No | HRS No | Remarks |
|---|---|---|
| UG-492/U | 302-0021-8 | Hermetic type |

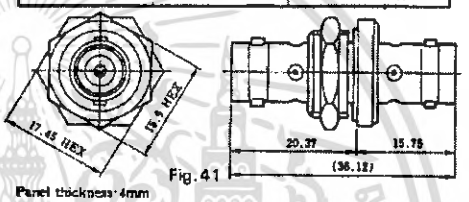


Fig.41

Panel thickness: 4mm
Mounting dimensional drawing: See the attached drawing 5.
Mounting hole φ12.9+0.1/0

| Part No. | HRS No. | Remarks |
|---|---|---|
| BNC-TA-JJJ | 302-0024-6 | |

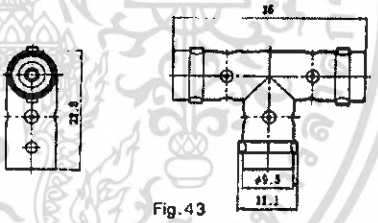


Fig.43

| Part No. | HRS No. | L | Remarks |
|---|---|---|---|
| BNC-UPA | 302-0167-3 | 35 | U Link |

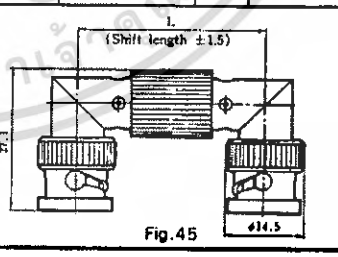


Fig.45

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

## Cap

| Part No. | HRS No. | Remarks |
|---|---|---|
| CW-123A/U | 302-0041-5 | – |

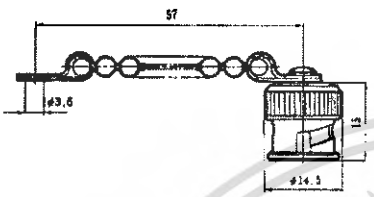



Fig.46

## Short plug

| Part No. | HRS No. | Remarks |
|---|---|---|
| JCW-159/U | 302-0026-1 | Short Plug |

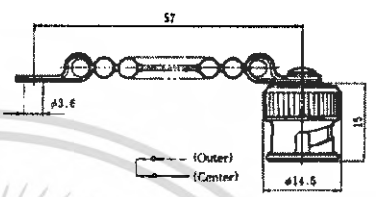



Fig.47

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

## Model BNC Connector List

| Type | Part No. | HRS No. | Applicable cable | Surface treatment | | | | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Armor | | Center contact | | |
| | | | | Silver | Nickel | Silver | Gold | |
| Straight plug | UG-88/U | 302-0001-0 | RG-55/U, 58/U | ○ | | ○ | | |
| | UG-88/U(06) | 302-0001-0-06 | | | ○ | ○ | | |
| | UG-88/U(10) | 302-0001-0-10 | | ○ | | ○ | | CO2SPM2.9 |
| | UG-88D/U | 302-0070-3 | | ○ | | ○ | | |
| | 3CA-P2 | 302-0203-5 | | ○ | | ○ | | |
| | 3CA-P2(02) | 302-0203-5-02 | | | ○ | ○ | | |
| | UG-260/U | 302-0002-3 | RG-59/U, 62/U | ○ | | ○ | | |
| | UG-260/U(10) | 302-0002-3-10 | | ○ | | ○ | | CO2SPM3.7 |
| | BNC-P-188A/U | 302-0216-7 | RG-188A/U | ○ | | ○ | | |
| | BNC-P-196/U | 302-0214-1 | RG-196A/U | ○ | | | ○ | |
| | BNC-P-5DV | 302-0132-9 | 5D-2V | ○ | | ○ | | |
| | BNC-P-5DV-SA | 302-0218-2 | 5D-2V, 5C-2V | ○ | | ○ | | |
| | BNC-P-5DV-SA(10) | 302-0218-2-10 | | | ○ | ○ | | |
| | BNC-P-5DW-1 | 302-0189-6 | 5D-2W | ○ | | ○ | | |
| | BNC-P-5DW-SA | 302-0217-0 | 5D-2W, 5C-2W | ○ | | ○ | | |
| | 3DW-P2 | 302-0129-4 | 3D-XW(max cable) | ○ | | ○ | | |
| | BNC-P-3 | 302-0030-9 | 3C-2V | ○ | | ○ | | |
| | BNC-P-3(02) | 302-0030-9-02 | | | ○ | ○ | | |
| | BNC-P-3DV-SA | 302-0219-5 | 3D-2V, 3C-2V | ○ | | ○ | | |
| | BNC-P-3DV-SA(01) | 302-0219-5-01 | | | ○ | ○ | | |
| | 3CV-P2 | 302-0202-2 | 3C-2V | ○ | | ○ | | |
| | 3CV-P2(03) | 302-0202-2-03 | | | ○ | ○ | | |
| | 3CV-P2(06) | 302-0202-2-06 | | | ○ | | ○ | |
| | 3CV-P3 | 302-0269-3 | | ○ | | ○ | | |
| | BNC-P-1.5WCR | 302-0295-3 | 1.5D-2W,1.5C-2W | | ○ | ○ | | |
| | BNC-P-1.5 | 302-0257-4 | 1.5D-2V | | ○ | ○ | | |
| | BNC-P-1.5CR | 302-0294-0 | 1.5D-2V,1.5C-2V | | ○ | ○ | | |
| | 3CZ-P | 302-0215-4 | 3C-2Z | ○ | | ○ | | |
| | 3CT-P | 302-0210-0 | 3C-2T | ○ | | ○ | | |
| | 3CT-P-1 | 302-0208-9 | | ○ | | ○ | | |
| | 3CT-P3 | 302-0270-2 | | ○ | | ○ | | |
| | 3CW-P | 302-0209-1 | 3C-2W | ○ | | ○ | | |

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

| Type | Part No. | HRS No. | Applicable cable | Surface treatment | | | | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Armor | | Center contact | | |
| | | | | Silver | Nickel | Silver | Gold | |
| L-shaped plug | UG-913/U(02) | 302-0043-0-02 | RG-55/U, 58/U | ○ | | ○ | | |
| | BNC-LP-59/U | 302-0075-7 | RG-59/U, 62/U | ○ | | ○ | | |
| | 3DW-PL2 | 302-0186-0 | 3D-XW(Irrex cable) | ○ | | ○ | | |
| | 3CV-PL | 302-0157-0 | 3C-2V | ○ | | ○ | | |
| | 3CV-PL(02) | 302-0157-0-02 | | | ○ | | ○ | |
| | 3CW-PL | 302-0158-2 | 3C-2W | ○ | | ○ | | |
| | | | | | | | | |
| Jack | UG-89/U | 302-0034-0 | RG-55/U, 58/U | ○ | | ○ | | |
| | UG-89/U(03) | 302-0034-0-03 | | | ○ | ○ | | |
| | UG-261/U | 302-0035-2 | RG-59/U, 62/U | ○ | | ○ | | |
| | 3CV-J | 302-0006-4 | 3C-2V, (3D-2V) | ○ | | ○ | | |
| | BNC-J-1.5WCR | 302-0297-8 | 1.5D-2W, 1.5C-2W | | ○ | ○ | | |
| | BNC-J-1.5CR | 302-0296-6 | 1.5D-2V, 1.5C-2V | | ○ | ○ | | |
| | | | | | | | | |
| Panel jack | UG-291/U | 302-0036-5 | RG-55/U, 58/U | ○ | | ○ | | |
| | UG-291/U(06) | 302-0036-5-06 | | | ○ | ○ | | |
| | UG-291/U(10) | 302-0036-5-10 | | ○ | | ○ | | CO2CRF2.9 |
| | 3CA-PJ2 | 302-0205-0 | RG-58/U | ○ | | ○ | | |
| | 3CA-PJ2(05) | 302-0205-0-05 | | | ○ | | ○ | |
| | UG-262/U | 302-0007-7 | RG-59/U, 62/U | ○ | | ○ | | |
| | BNC-PJ-5B | 302-0108-4 | RG-55/U, 58/U | ○ | | ○ | | |
| | BNC-PJ-188/U | 302-0230-8 | RG-188A/U | | ○ | ○ | | |
| | BNC-PJ-196/U | 302-0194-6 | RG-196A/U | ○ | | | ○ | |
| | BNC-PJ-3DW | 302-0236-4 | 3D-XW(Irrex cable) | ○ | | ○ | | |
| | 3CW-PJ | 302-0139-8 | 3C-2W | ○ | | ○ | | |
| | BNC-PJ-2.5DV | 302-0238-0 | 2.5D-2V | ○ | | ○ | | |
| | BNC-PJ-1.5 | 302-0228-6 | 1.5D-2W | | ○ | ○ | | |
| | BNC-PJ-1.5W-1 | 302-0260-9 | | | ○ | ○ | | |
| | BNC-PJ-1.5W-2 | 302-0282-1 | | | ○ | ○ | | |
| | BNC-BPJ-1.5W | 302-0284-7 | | | ○ | ○ | | |
| | BNC-BPJ-1.5W-1 | 302-0289-0 | | | ○ | ○ | | |

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

| Type | | Part No. | HRS No. | Applicable cable | Surface treatment | | | | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Armor | | Center contact | | |
| | | | | | Silver | Nickel | Silver | Gold | |
| Panel jack | | BNC-PJ-1.5DV-1 | 302-0286-0 | 1.5D-2V | | ○ | ○ | | |
| | | BNC-BPJ-1.5-1 | 302-0252-0 | | | ○ | | ○ | |
| | | 3CV-PJ2 | 302-0204-8 | 3C-2V | ○ | | ○ | | |
| L-shaped Panel jack | | BNC-LPJ-1.5 | 302-0265-9 | 1.5D-2V | | ○ | ○ | | |
| Receptacle | Flange type | UG-290/U | 302-0009-2 | 4-M2.6×0.45 | ○ | | ○ | | |
| | | UG-290/U(04) | 302-0009-2-04 | | | ○ | ○ | | |
| | | 3C-R | 302-0031-1 | 4-4.3 | ○ | | ○ | | |
| | | 3C-R(01) | 302-0031-1-01 | Ground lug plate | ○ | | ○ | | |
| | | 3C-R(03) | 302-0031-1-03 | | ○ | | | ○ | |
| | | 3C-R(04) | 302-0031-1-04 | Ground lug plate | | ○ | ○ | | |
| | | 3C-R(07) | 302-0031-1-07 | Ground lug plate | | ○ | | ○ | |
| | | 3C-R(10) | 302-0031-1-10 | | ○ | | ○ | | CO2SRF |
| | | BNC-R-12 | 302-0229-9 | | | ○ | | ○ | |
| | | BNC-R-13 | 302-0239-2 | | | ○ | | ○ | |
| | | BNC-R-14 | 302-0245-6 | | | ○ | ○ | | |
| | Bulk head type | UG-604/U | 302-0016-8 | | ○ | | ○ | | |
| | | UG-625/U | 302-0017-0 | | ○ | | ○ | | |
| | | UG-625/U-(03) | 302-0017-0-03 | | | ○ | | ○ | |
| | | UG-625/U-4 | 302-0221-7 | | | ○ | ○ | | |
| | | UG-625/U-10 | 302-0253-3 | Fork terminal | | ○ | ○ | | |
| | | UG-625/U-11A | 302-0274-3 | | | ○ | ○ | | |
| | | UG-657/U | 302-0012-7 | drip-proof type | ○ | | ○ | | |
| | | UG-657/U(01) | 302-0012-7-01 | drip-proof type | | ○ | ○ | | |
| | | UG-657/U-E | 302-0080-7 | drip-proof type | ○ | | ○ | | |
| | | UG-657/U-E(02) | 302-0080-7-02 | drip-proof type | | ○ | ○ | | |

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

| Type | | Part No. | HRS No. | Applicable cable | Surface treatment | | | | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Armor | | Center contact | | |
| | | | | | Silver | Nickel | Silver | Gold | |
| Receptacle | Bulk head tape | UG-1094/U | 302-0178-0 | | ○ | | ○ | | |
| | | UG-1094/U(01) | 302-0178-0-01 | | | ○ | ○ | | |
| | | BNC-R-17A | 302-0278-4 | Fork terminal PBT | | ○ | ○ | | |
| | | BNC-FBR(01) | 302-0268-0-01 | Insulation type PPO | | ○ | ○ | | |
| | | BNC-FBR(02) | 302-0268-0-02 | Insulation type PPO | | ○ | | ○ | |
| | | BNC-FBR-DF1 | 302-0287-5 | Insulation type, cable mount/dismount type | | ○ | ○ | | |
| | | BNC-FBR-W | 302-0279-7 | Metal washer for BNC-FBR | | ○ | | | |
| | L-shaped type | BNC-LR | 302-0020-6 | | ○ | | ○ | | |
| | | BNC-LR(03) | 302-0020-5-03 | | | ○ | ○ | | |
| | | BNC-LR(04) | 302-0020-5-04 | Marked with 3C-LR | | ○ | | ○ | |
| | Plug type | BNC-BPR-3 | 302-0249-6 | | | ○ | | ○ | |
| | Straight type for PCB | BNC-R-PC | 302-0241-4 | | | ○ | ○ | | |
| | | BNC-R-PC(01) | 302-0241-4-01 | | | ○ | | ○ | |
| | | BNC-R-PC-2 | 302-0243-0 | | | ○ | ○ | | |
| | | BNC-R-PC-7 | 302-0280-6 | | | ○ | ○ | | |
| | L-shaped type for PCB | BNC-LR-PC | 302-0242-7 | | | ○ | ○ | | |
| | | BNC-LR-PC(01) | 302-0242-7-01 | | | ○ | | ○ | |
| | | BNC-LR-PC-1 | 302-0262-4 | | | ○ | ○ | | |
| | | BNC-LR-PC-1(01) | 302-0262-4-01 | | | ○ | | ○ | |
| | | BNC-LR-PC-3 | 302-0276-8 | | | ○ | ○ | | |
| | Ground lug plate | BNC-EL | 302-0079-8 | | ○ | | | | |

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

| Type | Part No. | HRS No. | Applicable cable | Surface treatment | | | | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Armor | | Center contact | | |
| | | | | Silver | Nickel | Silver | Gold | |
| Adapter | BNC-A-JJ | 302-0039-3 | | O | | O | | |
| | BNC-A-JJ-1 | 302-0050-6 | | O | | O | | |
| | BNC-A-JJ-1(01) | 302-0050-6-01 | Marked with 3C-A | O | | O | | |
| | BNC-A-JJ-1(10) | 302-0050-6-10 | | O | | O | | CO2SAFF |
| | BNC-PA-JJ | 302-0052-1 | | O | | O | | |
| | UG-414/U | 302-0040-2 | PA-JJ type | O | | O | | |
| | UG-414/U(08) | 302-0040-2-08 | | | O | O | | |
| | UG-414/U(10) | 302-0040-2-10 | 4-φ3.1 | O | | O | | CO2PAFF |
| | UG-491/U | 302-0022-0 | A-PP type | O | | O | | |
| | UG-492/U | 302-0021-8 | Air-sealed | O | | O | | |
| L-shaped adapter | UG-306/U | 302-0023-3 | LA-PJ type | O | | O | | |
| | UG-306/U(03) | 302-0023-3-03 | Marked with 3C-LA | O | | O | | |
| | UG-306/U(10) | 302-0023-3-10 | | O | | O | | CO2LAFM |
| | | | | | | | | |
| T-shaped adapter | BNC-TA-JJJ | 302-0024-6 | | O | | O | | |
| | UG-274/U | 302-0025-9 | (TA-JP type) | O | | O | | |
| | UG-274/U(01) | 302-0025-9-01 | Marked with BNC-TA-JPJ | O | | O | | |
| | UG-274/U(05) | 302-0025-9-05 | | | O | | O | |
| U ring | BNC-UPA | 302-0167-3 | 35-mm movable | O | | O | | |
| | BNC-UPA(01) | 302-0167-3-01 | | | O | O | | |
| | | | | | | | | |
| Cap | CW-123A/U | 302-0041-5 | For jack | O | | | | |
| | CW-123A/U(10) | 302-0041-5-10 | | O | | | | CO2DC |
| | | | | | | | | |
| Plug short | JCW-159/U | 302-0026-1 | | O | | O | | |
| | JCW-159/U(03) | 302-0026-1-03 | No chain provided | O | | O | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

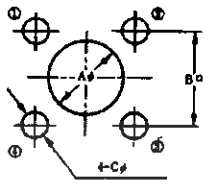


Fig.1

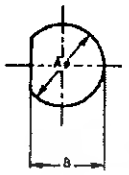


Fig.2

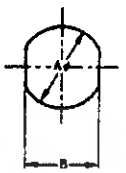


Fig.3

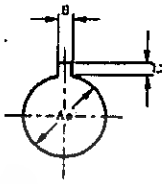


Fig.4

Fig.5

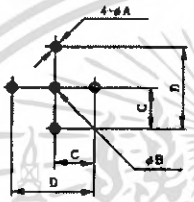


Fig.6

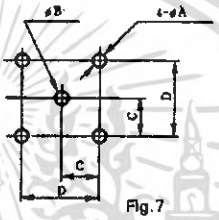


Fig.7

| Fig. | No. | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1-1 | 11.4 | 12.7 | 3 | — |
| | 1-2 | 11.4 | 12.7 | 3.2 | — |
| | 1-3 | 9.8 | 12.7 | 3 | — |
| | 1-4 | 5.3 | 12.7 | 3 | — |
| | 1-5 | 12.3 | 12.7 | 3.2 | — |
| | 1-6 | 14.3 | 12.7 | 3.2 | — |
| | 1-7 | 9.8 | 12.7 | 3 | — |
| | 1-8 | 9.8 | 12.7 | 3.2 | — |
| | 1-9 | 9.8 | 12.7 | ①-⑥ ⑥-④ 3 3.2 | — |
| | 1-10 | 9 | 12.7 | 3 | — |
| | 1-11 | 9 | 12.7 | 3.2 | — |
| | 1-12 | 4.3 | 12.7 | 3.2 | — |
| | 1-13 | 15 | 16.2 | 3.4 | — |
| | 1-14 | 7 | 12.7 | 3 | — |

| Fig. | No. | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 2-1 | $9.6^{+0.1}_{0}$ | $9^{+0.1}_{0}$ | — | — |
| | 2-2 | $9.6^{+0.1}_{0}$ | $8.5^{+0.1}_{0}$ | — | — |
| | 2-3 | $11.3^{+0.1}_{0}$ | $10.3^{+0.1}_{0}$ | — | — |
| | 2-4 | $9.6^{+0.1}_{0}$ | $8.8^{+0.1}_{0}$ | — | — |
| | 2-5 | $12.1^{+0.1}_{0}$ | $11.1^{+0.1}_{0}$ | — | — |
| 3 | 3-1 | $9.6^{+0.1}_{0}$ | $8.1^{+0.1}_{0}$ | — | — |
| | 3-2 | $9.6^{+0.1}_{0}$ | $8.3^{+0.1}_{0}$ | — | — |
| | 3-3 | $9.6^{+0.1}_{0}$ | $8.6^{+0.1}_{0}$ | — | — |
| 4 | 4-1 | $12.7^{+0.1}_{0}$ | $1.3^{+0.1}_{0}$ | $1.8^{+0.1}_{0}$ | — |
| 5 | 5-1 | $12.7^{+0.1}_{0}$ | — | — | — |
| 6 | 6-1 | $1.6^{+0.1}_{0}$ | $1.6^{+0.1}_{0}$ | $5.08^{\pm0.05}$ | $10.16^{\pm0.05}$ |
| 7 | 7-1 | $1.8^{+0.1}_{0}$ | $1.8^{+0.1}_{0}$ | $5.08^{\pm0.05}$ | $10.16^{\pm0.05}$ |
| | 7-2 | $1.^{+0.1}_{0}$ | $1.4^{+0.1}_{0}$ | $3.81^{\pm0.05}$ | $7.62^{\pm0.05}$ |

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

## Functional drawing

Typical part numbers are enclosed in parentheses

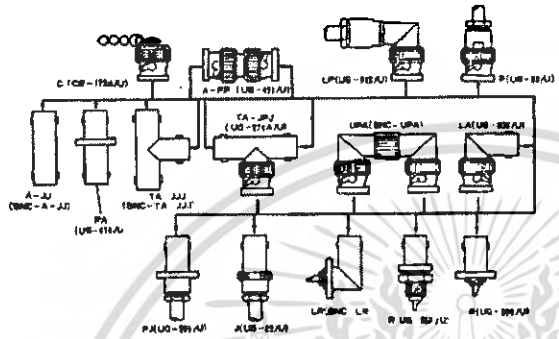


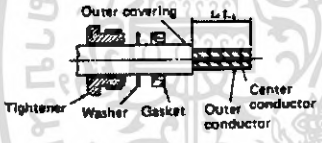
Table 1. End processing dimensions arranged by part number

(Unit : mm)

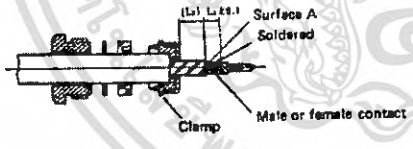
| HRS No. | Part No. | $L_1$ ± | $L_2$±0.1 | $L_3$ |
|---|---|---|---|---|
| *CL302-0001-0 | UG-88/U | 7.6 | 3 | 2.9 |
| *CL302-0002-3 | UG-250/U | 7.6 | 3 | 2.9 |
| CL302-0006-4 | 3CV-J | 7.4 | 3 | 3.2 |
| CL302-0007-7 | UG-262/U | 7.3 | 3 | 2.9 |
| CL302-0034-0 | UG-89/U | 7.6 | 3 | 2.9 |
| CL302-0035-2 | UG-261/U | 7.3 | 3 | 2.9 |
| *CL302-0036-5 | UG-291/U | 7.6 | 3 | 2.9 |
| *CL302-0043-0 | UG-913/U | 7.4 | 3 | 2.4 |
| *CL302-0070-3 | UG-88D/U | 7.6 | 3 | 2.7 |
| *CL302-0129-4 | 3DW-P2 | 10 | 3 | 5 |
| *CL302-0132-9 | BNC-P-5DV | 11.4 | 2.5 | 5 |
| *CL302-0152-6 | 3CF-P | 10 | 3 | 5 |
| *CL302-0157-0 | 3CV-PL | 9.4 | 1.8 | 5.3 |
| *CL302-0202-2 | 3CV-P2 | 9.6 | 3 | 5 |
| *CL302-0203-5 | 3CA-P2 | 9.6 | 3 | 5 |
| *CL302-0204-8 | 3CV-PJ2 | 7 | 3 | 2.8 |
| *CL302-0205-0 | 3CA-PJ2 | 7 | 3 | 2.6 |
| *CL302-0209-1 | 3CW-P | 10.4 | 3 | 5 |
| CL302-0210-0 | 3CT-P | 10.9 | 3 | 5 |

*Standard product

## Connecting methods




The ends are processed as shown in the drawing (refer to Table 1). For the end processing dimensions $L_1$, refer to Table 1, End processing dimensions arranged by part number.




(1) Insert clamp from tip of cable and fold outer conductor of cable back onto clamp. Using a knife, cut off excess outer conductor left at this time.

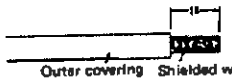
(2) Cut off center conductor of cable at $L_2$, from surface A of cable insulation. For end processing dimensions $L_2$, $L_3$, refer to Table 1, End processing dimensions arranged by part ($L_3$ is a reference dimension.)
(Note: Be careful not to damage center conductor.)

(3) Solder contact and center conductor. It is a good idea at this time to solder the terminal preliminarily in advance. (Note: There must be no gap between the end and the cable insulation.)

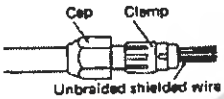
Insert cable and parts into shell and tighten tightening nut sufficiently.

# BNC SERIES RF CO-AXIAL CONNECTORS

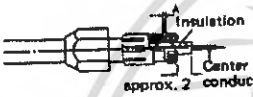
## Assembling methods




1. Cut off 13mm of the cable's outer covering and expose the shielded wire.

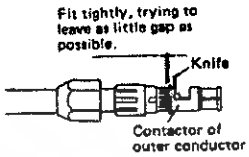



2. Put the cap through the cable, insert the clamp, and unbraid the shielded wire.



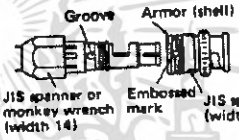

3. Wind the shielded wire onto the clamp. At this time, cut off the shielded wire at position A in the drawing, leaving some gap.

4. Cut off the insulation, leaving about 2mm of it.




5. Fit the contactor of the outer conductor tightly onto the clamp, position a knife on the notched window, and cut off the insulation.
Take care not to damage the center conductor at this time.

6. Solder the center conductor with the contactor of the outer conductor fitting tightly onto the clamp.




7. Insert the block described above so that it will fit into the groove on the clamp and the embossed mark on the armor. Tighten the cap thoroughly. The tools used are a JIS spanner (width 12) and a JIS spanner or monkey wrench (width 14).

# MACOM Fixed Coaxial Attenuators

V 3.00

2082 Series

## OSM (SMA) Miniature

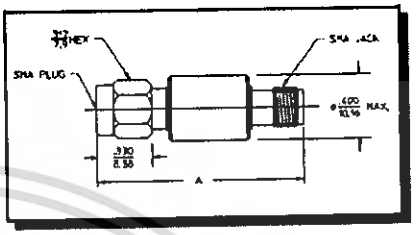
### Features

- DC - 18 GHz, Round Body
- Thin Film Technology
- Complete In-House Capability
- Broadband Operation

### Description

SMA Miniature series fixed attenuators offer precision reliable performance in a compact package. Maximum electrical flexibility can be achieved by choosing the proper unit from the series listed below. Rugged construction and thermal stability assure high performance in military and space applications.

### Outline Drawing




| dB | Dim. A | Weight |
|---|---|---|
| 0 - 30 | 1.24 (31.5 mm) | .26 oz. Max. (8g) |

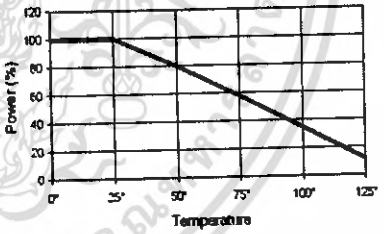
NOTE: All dimensions are ± .020, except mounting hole diameters (± .005) and mounting hole locations (± .010)

### Specifications

| Part Number Plug - Jack | Attenuation (dB) |
|---|---|
| 2082-6191-00 | 0.0 ± 0.30 |
| 2082-6191-01 | 1.0 ± 0.30 |
| 2082-6191-02 | 2.0 ± 0.30 |
| 2082-6191-03 | 3.0 ± 0.30 |
| 2082-6192-04 | 4.0 ± 0.30 |
| 2082-6192-05 | 5.0 ± 0.30 |
| 2082-6192-06 | 6.0 ± 0.30 |
| 2082-6193-07 | 7.0 ± 0.50 |
| 2082-6193-08 | 8.0 ± 0.50 |
| 2082-6193-09 | 9.0 ± 0.50 |
| 2082-6193-10 | 10.0 ± 0.50 |
| 2082-6194-11 | 11.0 ± 0.75 |
| 2082-6194-12 | 12.0 ± 0.75 |
| 2082-6194-13 | 13.0 ± 0.75 |
| 2082-6194-14 | 14.0 ± 0.75 |
| 2082-6194-15 | 15.0 ± 0.75 |
| 2082-6194-16 | 16.0 ± 0.75 |
| 2082-6194-17 | 17.0 ± 0.75 |
| 2082-6194-18 | 18.0 ± 0.75 |
| 2082-6194-19 | 19.0 ± 0.75 |
| 2082-6194-20 | 20.0 ± 0.50 |
| 2082-6195-30 | 30.0 ± 0.75 |

| Frequency | Power |
|---|---|
| DC - 18.0 GHz | 2 Watts Average<br>500 Watts Peak<br>See Derating Curve |
| **VSWR** | **Finish** |
| DC - 4 GHz, 1.15<br>4 - 12.4 GHz, 1.25<br>12.4 - 18 GHz, 1.35 | Passivated Stainless Steel |

### Power Derating



## 5 and 10 Watt

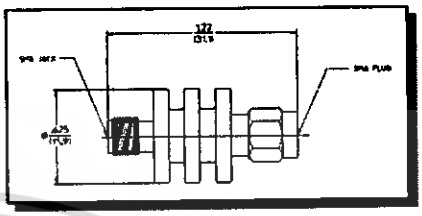
### Features

- Low VSWR
- DC - 18.0 GHz
- Flat Attenuation
- Precision SMA Connectors
- No Hazardous Beryllium Oxide
- N Custom Capability

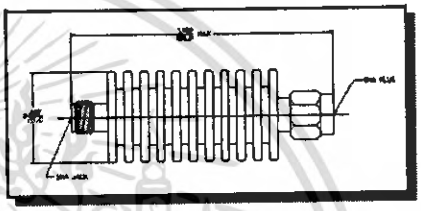
### Description

The 5 and 10 Watt units have been designed for use where stable, broadband, medium power units are required. They feature stainless steel connectors and black anodized aluminum heat sink bodies. Standard connector configuration is plug-jack.

### 5 Watt



### 10 Watt



### 5 Watt SMA

| Part Number | Attenuation (dB) | Frequency Range (GHz) |
|---|---|---|
| 2082-6524-03 | 3.0 ± 0.30 | DC - 18.0 |
| 2082-6524-06 | 6.0 ± 0.30 | |
| 2082-6524-10 | 10.0 ± 0.50 | |
| 2082-6524-20 | 20.0 ± 0.75 | |

| Power | Weight |
|---|---|
| (Avg): 5 Watts CW (25°C) (Peak): 500 Watts Max. | 0.5 oz. (14g) Max. |
| **Temperature Range** | **VSWR** |
| -55°C to +125°C | DC to 4 GHz, 1.15<br>4 to 12.4 GHz, 1.25<br>12.4 to 18 GHz, 1.35 |

### 10 Watt SMA

| Part Number | Attenuation (dB) | Frequency Range (GHz) |
|---|---|---|
| 2082-6502-03 | 3.0 ± 0.30 | DC - 18.0 |
| 2082-6502-06 | 6.0 ± 0.30 | |
| 2082-6502-10 | 10.0 ± 0.50 | |
| 2082-6502-20 | 20.0 ± 0.75 | |

| Power | Weight |
|---|---|
| (Avg): 10 Watts CW (25°C) (Peak): 500 Watts Max. | 1.0 oz. (28g) Max. |
| **Temperature Range** | **VSWR** |
| -55°C to +125°C | DC to 8 GHz, 1.20<br>8 to 12.4 GHz, 1.30<br>12.4 to 18 GHz, 1.40 |



*Specifications subject to change without notice.*

- North America: Tel. (800) 366-2266
- Asia/Pacific: Tel.+81-44-844-8296, Fax +81-44-844-8298
- Europe: Tel. +44 (1344) 869 595, Fax+44 (1344) 300 020

Visit www.macom.com for additional data sheets and product information.

tyco / Electronics MACOM

## SMA Subminiature

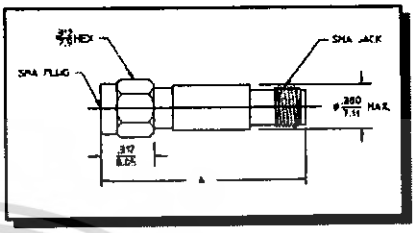
### Features

- Small Size, .86 and 1.02 Overall Length
- Thin Film Technology
- Light Weight
- Broadband Operation
- Rugged Construction
- Complete In-House Capability

### Description

SMA subminiature series attenuators are extremely compact; as small as 0.28 inches in diameter and 0.86 inches long. This series was designed for broadband precision operation where flat frequency response and minimum size and weight are necessary. The rugged construction and thermal stability assure high performance in military and space applications.

### Outline Drawing



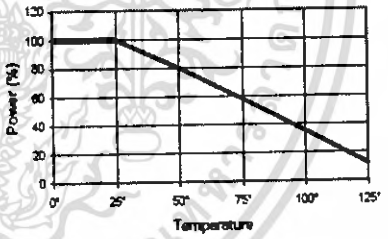

| dB | Dim. A | Weight |
|---|---|---|
| 0 - 12 | 0.86 (21.8 mm) | .18 oz. Max. (5g) |
| 13 - 30 | 1.02 (25.9 mm) | .21 oz. Max. (6g) |

### Specifications

| Part Number Plug - Jack | Attenuation (dB) |
|---|---|
| 2082-6040-00 | 0.0 ± 0.30 |
| 2082-6040-01 | 1.0 ± 0.30 |
| 2082-6040-02 | 2.0 ± 0.30 |
| 2082-6040-03 | 3.0 ± 0.30 |
| 2082-6041-04 | 4.0 ± 0.30 |
| 2082-6041-05 | 5.0 ± 0.30 |
| 2082-6041-06 | 6.0 ± 0.30 |
| 2082-6042-07 | 7.0 ± 0.50 |
| 2082-6042-08 | 8.0 ± 0.50 |
| 2082-6042-09 | 9.0 ± 0.50 |
| 2082-6042-10 | 10.0 ± 0.50 |
| 2082-6043-11 | 11.0 ± 0.75 |
| 2082-6043-12 | 12.0 ± 0.75 |
| 2082-6043-13 | 13.0 ± 0.75 |
| 2082-6043-14 | 14.0 ± 0.75 |
| 2082-6043-15 | 15.0 ± 0.75 |
| 2082-6043-16 | 16.0 ± 0.75 |
| 2082-6043-17 | 17.0 ± 0.75 |
| 2082-6043-18 | 18.0 ± 0.75 |
| 2082-6043-19 | 19.0 ± 0.75 |
| 2082-6043-20 | 20.0 ± 0.50 |
| 2082-6044-30 | 30.0 ± 0.75 |

| Frequency | Power |
|---|---|
| DC - 18.0 GHz | 2 Watts Average<br>500 Watts Peak<br>See Derating Curve |
| **VSWR** | **Finish** |
| DC - 4 GHz, 1.15<br>4 - 12.4 GHz, 1.25<br>12.4 - 18 GHz, 1.35 | Passivated Stainless Steel |

### Power Derating






*Specifications subject to change without notice.*


- North America: Tel. (800) 366-2266
- Asia/Pacific: Tel.+81-44-844-8296, Fax +81-44-844-8298
- Europe: Tel. +44 (1344) 869 595, Fax+44 (1344) 300 020

Visit www.macom.com for additional data sheets and product information.

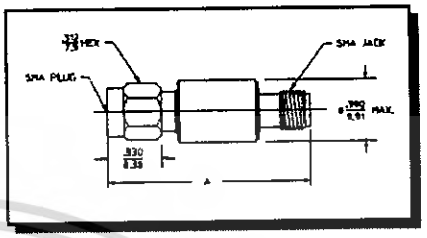

tyco / Electronics MACOM

## SMA Miniature, Round Body

### Description

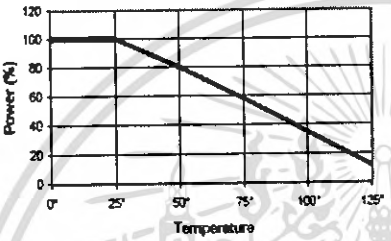
Any standard attenuator shown below is available with any combination of plug and jack connectors, as well as attenuation values as identified in part number table on previous page. Contact factory for part numbers and complete specifications.

### Outline Drawing




| dB | Dim. A | Weight |
|---|---|---|
| 0 - 30 | 1.24 (31.5 mm) | .30 oz. Max. (8g) |
| 31 - 60 | 1.80 (45.7 mm) | .40 oz. Max. (11g) |

### Power Derating




### Specifications

| Part Number Plug - Jack | Attenuation (dB) |
|---|---|
| 2082-6171-03 | 3.0 ± 0.30 |
| 2082-6172-06 | 6.0 ± 0.30 |
| 2082-6173-10 | 10.0 ± 0.5 |
| 2082-6174-20 | 20.0 ± 0.50 |
| 2082-6175-30 | 30.0 ± 0.75 |
| 2082-6176-40 | 40.0 ± 1.00 |

| Frequency | Power |
|---|---|
| DC - 4 GHz | 2 Watts Average<br>500 Watts Peak<br>See Derating Curve |
| VSWR | Finish |
| DC - 4 GHz, 1.15 | Passivated Stainless Steel |



*Specifications subject to change without notice.*


- North America: Tel. (800) 366-2266
- Asia/Pacific: Tel.+81-44-844-8296, Fax +81-44-844-8298
- Europe: Tel. +44 (1344) 869 595, Fax+44 (1344) 300 020

Visit www.macom.com for additional data sheets and product information.


tyco / Electronics MACOM

**Detailed Specifications & Technical Data**

BELDEN

## 7976R Coax - Low Loss 50 Ohm Wireless RF Transmission Cable

For more information please call
1-800-Belden1

See Put-ups and Colors

Description:

7 AWG solid .142" bare copper-covered aluminum conductor, foam HDPE insulation, Duobond® II (100% coverage) plus a tinned copper braid shield (90% coverage), PVC jacket.

**PHYSICAL CHARACTERISTICS:**

**CONDUCTOR:**

| | |
|---|---|
| Number of Coax | 1 |
| Total Number of Conductors | 1 |
| Series Type | RF 500 |
| AWG | 7 |
| Stranding | Solid |
| Conductor Diameter | .142 in. |
| Conductor Material | BCCA - Bare Copper Covered Aluminum |

**INSULATION:**

| | |
|---|---|
| Insulation Material | FHDPE - Foam High Density Polyethylene |
| Insulation Diameter | .370 in. |

**OUTER SHIELD:**

| | |
|---|---|
| Outer Shield Material Trade Name | Duobond® II |
| Outer Shield Type | Tape/Braid |

Outer Shield Material :

| Layer Number | Trade Name | Type | Material | % Coverage (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Bonded Duofoil® | Tape | Bonded Aluminum Foil-Polyester Tape-Aluminum Foil | 100 |
| 2 | | Braid | TC - Tinned Copper | 90 |

| | |
|---|---|
| Outer Shield %Coverage | 100 % |

**OUTER JACKET:**

| | |
|---|---|
| Outer Jacket Material | PVC - Polyvinyl Chloride |

**OVERALL NOMINAL DIAMETER:**

| | |
|---|---|
| Overall Nominal Diameter | .500 in. |

**MECHANICAL CHARACTERISTICS:**

| | |
|---|---|
| Operating Temperature Range | -40°C To +80°C |

**Detailed Specifications & Technical Data**

BELDEN

## 7976R Coax - Low Loss 50 Ohm Wireless RF Transmission Cable

| | |
|---|---|
| UL Temperature Rating | 80°C |
| Bulk Cable Weight | 120 lbs/1000 ft. |
| Max. Recommended Pulling Tension | 235 lbs. |
| Min. Bend Radius (Install) | 5 in. |

**APPLICABLE SPECIFICATIONS AND AGENCY COMPLIANCE:**

**APPLICABLE STANDARDS:**

| | |
|---|---|
| NEC/(UL) Specification | CMR |
| CEC/C(UL) Specification | CMG |
| EU CE Mark (Y/N) | Yes |
| EU RoHS Compliant (Y/N) | Yes |
| EU RoHS Compliance Date (mm/dd/yyyy): | 01/01/2005 |

**FLAME TEST:**

| | |
|---|---|
| UL Flame Test | UL1666 Vertical Shaft |
| C(UL) Flame Test | FT4 |

**SUITABILITY:**

| | |
|---|---|
| Suitability - Indoor | Yes |
| Suitability - Aerial | Yes - when supported by a messenger wire |
| Suggested Connectors | Land Mobile Radio type connectors. |

**PLENUM/NON-PLENUM:**

| | |
|---|---|
| Plenum (Y/N) | N |

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS:**

| | |
|---|---|
| Nom. Characteristic Impedance | 50 Ohms |
| Nom. Inductance | 0.060 µH/ft |
| Nom. Capacitance Conductor to Shield | 25.1 pF/ft |
| Nominal Velocity of Propagation | 84 % |
| Nominal Delay | 1.21 ns/ft |
| Nom. Conductor DC Resistance @ 20 Deg. C | .82 Ohms/1000 ft |
| Nominal Outer Shield DC Resistance @ 20°C | 1.6 Ohms/1000 ft |

Maximum VSWR :

| Description | Frequency (MHz) | Start Frequency (MHz) | Stop Frequency (MHz) | Maximum VSWR |
|---|---|---|---|---|
| | | 50 | 2400 | 1.43:1 |
| | | 2400 | 2500 | 1.30:1 |
| | | 5000 | 6000 | 1.43:1 |

Nom. Attenuation :

**Detailed Specifications & Technical Data**

BELDEN

## 7976R Coax - Low Loss 50 Ohm Wireless RF Transmission Cable

| Description | Frequency (MHz) | Start Frequency (MHz) | Stop Frequency (MHz) | Nom. Attenuation (dB/100 ft.) |
|---|---|---|---|---|
| | 30 | | | .55 |
| | 50 | | | .73 |
| | 150 | | | 1.2 |
| | 220 | | | 1.5 |
| | 450 | | | 2.2 |
| | 900 | | | 3.2 |
| | 1500 | | | 4.2 |
| | 1800 | | | 4.7 |
| | 2000 | | | 5.0 |
| | 2500 | | | 5.7 |
| | 3000 | | | 6.3 |
| | 3500 | | | 6.9 |
| | 4500 | | | 8.0 |
| | 5800 | | | 9.3 |
| | 6000 | | | 9.5 |

Max. Power Rating

| Description | Frequency (MHz) | Start Frequency (MHz) | Stop Frequency (MHz) | Max. Power Rating (W) |
|---|---|---|---|---|
| | 30 | | | 4187 |
| | 50 | | | 3168 |
| | 150 | | | 1947 |
| | 220 | | | 1602 |
| | 450 | | | 1086 |
| | 900 | | | 741 |
| | 1500 | | | 558 |
| | 1800 | | | 504 |
| | 2000 | | | 474 |
| | 2500 | | | 418 |
| | 3000 | | | 376 |
| | 3500 | | | 345 |
| | 4500 | | | 299 |
| | 5800 | | | 258 |
| | 6000 | | | 252 |

Max. Operating Voltage - UL 300 V RMS

NOTES:

Notes 100% Sweep tested. Belden® The Wire in Wireless®.

PUT-UPS AND COLORS:

| Item | Description | Put-Up (ft.) | Ship Weight (lbs.) | Jacket Color | Notes |
|---|---|---|---|---|---|
| 7976R 0101000 | #7 FPE SH FRPVC | 1000 | 131 | BLACK | C |
| 7976R 010500 | #7 FPE SH FRPVC | 500 | 67.5 | BLACK | C |

**Detailed Specifications & Technical Data**

BELDEN

## 7976R Coax - Low Loss 50 Ohm Wireless RF Transmission Cable

C = CRATE REEL PUT-UP.

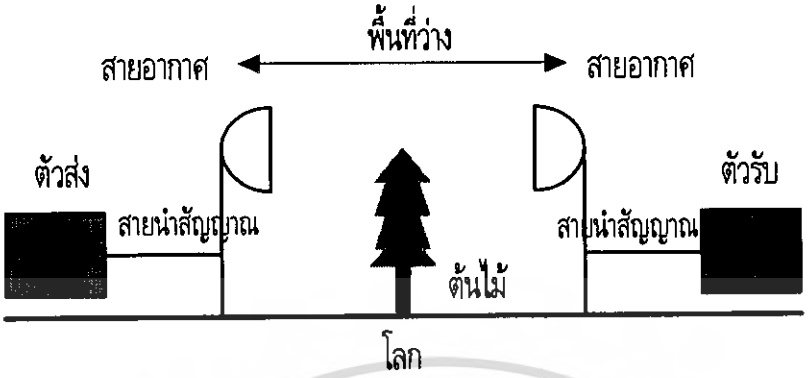
Revision Number: 2 Revision Date: 05-05-2006

© Copyright 2006 Belden, Inc
All Rights Reserved.

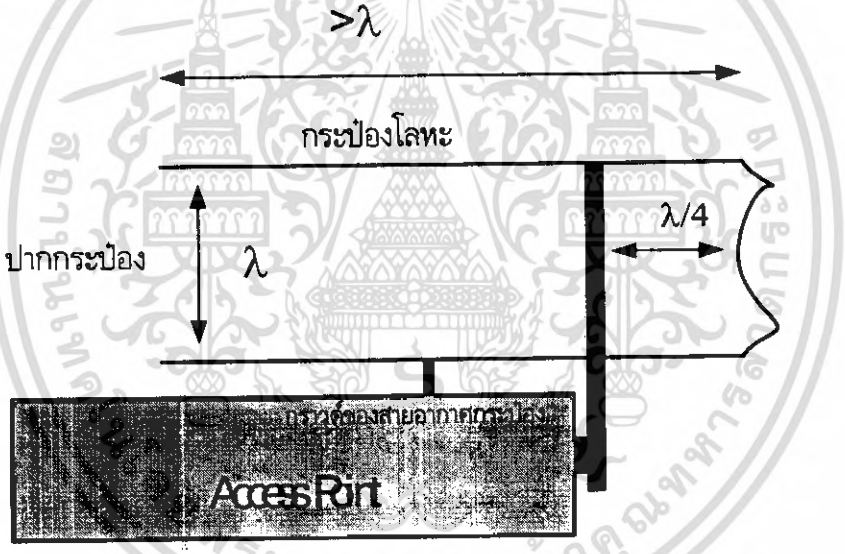
Although Belden ("Belden") makes every reasonable effort to ensure their accuracy at the time of this publication, information and specifications described herein are subject to error or omission and to change without notice, and the listing of such information and specifications does not ensure product availability.
Belden provides the information and specifications herein on an "AS IS" basis, with no representations or warranties, whether express, statutory or implied. In no event will Belden be liable for any damages (including consequential, indirect, incidental, special, punitive, or exemplary damages) whatsoever, even if Belden has been advised of the possibility of such damages, whether in an action under contract, negligence or any other theory, arising out of or in connection with the use, or inability to use, the information or specifications described herein.
All sales of Belden products are subject to Belden's standard terms and conditions of sale.
Belden believes this product to be in compliance with the following environmental regulations: California Proposition 65 Consent Judgment For Wire & Cable Mfgs.(San Francisco Superior Court Nos. 312962 And 320342); EU RoHS (Directive 2002/95/EC, 27-Jan-2003);Material manufactured prior to the compliance date may still be in stock at Belden facilities and in our Distributor's inventory. EU ELV (Directive 2000/53/EC, 18-Sept-2000); EU WEEE (Directive 2002/96/EC, 27-Jan-2003); And EU BFR (Directive 2003/11/EC, 6-Feb-2003). The information provided in this Product Disclosure, and the identification of materials listed as reportable or restricted within the Product Disclosure, is correct to the best of Belden's knowledge, information and belief at the date of its publication. The information provided in the Product Disclosure is designed only as a general guide for the safe handling, storage, and any other operation of the product itself or the one that it becomes a part of. This Product Disclosure is not to be considered a warranty or quality specification. Regulatory information is for guidance purposes only. Product users are responsible for determining the applicability of legislation and regulations based on their individual usage of the product.
Belden declares this product to be in compliance with EU LVD (Low Voltage Directive 73/23/EEC), as amended by directive 93/68/EEC.

# ภาคผนวก จ

# ผังงาน




**รูปที่ จ.1** ผังงานของสายอากาศกระป๋อง




**รูปที่ จ.2** โครงสร้างรูปแบบสายอากาศกระป๋อง

# ภาคผนวก ฉ
# คู่มือการใช้งาน

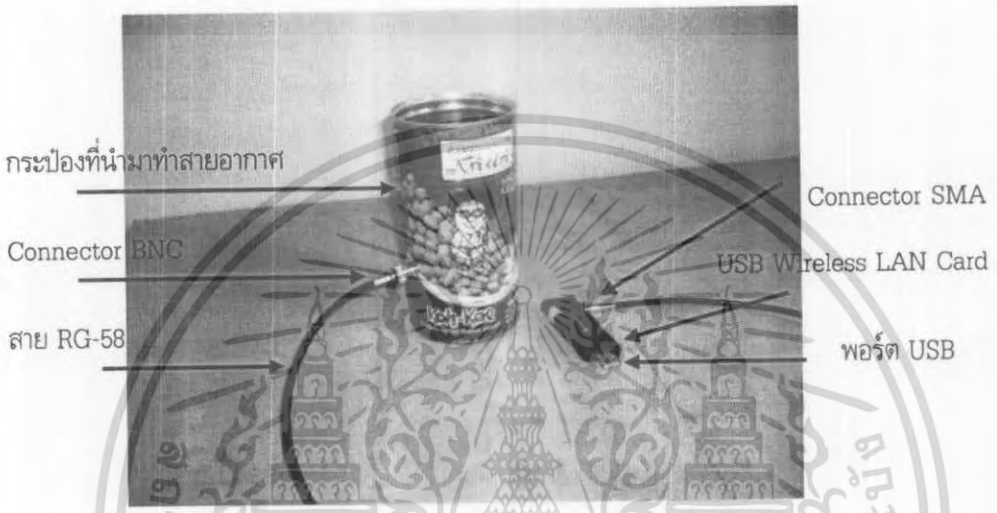
# คู่มือการใช้งาน
# สายอากาศ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

## 1.คำแนะนำเบื้องต้น

สายอากาศกระป๋องนี้เป็นสายอากาศที่ช่วยเพิ่มการรับสัญญาณจากเครือข่ายไร้สาย แต่การที่จะรับสัญญาณได้ดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณในความถี่ไร้สายที่ถูกส่งออกมา ระยะห่างจากตัวรับถึงตัวส่ง และการวางตำแหน่งของตัวอุปกรณ์ในการรับ-ส่งสัญญาณ

## 2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม




**รูปที่ ฉ.1** ส่วนประกอบต่างๆของสายอากาศ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย (แนวตั้ง)

**รูปที่ ฉ.2** ส่วนประกอบต่างๆของสายอากาศ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย (แนวนอน)

## 3. การติดตั้งและการใช้งานสายอากาศ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย

1. ทำการเตรียมอุปกรณ์ให้พร้อม

2. ทำการต่อสายอากาศกระป๋องเข้ากับสายสัญญาณ จากนั้นให้นำหัวสัญญาณอีกด้านนำมาต่อที่ USB Wireless LAN Card

3. จากนั้นเมื่อเราต่ออุปกรณ์ต่างๆเสร็จแล้วให้นำพอร์ต USB ของตัว USB Wireless LAN Card เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

4. จากนั้นทำการลงโปรแกรม Driver ของตัว USB Wireless LAN Card ให้เครื่องคอมพิวเตอร์รู้จักตัวอุปกรณ์


5. เมื่อทำตามวิธีขั้นต้นเสร็จแล้วให้เข้าไปที่โปรแกรมที่เราได้ลงพร้อมกับตัว Driver ของตัวอุปกรณ์ (ในที่นี้เราใช้โปรแกรมที่มีชื่อว่า "Ralink Wireless LAN Card") เพื่อเลือกสัญญาณที่เราจะทำการเชื่อมต่อในเครือข่ายไร้สาย

6. เมื่อเราทำการเลือกในเครือข่ายไร้สายแล้วต่อไปเราก็สามารถเชื่อมต่อไปยังโลก Internet ได้แล้ว

## 4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาการใช้งานสายอากาศ 2.4 GHz ในเครือข่ายไร้สาย สามารถตรวจสอบแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้จากตารางข้างล่างนี้

**ตารางที่ ฉ.1** แก้ไขปัญหาเบื้องต้น

| อาการ | สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ไข |
|---|---|
| การรับสัญญาณไม่ดี | 1. อาจจะอยู่ในจุดอับสัญญาณการแก้ไขควรย้ายไปหาตำแหน่งในการรับสัญญาณใหม่<br>2. อาจจะมีคนใช้เครือข่ายไร้สายมากเกินไปในจุดนั้นให้ทำการย้ายไปตำแหน่งอื่น |
| รับสัญญาณไม่ได้ | อยู่ห่างจากตัวส่งสัญญาณเกินไปทำให้รับสัญญาณไม่ได้แก้ไขโดยเลื่อนตำแหน่งเข้ามาใกล้อีก |

## 5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

### 5.1 การดูแลรักษา

1. เช็ดทำความสะอาดตัวเครื่องด้วยผ้านุ่ม

2. ตรวจสอบขั้วต่อสายนำสัญญาณ และสายสัญญาณให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานเสมอ

3. ควรมีการตรวจซ่อมบำรุงสายอากาศกระป๋องพร้อมอุปกรณ์เป็นระยะเพื่อป้องกันและลดอัตราการเสื่อมสภาพของตัวสายอากาศกระป๋องเพื่อให้ใช้งานตัวสายอากาศกระป๋องเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

**5.2 ข้อควรระวัง**

1. ควรศึกษาคู่มือการใช้งานของสายอากาศกระป๋องก่อนการใช้งานจริง
2. ควรวางตัวสายอากาศกระป๋องใกล้กับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวกในการใช้งาน
3. การเคลื่อนย้ายควรระมัดระวังอย่าให้มีการกระแทกเพื่อป้องกันความเสียหายกับสายอากาศกระป๋อง
4. ไม่ควรให้สายอากาศกระป๋องเปียกน้ำ

## 6. ข้อมูลจำเพาะ

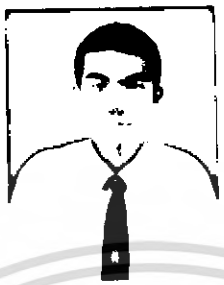
**ตารางที่ ฉ.2** ข้อมูลจำเพาะ

| คุณสมบัติ | รายละเอียด |
|---|---|
| อัตราการส่งข้อมูล | ขึ้นอยู่กับระยะห่าง ตำแหน่ง และความแรงของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา |
| สายนำสัญญาณ | สาย RG-58 50 โอห์ม Low loss |
| การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ | เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB |
| แหล่งจ่ายพลังงาน | ใช้ไฟฟ้าตรง 5 โวลต์ทางพอร์ต USB |
| กระป๋องที่นำมาทำสายอากาศกระป๋อง | ใช้กระป๋องโลหะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 73-99 มิลลิเมตร |

# ประวัติผู้แต่ง

| | | |
|---|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | นาย เอกรินทร์ โพธิ์ดก | |
| **วัน เดือน ปีเกิด** | 6 พฤศจิกายน 2527 | |
| **ภูมิลำเนา** | 38/2 หมู่5 ตำบลปากนคร อำเภอเมือง | |
| | จังหวัดนครศรีธรรมราช 80000 | |
| **ประวัติการศึกษา** | | |
| ประถมศึกษา | โรงเรียนบ้านคันธง | จังหวัดนครศรีธรรมราช |
| มัธยมศึกษา | โรงเรียนท่านครญาณวโรภาสอุทิศ | จังหวัดนครศรีธรรมราช |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพ | วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช | จังหวัดนครศรีธรรมราช |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง | วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช | จังหวัดนครศรีธรรมราช |
| ปริญญาตรี | สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม | |
| | ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม | |
| | คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. | |
| **ความสนใจพิเศษ** | ฟุตบอล | |
| **คติพจน์** | มนุษย์อยู่ในช่วงของการชาดทุน | |

# ประวัติผู้แต่ง



| | | |
|---|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | นายศักดา ทรงจำรอง | |
| **วัน เดือน ปีเกิด** | 7 กันยายน 2527 | |
| **ภูมิลำเนา** | 13 / 1 หมู่ 2 ตำบลท่าเสา อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร 74110 | |
| **ประวัติการศึกษา** | | |
| ประถมศึกษา | โรงเรียนคลองทวีวัฒนา | จังหวัดกรุงเทพมหานคร |
| | โรงเรียนวัดท่าเสา | จังหวัดสมุทรสาคร |
| มัธยมศึกษา | โรงเรียนกระทุ่มแบน "วิเศษสมุทคุณ" | จังหวัดสมุทรสาคร |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพ | วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาคร | จังหวัดสมุทรสาคร |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง | วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาคร | จังหวัดสมุทรสาคร |
| ปริญญาตรี | สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ | |
| | ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม | |
| | คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. | |
| **ทุนการศึกษา** | ทุนทำงานที่คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. | |
| **ความสนใจพิเศษ** | เล่นบาสเก็ตบอล,ตั้งแคมป์,กระโดดร่มพาราเซล | |
| **คติพจน์** | ทำทุกเวลาในปัจจุบันนี้ของเราให้ดี | |