



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

สายอากาศแบบเฮลิคซ์สำหรับการใช้งานในเครือข่ายแลนไร้สาย

Helical Antenna for Wireless LAN Application

โดย

ร้อยตรี ตรีรัตน์ เมตต์การุณจิต

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายงานการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

2549

ISBN 974-671-512-7

ชื่อเรื่อง : สายอากาศแบบเฮลิคซ์สำหรับการใช้งานในเครือข่ายแลนไร้สาย

ผู้วิจัย : ร้อยตรี ตรีรัตน์ เมตต์การุณจิต

สถาบัน : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2549

สถานที่พิมพ์ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

แหล่งที่เก็บรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวนหน้างานวิจัย : 47 หน้า

: ศูนย์วิจัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

คำสำคัญ

ลิขสิทธิ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

: สายอากาศแบบเฮลิคซ์, เครือข่ายแลนไร้สาย, รูปแบบการแผ่พลังงาน

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการใช้งานเครือข่ายแลนไร้สาย (Wireless Local Area Network : WLAN) มีความนิยมใช้อย่างแพร่หลาย โดยระบบ WLAN จะส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุหรืออินฟราเรดแทนการใช้สาย ดังนั้นระบบ WLAN มีความคล่องตัวในการใช้งานกว่าระบบแลนที่ต้องใช้สายอย่างมาก นอกจากนี้เทคโนโลยี WLAN ได้ถูกนำมาใช้งานในการเชื่อมโยงเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกลผ่านบริดจ์ไร้สาย (wireless bridge) เช่น การเชื่อมโยงเครือข่ายย่อยเข้าสู่เครือข่ายหลัก ระหว่างอาคาร ที่สามารถติดตั้งได้ง่ายและสะดวกรวดเร็วขึ้น อีกทั้งยังใช้งบประมาณต่ำ จากวิธีเดิมที่ต้องเชื่อมโยงด้วยสายสัญญาณ Coaxial หรือสายใยแก้วนำแสง ทั้งนี้สายอากาศ เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่สำคัญที่ใช้ในการเชื่อมโยงเครือข่ายแบบไร้สาย โดยงานวิจัยนี้กล่าวถึงสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นสำหรับการประยุกต์ใช้งานแบบจุดถึงจุด ในเครือข่ายแลนไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g โดยโครงสร้างของสายอากาศจะใช้วัสดุที่แข็งแรงและน้ำหนักเบา เพื่อสะดวกในการใช้งานติดตั้ง จากการวัดและทดสอบสายอากาศ มีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (return loss) น้อยกว่า -16.3 dB ตลอดแถบความถี่ 2.4 - 2.5 GHz และมีอัตราขยายกำลัง (power gain) 15.71 dBi สายอากาศที่สร้างขึ้นได้ถูกนำไปทดสอบการใช้งานจริงในการเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ผ่านบริดจ์ไร้สาย โดยระยะทางสูงสุดที่ใช้งานได้เท่ากับ 2.27 กิโลเมตร

Title : Helical Antenna for Wireless LAN Application

Researcher : 2Lt. Triratana Metkarunchit Institution : Dhurakijpundit University

Year of publication : B.D.2549

Publisher : Dhurakijpundit University press

Sources

No. of page : 47 page

: Researcher centre Dhurakijpundit University

Keyword

Copy right : Dhurakijpundit University

: helical antenna, wireless local area network, radiation pattern

Abstract

Nowadays WLAN (Wireless Local Area Network : WLAN) usage is widely used. WLAN system will and information through radio frequency or infrared instead of wire. Thus, WLAN system is more flexible to use than LAN system using wire. Furthermore, WLAN technology is used in connecting computer network in the remote area by wireless bridge such as interconnection of sub network into main network between building which is easy to install and more convenient including lower budget usage than the old method which is connecting with coaxial cable or fiber optic. The antenna is one of the important device in wireless interconnection. This research is mention of helical antenna which is designed and constructed for point to point application in WLAN of IEEE 802.11 b/g construction of the antenna uses strong but light weight materials of convenient in installation. Form measurement and test of the antenna, the return loss is less than -16.3 dB across frequency band of 2.4 - 2.5 GHz and the power gain of 15.71 dBi. The antenna was built to the real test in interconnection computer network through the wireless bridge. The maximum range in the usage is 2.27 km.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 พังตารางเวลาดำเนินการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีสายอากาศแบบเฮลิคซ์	5
2.1 โครงสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์	5
2.2 คุณสมบัติของสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกน	8
2.2.1 กระแสที่ไหลและอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเฮลิคซ์ โหมดแนวแกน	8
2.2.2 ความเร็วเฟสของกระแสนสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกน	12
2.2.3 การกระจายคลื่นจากสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกน	14
2.2.4 การออกแบบสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกน	18
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์	20
3.1 การออกแบบสายอากาศแบบเฮลิคซ์	20
3.2 การสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์	24
บทที่ 4 การวัดและทดสอบสายอากาศแบบเฮลิคซ์	27
4.1 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ	27
4.1.1 การวัดรูปแบบการแผ่พลังงาน (radiation pattern) ของสายอากาศ	27
4.1.2 การวัดความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return Loss : RL)	31
4.1.3 ผลการวัดแผนภูมิสมิท (smith chart)	32
4.1.4 การอัตราการขยายของสายอากาศ	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การทดสอบสายอากาศภาคสนาม	35
4.2.1 การวัดค่าวิสัยสามารถ (throughput)	36
4.2.2 กำลังสัญญาณที่วัดได้	37
4.2.3 การคำนวณหาระยะทางสูงสุดที่จะใช้งานได้	38
4.3 ผลการจำลองค่ากำลังที่รับได้ในระยะทางต่าง ๆ	39
4.4 การทดลองวัดค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทางต่าง ๆ	41
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุปผลการวัดและทดสอบ	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	44
บรรณานุกรม	45
ภาคผนวก	46

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 พังตารางเวลาการดำเนินโครงการวิจัย	3
ตารางที่ 2.1 สูตรการคำนวณคุณสมบัติต่าง ๆ ในการกระจายคลื่นของสายอากาศ เฮลิคซ์โหมดแนวแกน	19
ตารางที่ 3.1 ความถี่และช่องสัญญาณต่าง ๆ ในระบบ WLAN มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g	21
ตารางที่ 4.1 กำลังของสัญญาณที่รับได้ของการหมุนในมุม 0 ถึง 360 องศา	29
ตารางที่ 4.2 การคำนวณค่ากำลังของสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่างภาครับและส่ง (Link Margin)	39

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 สายอากาศแบบเฮลิคซ์แบบต่าง ๆ ที่มีใช้งานในปัจจุบัน	5
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของสายอากาศเฮลิคซ์	6
รูปที่ 2.3 ประจุไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดขึ้นบนสายอากาศของเฮลิคซ์โหมดต่าง ๆ	7
รูปที่ 2.4 ลักษณะการไหลของกระแสบนสายอากาศเฮลิคซ์ขนาดต่าง ๆ	10
รูปที่ 2.5 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเฮลิคซ์	11
รูปที่ 2.6 การหาอะเรย์แฟกเตอร์ของสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกน โดยให้ กระแสแบบจุดแทนเส้นลวดหนึ่งขด	12
รูปที่ 2.7 อัตราส่วนระหว่างความเร็วเฟสในสายอากาศเฮลิคซ์กับความเร็วในกรณี ที่สายอากาศทำงานในโหมดแนวแกน	14
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของสายอากาศเฮลิคซ์กับการคิดระยะทางไปยังจุดสังเกต	15
รูปที่ 2.9 ค่าอัตราส่วนของโพลาริเซชันในแกนหลักของสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกน	18
รูปที่ 3.1 การจัดเตรียมวัสดุต่าง ๆ ในการสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์	25
รูปที่ 3.2 การพันสายสายไฟเข้ากับท่อ PVC	25
รูปที่ 3.3 รูปแบบการเชื่อมต่อสตัปเข้ากับปลายขดลวด และคอนเนกเตอร์ N-TYPE กับกับฐานรอง PVC ที่เตรียมไว้	26
รูปที่ 3.4 สายอากาศแบบเฮลิคซ์เมื่อสร้างเสร็จสมบูรณ์	26
รูปที่ 4.1 เครื่องมือวัดรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศ	27
รูปที่ 4.2 การติดตั้งสายอากาศในการทดสอบรูปแบบการแผ่พลังงาน	28
รูปที่ 4.3 รูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบเฮลิคซ์	29
รูปที่ 4.4 การวัดหาความกว้างลำครึ่งกำลัง (half – power beam width)	30
รูปที่ 4.5 การวัดหาความแตกต่างอัตราขยายระหว่างเมน โลบ และไมเนอร์โลบแรก	30
รูปที่ 4.6 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ของสายอากาศแบบเฮลิคซ์	31
รูปที่ 4.7 แผนภูมิสมิท (Smith Chart)	32
รูปที่ 4.8 การวัดค่า VSWR และ RL จากแผนภูมิสมิท	33
รูปที่ 4.9 การทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศในห้องที่ไม่มีการสะท้อนคลื่น	34
รูปที่ 4.10 ภาพมุมสูงของการทดสอบการเชื่อมโยงเครือข่ายระหว่างอาคาร	35
รูปที่ 4.11 การติดตั้งสายอากาศและบริดจ์ไร้สายในการทดสอบ	35
รูปที่ 4.12 ผลการวัดค่าวิสัยสามารถจากโปรแกรม TTCPW	36
รูป 4.13 ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้จากโปรแกรม Network Stumbler	37

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 4.14 กำลังของสัญญาณที่รับได้จากระยะทางต่าง ๆ จากการคำนวณ	40
รูปที่ 4.15 ภาพมุมสูงของแนวการเคลื่อนที่ในการทดสอบวัดค่ากำลังของสัญญาณ	41
รูปที่ 4.16 ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ในระยะทางต่าง ๆ จากการวัด โดยแกนตั้งเป็นกำลังของสัญญาณที่รับได้ (dBm) และแกนนอนเป็นระยะทาง (เมตร) ระหว่างสายอากาศ	42

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network : WLAN) เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่น ร้านกาแฟ สนามบิน สถาบันการศึกษา และองค์กรต่าง ๆ เป็นต้น เนื่องจากความสะดวกและอิสระในการใช้งานและติดตั้ง เทคโนโลยี Wireless LAN ทำให้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั้งแบบตั้งโต๊ะและพกพาสามารถเชื่อมต่อถึงกัน หรือเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายจากตำแหน่งต่าง ๆ แบบไร้สายได้โดยอยู่ในรัศมีของสัญญาณ นอกจากนี้การเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายคอมพิวเตอร์เอง ก็สามารถเชื่อมต่อแบบไร้สายได้ โดยใช้บริดจ์ไร้สาย (Wireless Bridge) ที่มีมาตรฐานเช่นเดียวกับระบบ Wireless LAN เช่น IEEE 802.11 b/g เช่น การเชื่อมต่อเครือข่ายย่อยกับเครือข่ายหลัก ระหว่างอาคาร การเชื่อมต่อแบบไร้สายจะทำให้สะดวกในการติดตั้งและประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าการใช้สายไฟเบอร์ออปติก ในกรณีที่การเชื่อมต่อมีระยะทางมากกว่า 100 เมตร โดยสายอากาศแบบมีทิศทาง (directional antenna) เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่สำคัญในการเชื่อมต่อแบบจุดถึงจุด ซึ่งสามารถช่วยให้เพิ่มระยะทางในการเชื่อมต่อให้ไกลขึ้น อย่างไรก็ตามสายอากาศที่ใช้สำหรับระบบ Wireless LAN ส่วนใหญ่ผลิตมาจากต่างประเทศ และมีราคาแพง สายอากาศแบบมีทิศทางมีหลากหลายรูปแบบเช่น สายอากาศแบบยาเกิ (Yagi-Uda antenna) สายอากาศแบบแพตช์ (patch antenna) สายอากาศแบบท่อนำคลื่น (waveguide antenna) สายอากาศแบบเฮลิคัล (helical antenna) และสายอากาศแบบพาราโบลา (parabolic antenna) เป็นต้น ทั้งนี้สายอากาศแบบเฮลิคัลเป็นสายอากาศประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาใช้งานในย่านความถี่ 2.4 GHz แบบจุดถึงจุดได้ดีเนื่องจากมีแบนด์วิดท์กว้าง อีกทั้งมีโครงสร้างขนาดเล็ก ทำให้ง่ายต่อการติดตั้ง และมีอัตราขยายที่ดี ในงานวิจัยนี้จะออกแบบและสร้างสายอากาศแบบเฮลิคัลเพื่อใช้เป็นสายอากาศแบบจุดถึงจุด ในการเชื่อมโยงเครือข่ายคอมพิวเตอร์ระหว่างอาคารผ่านบริดจ์ไร้สาย และในการสร้างสายอากาศจะใช้วัสดุที่เบา และมีความทนทาน ในราคาที่ไม่แพง ทั้งนี้สายอากาศที่จะสร้างขึ้นนั้นจะสามารถช่วยการลดการพึ่งพาและการนำเข้าสายอากาศจากต่างประเทศได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อการออกแบบและสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์ ในโหมดแนวแกน (axial mode) สำหรับใช้งานเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ผ่านบริคจ์ไร้สาย
2. เพื่อสร้างสื่อการเรียนการสอนในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม/ไฟฟ้า
3. เพื่อเป็นพื้นฐานในการสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์สำหรับระบบการสื่อสารไมโครเวฟ ในลำดับต่อไป

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เป็นการออกแบบสายอากาศแบบเฮลิคซ์ในโหมดแนวแกน โดย จะใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์
2. สายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานในแถบความถี่ 2.400-2.500 เท่านั้น
3. สายอากาศที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานในการเชื่อมโยงเครือข่ายคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์ Wireless LAN มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g ในระยะทางไม่เกิน 2 กิโลเมตร
4. การวัดหาพารามิเตอร์ของสายอากาศ จะวัดอัตราขยาย (gain) รูปแบบการแผ่พลังงาน (radiation pattern) และ ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (return loss)

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. วางแผนหัวข้อย่อยที่จะดำเนินการวิจัยประกอบด้วย การคัดสรรหาวัสดุต่าง ๆ ในการทำสายอากาศแบบ เฮลิคซ์ ขั้นตอนการวัดและทดสอบสายอากาศ รวมถึงสถานที่ต่าง ๆ ที่จะขอเข้าใช้เครื่องมือวัด ขั้นตอนการปรับแต่งสายอากาศในส่วนประกอบต่าง ๆ และจัดสรรการทำงานของนักศึกษาช่วยงาน
2. ศึกษาทฤษฎีของสายอากาศแบบเฮลิคซ์ ในส่วนตัวแปรต่าง ๆ สำหรับโครงสร้างของสายอากาศ ที่เป็นผลต่อความถี่ที่ใช้งาน รูปแบบการแผ่พลังงาน กำลังส่ง เป็นต้น และ ทฤษฎีเครือข่ายแลนไร้สายในส่วนของการเชื่อมต่อสัญญาณแบบต่าง ๆ
3. ศึกษาหาวิธีการต่าง ๆ ในการสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่ทำให้สายอากาศมีความเที่ยงตรงแน่นอนมากที่สุด และตรวจสอบหาส่วนประกอบของวัสดุต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่จะทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพในการรับ-ส่งสัญญาณ และมีความมั่นคงแข็งแรงทนทาน ใ้สำหรับการใช้งานภายนอกอาคารได้

4. สร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์ ตามค่าตัวแปรต่าง ๆ ในทฤษฎีที่ได้คำนวณไว้ และสร้างขาตั้ง
สำหรับการติดตั้งสายอากาศ รวมถึงการทำสายนำสัญญาณที่เชื่อมต่อสายอากาศเข้ากับ
บริดจ์ไร้สาย
5. ทดสอบสายอากาศกับ Spectrum Analyzer และ Network Analyzer ในส่วนของอัตราขยาย
สัญญาณ ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ รูปแบบการแผ่พลังงาน จากนั้นนำผลการวัด
ที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อปรับแต่งสายอากาศอีกครั้งหนึ่ง เมื่อทดสอบและปรับแต่งให้ได้ผลที่
ต้องการแล้ว จึงนำสายอากาศไปติดตั้งเข้ากับเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบการใช้งาน
จริง
6. รวบรวมผลการวัดและทดสอบสายอากาศ นำมาวิเคราะห์ สรุปผล และ เขียนรายงานการ
วิจัย

1.5 ผังตารางเวลาดำเนินการวิจัย

ตาราง 1.1 ผังตารางเวลาการดำเนินโครงการวิจัย

งาน	เดือนที่					
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.
1) วางแผนหัวข้อย่อย และจัดสรร การทำงาน	→					
2) ศึกษาทฤษฎีสายอากาศแบบเฮลิคซ์ และเครือข่ายแลนไร้สาย	→	→				
3) ศึกษาวิธีการและตรวจสอบหาวัสดุ ในสร้างสายอากาศ		→				
4) สร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์			→			
5) ทดสอบและปรับแต่งสายอากาศ				→	→	
6) ทำรายงาน						→

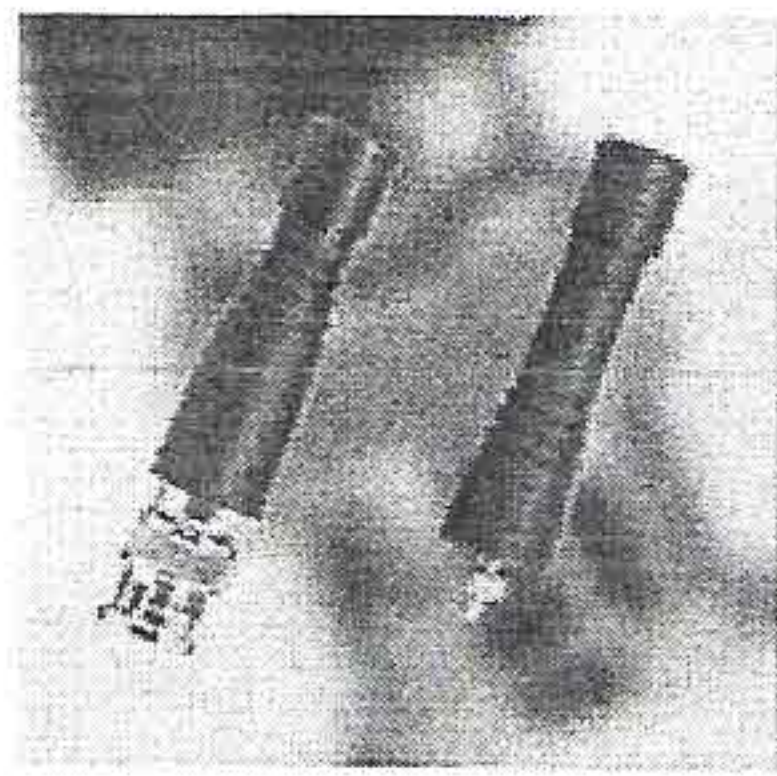
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้ในการเรียนการสอนวิชาทางด้านวิศวกรรมการสื่อสารไร้สายในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม/ไฟฟ้า
2. ใช้เป็นสายอากาศสำหรับงานวิจัยทางด้านระบบการสื่อสารย่านความถี่ 2.4 GHz
3. ใช้เป็นสายอากาศแบบมีทิศทางในระบบ WLAN และสามารถผลิตออกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้
4. เป็นต้นแบบพื้นฐานในการพัฒนาสายอากาศ สำหรับงานวิจัยทางด้านวิศวกรรมการสื่อสารไร้สายขั้นสูง
5. พัฒนานักศึกษาในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม หรือวิศวกรรมไฟฟ้าให้มีศักยภาพมากขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีสายอากาศแบบเฮลิคซ์

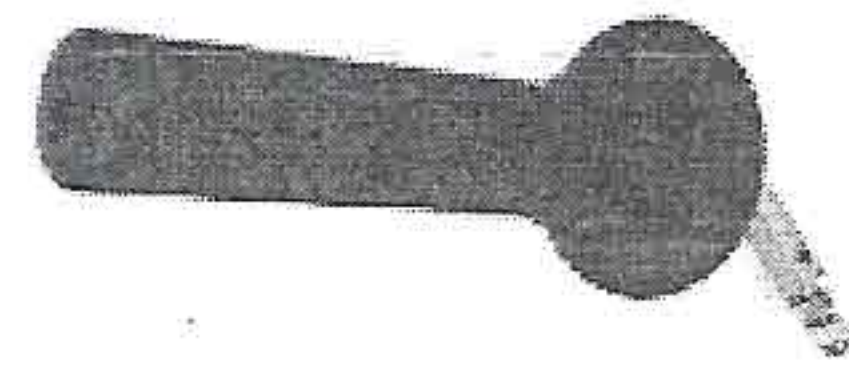
ในปัจจุบันสายอากาศแบบเฮลิคซ์มีการประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารไร้สายแบบต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เช่น การสื่อสารผ่านดาวเทียม โทรศัพท์เคลื่อนที่ วิทยุสื่อสาร และระบบเครือข่ายไร้สาย เป็นต้น เนื่องจากโครงสร้างโดยรวมของสายอากาศแบบเฮลิคซ์อยู่ในรูปแบบทรงกระบอก ทำให้สะดวกการติดตั้งและใช้งาน ดังรูป 2.1



UHF Helical antenna



GPS helical antennas



2.4 GHz Passive Helical Antenna

รูปที่ 2.1 สายอากาศแบบเฮลิคซ์แบบต่าง ๆ ที่มีใช้งานในปัจจุบัน

การนำสายอากาศเฮลิคซ์มาใช้งานในระบบต่าง ๆ จะมีการออกแบบที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับย่านความถี่ที่ใช้งาน โหมดในการแพร่กระจายคลื่น และอัตราการขยาย เนื้อหาในบทนี้เป็นการนำเสนอการทฤษฎีพื้นฐานและการออกแบบสายอากาศแบบเฮลิคซ์ ที่จะนำไปเป็นพื้นฐานในการสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์สำหรับระบบ WLAN มาตรฐาน 802.11 b/g ต่อไป

2.1 โครงสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์ [1]

สายอากาศแบบเฮลิคซ์โดยทั่วไปมีโครงสร้าง ดังรูป 2.2 โดยมีลวดตัวนำที่พันในลักษณะเกลียว เป็นรูปขดลวดทรงกระบอก ทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่น และแผ่นโลหะสำหรับการสะท้อนคลื่น ส่วนในการป้อนสัญญาณเข้านั้นจะส่งผ่านมาจากสายโคแอกเซียลทางด้านหลังของแผ่นสะท้อนคลื่น ในบางกรณีที่ปลายของสายโคแอกเซียลจะมีคอนเนกเตอร์ ต่อเข้ากับสตับ (stub) ก่อนที่จะต่อกับลวดตัวนำ เพื่อที่จะทำให้อิมพีแดนซ์เข้าคู่กัน (matched impedances) ระหว่างสายโคแอกเซียลกับสายอากาศ

โดยตัวแปรในโครงสร้างของขดลวดรูปเฮลิคซ์ ในรูป 2.2 มีดังนี้

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด (จากศูนย์กลางของขดลวด ถึงศูนย์กลางของเส้นลวด)

C = เส้นรอบวงของขดลวดเฮลิคซ์ (πD)

S = ระยะทางระหว่างขดลวด

α = มุม pitch ($\arctan S / \pi D$)

L = ระยะทางของเส้นลวดใน 1 รอบ

n = จำนวนรอบของขดลวด

A = ความยาวตามแนวแกนของขดลวด (nS)

ตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

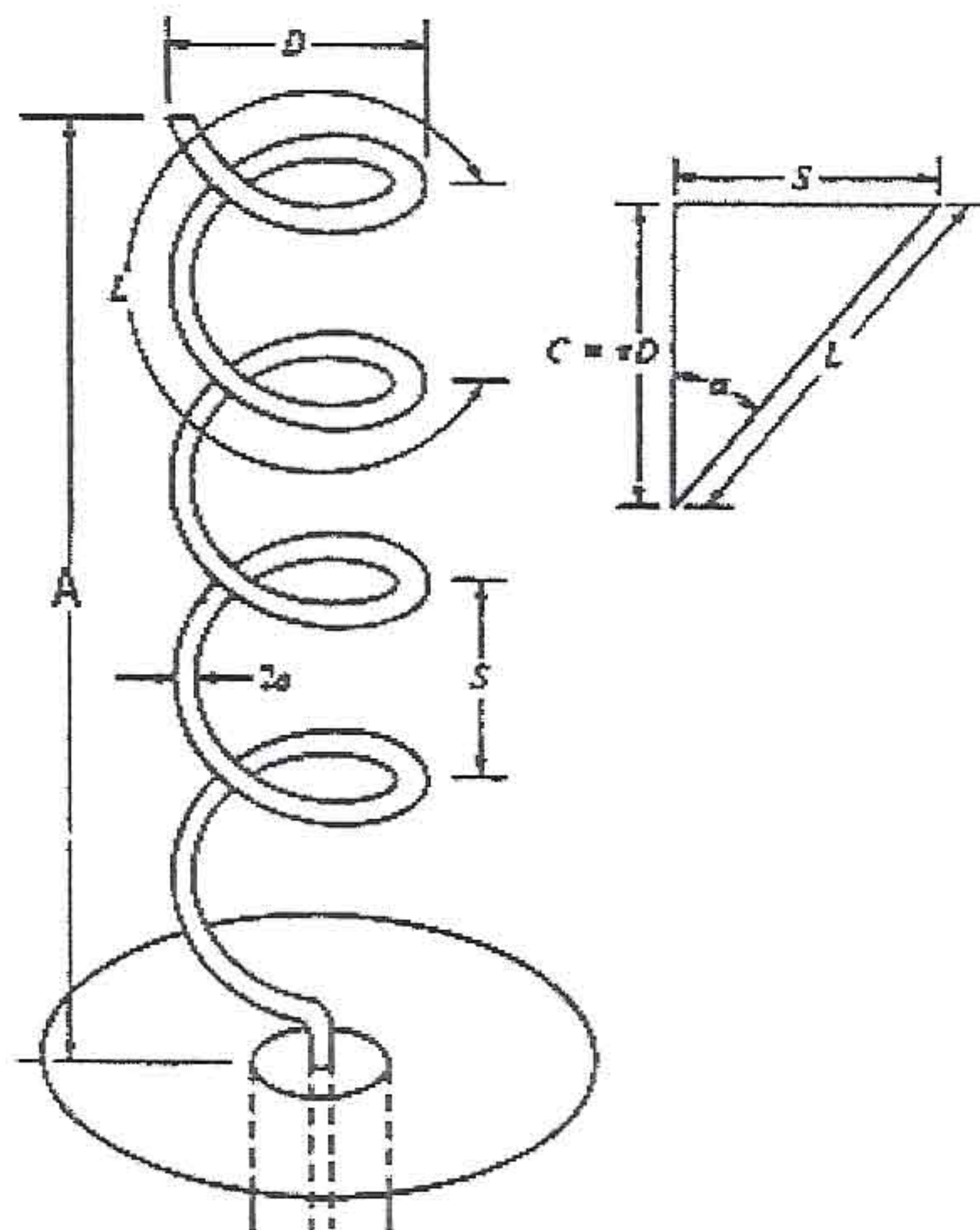
$$C = \pi D$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left\{ \frac{S}{\pi D} \right\}$$

$$L = \{S^2 + (\pi D)^2\}^{1/2}$$

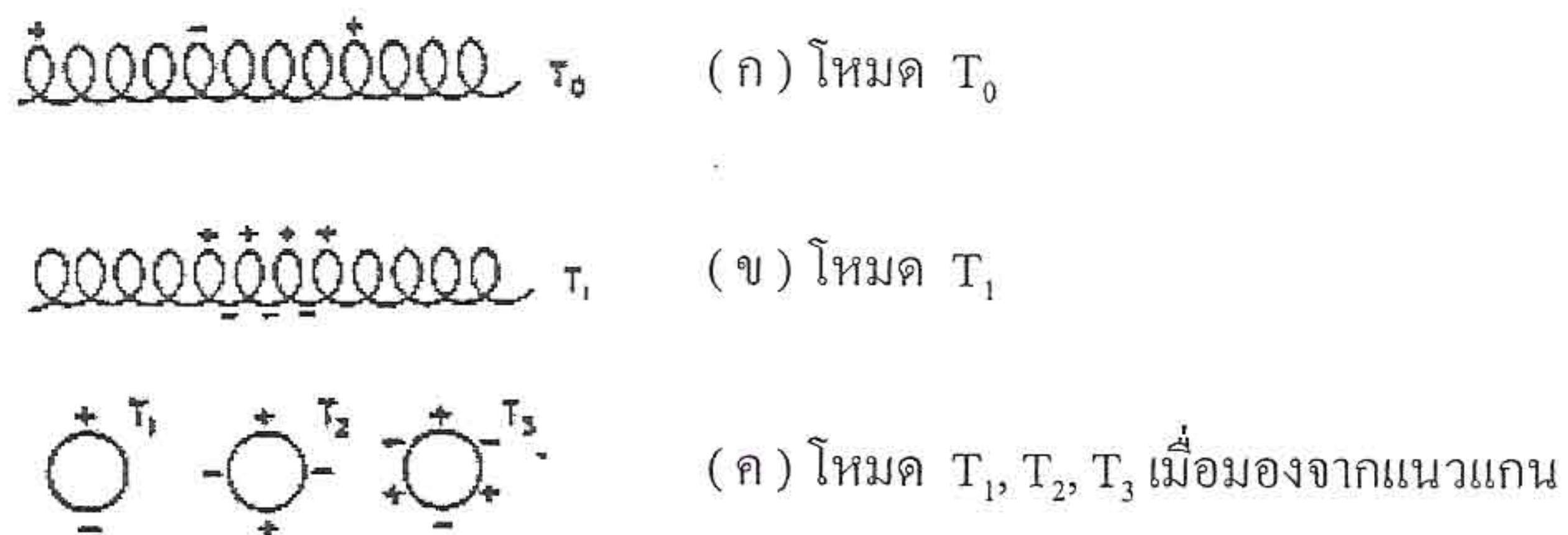
$$A = nS$$

(2.1)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของสายอากาศเฮลิคซ์

เมื่อพิจารณาโหมดของกระแสที่ไหลบนโครงสร้างของเฮลิคซ์ จากผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎีพบว่ากระแสจะไหลได้หลายโหมดดังที่แสดงไว้ในรูป 2.3 โดยที่เครื่องหมาย + และ - แสดงเครื่องหมายของประจุไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งนั้น ๆ โหมด T_0 เป็นโหมดต่ำสุดซึ่งมีบทบาทมากในกรณีที่ L สั้นกว่าความยาวคลื่นมาก ๆ ในกรณีที่ $nL \ll \lambda$ โหมดนี้จะเป็นโหมดหลักที่ทำให้เกิดการกระจายคลื่นออกไป การกระจายคลื่นในโหมดนี้จะคล้ายคลึงกับการกระจายคลื่นออกจากสายอากาศรูปขนาดเล็ก ซึ่งคลื่นที่กระจายออกป็นั้นจะออกไปในระนาบที่ตั้งฉากกับแกนของเฮลิคซ์จึงทำให้มีชื่อเรียกเป็นสายอากาศเฮลิคซ์โหมดตั้งฉาก (normal mode helical antenna) เนื่องจากสายอากาศเฮลิคซ์โหมดตั้งฉากนี้เป็นสายอากาศที่มีแบนด์วิดท์แคบจึงจะไม่กล่าวถึงรายละเอียดในที่นี้ อย่างไรก็ตามรูปร่างที่กะทัดรัดทำให้สายอากาศนี้มีที่ใช้งานวิทยุสื่อสาร ที่ไม่ต้องการแบนด์วิดท์กว้าง



รูปที่ 2.3 ประจุไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดขึ้นบนสายอากาศของเฮลิคซ์โหมดต่าง ๆ

โหมด T_1 เป็นโหมดหลักในกรณีที่ C มีค่าประมาณหนึ่งความยาวคลื่น และถ้าโครงสร้างของขดลวดมีมุมพิชต์แคบก็จะทำให้กระแสชั่วขณะมีการกระจายดังที่แสดงไว้ในรูป 2.3 (ข) และ (ค) กล่าวคือกระแสชั่วขณะที่มีเฟสเป็นบวกและมีเฟสเป็นลบจะอยู่ห่างกันครึ่งรอบหรืออยู่ฝั่งตรงข้ามของเส้นผ่านศูนย์กลาง กระแสในโหมดนี้จะทำให้เกิดการกระจายคลื่นออกไปในทิศแนวแกนและมีแบนด์วิดท์กว้างดังรายละเอียดที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป สายอากาศเฮลิคซ์ที่มีโหมด T_1 เป็นหลักนี้ จึงเรียกว่าสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกน (axial mode helical antenna)

สำหรับโหมด T_2 และ T_3 และโหมดที่สูงกว่านั้นจะเกิดขึ้น เมื่อ C มีขนาดยาวกว่าความยาวคลื่น รูปที่ 2.3 (ค) นั้นแสดงค่าประจุชั่วขณะของกรณีที่มีมุมพิชต์แคบ การกระจายคลื่นจากโหมดนี้จะออกไปหลายทิศทาง และทิศทางของเมนบีมก็เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ได้มาก ดังนั้นจึงไม่ค่อยมีที่ใช้ในแง่ของสายอากาศ

2.2 คุณสมบัติของสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกน [1]

สายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกนนี้เป็นสายอากาศที่ให้คลื่นที่มีโพลาไรเซชันแบบวงกลม ในทิศแนวแกน และมีแบนวิทที่กว้าง จึงมีที่ใช้ในงานสื่อสารทั่วไป และเป็นสายอากาศแบบโพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarized) แบบหนึ่งที่ใช้เป็นสายอากาศติดต่อกับจรวดและยานอวกาศอย่างแพร่หลาย

2.2.1 กระแสที่ไหลและอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกน

โหมดของกระแสที่ไหลบนสายอากาศเฮลิคซ์ขนาดต่าง ๆ ที่กล่าวไว้ข้างบนนั้น ได้มีผู้ทำการทดลองวัดขนาดจริง ๆ ของกระแสที่ไหลบนสายอากาศเฮลิคซ์ ซึ่งตัวอย่างของผลการวัดส่วนหนึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 ในกรณีของรูป (ก) นั้นเป็นกรณีที่ $C = 0.6\lambda$ จะเห็นได้ว่าขนาดของกระแสที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนเส้นลวดจะอยู่ในรูปคลื่นยืน (standing wave) ที่มีปลายสายเปิดวงจรอยู่สำหรับรูป (ข) นั้นเป็นกรณีที่ $C = 1.07\lambda$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดของกระแสมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอที่บริเวณส่วนใหญ่ยกเว้นปลายทั้งสองของขดลวดเหตุผลที่กระแสไหลตามแบบในรูป (ก) นั้น จะสามารถอธิบายได้โดยรูป (ค) กล่าวคือในช่วงที่ C มีขนาดประมาณ 0.6λ หรือเล็กกว่านี้ โหมดของกระแสที่ไหลจะเป็น T_0 เป็นหลัก และกระแสโหมด T_0 นี้ก็จะป้อนจากรอกจากจุดป้อนแล้วไปสะท้อนที่ปลายเส้นลวด จึงทำให้เกิดคลื่นยืนตามที่เห็นในรูป (ก)

สำหรับกรณีของรูป (ข) นั้นจะอธิบายได้โดยใช้รูป (ง) และ (จ) ดังนี้คือ ในกรณีที่ C มีขนาดประมาณหนึ่งความยาวคลื่น โหมดของกระแสที่เกิดขึ้นได้มี 2 โหมดด้วยกันคือ T_0 และ T_1 โหมด T_0 นั้นเป็นโหมดที่ไม่สามารถส่งผ่านไปตามโครงสร้างได้ จึงมีขนาดใหญ่บริเวณจุดป้อนแล้วจะมีขนาดเล็กลงอย่างรวดเร็วตามระยะทางจากจุดป้อน สำหรับโหมด T_1 นั้นจะเป็นโหมดที่สามารถส่งผ่านไปตามโครงสร้างได้ และคลื่นของโหมดนี้ที่ออกจากจุดป้อนก็จะมีขนาดคงที่ตลอดความยาวของเส้นลวด เมื่อพิจารณาที่ปลายสายคลื่นจรโหมด T_1 เมื่อพบกับปลายที่เปิดวงจรอยู่ก็จะเกิดการสะท้อนโดยการสะท้อนนี้จะมีโหมด T_0 และโหมด T_1 ถูกกระตุ้นให้เกิดขึ้นพร้อมกัน และเช่นเดียวกันที่จุดป้อนโหมด T_0 ที่สะท้อนกลับมานั้นจะเล็กลงอย่างรวดเร็วตามระยะทางจากปลายสาย ในขณะที่โหมด T_1 จะส่งผ่านเป็นคลื่นจรมกลับมาทางจุดป้อน เนื่องจากโหมด T_0 และโหมด T_1 มีค่าคงตัวของการส่งผ่านไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อรวมกระแสโหมด T_0 และโหมด T_1 เข้าไปด้วยกันจะเป็นรูปกราฟดังที่แสดงไว้ในรูป (จ) กล่าวคือจะมีบริเวณที่ค่ากระแสมีขนาดเล็กลงเกือบศูนย์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากเฟสของกระแสทั้งสองตรงข้ามกันในขณะที่ขนาดของกระแสเท่า ๆ กัน ลักษณะดังกล่าวนี้ก็จะเกิดกับกระแสที่สะท้อนกลับมาเช่นเดียวกัน และเนื่องจากกระแสโหมด T_1 ที่สะท้อนกลับมามีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับขาไป จึงทำให้คลื่นยืนที่

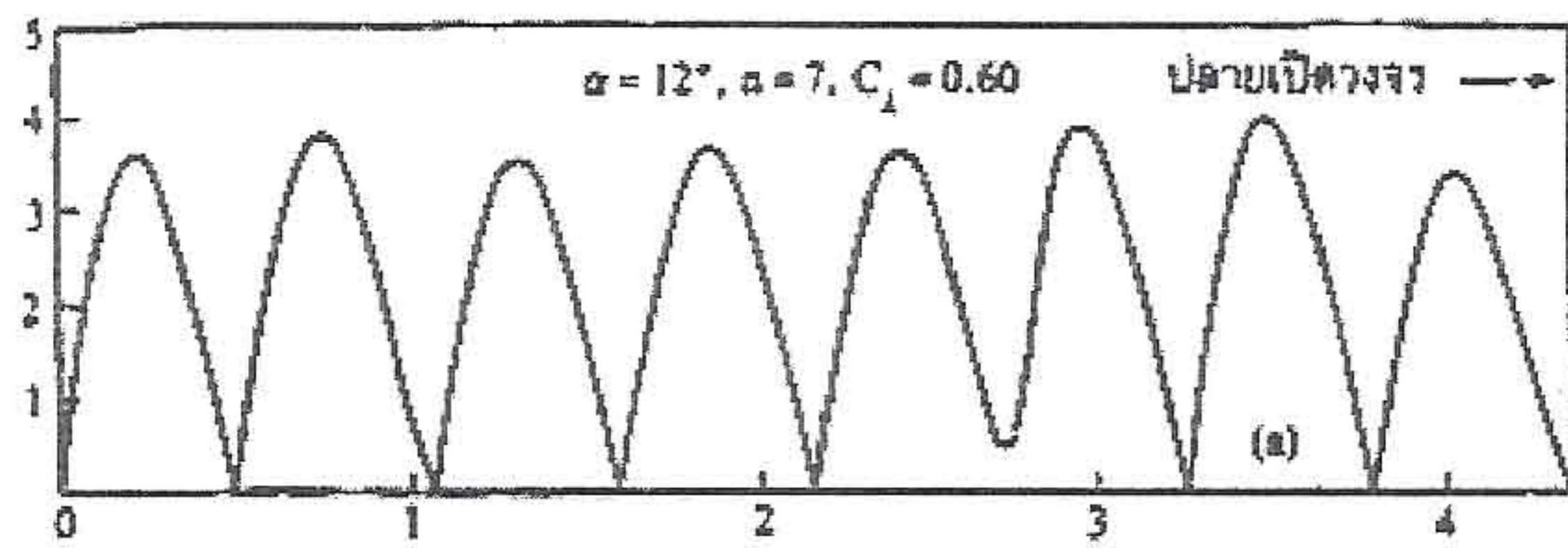
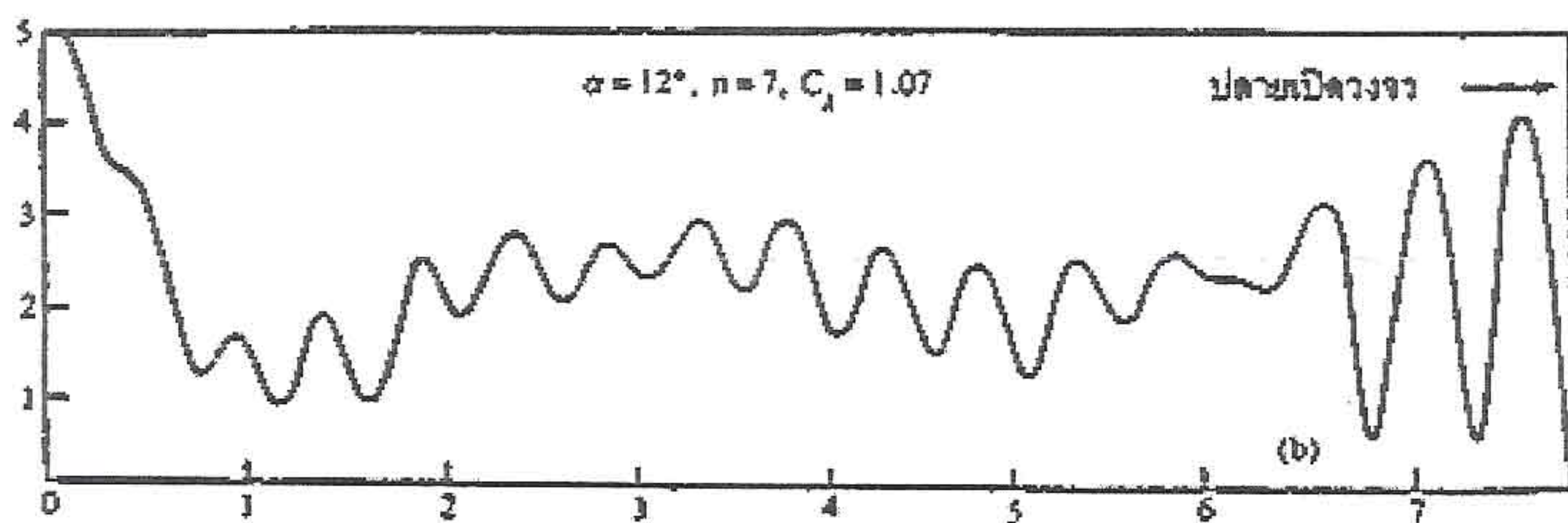
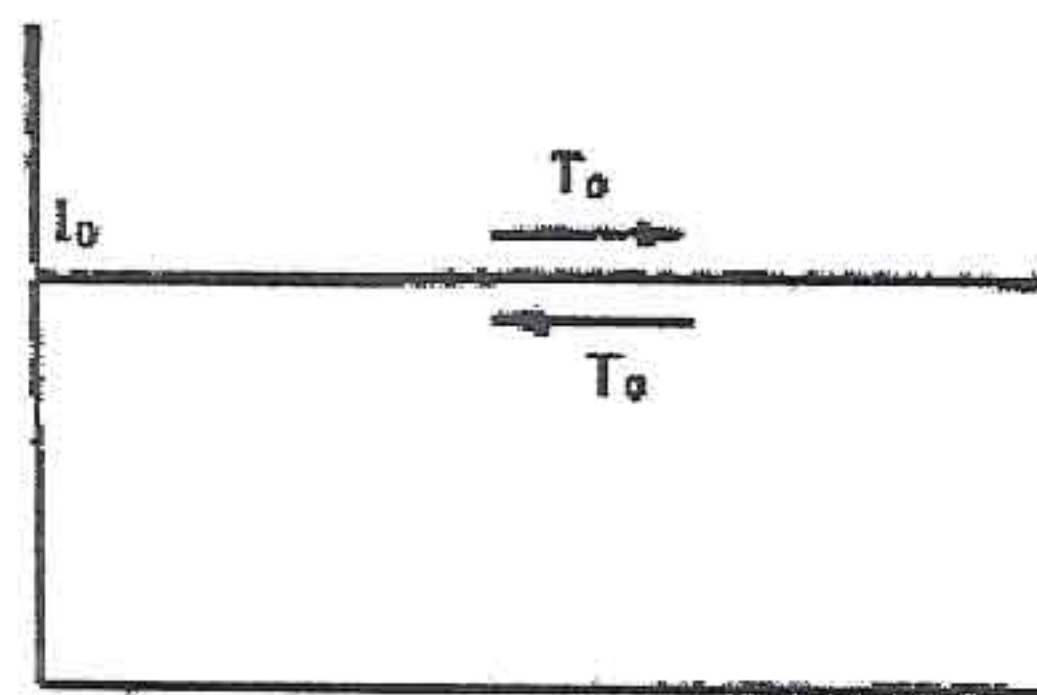
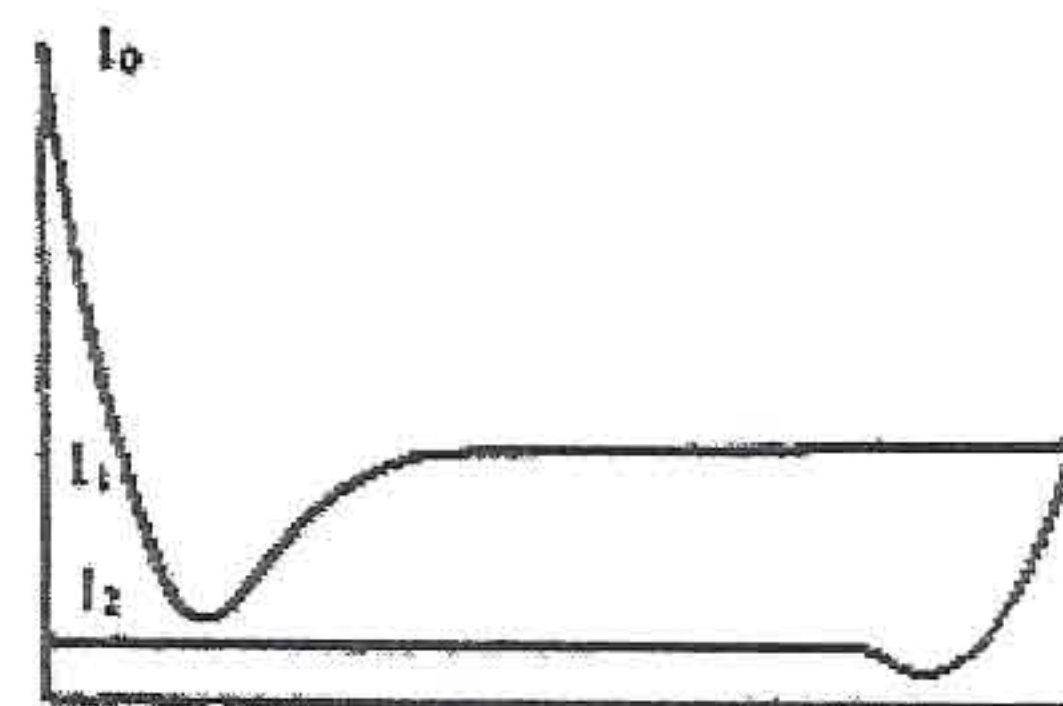
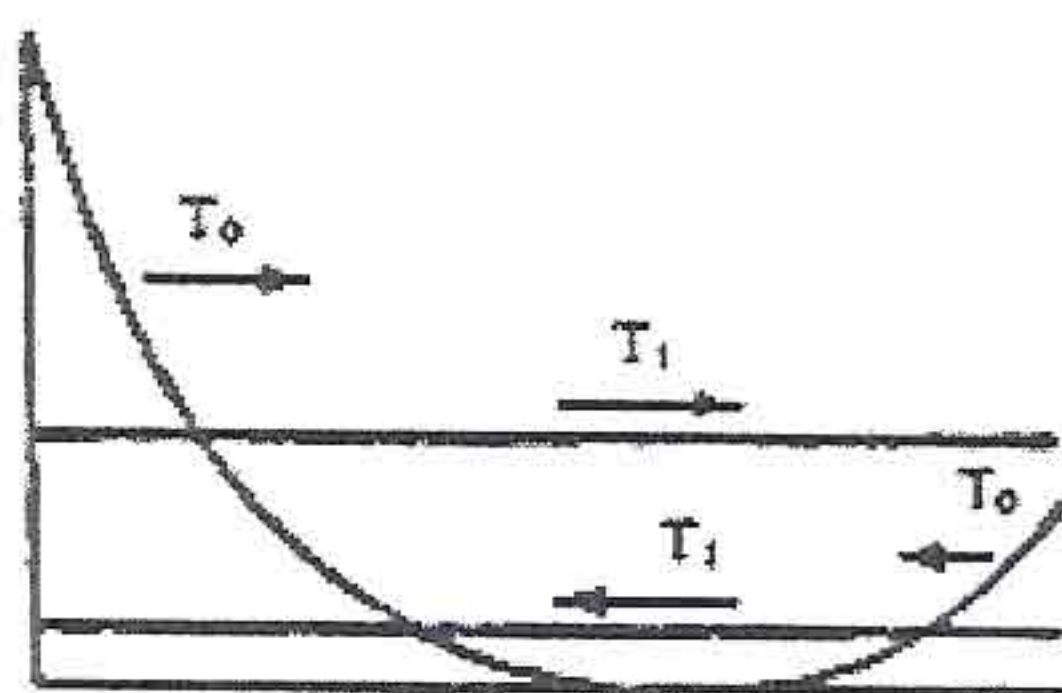
เกิดขึ้นตรงบริเวณกลาง ๆ ของขดลวดมีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอตามที่เห็นจากผลการวัดในรูป (ข) หนึ่งตามคำอธิบายข้างบนนี้จะเห็นได้ว่าความยาวของเส้นลวดเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นจะต้องมากเพียงพอ จึงจะทำให้เกิดกระแสที่บริเวณกลาง ๆ มีค่าสม่ำเสมอดังในรูป (ข) และจากการทดลองพบว่าช่วงของค่า C และมุม α ที่ทำให้ได้กระแสใกล้เคียงกับรูป (ข) นั้นคือ $3/4 \leq C/\lambda \leq 4/3$ และ $12^\circ \leq \alpha \leq 18^\circ$

เมื่อทำการพิจารณาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์จากรูปร่างของกระแสในรูป 2.4 จะพิจารณา ลักษณะเฉพาะของอินพุตอิมพีแดนซ์ของกรณีที่ C มีขนาดเล็กกว่า $2/3\lambda$ และกรณีที่ $3/4 \leq C/\lambda \leq 4/3$ ได้ดังนี้คือ ตามรูป (ก) เมื่อความถี่เปลี่ยนไป ความยาวของเส้นลวดเมื่อเทียบกับ λ จะเปลี่ยนไป ซึ่งจะทำให้กระแสของคลื่นยืนที่ปรากฏที่ขั้วอินพุตเปลี่ยนไป ผลก็คือทำให้อินพุตอิมพีแดนซ์เปลี่ยนไป และการเปลี่ยนแปลงนี้ค่อนข้างจะมากซึ่งทำให้แบนวิดท์ในเชิงของอินพุตอิมพีแดนซ์มีขนาดแคบ

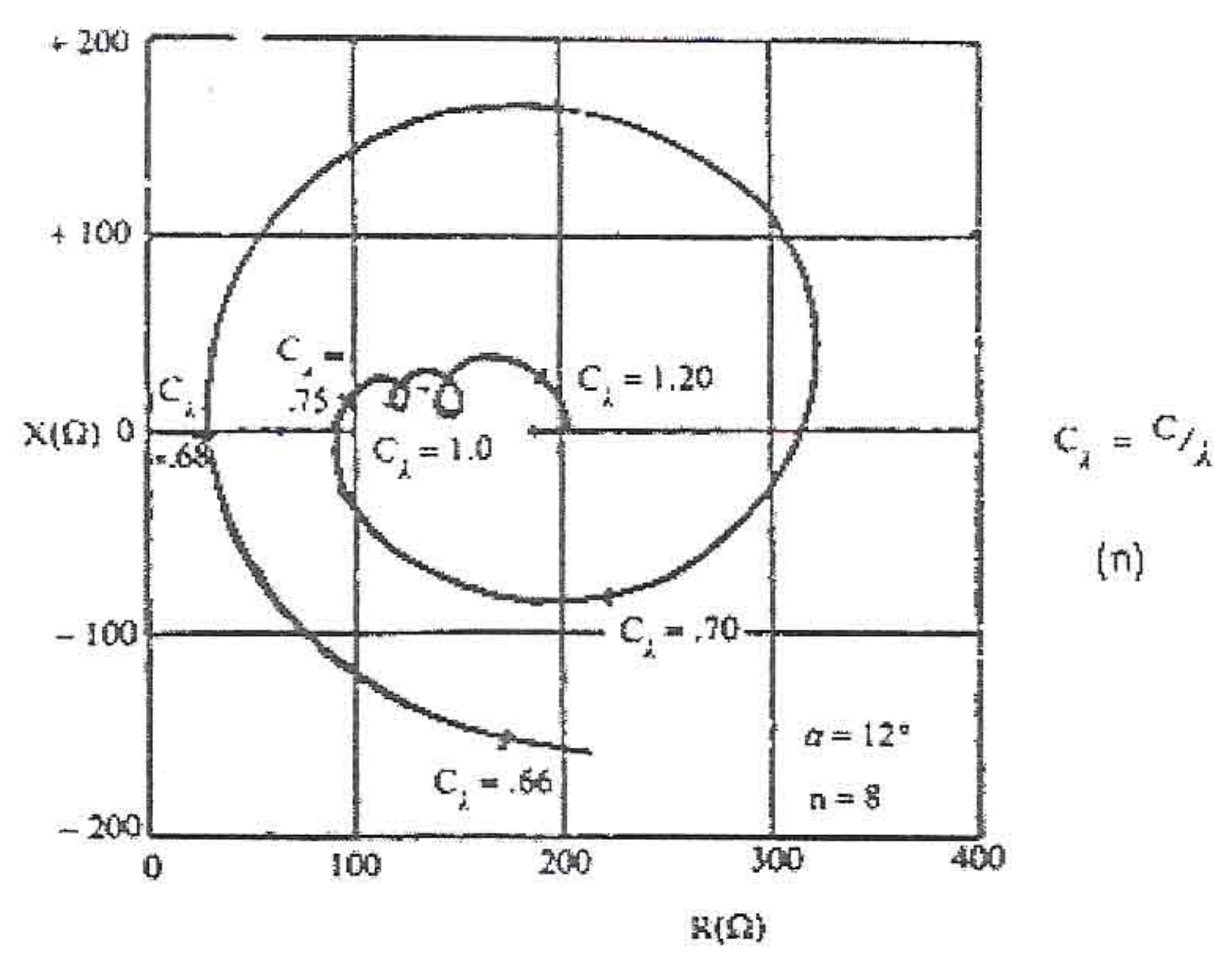
สำหรับในกรณีที่ $3/4 \leq C/\lambda \leq 4/3$ นั้น จากรูป 2.4 (จ) จะเห็นได้ว่าที่ขั้วอินพุตกระแส ฆ่าไป กับกระแสที่สะท้อนกลับมามีขนาดต่างกันมาก ทำให้ผลกระทบจากการสะท้อนกลับของ กระแสตามความถี่มีน้อยด้วย ดังนั้นสายอากาศในเงื่อนไขดังกล่าวนี้มีแบนวิดท์ในเชิงอินพุตอิมพีแดนซ์กว้าง รูป 2.5 แสดงผลการวัดอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเฮลิคซ์ตามโครงสร้างใน รูป (ก) ที่มี $\alpha = 12^\circ, n = 8$ และ $\alpha = 18^\circ, n = 5$ จากรูปจะเห็นได้ว่าที่บริเวณ C/λ ต่ำกว่า 0.7 จะมีการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ค่อนข้างมาก และบริเวณที่ C/λ อยู่ระหว่าง 0.75 ถึง 1.2 นั้น อินพุตอิมพีแดนซ์จะมีค่ารีแอคแตนซ์มาก และมีค่ารีซิสแตนซ์อยู่ในช่วง 100 ถึง 200 (Ω) สำหรับค่ารีซิสแตนซ์นี้จากผลการทดลองหลาย ๆ โครงสร้างพบว่าในเงื่อนไขต่อไปนี้คือ $3/4 \leq C/\lambda \leq 4/3$ ค่ารีซิสแตนซ์ R จะเขียนได้ดังนี้คือ

$$R = 140 \cdot C/\lambda \quad (2.2)$$

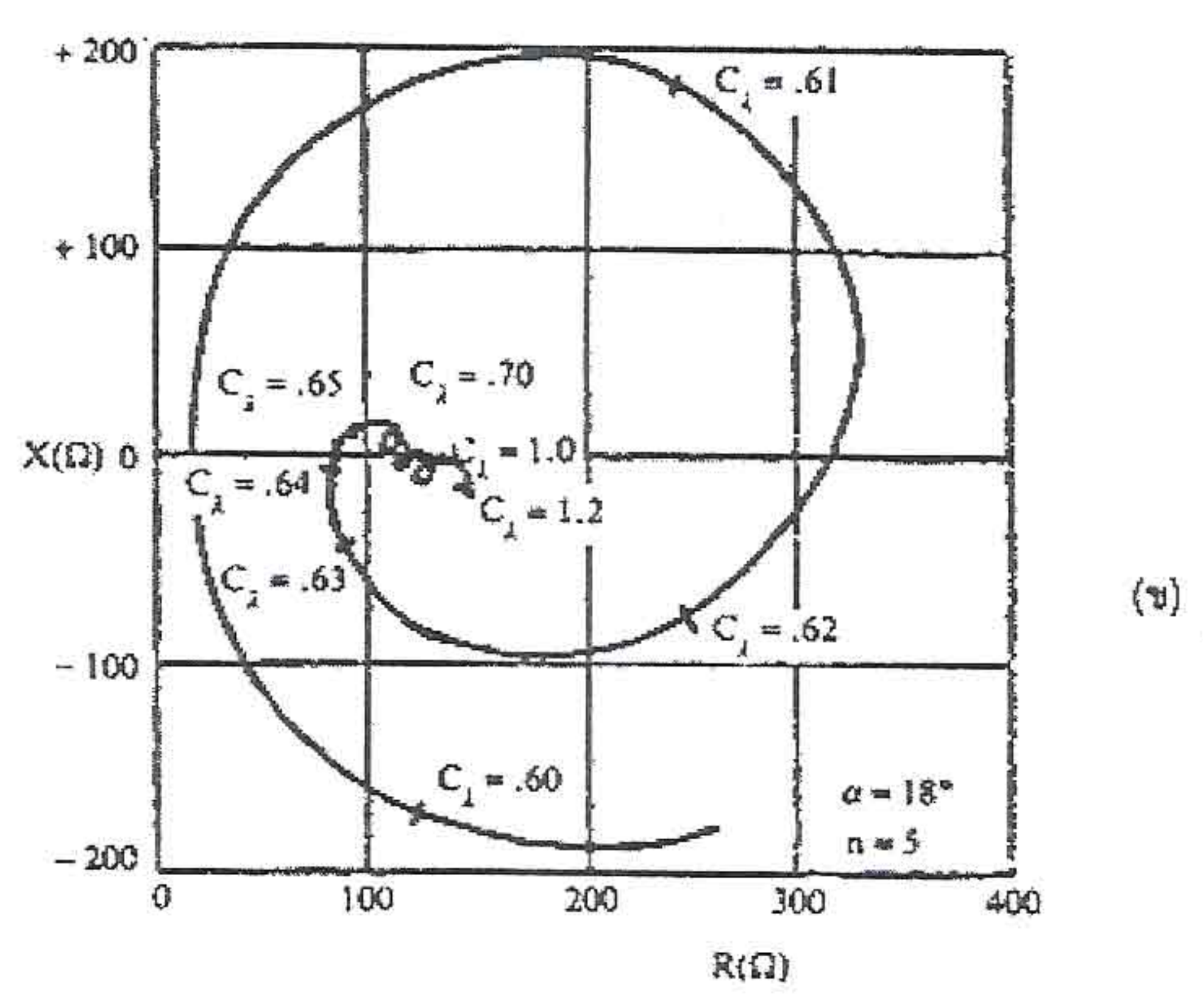
โดยมีความผิดพลาดอยู่ภายใน $\pm 20\%$

(ก) กรณีสที่มีกระแสโหมด T_0 เป็นหลัก(ข) กรณีสที่มีกระแสโหมด T_1 เป็นหลัก(ค) กระแสคลื่นจรรของกระแสโหมด T_0 (จ) กระแสคลื่นจรรของกรณีสที่มีโหมด T_1 เป็นหลัก (ฉ) กระแสรวมของกรณีสที่มีโหมด T_1 เป็นหลัก

รูปที่ 2.4 ลักษณะการไหลของกระแสบนสายอากาศเซลิคซ์ขนาดต่าง ๆ



$C_\lambda = C/\lambda$
(n)

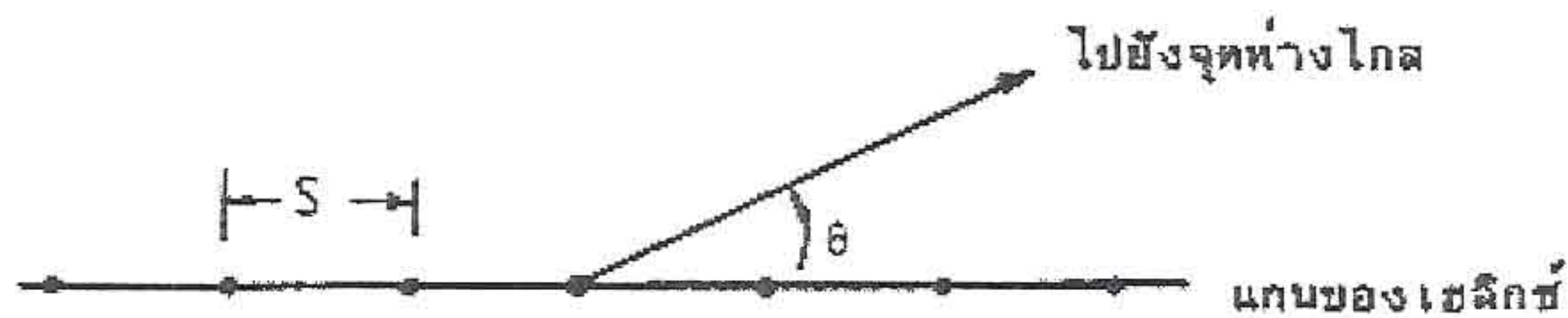


(ข)

รูปที่ 2.5 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเฮลิคซ์

2.2.2 ความเร็วเฟสของกระแสนสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกน

ในการคำนวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระจายออกไปจากสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกนนี้จำเป็นต้องรู้ความเร็วเฟสของกระแสที่ไหลบนสายอากาศ เพื่อให้การพิจารณาทำได้ง่ายจะใช้วิธีการประมาณค่าอันดับหนึ่ง กล่าวคือ สมมติให้กระแสที่ไหลบนสายอากาศอยู่ในรูปคลื่นจที่มีค่าสม่ำเสมอ การพิจารณาค่าความเร็วเฟสของกระแสที่ต้องการเพื่อให้สายอากาศเฮลิคซ์ทำงานในโหมดแนวแกนนั้นอาจจะพิจารณาได้โดยใช้หลักการของสายอากาศอะเรย์ดังนี้คือ ให้เส้นลวดแต่ละขดเป็นตัวประกอบของอะเรย์ ซึ่งจะทำให้แพทเทิร์นของการกระจายคลื่นเป็นผลคูณของแพทเทิร์นที่เกิดจากเส้นลวดหนึ่งขด กับอะเรย์แฟกเตอร์ ที่เกิดจากการเรียงตัวของกระแสนจุดที่วางห่างกัน S ดังที่แสดงไว้ในรูป 2.6 เพื่อให้



รูปที่ 2.6 การหาอะเรย์แฟกเตอร์ของสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกนโดยให้กระแสแบบจุดแทนเส้นลวดหนึ่งขด

แพทเทิร์นรวมชี้ไปในทิศแนวแกน แพทเทิร์นของอะเรย์แฟกเตอร์ก็ต้องชี้ไปในทิศแนวแกนด้วย อะเรย์แฟกเตอร์ในกรณีนี้จะเขียนได้ดังนี้คือ

$$A_n(u) = \frac{\sin\left(\frac{nu}{2}\right)}{n \sin \frac{u}{2}} \quad (2.3)$$

โดยที่

$$u = kS \cdot \cos \theta + \delta \quad (2.4)$$

และ n เป็นจำนวนตัวประกอบ และ δ เป็นเฟสของตัวประกอบที่ i เมื่อเทียบกับตัวประกอบที่ $(i-1)$ ถ้าให้ความเร็วเฟสของกระแสนบนเส้นลวดเป็น

$$v = pc \quad (2.5)$$

จะสามารถเขียนสมการ 2.4 ในรูปต่อไปนี้

$$u = \frac{2\pi}{\lambda} \left(S \cos \theta - \frac{L}{p} \right) \quad (2.6)$$

เพื่อให้แพทเทิร์นของอะเรย์แฟกเตอร์ในสมการ 2.3 ชี้ไปในทิศแนวแกนหรือเป็นเอนด์ไฟรอะเรย์ค่า u ในสมการ 2.6 ในทิศ $\theta = 0^\circ$ จะต้องเป็นดังนี้คือ

$$u = -2 \cdot \pi \cdot m \quad (2.7)$$

เมื่อแทนค่าสมการ 2.7 พร้อมเงื่อนไข $\theta = 0^\circ$ ลงในสมการ 2.6 ก็จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ดังนี้คือ

$$\frac{L}{p} = S + m\lambda \quad (2.8)$$

ในกรณีที่ $m = 1$ และ $p = 1$ ก็จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง L และ S ดังนี้คือ

$$L - S = \lambda \quad (2.9)$$

ในกรณีที่ $m = 1$ นี้ กระแสที่ไหลคือ โหมด T_1 และถ้า $m = 2$ กระแสที่ไหลก็จะเป็นโหมด T_2 ดังนั้นค่า m จึงเป็นค่าที่แสดงโหมดของกระแสที่ทำให้ได้แพทเทิร์นชี้ไปในแนวแกนด้วยอย่างไรก็ตามในกรณีที่ $m = 0$ นั้น ค่า p จะต้องใหญ่กว่า 1 จึงจะเป็นไปได้ เพราะถ้าค่า $p = 1$ จากสมการ 2.8 จะได้ว่า $L = S$ ซึ่งก็หมายถึงเส้นลวดถูกยึดเป็นเส้นตรงนั่นเอง และเนื่องจากจะไม่มีคลื่นกระจายออกไปในทิศแนวแกนของเส้นลวดเส้นตรง ดังนั้นในเงื่อนไขที่ $p = 1$ นี้ จะไม่มีคลื่นออกไปในทิศ $\theta = 0^\circ$

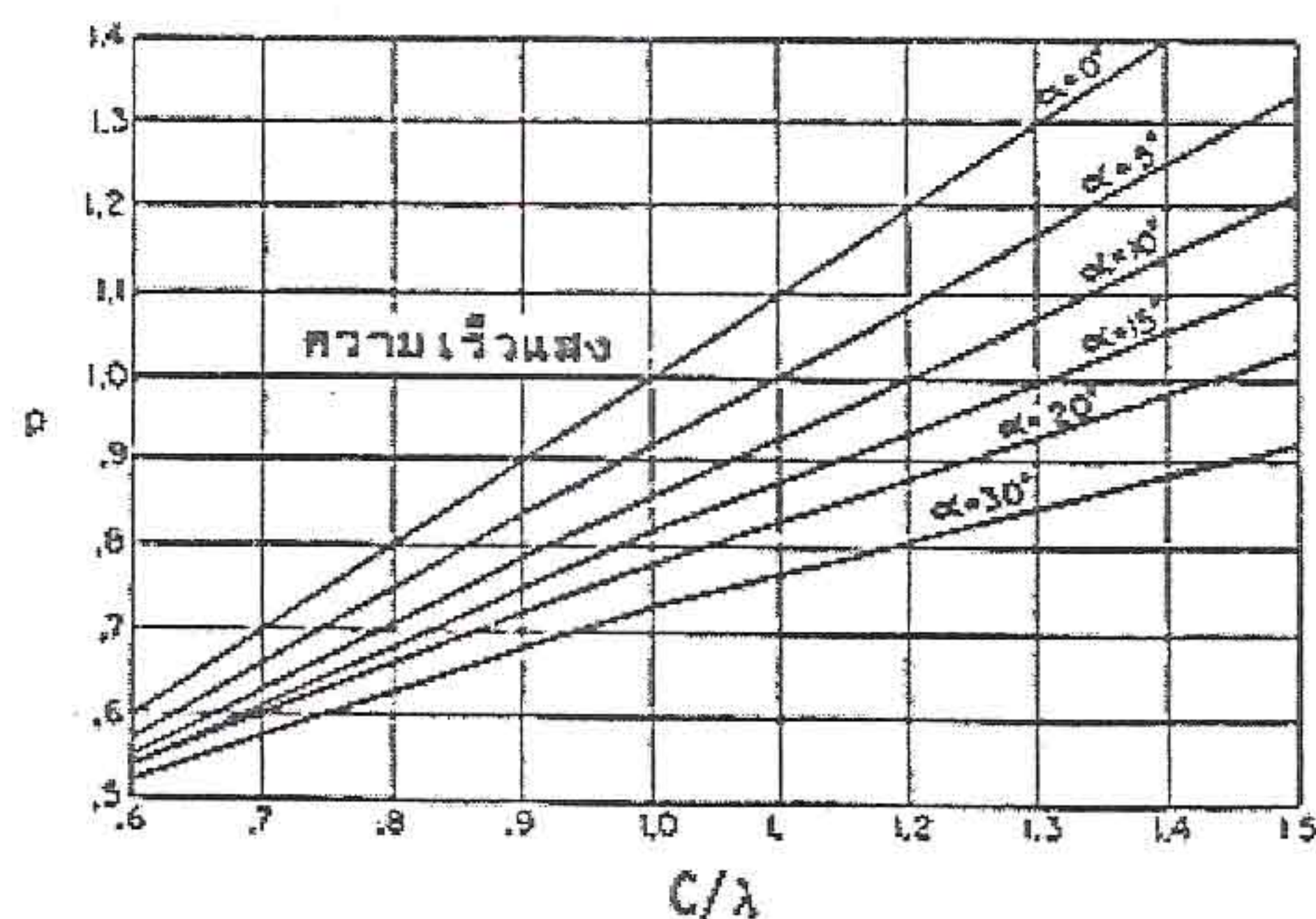
เนื่องจากโหมดที่มีคุณสมบัติในการกระจายคลื่นนั้น เป็นโหมด T_1 ดังนั้นจะขอพิจารณาเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับ p ในกรณีที่ $m = 1$ จากสมการ 2.8 จะสามารถเขียน p ได้ดังนี้คือ

$$p = \frac{L}{S + \lambda} \quad (2.10)$$

เมื่อใช้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในโครงสร้างตามสมการ 2.1 แล้วเขียนสมการ 2.10 ในรูปของ C จะได้เป็นดังนี้

$$p = \frac{1}{\sin \alpha + \cos \alpha \cdot \lambda / C} \quad (2.11)$$

โดยรูป 2.7 แสดงผลการคำนวณค่า p โดยมี C/λ เป็นตัวแปรจากรูปจะเห็นได้ว่าที่บริเวณ $3/4 \leq C/\lambda \leq 4/3$ และ $12^\circ \leq \alpha \leq 18^\circ$ ค่า p จะต่ำกว่า 1 ซึ่งจากการวัดก็ได้ค่าที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้เล็กน้อย

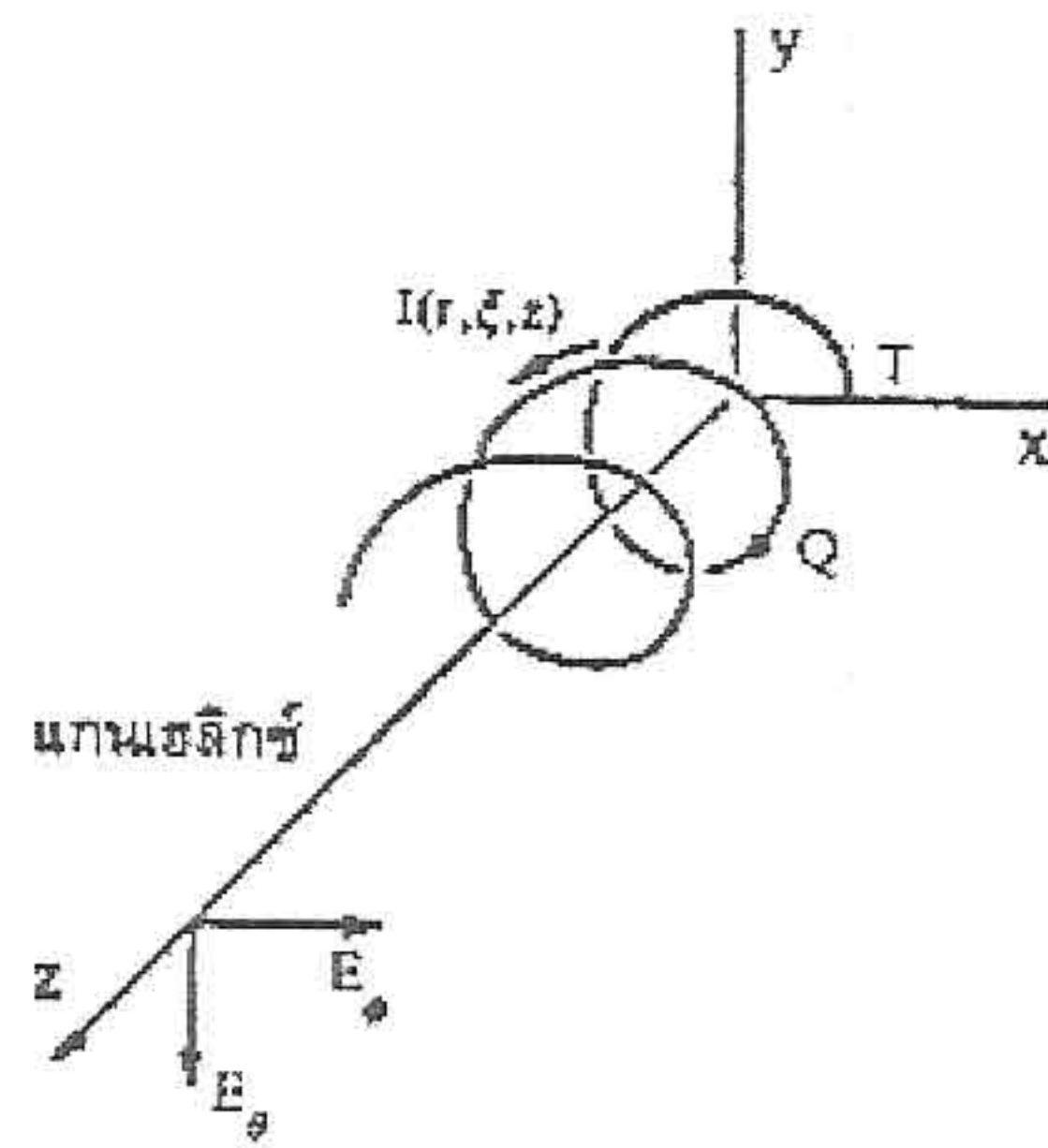


รูปที่ 2.7 อัตราส่วนระหว่างความเร็วเฟสในสายอากาศเฮลิคซ์กับความเร็วยในกรณีที่สายอากาศทำงานในโหมดแนวแกน

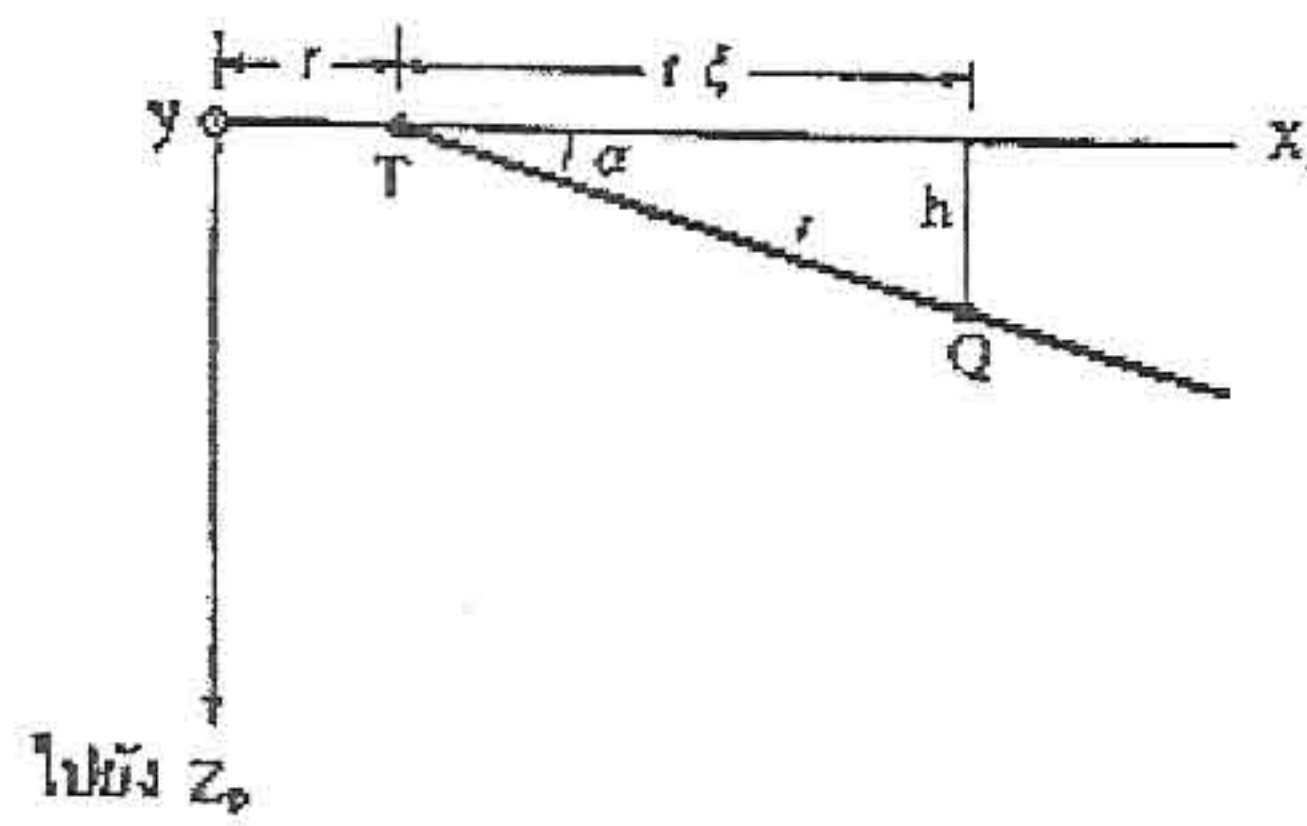
2.2.3 การกระจายคลื่นจากสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกน

การคิดการกระจายคลื่นจากสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกนนั้นจะทำได้โดยการใช้วิธีประมาณค่ากระแสให้อยู่ในรูปคลื่นจร และใช้ความเร็วเฟสของกระแสตามสมการ 2.10 หรือสมการ 2.11 ถ้าให้สายอากาศเฮลิคซ์วางตัวอยู่ในรูป 2.8 (ก) เมื่อกระแสลวดออกไปในระนาบ $x-z$ จะได้เป็นรูป (ข) ส่วนรูป (ค) แสดงรูปสายอากาศที่มองจากแกน z ตรงจุด Q ตามรูป (ค) นี้ตำแหน่งจุด Q บนเส้นลวดอาจจะแสดงได้โดยใช้ระบบแกนประสานแบบทรงกระบอกเป็น (r, ξ, z) ถ้าให้ ℓ เป็นระยะทางตามเส้นลวดจากจุดต้นทาง T ถึงจุด Q จะได้ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตของตัวแปรต่างๆ ในรูปต่อไปนี้

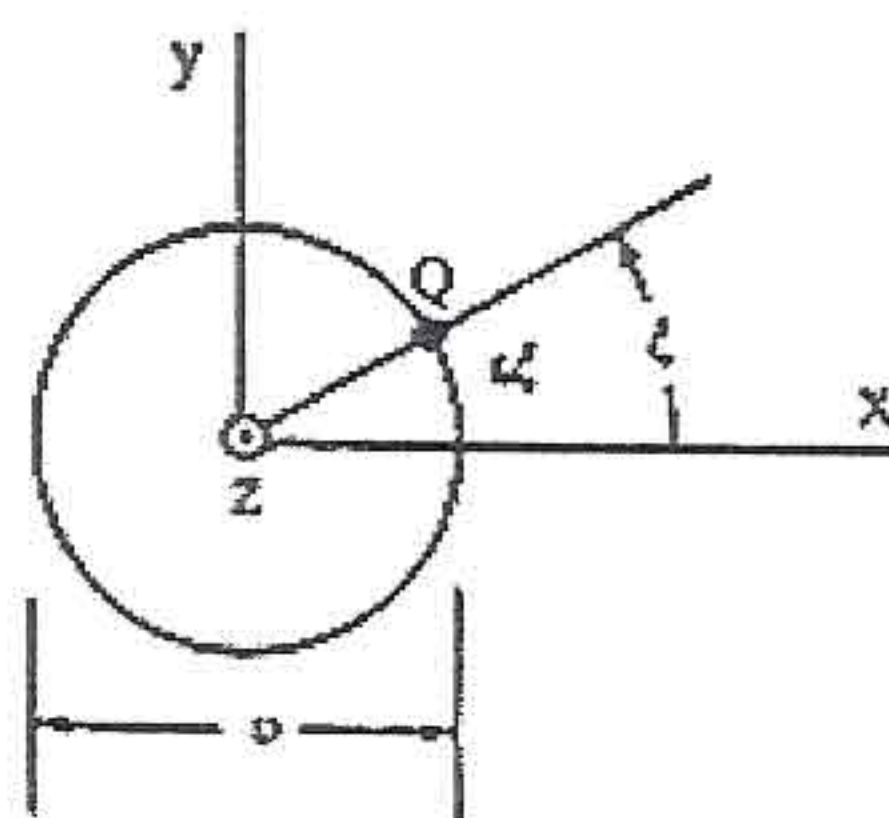
$$\begin{aligned} h &= \ell \sin \alpha \\ \alpha &= \tan^{-1} \left(\frac{S}{\pi D} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{r\xi}{\ell} \right) \\ r\xi &= \ell \cos \alpha \end{aligned} \quad (2.12)$$



(ก) การวางตัวของสายอากาศ



(ข) เมื่อแผ่นเสถียรลวดออกไปในระนาบ X-Z



(ค) เมื่อมองจากแกน Z

รูปที่ 2.8 โครงสร้างของสายอากาศเสถียรกับการคิดระยะทางไปยังจุดสังเกต

เพื่อความสะดวกในการคำนวณจะขอพิจารณาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จุดห่างไกลบนแกน และให้ระยะทางจากจุดอ้างอิงถึงจุดสังเกตเป็น Z_p จะพบว่าระยะทางจากจุด Q ถึงจุดสังเกตเป็นดังนี้คือ

$$Z_p - h = Z_p - \ell \sin \alpha \quad (2.13)$$

และกระแสที่ไหลตรงตำแหน่ง Q จะเขียนได้ดังนี้คือ

$$I(r, \xi, z) = I_0 e^{-j \frac{2\pi}{\lambda p} \cdot \ell} \quad (2.14)$$

โดยที่ I_0 เป็นขนาดของกระแสคลื่นจร จากสมการ 2.13 และสมการ 2.14 ข้างบนจะสามารถคำนวณหาสนามไฟฟ้า E_θ และ E_ϕ ในรูปต่อไปนี้เป็น

$$E_\theta = j30kI_0 \cos \alpha \frac{e^{-jkZ_p}}{Z_p} \int_0^{2\pi} \cos \xi \cdot e^{jk\ell(\sin \alpha - \frac{1}{p})} d\xi \quad (2.15)$$

$$E_\phi = j30kI_0 \cos \alpha \frac{e^{-jkZ_p}}{Z_p} \int_0^{2\pi} \sin \xi \cdot e^{jk\ell(\sin \alpha - \frac{1}{p})} d\xi \quad (2.16)$$

จาก $\ell \cos \alpha = r\xi$ ในสมการ 2.12 จะทำให้สามารถเขียน $k\ell(\sin \alpha - \frac{1}{p})$ ได้ในรูปต่อไปนี้เป็น

$$k\ell\left(\sin \alpha - \frac{1}{p}\right) = kr\xi\left(\tan \alpha - \frac{1}{p \cos \alpha}\right) \quad (2.17)$$

เมื่อแทนค่าสมการ 2.17 ลงในสมการ 2.15 และสมการ 2.16 แล้วทำการอินทิเกรต จะได้ E_θ และ E_ϕ ในรูปต่อไปนี้เป็น

$$E_\theta = 30kI_0 \cos \alpha \cdot \frac{e^{-jkZ_p}}{Z_p} \cdot \frac{k'(e^{jk'2\pi} - 1)}{(k'^2 - 1)} \quad (2.18)$$

$$E_\phi = 30kI_0 \cos \alpha \cdot \frac{e^{-jkZ_p}}{Z_p} \cdot \frac{(e^{jk'2\pi} - 1)}{(k'^2 - 1)} \quad (2.19)$$

โดยที่

$$k' = kr\left(\tan \alpha - \frac{1}{p \cos \alpha}\right) = \frac{L}{\lambda}\left(\sin \alpha - \frac{1}{p}\right) \quad (2.20)$$

เมื่อนำสมการ 2.19 หารด้วยสมการ 2.18 เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างโพลาไรเซชันในแกนหลัก (Axial ratio ย่อว่า AR) จะได้ผลดังนี้คือ

$$AR = \frac{|E_\phi|}{|E_\theta|} = \frac{|j|}{|k'|} = \frac{1}{|k'|} \quad (2.21)$$

จากสมการข้างบนจะเห็นได้ว่า ถ้า $|k'| = 1$ จะได้โพลาไรเซชันแบบวงกลม ซึ่งจะเป็นแบบหมุนซ้ายหรือหมุนขวานั้นจะขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของ k' จากสมการ 2.20 เมื่อพิจารณาว่าในช่วงที่ $3/4 \leq C/\lambda \leq 4/3$ ค่า p จะน้อยกว่า 1 ดังนั้น k' ก็ควรมีเครื่องหมายเป็นลบ ซึ่งจะได้โพลาไรเซชันวงกลมแบบหมุนขวา เงื่อนไขของโพลาไรเซชันแบบวงกลมนี้จะแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง p กับ L และ S ได้โดยสมการ 2.20 ดังนี้คือ

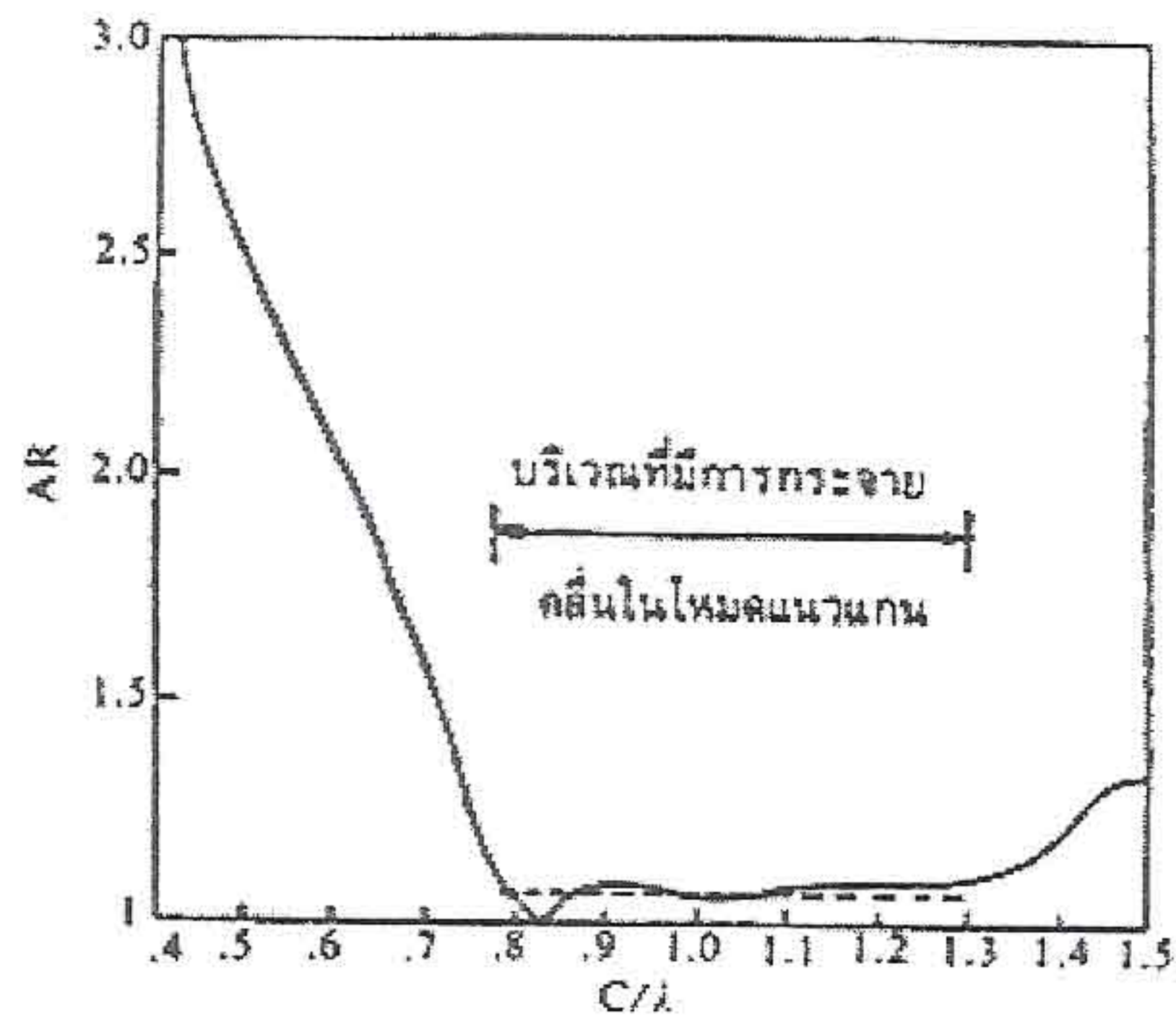
$$\frac{L}{\lambda} \left(\sin \alpha - \frac{1}{p} \right) = -1$$

$$p = \frac{L}{L \sin \alpha + \lambda} = \frac{L}{S + \lambda} \quad (2.22)$$

เงื่อนไขของ p ในสมการ 2.22 นี้จะตรงกับเงื่อนไขของ p ในสมการ 2.10 เพราะฉะนั้นสายอากาศเฮลิคซ์ที่มี C/λ ประมาณ 1 จึงสร้างคลื่นในแนวแกนที่มีโพลาไรเซชันเป็นวงกลมหรือใกล้เคียงกับวงกลม รูปที่ 2.9 แสดงผลการคำนวณสมการ 2.21 โดยให้ค่า AR อยู่ระหว่าง 1 ถึง ∞ กล่าวคือ ถ้า $|E_\theta| > |E_\phi|$ ก็จะเป็นผลการคำนวณของ AR ในรูปต่อไปนี้

$$AR = \frac{|E_\theta|}{|E_\phi|} = |k'| \quad (2.23)$$

ผลการคำนวณในรูปที่ 2.9 เป็นกรณีที่สายอากาศมีโครงสร้างเป็น $\alpha = 13^\circ$ และ n เป็น 7 รอบ และใช้ค่า p ที่ได้จากการวัดในการคำนวณ จากรูปเห็นได้ว่าที่ค่า $C/\lambda = 0.83$ จะได้ AR เป็น 1 และในช่วงที่ C/λ มีค่าอยู่ระหว่าง $3/4$ ถึง $4/3$ ค่า AR จะต่ำกว่า 1.2



รูปที่ 2.9 ค่าอัตราส่วนของโพลาริเซชันในแกนหลักของสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแวนกอน

2.2.4 การออกแบบสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแวนกอน

จากคุณสมบัติของสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแวนกอนที่กล่าวมาข้างบนจะเห็นได้ว่าถ้าต้องการให้สายอากาศเฮลิคซ์โหมดแวนกอนทำงานในลักษณะที่ให้คลื่นโพลาริเซชันวงกลมในแนวแกนของเฮลิคซ์จะต้องออกแบบให้เส้นรอบวงของเฮลิคซ์ มุมพิตช์ และจำนวนรอบมีค่าดังนี้คือ

$$\left. \begin{aligned} 3/4 \leq C/\lambda \leq 4/3 \\ 12^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ \\ n > 3 \end{aligned} \right\} \quad (2.24)$$

เมื่อทำการเลือกค่าโครงสร้างตามเงื่อนไขข้างบนแล้วจะสามารถคำนวณคุณสมบัติต่าง ๆ ของการกระจายคลื่นโดยใช้ตาราง 2.1 ซึ่งเป็นสูตรที่ทำให้ง่ายเข้าโดยผลการทดลองประกอบในการจัดทำ ดังนั้นค่าที่คำนวณได้จากสูตรต่าง ๆ เหล่านี้จะใกล้เคียงกับผลการทดลองในระดับที่ใช้งานได้

ตาราง 2.1 สูตรการคำนวณคุณสมบัติต่าง ๆ ในการกระจายคลื่นของสายอากาศเฮลิคซ์โหมด
แนวแกน

อินพุตอิมพีแดนซ์	$140C/\lambda \ (\Omega)$
บีมวิทท์	$52\lambda/C \left\{ C\sqrt{n\frac{S}{\lambda}} \right\}$ องศา
ความสามารถในการชี้ทิศ	$15\left(\frac{C}{\lambda}\right)^2 \cdot n\frac{S}{\lambda}$ เท่า
อัตราส่วนระหว่างโพลาไรเซชันในแกนหลัก	$\left \frac{L}{\lambda} \left(\sin \alpha - \frac{1}{p} \right) \right $

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์

สายอากาศเฮลิคซ์ได้ถูกสร้างขึ้นเมื่อสี่สิบปีที่ผ่านมาโดย John D. Kraus [2] เป็นสายอากาศที่ทำได้ง่ายมีรูปแบบที่เรียบง่ายส่งสัญญาณได้ไกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับย่านความถี่ 2 – 5 GHz สามารถนำสายอากาศไปใช้งานได้จริง ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการสร้างสายอากาศเฮลิคซ์ในย่านความถี่ 2.4 - 2.5 GHz ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสายอากาศในระบบ high speed packet radio (SS-PSK, 10288Mbit/s), 2.4GHz waveland, และ amateur satellite (AO40) และเหมาะสมกับการนำไปใช้กับระบบ waveland ที่มีการใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงแบบไร้สาย เช่น 802.11b/g หรือ Wi-Fi ได้

3.1. การออกแบบสายอากาศแบบเฮลิคซ์

การสร้างสายอากาศเฮลิคซ์ในโหมดแนวแกน (axial mode) นั้น เราจะต้องสร้างขดลวดสปริงที่มีจำนวนรอบของขดลวด (n) และเส้นรอบวง (C) ของขดลวดสปริงหนึ่งรอบมีค่าประมาณ หนึ่งความยาวคลื่น (λ) [2] ระยะห่าง ระหว่างรอบ (S) มีค่าประมาณ $0.25 C$ [2] ส่วนขนาดของแผ่นสะท้อน (R) มีค่าเท่ากับ C หรือ λ และมีลักษณะเป็นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมก็ได้ โครงสร้างของขดลวดถูกออกแบบให้โค้งงอตามการแพร่กระจายคลื่นแบบกลม (circular polarization) ทั้งนี้โพลาไรซ์ของคลื่นสามารถเป็นอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่าง 'right hand' หรือ 'left hand' ขึ้นอยู่กับว่าจะพันอย่างไร

เนื่องจากสายอากาศเฮลิคซ์ที่ออกแบบให้ใช้งานในระบบเครือข่ายแลนแบบไร้สาย มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g มีการใช้งานในแถบความถี่ตั้งแต่ 2.400-2.483 GHz ดังตาราง 4.1 โดยการใช้งานระบบ WLAN จะมี 4 ชุดความถี่ที่ไม่ซ้ำกันให้เลือกใช้งาน การแพร่กระจายคลื่นความถี่ในบริเวณเดียวกันนั้นจะต้องใช้ชุดความถี่เดียวกันนั้น จึงจะไม่ทำให้เกิดการรบกวนทับกันของแถบความถี่ ทั้งนี้เราจะออกแบบสายอากาศไว้ที่ความถี่กลางของช่องสัญญาณที่ 6 คือ 2.437 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่อยู่ในช่วงกลาง ๆ ของแถบความถี่ที่ใช้งานทั้งหมด

ในการออกแบบสายอากาศในโหมดแนวแกนนั้นเส้นรอบวงขดลวด C ที่ใช้จะต้องมีค่าอยู่ในช่วง $3/4 < C/\lambda < 4/3$ [3] และระดับมุม α จะต้องอยู่ระหว่าง $12^\circ < \alpha < 15^\circ$ [3] ขั้นตอนแรกนั้นเราจะหาค่าเส้นรอบวงของขดลวด C โดยกำหนดให้ค่า $C = \lambda$ โดยความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งานมีค่าเท่ากับ

ตาราง 3.1 ความถี่และช่องสัญญาณต่าง ๆ ในระบบ WLAN มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g

ช่องสัญญาณ	ความถี่กลาง	ช่วงสเปกตรัมที่ใช้งาน	อยู่ในชุดความถี่ที่
1	2412 (GHz)	2401- 2423 (GHz)	1
2	2417 (GHz)	2406- 2418 (GHz)	2
3	2422 (GHz)	2411- 2433 (GHz)	3
4	2427 (GHz)	2416- 2438 (GHz)	4
5	2432 (GHz)	2421- 2443 (GHz)	5
6	2437 (GHz)	2426- 2448 (GHz)	1
7	2442 (GHz)	2431- 2453 (GHz)	2
8	2447 (GHz)	2436- 2458 (GHz)	3
9	2452 (GHz)	2441- 2463 (GHz)	4
10	2457 (GHz)	2446- 2468 (GHz)	5
11	2462 (GHz)	2451- 2473 (GHz)	1
12	2467 (GHz)	2456- 2478 (GHz)	2
13	2472 (GHz)	2461- 2483 (GHz)	3

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (3.1)$$

$$= \frac{2.998 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.437 \text{ GHz}}$$

$$\lambda = 0.123 \text{ m}$$

โดย

v คือ ความเร็วแสง

f คือ ความถี่ที่ใช้งาน

ดังนั้นจะได้ค่า $C = 123 \text{ mm}$ เมื่อนำมาคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด (D) จะได้

$$D = \frac{C}{\pi} \quad (3.2)$$

$$= \frac{123 \text{ mm}}{\pi}$$

$$= 39 \text{ mm}$$

ในการสร้างสายอากาศนั้นเราจะใช้ท่อ PVC มาเป็นแกนพันขดลวด โดยลวดที่นำมาพันนั้น เราใช้เส้นลวดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) 2 มิลลิเมตร ดังนั้นเราจะต้องการท่อ PVC ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 37 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ $D = 39$ มิลลิเมตร ตามสมการ 3.2 ที่อย่างไรก็ตาม ท่อ PVC ที่มีขายนั้น ไม่มีขนาดตามที่เรต้องการ เราจึงเลือกใช้ท่อ PVC ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงที่สุดคือ 42 มิลลิเมตร และนำมาทำให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียง 37 มิลลิเมตรมากที่สุด แต่ไม่สามารถทำได้เนื่องจากการกลึงท่อมากเกินไป จะทำให้ท่อ PVC มีขนาดบางมากจนไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นเราจึงต้องกลึงท่อ PVC ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเป็น 40 มิลลิเมตร และเมื่อนำค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และของลวดมารวมกันเราจะได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด $D = 4.2$ เซนติเมตร

ดังนั้นเราจึงนำค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด D ที่ได้ใหม่นี้มาคำนวณเพื่อหาค่าเส้นรอบวงของขดลวดเฮลิคซ์ C ที่เหมาะสมกับการใช้งานได้ดังนี้

$$\begin{aligned} C &= \pi \cdot D \\ &= \pi \cdot 42 \text{ mm} \\ &= 132 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.3)$$

จากค่า C ในสมการ 3.3 จะได้ค่า C/λ ได้เท่ากับ 1.07 ซึ่งใกล้กับจุดกึ่งกลางระหว่างค่า $3/4$ กับ $4/3$ มาก และเป็นจุดที่ดี สำหรับสายอากาศแบบเฮลิคซ์ในโหมดแนวแกน เมื่อเราได้ค่าเส้นรอบวงของขดลวดเฮลิคซ์ C ที่เหมาะสมแล้ว เราจึงสามารถคำนวณหาค่าของระยะห่างระหว่างขดลวด S ได้เป็น

$$\begin{aligned} S &= \frac{C}{4} \\ &= \frac{132 \text{ mm}}{4} \\ &= 33 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.4)$$

และระดับมุมพีชหาได้จาก

$$\begin{aligned} \alpha &= \tan^{-1} (S/C) \\ &= \tan^{-1} (33 / 132) \\ &= 14.036^\circ \end{aligned} \quad (3.5)$$

จะเห็นได้ว่ามุมพีชมีค่าอยู่ระหว่าง 12° ถึง 15° เพื่อต้องการให้กระแสไฟฟ้าไหลในสายอากาศมีความสม่ำเสมอ [2] ส่วนขนาดของแผ่นสะท้อน R มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่าค่า C หรือ λ แต่ในที่นี้เราให้แผ่นสะท้อนรูปวงกลมมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 140 มิลลิเมตร

อัตราขยาย ของสายอากาศแบบเฮลิคซ์ ในโหมดแวนแวนนั้น จะกำหนดจากจำนวนรอบของขดลวด (n) ถ้ามีจำนวนรอบมากก็จะมีอัตราขยายมากตามไปด้วย เพื่อให้สายอากาศแบบเฮลิคซ์สามารถใช้งานได้ในระยะทางไกลถึง 2 กิโลเมตรในแนวเส้นตรง จำนวนรอบของขดลวดจะมีประมาณ 12 รอบ และสายอากาศจะมีอัตราขยาย (Gain) แบบไอโซทรอปิกหาได้จาก [4]

$$\begin{aligned} \text{Gain} &= 11.8 + 10 \log \left\{ (C/\lambda)^2 \cdot n \cdot (S/\lambda) \right\} \\ &= 11.8 + 10 \log \left\{ \left(\frac{132}{123} \right) \cdot 12 \cdot \left(\frac{33}{123} \right) \right\} \\ &= 17.5 \text{ dBi} \end{aligned} \quad (3.6)$$

โดยความยาวท่อที่ใช้พันขดลวด (A)

$$\begin{aligned} A &= n \cdot S \\ &= 12 \cdot 33 \text{ mm} \\ &= 400 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.7)$$

ค่ารีซิสแตนซ์ของสายอากาศหาได้จาก

$$\begin{aligned} R &= 140 \cdot \frac{C}{\lambda} \\ &= 140 \cdot \frac{132}{123} \\ &= 150 \Omega \end{aligned} \quad (3.8)$$

ความต้องการในการเข้ากันได้ระหว่าง วงจรข่าย จำเป็นต้องให้ค่าความต้านทานของสายอากาศมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานของสาย Coaxial 50 Ohm และ Connector 50 Ohm เราจึงต้องใช้ stub ที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ

$$\begin{aligned} Z_s &= \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \\ &= \sqrt{50 \cdot 150} \\ &= 87 \Omega \end{aligned} \quad (3.9)$$

โดย

Z_1 คือ ค่ารีซิสแตนซ์ของสาย Coaxial
 Z_2 คือ ค่ารีซิสแตนซ์ของสายอากาศ

เพื่อให้ได้ค่าความต้านทานของ stub ประมาณ 87Ω จะต้องใช้แผ่นทองแดงรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก ขนาด ฐาน $\times$ สูง เท่ากับ $17 \text{ mm} \times 71 \text{ mm}$ [5] และเชื่อมต่อต่อ stub ไว้ระหว่างปลายเส้นลวดกับ คอนเนกเตอร์ N-Type 50Ω จึงจะทำให้ได้อิมพีแดนซ์เข้าคู่กันได้

ทั้งนี้ค่าความกว้างลำครึ่งกำลัง (half-power beam width : HPBW) ของสายอากาศแบบเฮลิคซ์ ที่ถูกออกแบบไว้นั้น หาได้จาก [2]

$$\begin{aligned} HPBW &= \frac{52^\circ}{(C/\lambda) \cdot \sqrt{n \cdot (S/\lambda)}} \\ &= \frac{52^\circ}{\left(\frac{132}{123}\right) \cdot \sqrt{12 \cdot \left(\frac{33}{123}\right)}} \\ &= 27^\circ \end{aligned} \quad (3.10)$$

ค่าความกว้างลำระหว่างช่องว่างแรก (beam width between first nulls : BWFN) หาได้จาก [2]

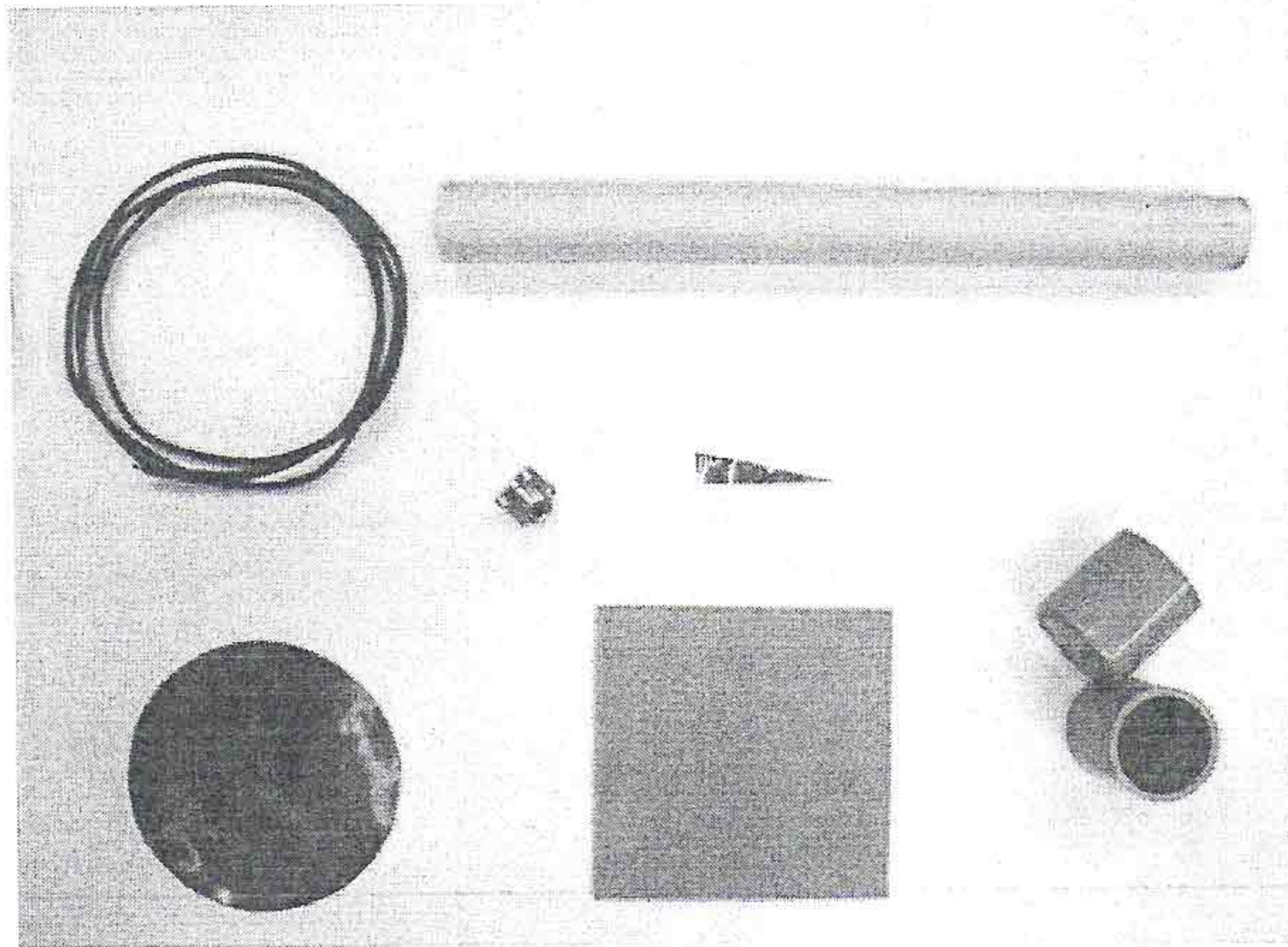
$$\begin{aligned} BWFN &= \frac{115^\circ}{(C/\lambda) \cdot \sqrt{n \cdot (S/\lambda)}} \\ &= \frac{115^\circ}{\left(\frac{132}{123}\right) \cdot \sqrt{12 \cdot \left(\frac{33}{123}\right)}} \\ &= 59.7^\circ \end{aligned} \quad (3.11)$$

3.2 การสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์

การสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์นั้น จะใช้วัสดุที่เบาและทนทาน ที่สามารถหาได้ง่ายและราคาไม่แพง โดยรายการวัสดุที่ใช้งานมีดังนี้

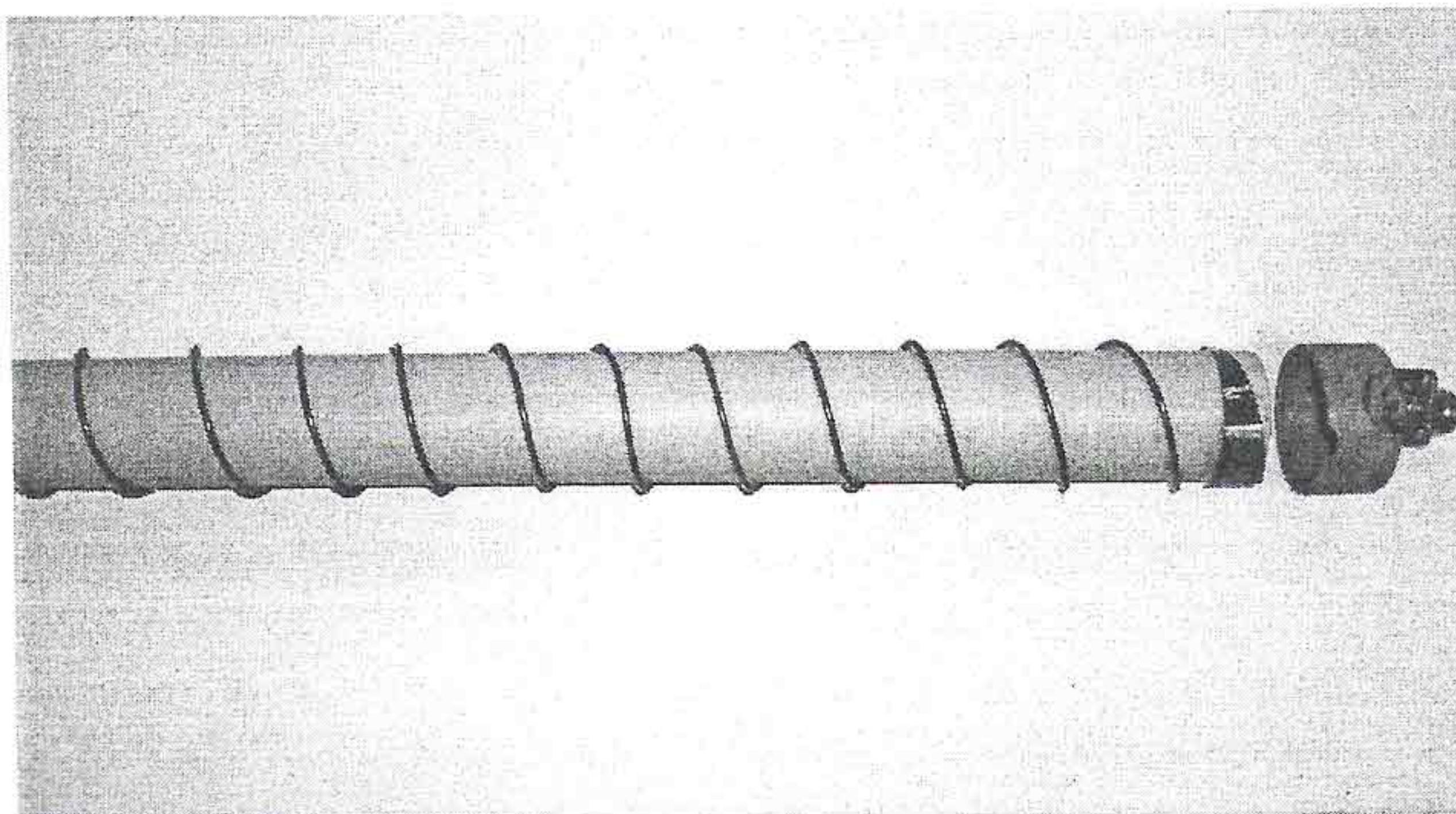
- 1) สายทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร
- 2) ท่อ PVC สีเหลืองนำไปกลึงให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 40 มิลลิเมตรยาว 42 เซนติเมตร
- 3) แผ่นทองแดงสำหรับการสะท้อนคลื่นตัดให้เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร
- 4) แผ่นอะคริลิกใส ตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส 2 แผ่นขนาด 14×14 เซนติเมตร
- 5) แผ่นทองแดงที่นำมาทำเป็นสตัป ตัดให้เป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉากขนาด ฐาน $\times$ สูง เท่ากับ 17×71 มิลลิเมตร
- 6) ฝาครอบท่อ PVC
- 7) คอนเนกเตอร์ชนิด N-TYPE Female 50 Ohm

โดยวัสดุต่าง ๆ ที่ต้องจัดเตรียมไว้อยู่ในรูป 3.1



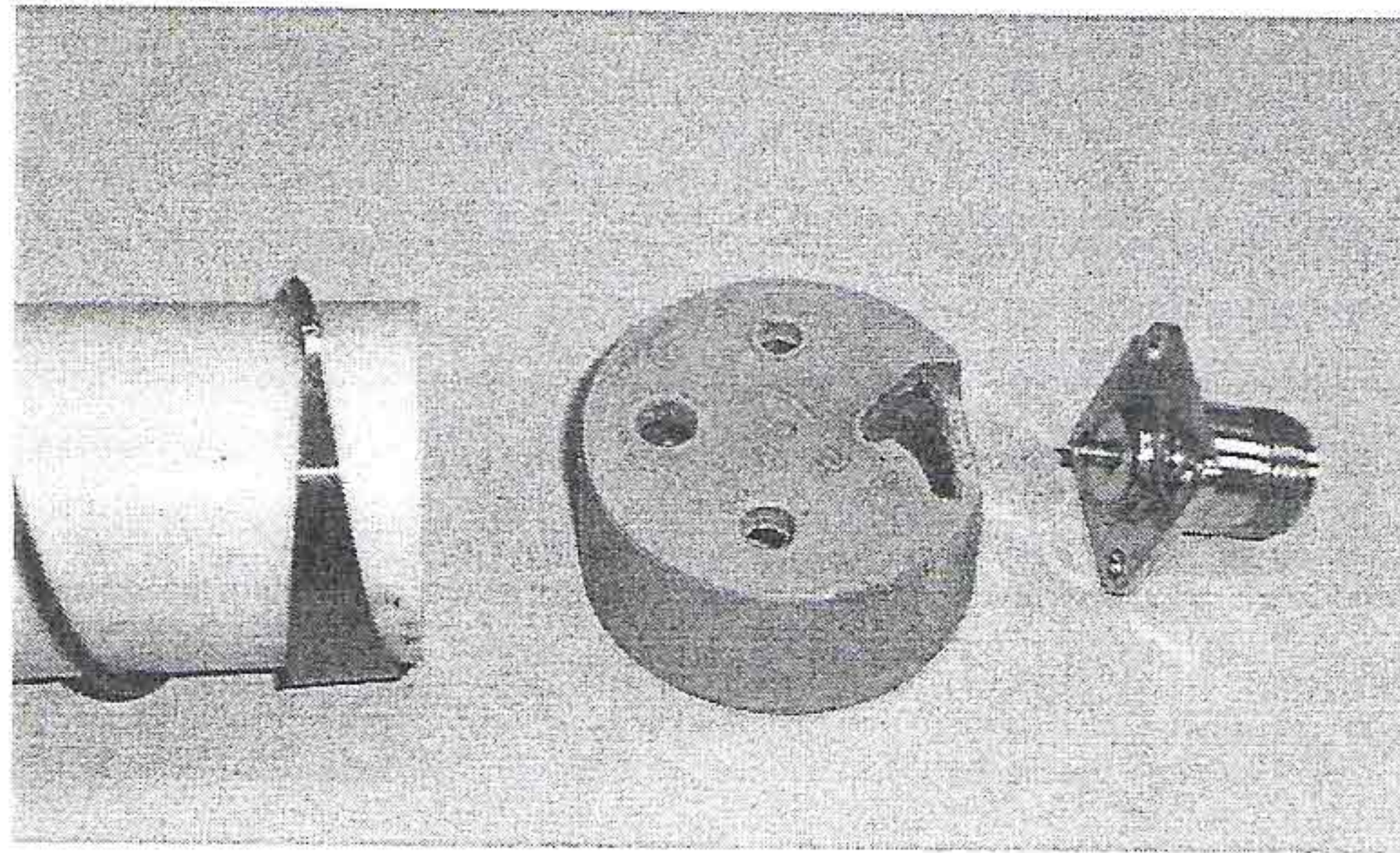
รูปที่ 3.1 การจัดเตรียมวัสดุต่าง ๆ ในการสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์

จากนั้นให้กำหนดแนวเส้นในการพันสายไฟกับท่อ PVC โดยให้เป็นเกลียวและมีระยะระหว่างเกลียว 33 มิลลิเมตร และพันสายไฟตามแนวที่อยู่บนท่อ จากนั้นใส่กาวเพื่อยึดติดดังรูป 3.2



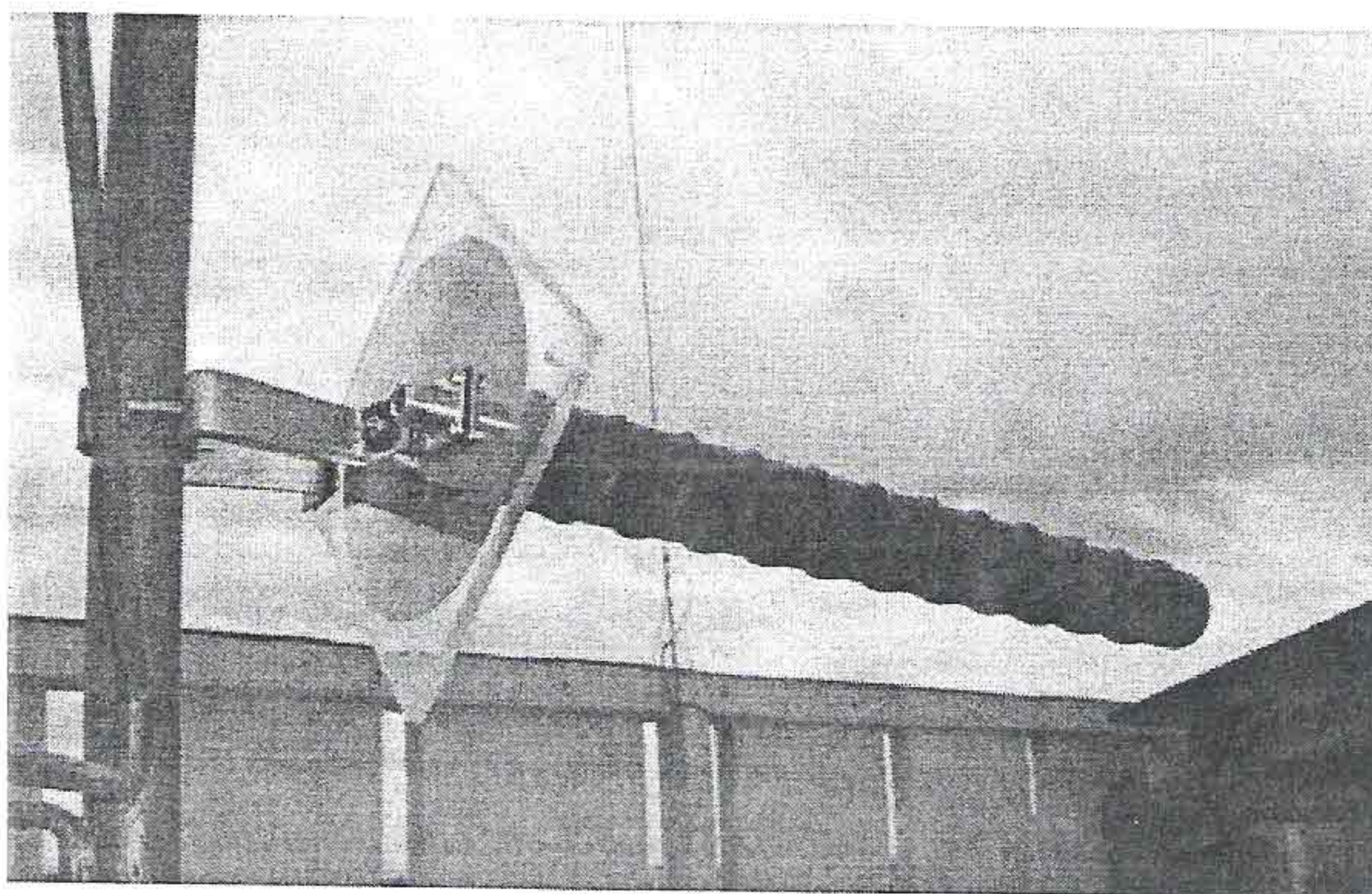
รูปที่ 3.2 การพันสายสายไฟเข้ากับท่อ PVC

จากนั้นให้นำปลายด้านหนึ่งของสายไฟให้เชื่อมต่อเข้ากับปลายของสตั๊ป ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 รูปแบบการเชื่อมต่อสตั๊ปเข้ากับปลายขดลวด และคอนเนกเตอร์ N-TYPE กับ ฐานรอง PVC ที่เตรียมไว้

ให้เจาะรูฝาครอบท่อ ดังรูป 3.3 และประกอบเข้ากับท่อ PCV ทางด้านที่ต่อกับสตั๊ป เพื่อทำเป็นฐานรองยึดติดกับแผ่นสะท้อน จากนั้นให้ประกบแผ่นอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้เข้ากับ แผ่นทองแดง วงกลมสำหรับการสะท้อนคลื่น และเจาะรูเพื่อติดตั้งเข้ากับคอนเนกเตอร์ N-TYPE ชนิด Female 50 Ohm โดยให้ปลายเข็มของคอนเนกเตอร์ อยู่ตรงแนวของแผ่นสะท้อนทองแดง จากนั้นนำชุดแผ่น สะท้อนคลื่นประกอบเข้ากับ ฐานรองท่อและเชื่อมต่อปลายสตั๊ปอีกด้านหนึ่งเข้ากับ เข็มของคอนเนกเตอร์ N-TYPE จากนั้นใช้ท่อหดหุ้มทับอีกชั้นหนึ่งโดยสายอากาศที่สร้างเสร็จแล้วแสดงได้ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 สายอากาศแบบเฮลิคซ์เมื่อสร้างเสร็จสมบูรณ์

บทที่ 4

การวัดและทดสอบสายอากาศแบบเฮลิคซ์

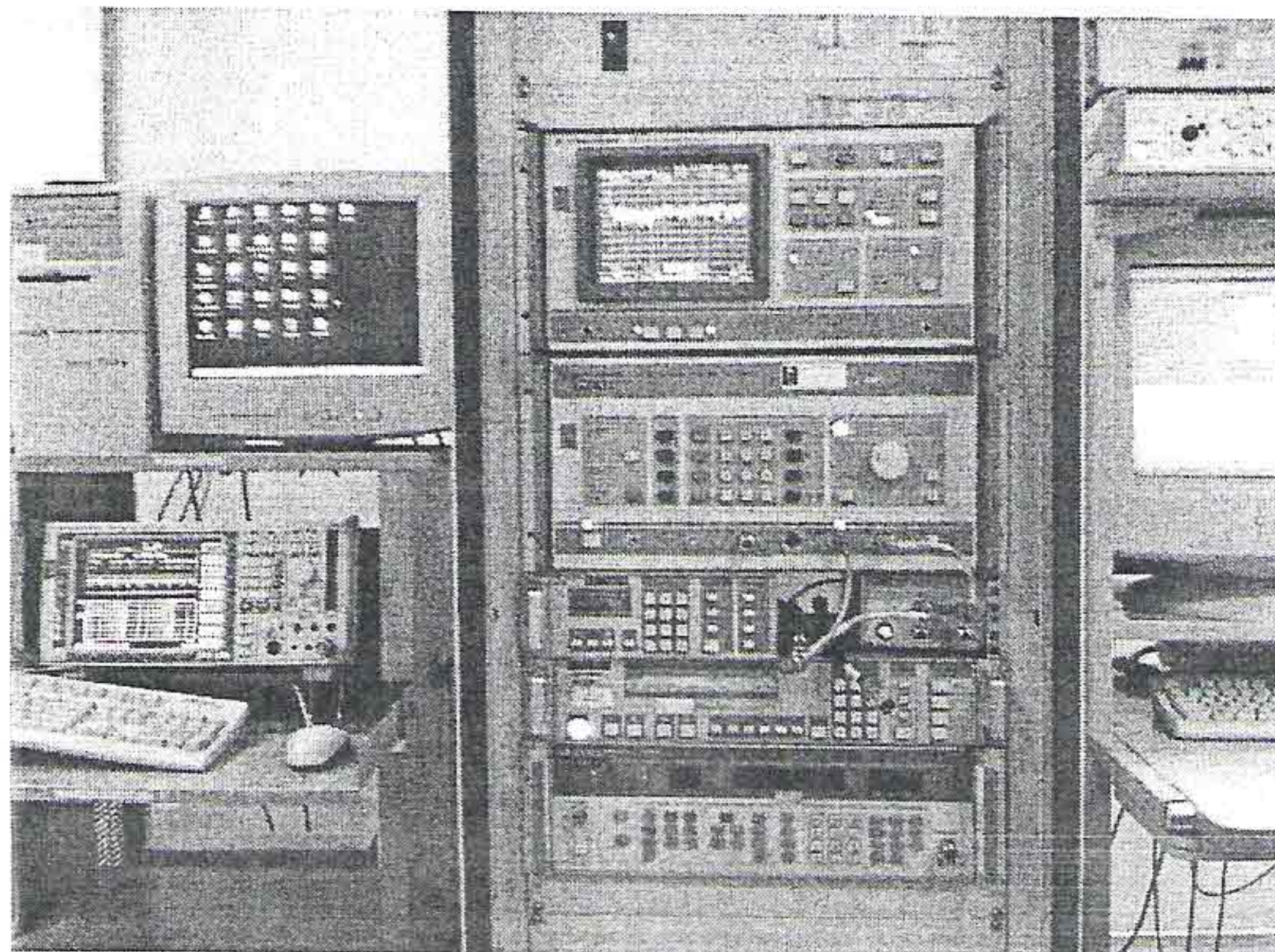
ในบทนี้จะกล่าวถึงการวัดและทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่ได้ ออกแบบและสร้างไว้ในบทที่ 3 ในวัดและทดสอบสายอากาศแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ และการทดสอบสายอากาศในการใช้งานจริงในการเชื่อมต่อ เครื่องข่ายคอมพิวเตอร์ ระหว่างอาคารผ่านบริดจ์ไร้สาย และการทดสอบการวัดค่ากำลังของสัญญาณ ที่ระยะทางต่าง ๆ กัน

4.1 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ

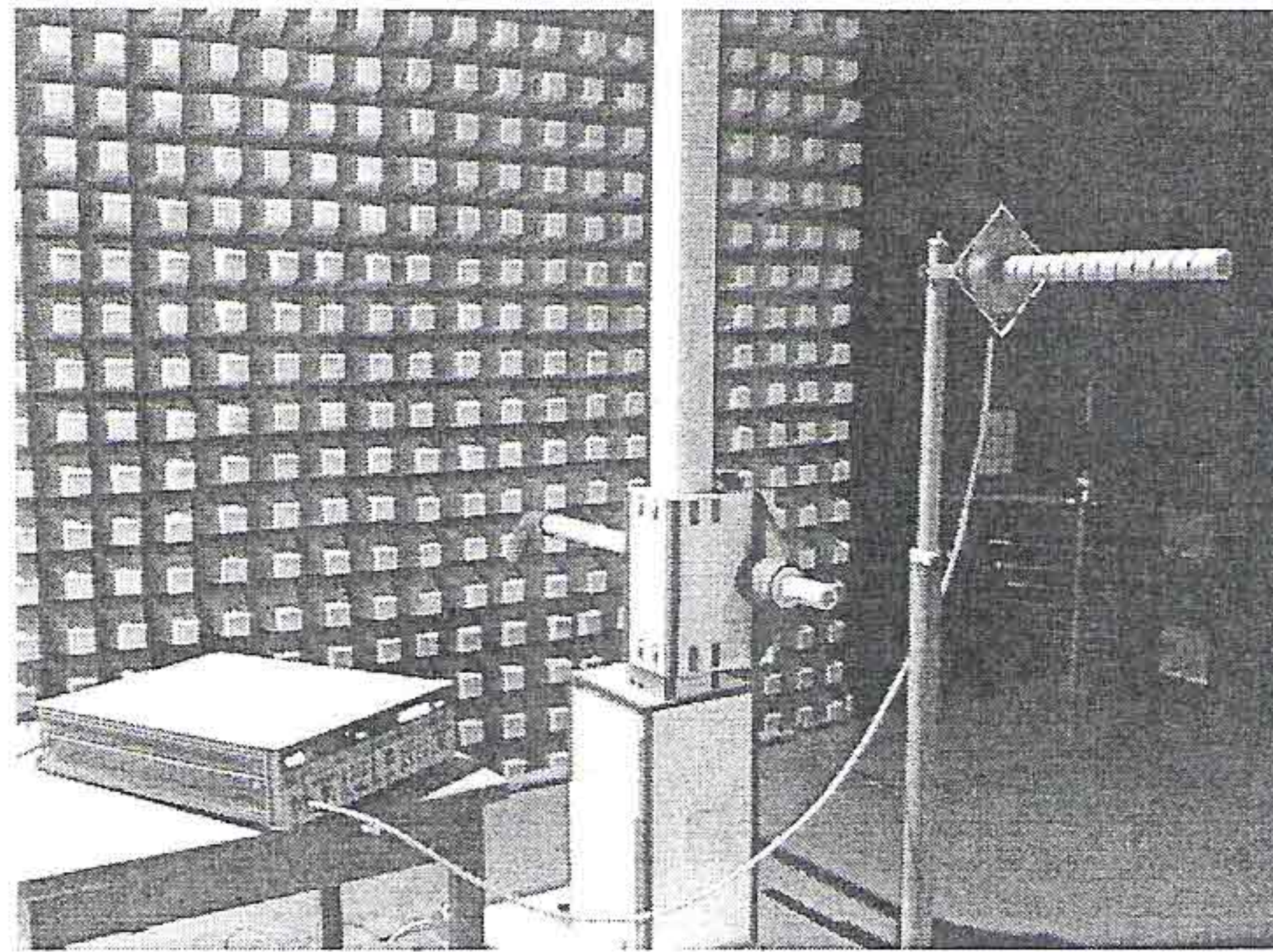
ในการวัดหาคุณสมบัติของสายอากาศนั้น เราได้นำสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่ถูกสร้างขึ้นไป ทดสอบที่ ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical and Electronic Products Testing Center : PTECH) การทดสอบครั้งนี้เราได้ทำการวัดค่า โดยวัดรูปแบบการแผ่พลังงาน (radiation pattern) ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (return loss :RL) และอัตราขยาย (gain)

4.1.1 การวัดรูปแบบการแผ่พลังงาน (radiation pattern) ของสายอากาศ

ในขั้นแรกเราทำการวัดรูปแบบการแผ่พลังงาน โดยชุดวัดการแพร่กระจายคลื่นของ สายอากาศ ดังรูป 4.1 และสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่ใช้วัดจะอยู่ในห้องที่ไม่มีการสะท้อน คลื่นสัญญาณได้ ดังรูป 4.2



รูปที่ 4.1 เครื่องมือวัดรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศ

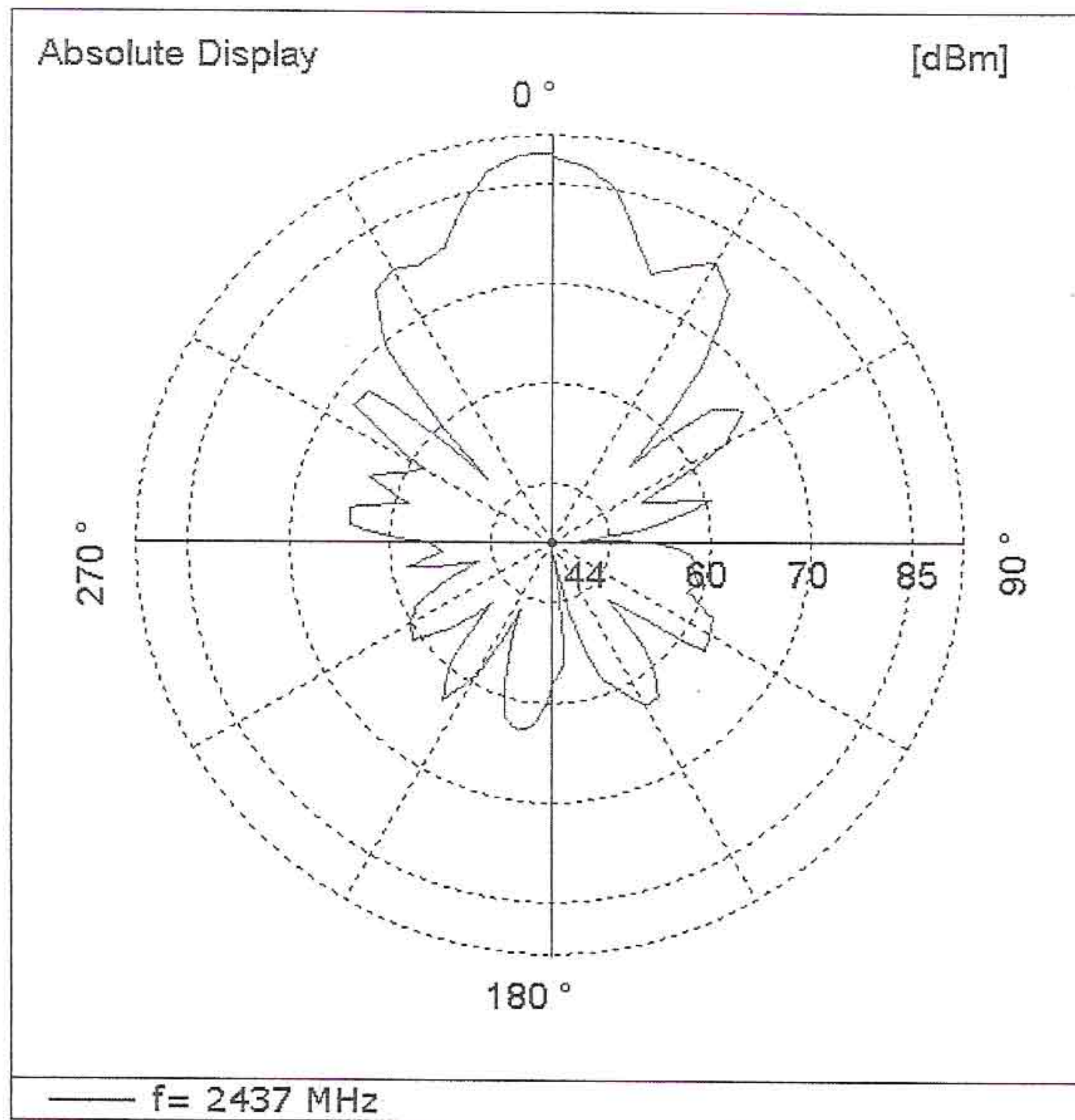


รูปที่ 4.2 การติดตั้งสายอากาศในการทดสอบรูปแบบการแผ่พลังงาน

ในการวัดดังรูป 4.2 สายอากาศด้านรับจะหมุนรอบตัวเองในมุมต่าง ๆ ครั้งละ 5 องศาเพื่อที่วัดค่ากำลังที่รับได้ โดยผลของค่ากำลังสัญญาณที่รับได้อยู่ในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 กำลังของสัญญาณที่รับได้ของการหมุนในมุม 0 ถึง 360 องศา

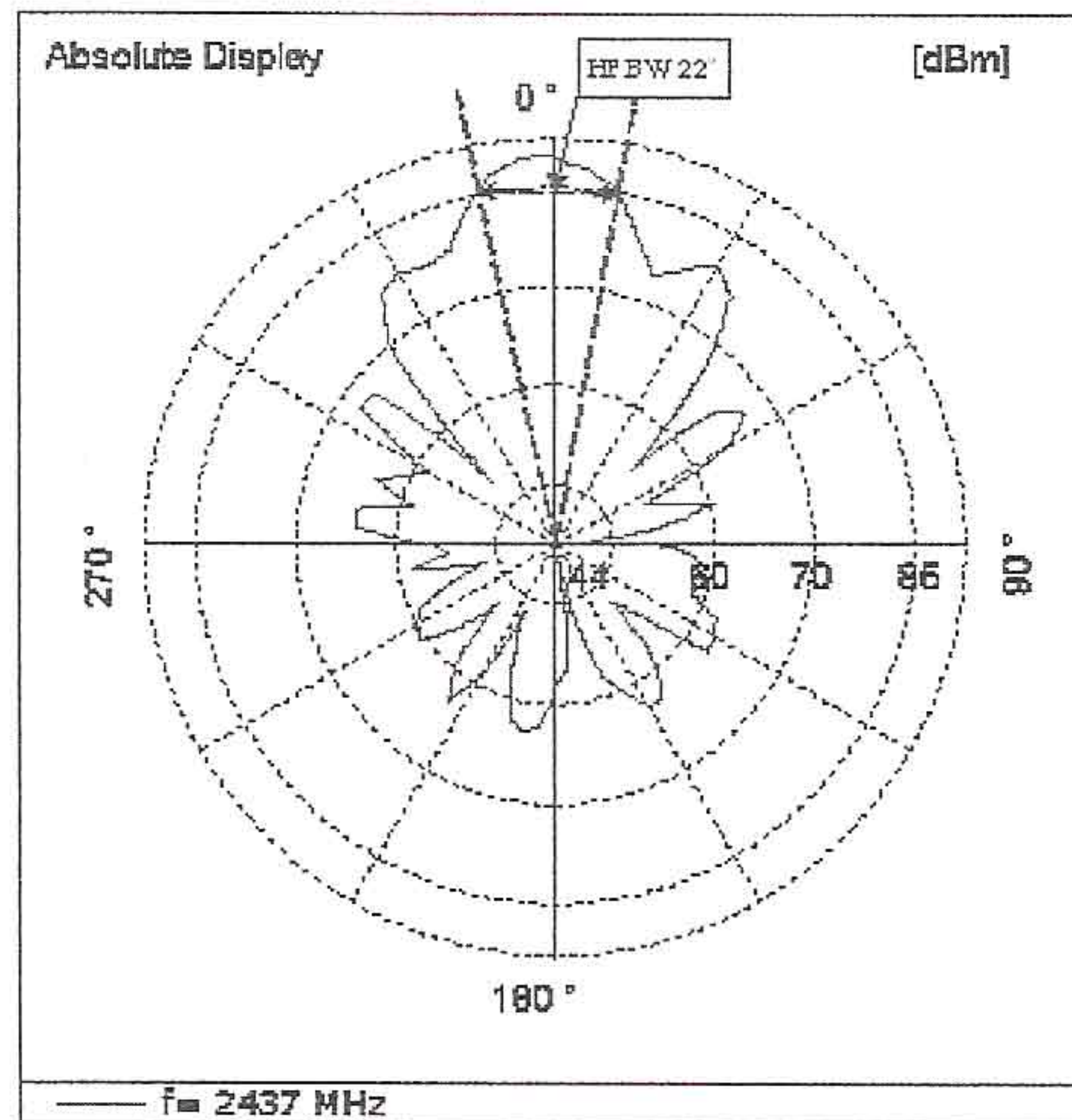
Freq. deg	Level dBm	Freq. deg	Level dBm	Freq. deg	Level dBm	Freq. deg	Level dBm	Freq. deg	Level dBm	Freq. deg	Level dBm
0.00	82.76	65.00	53.78	130.00	54.87	195.00	61.98	260.00	58.54	325.00	74.53
5.00	81.90	70.00	55.74	135.00	52.00	200.00	57.48	265.00	55.01	330.00	75.55
10.00	80.07	75.00	60.34	140.00	59.19	205.00	51.30	270.00	56.41	335.00	74.73
15.00	75.70	80.00	54.97	145.00	62.54	210.00	59.32	275.00	64.00	340.00	75.45
20.00	72.63	85.00	46.95	150.00	62.64	215.00	63.03	280.00	64.21	345.00	78.80
25.00	74.51	90.00	53.96	155.00	60.15	220.00	59.73	285.00	58.57	350.00	81.79
30.00	76.36	95.00	58.00	160.00	58.22	225.00	52.27	290.00	63.22	355.00	83.04
35.00	74.53	100.00	58.30	165.00	52.67	230.00	57.18	295.00	60.30	360.00	83.14
40.00	67.07	105.00	58.99	170.00	45.42	235.00	60.76	300.00	58.67		
45.00	54.87	110.00	58.48	175.00	56.24	240.00	60.27	305.00	67.97		
50.00	64.73	115.00	61.63	180.00	58.24	245.00	58.72	310.00	67.54		
55.00	67.19	120.00	62.16	185.00	61.87	250.00	55.09	315.00	53.02		
60.00	63.97	125.00	62.67	190.00	62.99	255.00	51.53	320.00	69.32		



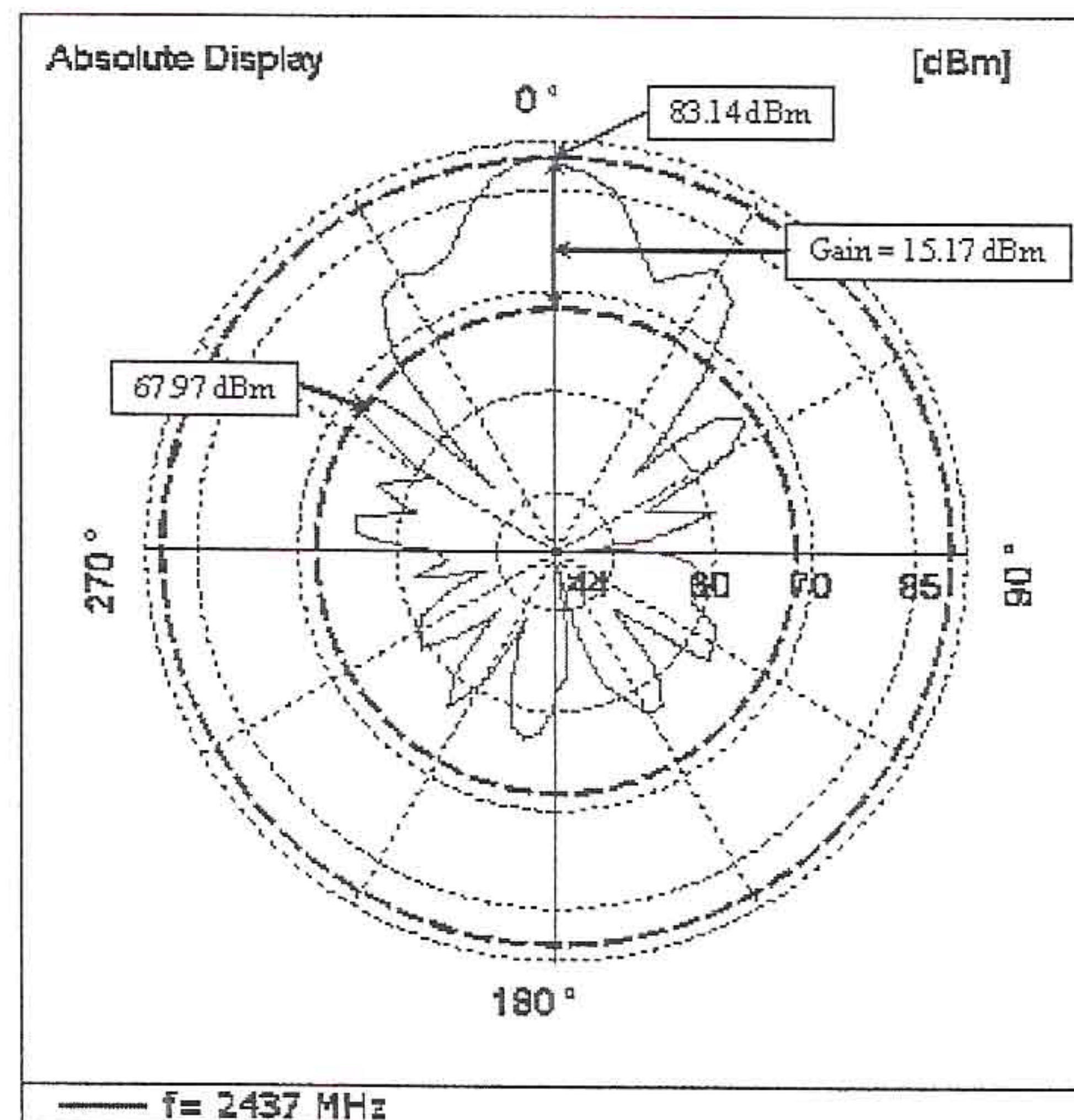
รูปที่ 4.3 รูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบเฮลิคซ์

เมื่อนำค่าที่ได้จากตาราง 4.1 มาหาพล็อตหารูปแบบการแผ่พลังงานจะได้ดังรูป 4.3 จะเห็นได้ว่ารูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศที่เราออกแบบไว้ มีรูปแบบใกล้เคียงกับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นตามทฤษฎี ที่มีรูปแบบลำคลื่นเป็นรูปปลายคิโนสอ (pencil-beam) จากรูปแบบการแผ่พลังงานที่ได้เราสามารถวัดค่าความกว้างลำครึ่งกำลัง (Half Power Beam Width : HPBW) ได้ดังรูปที่ 4.4 โดยจากผลการวัดค่า HPBW ได้เท่ากับ 22 องศา จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงตามทฤษฎีที่คำนวณไว้ในสมการ 3.10 ที่มีค่าเท่ากับ 27 องศา ทั้งนี้ค่ามุมที่วัดได้นั้นจะทำให้สายอากาศเข้าอยู่ในโหมดการแพร่กระจายคลื่นแบบมีทิศทาง (Directional) อย่างไรก็ตามถ้าค่าของ HPBW น้อย ก็จะทำให้การปรับทิศทางของ สายอากาศระหว่างด้านรับและด้านส่ง ให้ตรงกันยากขึ้นตามไปด้วย

จากรูปแบบการแผ่พลังงาน เราสามารถหาความแตกต่างของอัตราขยายระหว่างเมนโลบ (main lobe) และไมเนอร์โลบแรก (first minor lobe) ได้เท่ากับ 15.17 dBm ดังรูป 4.5 และอัตราส่วนระหว่างหน้าต่อหลัง (front-to-back ratio) เท่ากับ 20.15 dBm ซึ่งเป็นค่าที่เพียงพอต่อการนำสายอากาศไปใช้งานในการเชื่อมโยงแบบจุดถึงจุดได้



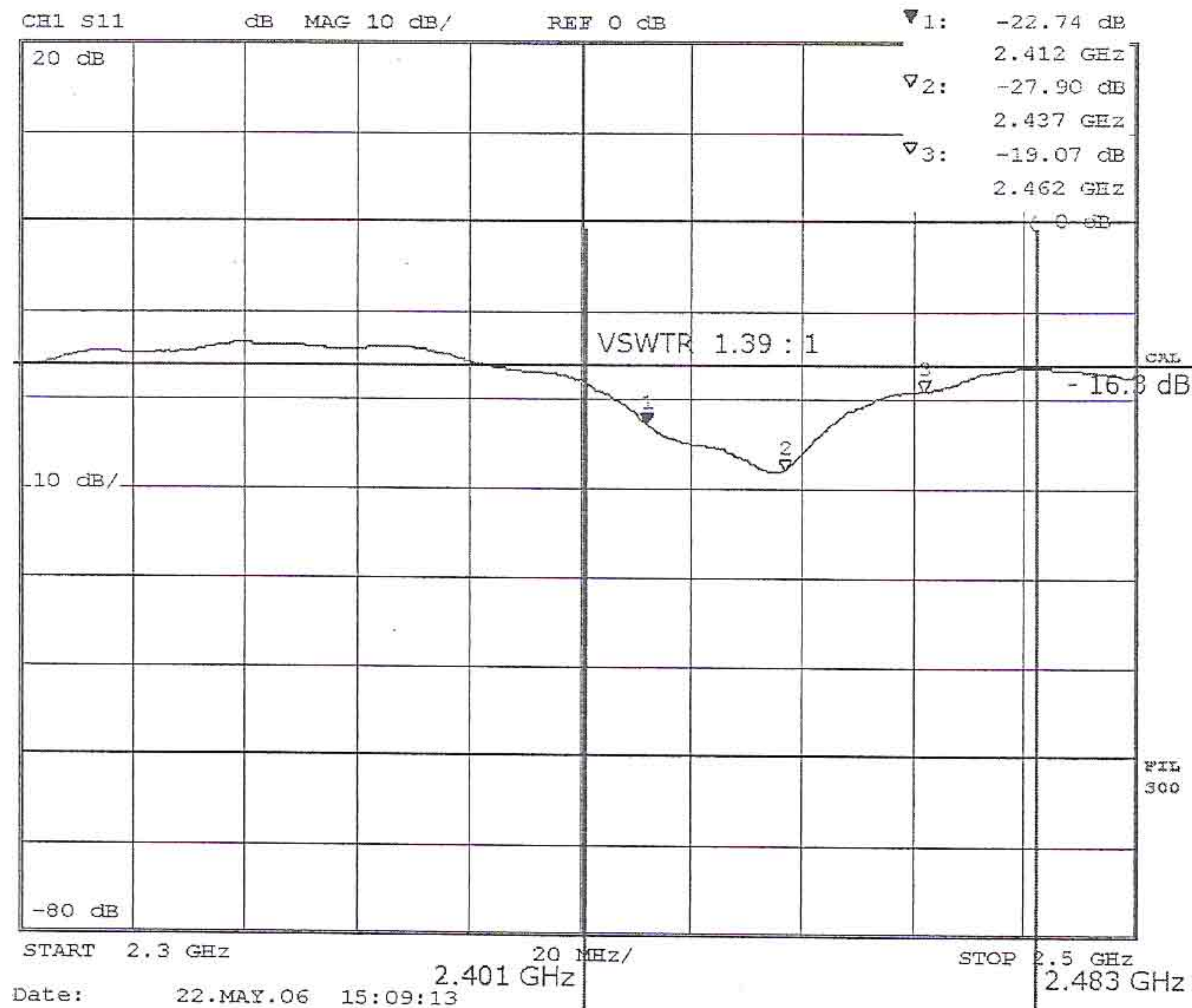
รูปที่ 4.4 การวัดความกว้างลำครึ่งกำลัง (half – power beam width)



รูปที่ 4.5 การวัดความแตกต่างอัตราขยายระหว่างเมนโลบ และไมเนอร์โลบแรก

4.1.2 การวัดความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return Loss : RL)

ในขั้นตอนนี้เราทำการวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return Loss : RL) ของสายอากาศ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย (Network Analyzer) ในโหมดของการวัด S11 และผลที่วัดได้อยู่ในรูปที่ 4.6

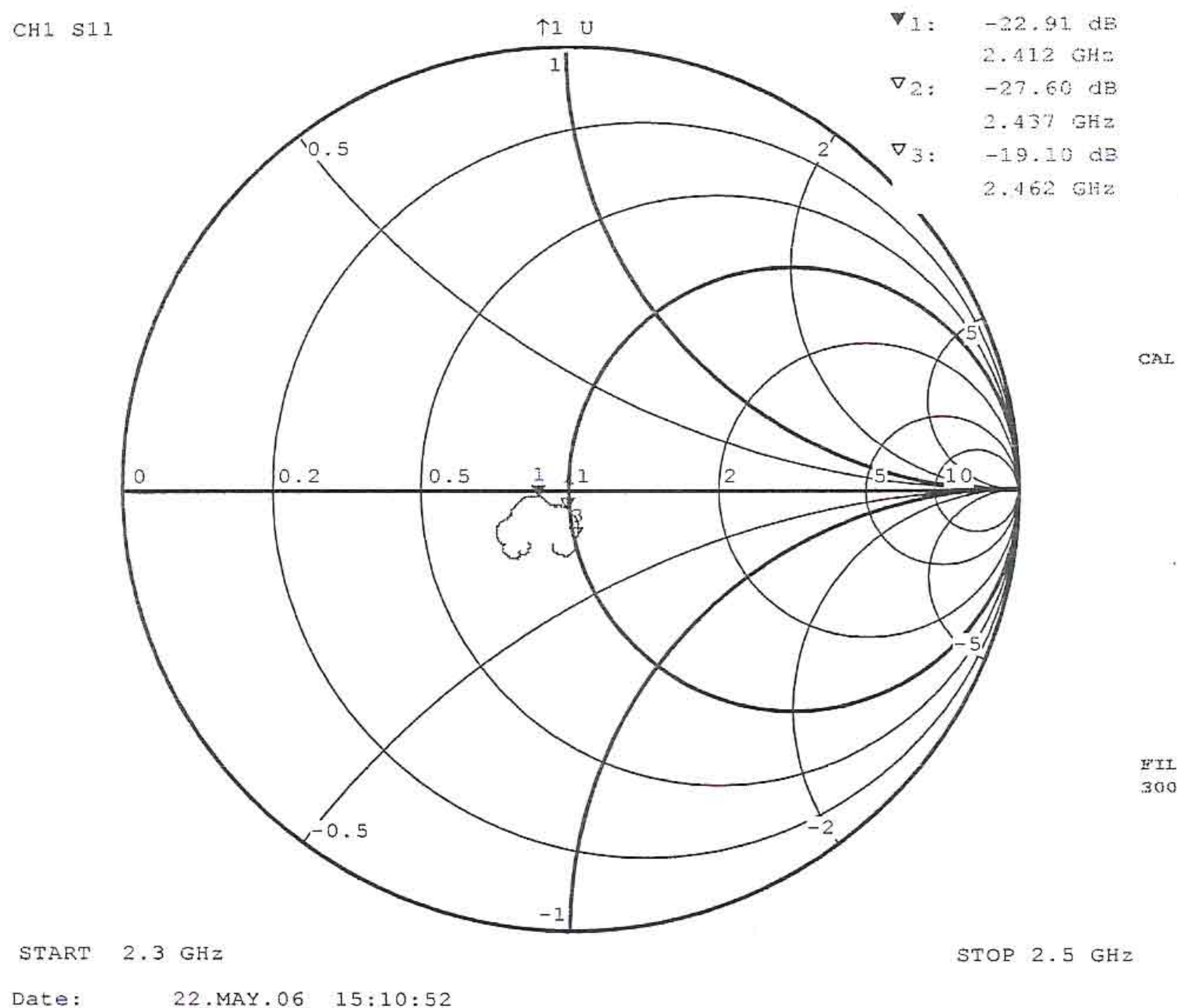


รูปที่ 4.6 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ของสายอากาศแบบเฮลิคซ์

จากการวัดความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับในรูปที่ 4.6 เครื่องหมายสามเหลี่ยมที่กำกับไว้เป็นค่าความถี่กลางของช่องสัญญาณที่ 1, 6 และ 11 ตามลำดับในระบบ WLAN มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g และ ค่า RL ที่ดีที่สุดคือ -27.9 dB อยู่ที่ความถี่ 2.437 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ และตลอดแถบความถี่ 2.4 – 2.483 GHz ซึ่งเป็นแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบ WLAN จะมีค่า RL ไม่เกิน -16.3 dB หรือ VSWR 1.39 : 1 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านเกณฑ์ของสายอากาศที่ใช้งานในระบบ WLAN ในปัจจุบันคือ 1.5 : 1

4.1.3 ผลการวัดแผนภูมิสมิท (smith chart)

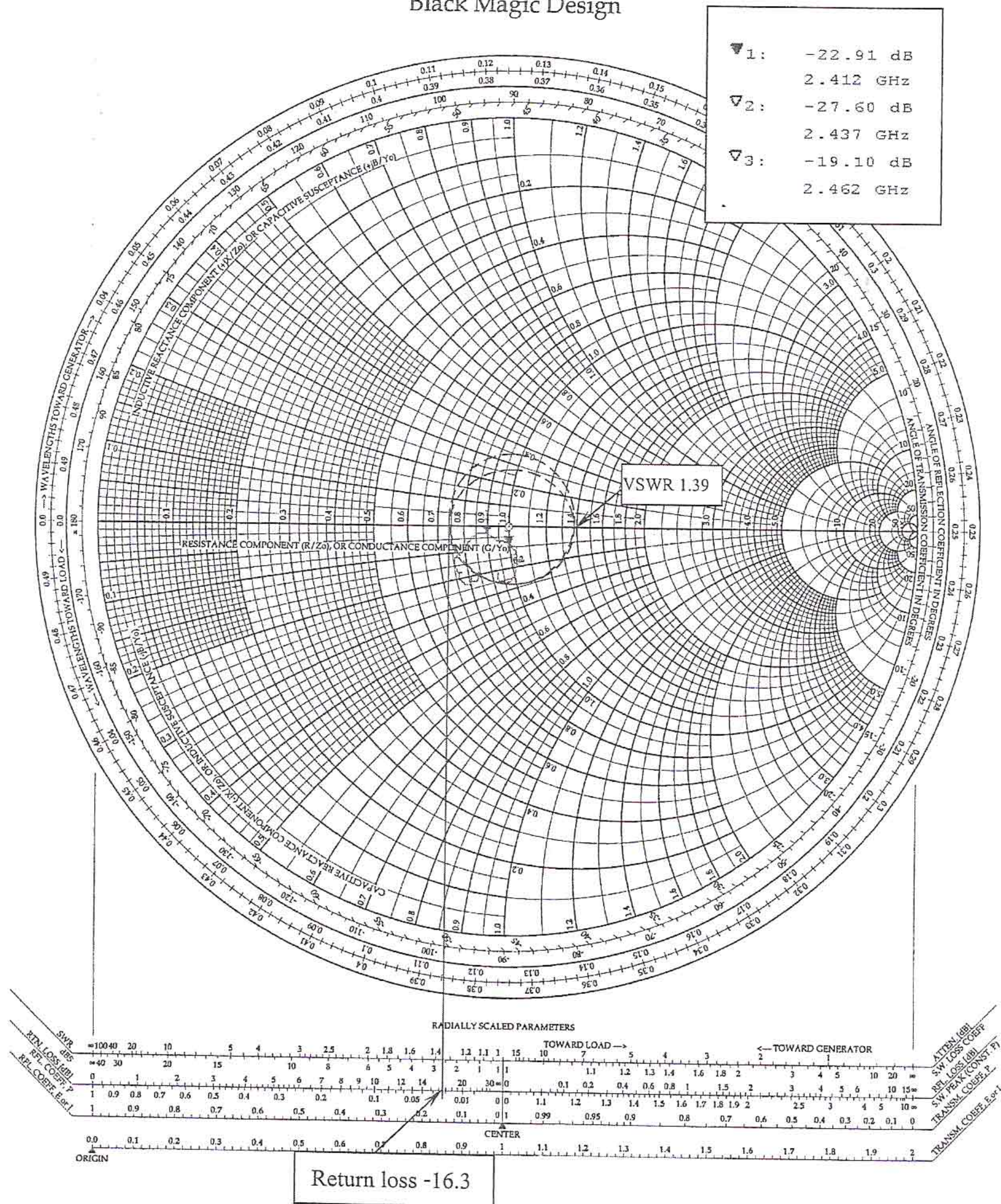
แผนภูมิสมิทที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย (Network Analyzer) ในโหมดของการวัด S11 นั้นแสดงได้ดังรูป 4.7 ทั้งนี้ค่าที่วัดได้แสดงถึงการเข้ากันได้ระหว่างวงจรข่ายของสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่สร้างขึ้นกับ คอนเนกเตอร์และสายสัญญาณ 50 ohm



รูปที่ 4.7 แผนภูมิสมิท (Smith Chart)

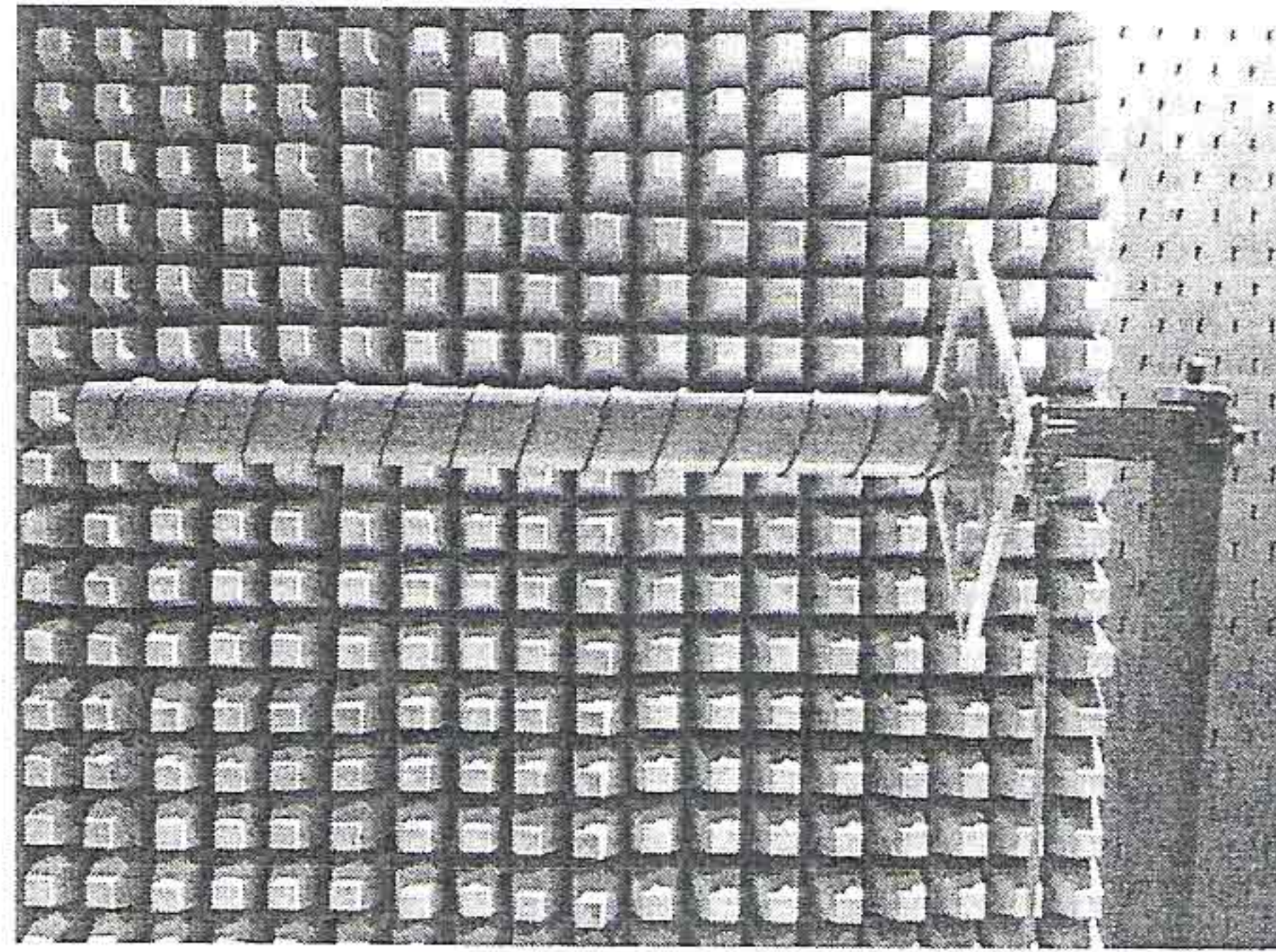
จากรูปสังเกตได้ว่า ค่าที่วัดได้อยู่ ใกล้กับ เลข '1' ในเส้นแนวนอน ซึ่งเป็นจุดที่ดีที่สุดในการเข้าคู่กันได้ของวงจรข่าย ทั้งนี้เครื่องหมายสามเหลี่ยมที่กำกับไว้เป็นค่าความถี่กลางของช่องสัญญาณที่ 1, 6 และ 11 ตามลำดับในระบบ WLAN มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g เราสามารถหาค่า RL และ VSWR ที่แย่ที่สุดที่อยู่ในช่วงความถี่ 2.4-2.5 GHz ได้โดยการในแผนภูมิสมิท ดังรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า ค่า VSWR ที่แย่ที่สุดคือ 1.39 : 1 หรือมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ เท่ากับ -16.3 dB สำหรับการใช้งานสายอากาศในแถบความถี่ 2.3 – 2.5 GHz

Black Magic Design



รูปที่ 4.8 การวัดค่า VSWR และ RL จากแผนภูมิสมิท

4.1.4 การวัดอัตราขยายของสายอากาศ



รูปที่ 4.9 การทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศในห้องที่ไม่มีการสะท้อนคลื่น

การวัดอัตราขยายกำลัง (Power gain : G_t) ของสายอากาศแบบเฮลิคซ์นั้น จะใช้การวัดค่ากำลังที่รับได้จากสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่สร้างขึ้น โดยใช้สายอากาศที่รู้ค่าอัตราขยายแน่นอนเป็นตัวส่งสัญญาณ เปรียบเทียบกับการที่ใช้สายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่ใช้ทดสอบอัตราขยายเป็นตัวส่ง ในการทดสอบนี้จะติดตั้งสายอากาศไว้ในห้องที่บุด้วยวัสดุกันสะท้อนคลื่นดังรูป 4.9 โดยผลที่วัดได้เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} G_t &= P_t - P_r + G_r \\ G_t &= -22.48 - (-28.89) + 9.3 \\ G_t &= 15.71 \text{ dBi} \end{aligned} \quad (4.1)$$

โดย P_t คือกำลังที่รับได้จากสายอากาศที่ใช้ทดสอบอัตราขยาย (dBm)

P_r คือค่ากำลังที่รับได้จากสายอากาศที่รู้ค่าอัตราขยาย (dBm)

G_r อัตราขยายของสายอากาศที่รู้ค่าอัตราขยาย (dBi)

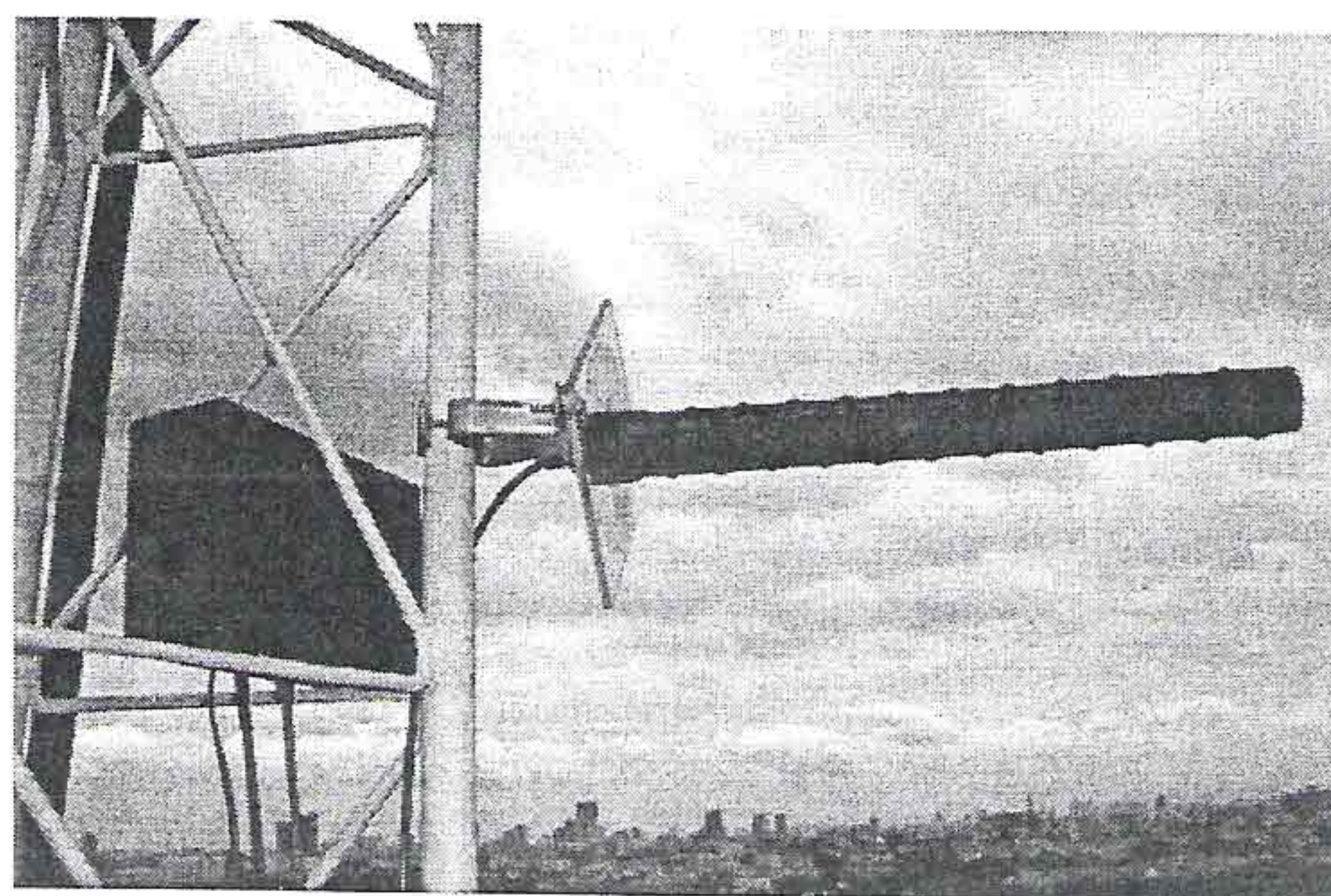
โดยอัตราขยายกำลัง ของสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่วัดได้เท่ากับ 15.71 dBi ทั้งนี้อัตราขยายตามที่ได้ออกแบบไว้ในสมการ 3.6 เท่ากับ 17.5 dBi กับที่วัดได้ไม่แตกต่างกันมากนัก และอัตราขยายของสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่สร้างขึ้นเพียงพอต่อนำไปใช้งานเป็นสายอากาศที่ใช้งานแบบจุด ถึงจุด สำหรับระบบ Wireless LAN ได้ ทั้งนี้สายอากาศที่ใช้งานในลักษณะนี้ส่วนใหญ่จะมีอัตราขยายอยู่ระหว่าง 9 – 23 dBi อย่างไรก็ตามการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศแบบเฮลิคซ์ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนของขดลวดให้มีมากขึ้นทั้งนี้สายอากาศจะมีความยาวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4.2 การทดสอบสายอากาศภาคสนาม

การทดสอบสายอากาศแบบเฮลิคซ์ในการใช้งานจริงนั้นจะทดสอบกับการเชื่อมโยงเครือข่ายคอมพิวเตอร์ผ่านบริดจ์ไร้สาย มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g ยี่ห้อ D-Link รุ่น DWL - 2100AP โดยทำการติดตั้งสายอากาศบนอาคาร 2 อาคาร ภายในมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ โดยมีระยะการทดสอบเท่ากับ 274.2 เมตร ดังภาพมุมสูงในรูป 4.10 และจะติดตั้งสายอากาศกับบริดจ์ไร้สายไว้ที่เสาส่งสัญญาณ ดังรูป 4.11 จากนั้นต่อสายแลนจากบริดจ์ไร้สายไปยังคอมพิวเตอร์ ในการทดสอบจะวัดค่าวิสัยสามารถ (throughput) โดยใช้โปรแกรม TTCPW และค่ากำลังของสัญญาณที่ได้รับได้โดยใช้โปรแกรม Network Stumbler จากนั้นจะเปรียบเทียบค่ากำลังที่ได้รับได้จากการวัด (Rx Power) กับผลการคำนวณในทางทฤษฎี พร้อมทั้งคำนวณระยะทางสูงสุดที่จะใช้งานได้



รูปที่ 4.10 ภาพมุมสูงของการทดสอบการเชื่อมโยงเครือข่ายระหว่างอาคาร



รูปที่ 4.11 การติดตั้งสายอากาศและบริดจ์ไร้สายในการทดสอบ

4.2.1 การวัดค่าวิสัยสามารถ (throughput)

การวัดค่าวิสัยสามารถจะใช้โปรแกรม TTCPW [6] ในการวัดค่าอัตราข้อมูลที่ส่งผ่านบริดจ์ไร้สาย ระหว่างอาคารในรูป 4.10 กำหนดค่าความยาวของบัฟเฟอร์ (buf len) เท่ากับ 8192 ไบต์ จำนวนบัฟเฟอร์ (nbuf) เท่ากับ 2048 และค่า align = 16384 โดยกำหนดให้คอมพิวเตอร์บนอาคารทางด้านขวา ในรูป 4.10 เป็นเครื่องส่ง และคอมพิวเตอร์ที่อยู่บนอาคารด้านซ้ายเป็นเครื่องรับ ผลที่วัดได้จากโปรแกรม TTCPW ของทั้งเครื่องรับและเครื่องส่งแสดงได้ในรูป 4.12

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\wireless.WLAN4740\Desktop>ttcpw -t -s 192.168.0.2
ttcp-t: buflen=8192, nbuf=2048, align=16384/0, port=5001 tcp -> 192.168.0.
ttcp-t: socket
ttcp-t: connect
ttcp-t: 16777216 bytes in 7.89 seconds = 2076.29 KB/sec +
ttcp-t: 2048 I/O calls, msec/call = 3.95, calls/sec = 259.54
ttcp-t:
C:\Documents and Settings\wireless.WLAN4740\Desktop>_

```

(ก)

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\telecommunication\Desktop>ttcpw -r -s 192.168.0.1
ttcp-r: buflen=8192, nbuf=2048, align=16384/0, port=5001 tcp
ttcp-r: socket
ttcp-r: accept from 192.168.0.1
ttcp-r: 16777216 bytes in 7.89 seconds = 2076.29 KB/sec +
ttcp-r: 2051 I/O calls, msec/call = 3.94, calls/sec = 259.92
ttcp-r:
C:\Documents and Settings\telecommunication\Desktop>_

```

(ข)

รูปที่ 4.12 ผลการวัดค่าวิสัยสามารถจากโปรแกรม TTCPW

(ก) หน้าจอผลการวัดที่เครื่องส่ง

(ข) หน้าจอผลการวัดที่เครื่องรับ

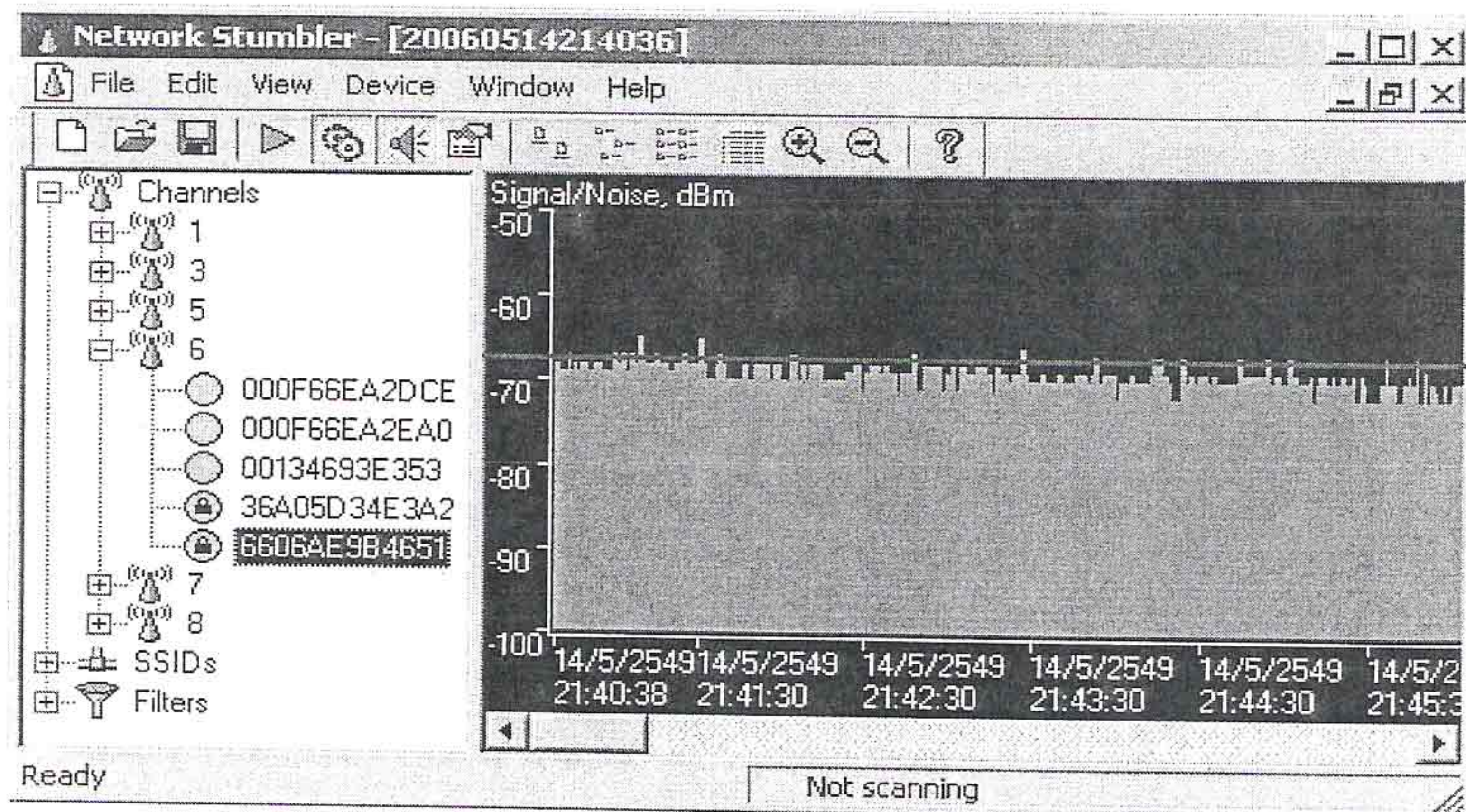
จากผลที่วัดได้ สามารถส่งข้อมูลได้ 16777216 บิตในเวลา 7.89 วินาทีดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} \text{Throughput} &= \frac{16777216 \times 8 \text{ bit}}{7.89 \text{ sec}} \\ &= 17.011 \text{ Mb/s} \end{aligned} \quad (4.2)$$

โดยอุปกรณ์ Wi-Fi มาตรฐาน 802.11 g จะมีค่าวิสัยสามารถสูงสุดที่ทำได้ประมาณ 24.7 Mbps

4.2.2 กำลังสัญญาณที่วัดได้

กำลังของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศเครื่องรับจะใช้โปรแกรม Network Stumbler ในการวัดและบันทึกค่ากำลังของสัญญาณ ในที่นี้เราได้ตั้งค่าให้บริดจ์ไร้สายส่งสัญญาณในช่องความถี่ที่ 6 โดยผลการบันทึกค่ากำลังของสัญญาณแสดงได้ในรูปที่ 4.13



รูป 4.13 ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้จากโปรแกรม Network Stumbler

ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ในรูปที่ 4.13 นั้นจะมีค่าที่แกว่งเล็กน้อยอยู่ระหว่าง 65-71 dBm ทั้งนี้เนื่องจากการปรับสายอากาศให้เล็งไปให้ตรงกับสายอากาศอีกตัวหนึ่ง และสถานะแวดล้อมที่มีอาคารอยู่ชานกับแนวของลำคลื่น ดังรูป 4.10 จะเห็นได้ว่าถ้ามีการติดตั้งให้สายอากาศเล็งตรงกันดีแล้ว ค่ากำลังของสัญญาณที่วัดได้จะมีค่าไม่น้อยกว่า -65 dB ซึ่งเป็นค่ากำลังสูงสุดที่วัดได้

จากค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้จากการทดสอบ ต่อไปเราจะคำนวณหาค่ากำลังที่รับได้ที่เครื่องรับในทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับ โดยในการคำนวณหาค่ากำลังของสัญญาณที่ภาครับ (Rx Power) จะใช้ระยะทางที่ใช้ทดสอบจริงเท่ากับ 274.2 เมตร และการคำนวณมีดังนี้ [7]

$$\begin{aligned}
 \text{Link Margin (dB)} &= 40 + 10 \times n \times \log(r) + L_{\text{allowed loss}} \\
 &= 40 + 10 \times 2.7 \times \log(274.2) + 0 \\
 &= 105.82 \text{ dB}
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

โดย r คือระยะทางที่ใช้งาน n คือค่าการกระจายสัญญาณ และ allowed loss คือค่าการสูญเสีย ทั้งนี้ให้ $n = 2.7$ และ allowed loss = 0 เนื่องจากกำหนดให้เป็นการใช้งานในที่โล่งและไม่มีต้นไม้ เมื่อได้ Link Margin จากสมการ 4.3 สามารถคำนวณหาค่ากำลังของสัญญาณที่เครื่องรับ (Rx Power) ได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{Rx Power} &= \text{Tx Power} + \text{Pigtail loss} + \text{Main Cable loss} + \text{Tx Antenna gain} \\
 &\quad + \text{Rx Antenna gain} + \text{Main Cable loss} + \text{Pigtail loss} - \text{Link Margin} \\
 \text{Rx Power} &= 15 \text{ dBm} + 0 + (-2.4 \text{ dB}) + 15.17 + 15.17 + (-2.4) + 0 - 105.82 \\
 &= -65.28 \text{ dBm}
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

จากผลการคำนวณในทางทฤษฎี ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ในสมการ 4.4 นั้นมีค่าใกล้เคียงกับผลการวัดคือ -65 dBm ซึ่งเป็นค่ากำลังสูงสุดที่วัดได้

4.2.3 การคำนวณหาระยะทางสูงสุดที่จะใช้งานได้

ระยะทางสูงสุดที่สามารถเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ระหว่างอาคาร ผ่านบรอดไร้สาย ยี่ห้อ D-Link รุ่น DWL - 2100AP โดยใช้สายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่สร้างขึ้นนั้น จะใช้การคำนวณในทางทฤษฎี โดยขั้นตอนแรกจะหาค่า Link Margin โดยการแทนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของอุปกรณ์ในระบบลงในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 การคำนวณค่ากำลังของสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่างภาครับและส่ง (Link Margin)

กำลังส่ง (Tx Power)	15 dBm
อัตราลดทอนสายนำสัญญาณย่อย (Pigtail loss)	0
อัตราลดทอนสายนำสัญญาณหลัก (Main Cable loss)	-2.4 dB
อัตราขยายสายอากาศภาคส่ง (Tx Antenna gain)	15.17 dBi
ค่าอัตราส่งประสิทธิภาพ (EIRP) Sup total	25.79 dBm
อัตราขยายสายอากาศภาครับ (Rx Antenna gain)	15.17 dBi
อัตราลดทอนสายนำสัญญาณหลัก (Main Cable loss)	-2.4 dB
อัตราลดทอนสายนำสัญญาณย่อย (Pigtail loss)	0
ความแรงของสัญญาณต่ำสุดที่ภาครับจะทำงานได้ (Rx sensitivity)	-89 dBm
Link Margin	130.62 dB

โดยการคำนวณหา Link Margin เขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{Link Margin} &= \text{Tx Power} + \text{Pigtail loss} + \text{Main Cable loss} + \text{Tx Antenna gain} \\
 &\quad + \text{Rx Antenna gain} + \text{Main Cable loss} + \text{Pigtail loss} - \text{Rx sensitivity} \\
 \text{Link Margin} &= 15 \text{ dBm} + 0 + (-2.4) + 15.71 + 15.71 + (-2.4) + 0 - (-89 \text{ dBm}) \\
 &= 130.62 \text{ dBm}
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

โดย Rx sensitivity คือ sensitivity ของบริคจ์ไร้สายที่ใช้ทดสอบ เราจะกำหนดให้สภาวะแวดล้อมในการเชื่อมต่อสัญญาณเป็นพื้นที่โล่งและไม่มีสิ่งกีดขวาง ดังนั้นในการคำนวณ $n = 2.7$ และ $L_{\text{allowed loss}} = 0$ และคำนวณหาระยะทางสูงสุดที่ใช้งานได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{Link Margin (dB)} &= 40 + 10 \times n \times \log(r) + L_{\text{allowed loss}} \\
 130.62 \text{ dBm} &= 40 + 10 \times 2.7 \times \log(r) + 0
 \end{aligned} \tag{4.6}$$

ดังนั้นจะได้

$$r = 2,271.4 \text{ เมตร}$$

ทั้งนี้ที่ระยะทางสูงสุดในการเชื่อมต่อคือ 2.27 กิโลเมตร และสัญญาณที่รับได้จะมีค่าเท่ากับ ความไว (sensitivity) ของบริคจ์ไร้สายที่ใช้คือ -89 dB ซึ่งจะทำให้ได้อัตราบิตเท่ากับ 2 Mbps

4.3 ผลการจำลองค่ากำลังที่รับได้ในระยะทางต่าง ๆ

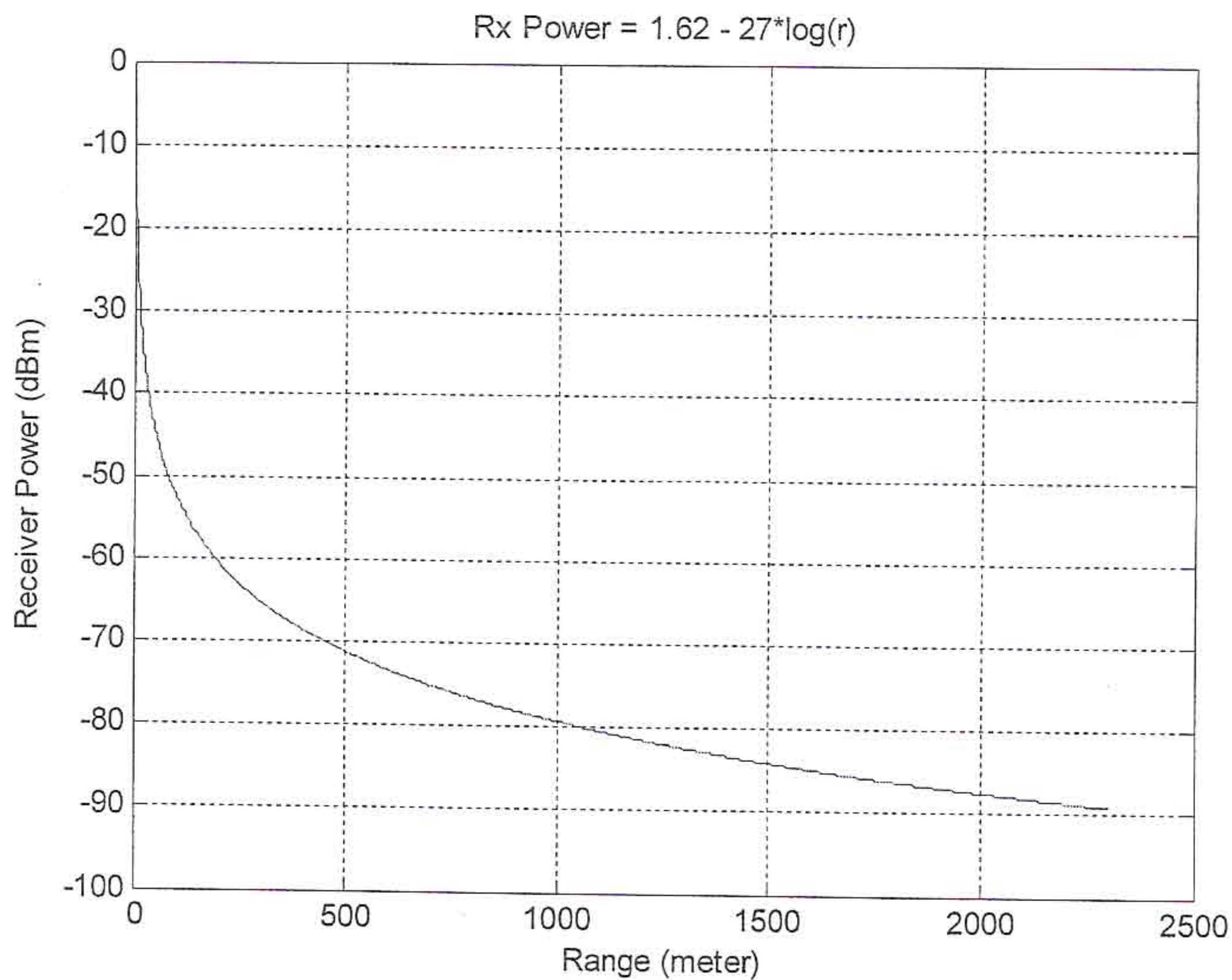
เพื่อที่จะประมาณค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่สร้างขึ้นและใช้ในระบบการสื่อสาร Wireless LAN มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g ในที่นี้เราจะกำหนดให้เครื่องส่งมีกำลังส่ง (Tx Power) 15 dBm ซึ่งเท่ากับบริคจ์ไร้สายที่ทดสอบ และกำหนดให้ สภาพแวดล้อมเป็นพื้นที่โล่งไม่มีต้นไม้หรือสิ่งกีดขวางบดบัง เราจะได้ค่าพารามิเตอร์ในสมการ 4.6 โดย $n = 2.7$ และ $\text{allowed loss} = 0$ และกำหนดให้การลดทอนของสายสัญญาณระหว่าง บริคจ์ไร้สาย กับสายอากาศเท่ากับ -2.4 dB ในขณะที่อัตราขยายกำลังของสายอากาศแบบเฮลิคซ์เท่ากับ 15.71 dBi แทนค่าสมการ 4.6 ลงในสมการ 4.4 เราจะได้

$$\begin{aligned}
 \text{Rx Power} &= \text{Tx Power} + \text{Pigtail loss} + \text{Main Cable loss} + \text{Tx Antenna gain} \\
 &\quad + \text{Rx Antenna gain} + \text{Main Cable loss} + \text{Pigtail loss} \\
 &\quad - 40 - 10 \times n \times \log(r) + L_{\text{allow loss}}
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

เมื่อเราแทนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ลงในสมการ 4.7 จะได้

$$\begin{aligned}
 \text{Rx Power} &= 15 \text{ dBm} + 0 + (-2.4) + 15.71 \text{ dBi} \\
 &\quad + 15.71 \text{ dBi} + (-2.4) + 0 \\
 &\quad - 40 - 10 \times 2.7 \times \log(r) + 0 \\
 \text{Rx Power} &= 1.62 - 27 \times \log(r)
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

เมื่อพล็อตกราฟจากสมการ 4.8 โดยให้ กำลังของสัญญาณที่รับได้ (Rx Power) เป็นแกนตั้ง และ ระยะทาง (r) เป็นแกนนอน จะได้ผลดังรูป 4.14

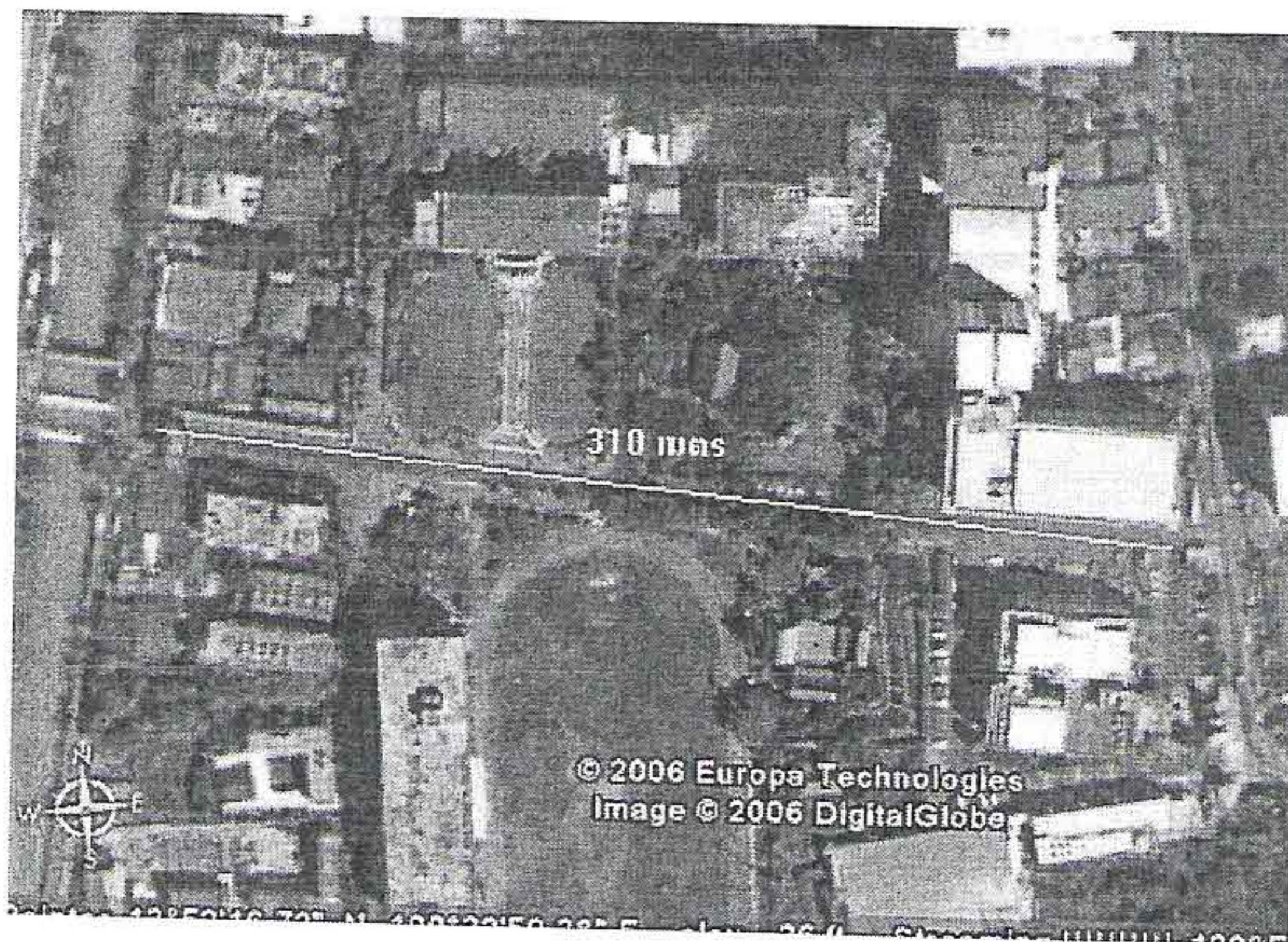


รูปที่ 4.14 กำลังของสัญญาณที่รับได้จากระยะทางต่าง ๆ จากการคำนวณ

จากผลการจำลองค่าที่วัดได้กราฟจะอยู่ในรูปแบบ ฟังก์ชันลอการิทึม จะเห็นได้ว่าที่ตั้งแต่ ระยะทางในระยะทางช่วง 1-250 เมตร กำลังของสัญญาณจะตกลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะทางมากขึ้น และระยะที่มากกว่า 250 เมตร อัตราการลดลงของกำลังสัญญาณเริ่มน้อยลง ทั้งนี้ผลกราฟดังกล่าว สามารถนำไปใช้ในการออกแบบการเชื่อมโยงเครือข่ายคอมพิวเตอร์ผ่านระบบ Wireless LAN โดยใช้สายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่สร้างขึ้นได้

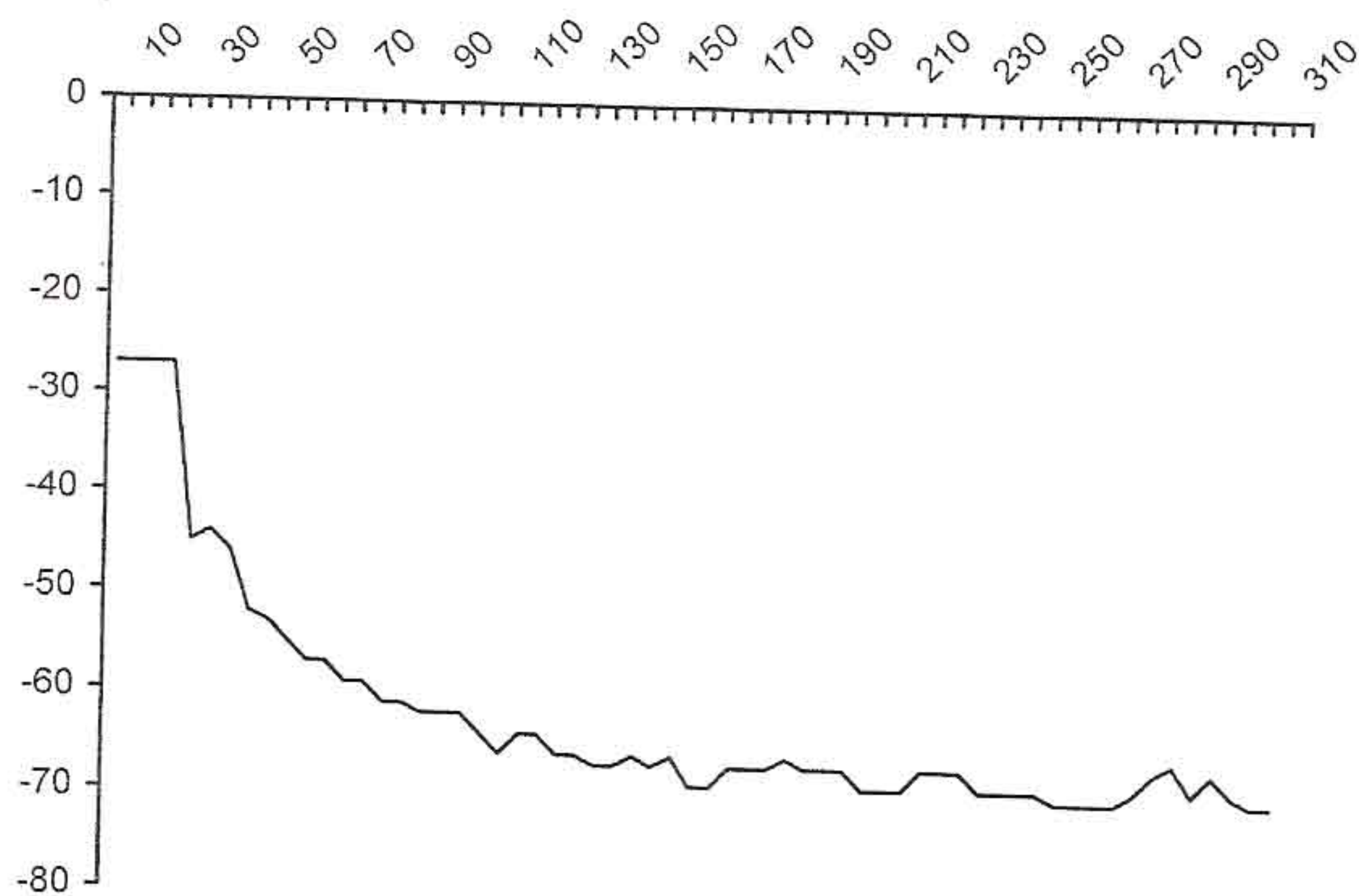
4.4 การทดลองวัดค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทางต่าง ๆ

เพื่อที่ต้องการวัดค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ จากสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่ภาครับในระยะทางต่าง ๆ กัน เราได้ทำการติดตั้งระบบ Wireless LAN มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g และให้การเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์ในโหมด ad-hoc และเนื่องจากการวัดค่ากำลังในระยะทางต่าง ๆ นั้นไม่สามารถทำได้ที่บนอาคาร ดังนั้นเราจึงติดตั้งระบบไว้บนถนนบริเวณภายในมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต โดยให้สายอากาศอยู่สูงจากพื้นประมาณ 1.6 เมตร จากนั้นจะให้เครื่องส่งอยู่กับที่ และเครื่องรับก็จะเคลื่อนที่ลอยหลังออกไปในแนวเส้นตรง ดังรูป 4.15 โดยจะมีการบันทึกค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ในทุก ๆ ระยะ 5 เมตร โดยระยะในการทดสอบทั้งหมดคือ 310 เมตร ซึ่งเป็นระยะความยาวของถนนสูงสุดที่จะทดสอบได้



รูปที่ 4.15 ภาพมุมสูงของแนวการเคลื่อนที่ในการทดสอบวัดค่ากำลังของสัญญาณ

ทั้งนี้สภาวะแวดล้อมในการทดสอบจะเห็นได้จากรูป 4.14 โดยบริเวณรอบ ๆ ถนน จะมีต้นไม้ หรือ อาคารอยู่ตลอดแนวการทดสอบ และการที่สายอากาศอยู่สูงจากพื้นดินเพียง 1.6 เมตร จะทำให้มีการสะท้อนของสัญญาณจากพื้นดินและบริเวณรอบข้างได้ ดังนั้น ผลการวัดค่ากำลังของสัญญาณจะถูกลดทอนลงอย่างมาก โดยผลการทดสอบ แสดงในรูป 4.16



รูปที่ 4.16 ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ในระยะทางต่าง ๆ จากการวัด โดยแกนตั้งเป็นกำลังของสัญญาณที่รับได้ (dBm) และแกนนอนเป็นระยะทาง (เมตร) ระหว่างสายอากาศ

จากรูป 4.16 ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ จะมีค่าไม่คงที่มากนักเนื่องจากสภาวะแวดล้อม และเมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้กับผลการคำนวณทางทฤษฎีของกราฟในรูป 4.14 ค่ากำลังที่รับได้จากการวัดจะน้อยกว่าในทางทฤษฎีประมาณ 6 dBm เนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการวัดจริงนั้นไม่เหมือนกับที่ใช้ในคำนวณ คือในการทดสอบจริงนั้นมีต้นไม้และสิ่งปลูกสร้างอยู่รอบ ๆ รวมถึงความสูงของสายอากาศจากพื้นดินเพียง 1.6 เมตร อย่างไรก็ตาม จะสังเกตได้ว่าแนวโน้มของกราฟที่ได้จากการวัดนี้จะคล้ายกับในทางทฤษฎี

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวัดและทดสอบ

สายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่ได้ออกแบบไว้สำหรับการใช้งานในระบบ Wireless LAN มาตรฐาน 802.11 b/g แบบจุดถึงจุด สามารถสร้างขึ้นได้ง่าย และราคาถูก จากผลการวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ รูปแบบการแผ่พลังงานเป็นแบบมีทิศทาง สามารถนำไปใช้งานแบบ จุดถึงจุดได้ โดยสายอากาศมีอัตราขยาย 15.17 dBi มีอัตราส่วนระหว่าง หน้าต่อหลังเท่ากับ 20.15 dB ซึ่งโดยปกติทั่วไปสายอากาศที่ดีจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 20 dB และความสูญเสียเนื่องจากย้อนกลับน้อยกว่า -16.3 dB ตลอดแถบความถี่ 2.4 – 2.5 GHz ทั้งนี้สายอากาศที่มีคุณภาพจะมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับน้อยกว่า -15 dB และจากผลการทดสอบกับการใช้งานจริง ในการเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ผ่านบริคจ์ไร้สายระหว่างอาคาร ในระยะทาง 274 เมตร จะได้ค่าวิสัยสามารถเท่ากับ 17 Mb/s ซึ่งเพียงพอต่อการเชื่อมต่อจากเครือข่ายหลักไปยังเครือข่ายย่อยที่จำนวนคอมพิวเตอร์ไม่มากนัก จากการคำนวณในทางทฤษฎีสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่สร้างขึ้น ถ้าใช้กับบริคจ์ไร้สาย ยี่ห้อ D-Link รุ่น DWL - 2100AP จะสามารถใช้งานได้ระยะทางสูงสุด 2.271 กิโลเมตร จะเห็นได้ว่าสายอากาศแบบเฮลิคซ์นั้นเหมาะสมกับการใช้งานในการเชื่อมโยงสัญญาณแบบจุดถึงจุดสำหรับระบบ WLAN เนื่องจากจาก มีอัตราขยายที่ดี มีแบนด์วิดท์กว้างเพียงพอ อีกทั้งมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ทำให้ติดตั้งได้ง่าย

อย่างไรก็ตามในการใช้งานการเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ การเชื่อมโยงจะต้องการอัตราบิตที่มากกว่า 100 Mb/s ดังนั้นการติดตั้งจะต้องติดเครื่องขยายกำลังสัญญาณ (power amplifier) หรือใช้บริคจ์ไร้สายที่มีเครื่องขยายกำลังสัญญาณในตัว เพื่อที่จะเพิ่มกำลังส่งให้เพียงพอต่อการใช้งาน และต้องใช้งานในโมดที่มีอัตราบิตสูงกว่ามาตรฐาน IEEE 802.11 g สายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่ได้ออกแบบไว้นั้นสามารถเพิ่มอัตราขยายให้สูงขึ้นได้โดยเพิ่มจำนวนรอบของขดลวดให้มากขึ้น อย่างไรก็ตามจะทำให้สายอากาศมีความยาวเพิ่มขึ้น สายอากาศแบบเฮลิคซ์สามารถนำมาใช้งานในระบบการสื่อสารไร้สายแถบกว้างอื่น ๆ ได้เช่น ระบบสื่อสารไมโครเวฟ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการที่จะนำไปใช้งานในงานในการสื่อสารระยะไกลนั้นจะต้องมีการปรับปรุงสายอากาศให้มีประสิทธิภาพมากกว่านี้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการออกแบบสายอากาศสามารถใช้โปรแกรม NEC-4 ในการจำลองระบบเพื่อการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศได้เช่น อัตราขยาย รูปแบบการแผ่พลังงาน Axial Ratio เป็นต้น จะทำให้สะดวกในการออกแบบและวิเคราะห์ในเบื้องต้นก่อนนำไปวัดและทดสอบจริง
2. ขั้นตอนและวิธีการสร้างสายอากาศจะต้องทำให้มีความถูกต้องแม่นยำอย่างมากขึ้นเพื่อที่จะทำให้สายอากาศมีคุณภาพ และมีมาตรฐานเพียงพอต่อการผลิตใช้งานในเชิงพาณิชย์
3. นำสายอากาศแบบเฮลิคซ์หลายตัว มาต่อแบบอาร์เรย์ (arrays) เพื่อที่จะเพิ่มกำลังขยายของสายอากาศ

บรรณานุกรม

- [1] บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์. วิศวกรรมสายอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2536.
- [2] John D. Kraus, Antennas, 2 nd ed., McGraw-Hill, 1988.
- [3] A. Balanis, Antenna Theory: analysis and design, 2 nd ed., John Wiley & Son, 1997.
- [4] D. Emerson, "Antenna Compendium", *National Radio Astronomy Observatory*, Vol. 4, pp 64-68, 1995.
- [5] American Radio Relay League, The ARRL Antenna book, 19 th ed., September 2000.
- [6] <http://www.cisco.com/warp/public/471/tcp.html#intro>
- [7] K. Pahlavan and P. Krishnamurthy, Principles of wireless networks, Pearson Education, 2002.

ภาคผนวก

D-Link®
Building Networks for People

108Mbps¹ Wireless Networking

DWL-2100AP

Up to
15x
Faster

- Up to 108Mbps¹ with D-Link 108G Products
- Improved Wireless Security with WPA and 802.1X Authentication
- SNMP Management Software Included
- More Mobility with WDS and Five Operational Modes

AirPlus Xtreme G®

802.11g/2.4GHz Wireless

108Mbps¹ Access Point

D-Link, the industry pioneer in wireless networking, introduces a performance breakthrough in wireless connectivity – **D-Link AirPlus Xtreme G™** series of high-speed devices now capable of delivering transfer rates up to 15x faster than the standard 802.11b with the new D-Link 108G. With the new **AirPlus Xtreme G** DWL-2100AP Wireless Access Point, D-Link sets a new standard for wireless access points.

With the D-Link 108G enhancement, the DWL-2100AP can achieve wireless speeds up to 15x in a pure D-Link 108G environment through the use of new wireless technologies such as Packet Bursting, Fast Frame, Compression & Encryption, and Turbo mode. These technologies enable a throughput high enough to handle video/audio streaming and future bandwidth-intense applications. The DWL-2100AP also supports SNMP v.3 for better network management with the provided Wireless AP Manager software that manages network configuration and firmware upgrades. For Enterprise networks, the DWL-2100AP supports network administration and real-time network traffic monitoring via D-Link's D-View Network Management software.

The DWL-2100AP features WDS (Wireless Distribution System) that can be configured to perform in any one of five modes: a Wireless Access Point, a Point-to-Point (PtP) bridge with another DWL-2100AP, a Point-to-Multipoint (PtMP) bridge, a Repeater for range extension, or as a Wireless Client. The WDS feature makes the DWL-2100AP an ideal solution for quickly creating and extending a wireless local area network (WLAN) in offices or other workplaces, or even at hotspots.

Wireless security is addressed as the DWL-2100AP uses WPA (Wi-Fi Protected Access) and 802.1X authentication to provide a higher level of security for data communication amongst wireless clients. The DWL-2100AP is also fully compatible with the IEEE 802.11b and 802.11g standards. With great manageability, versatile operation modes, solid security enhancement, the cost-effective D-Link **AirPlus Xtreme G** DWL-2100AP Wireless Access Point provides the ultra-fast wireless signal rates and everything else a network professional dreams of.

2.4
GHz

ENHANCED
SECURITY

SNMP
MANAGEMENT
SUPPORT

D-Link
108
G

FREE
24/7
TECH
SUPPORT

AirPlus Xtreme G[®]

802.11g/2.4GHz Wireless

108Mbps¹ Access Point

SPECIFICATIONS

Standards

- IEEE 802.11g
- IEEE 802.11b
- IEEE 802.11
- IEEE 802.3
- IEEE 802.3u

Device Management

- Web-Based – Internet Explorer v6 or later; Netscape Navigator v6 or later; or other Java-enabled browsers.
- SNMP v.3

Wireless Distribution System

- AP Client
- PtP Bridge
- PtMP Bridge
- Repeater

Security

- 64-, 128 152-bit WEP
- 802.1X (EAP-MD5, EAP-TLS, EAP-TTLS and EAP-PEAP)
- WPA – Wi-Fi Protected Access
- MAC Address Access Control (WPA-TKIP and WPA-AES)

Media Access Control

CSMA/CA with ACK

Wireless Frequency Range

2.4GHz to 2.4835GHz

Wireless Operating Range²

Indoors: Up to 328 ft (100 meters)
Outdoors: Up to 1312 ft (400 meters)

Modulation Technology

- Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- Complementary Code Keying (CCK)
- DQPSK
- DBPSK

Wireless Transmit Power

15dBm (32mW) ± 2dB
(Control TX power level from full, 50%, 25%, 125% and min.)

Receiver Sensitivity

- 54Mbps OFDM, 10% PER, -66dBm)
- 48Mbps OFDM, 10% PER, -71dBm)
- 36Mbps OFDM, 10% PER, -76dBm)
- 24Mbps OFDM, 10% PER, -80dBm)
- 18Mbps OFDM, 10% PER, -83dBm)
- 12Mbps OFDM, 10% PER, -85dBm)
- 11Mbps CCK, 8% PER, -83dBm)
- 9Mbps OFDM, 10% PER, -86dBm)
- 6Mbps OFDM, 10% PER, -87dBm)
- 2Mbps QPSK, 8% PER, -89dBm)

External Antenna Type

1.0dB Dipole with reverse SMA connector

LEDs

- Power
- LAN (10/100)
- WLAN (Wireless Connection)

Temperature

- Operating: 32°F to 140°F (0°C to 40°C)
- Storing: 4°F to 149°F (-20°C to 65°C)

Humidity

95% maximum (non-condensing)

Power Input

Ext. Power Supply DC 5V, 2.0A

Safety & Emissions

- FCC • UL • VCCI • CSA • EN

Dimensions

- L = 5.6 inches (142mm)
- W = 4.3 inches (109mm)
- H = 1.2 inches (31mm)

Weight

0.44 lbs (200g)

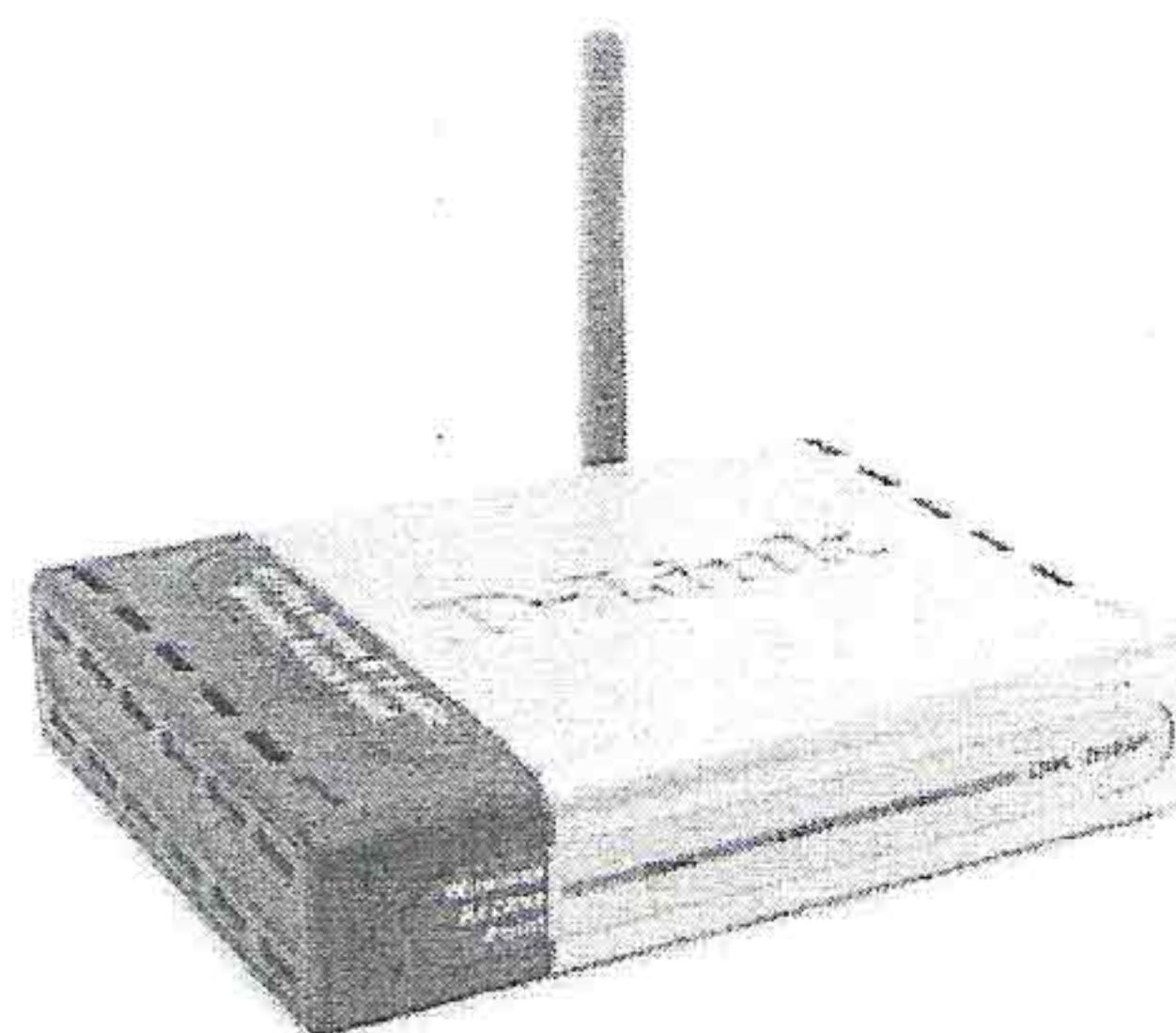
Warranty

3 Year

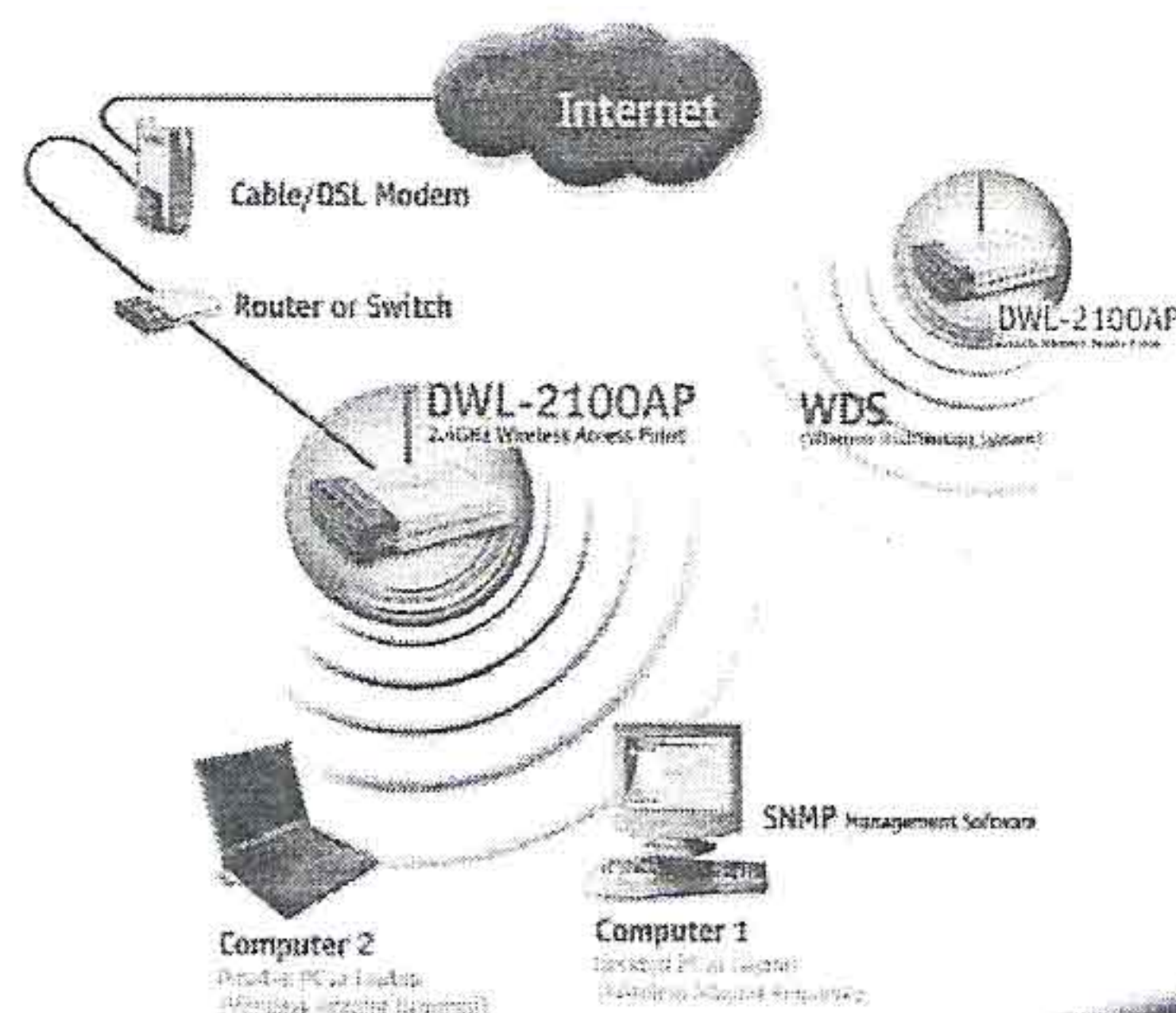
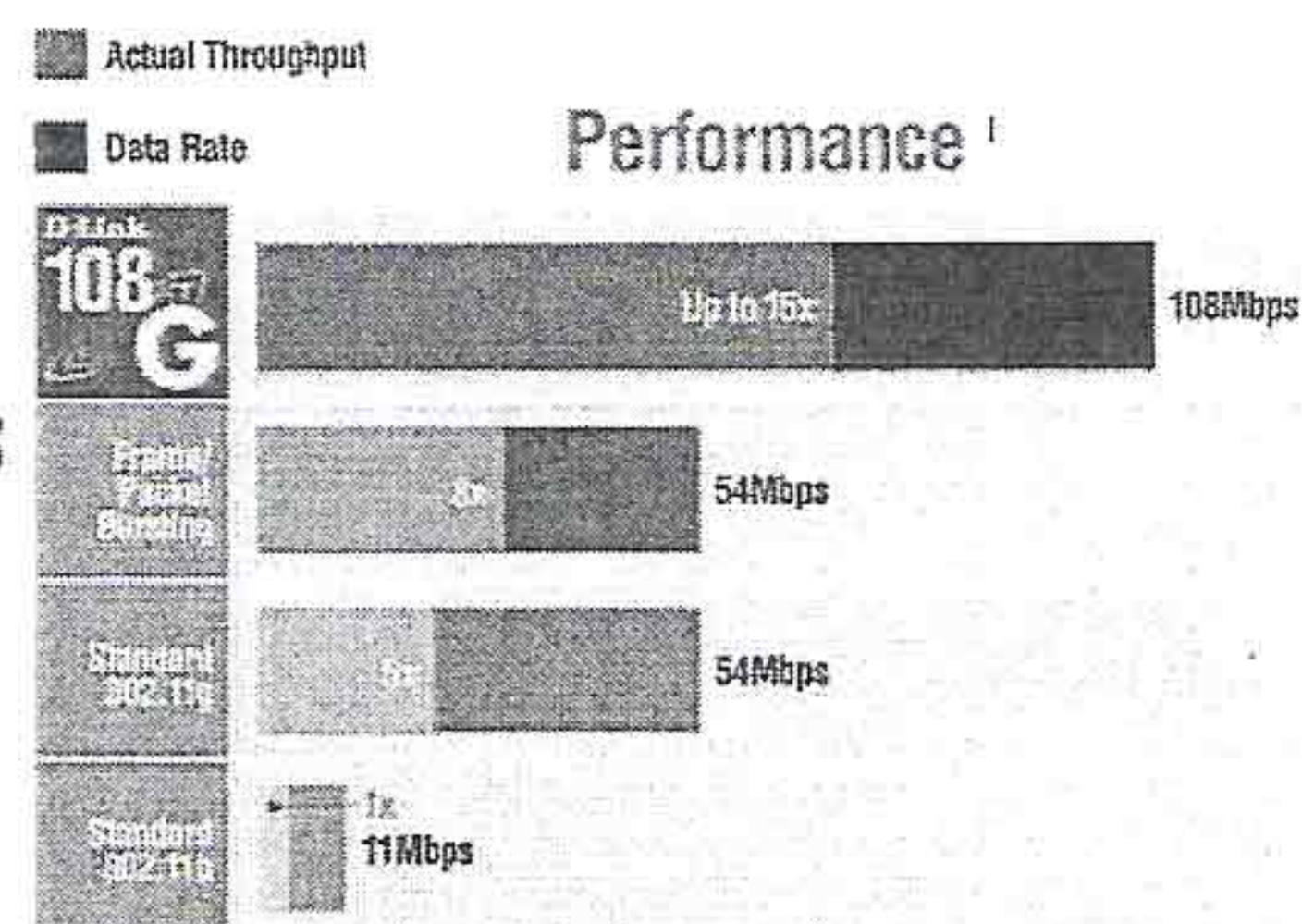
¹ Maximum wireless signal rate derived from IEEE Standard 802.11g specifications. Actual data throughput will vary. Network conditions and environmental factors, including volume of network traffic, building materials and construction, and network overhead lower actual data throughput rate.

² Environmental conditions may adversely affect wireless signal range.

DWL-2100AP



Technology



D-Link Systems, Inc. 17595 Mt. Herrmann Street Fountain Valley CA 92708 www.dlink.com
©2004 D-Link Corporation/D-Link Systems, Inc. All rights reserved. D-Link, the D-Link logo and AirPlus Xtreme G are registered trademarks of D-Link Corporation or its subsidiaries in the United States and other countries. Other trademarks are the property of their respective owners. All references to speed are for comparison purposes only. Product specifications, size and shape are subject to change without notice, and actual product appearance may differ from that depicted herein.
Visit www.dlink.com for more details.

D-Link[®]
Building Networks for People