

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 จึงจะไม่ทำให้เกิดการรบกวนกันของแถบความถี่ 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

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{v}{f} \\
 &= \frac{2.998 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.437 \text{ GHz}} \\
 \lambda &= 0.123 \text{ m}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

โดย

$$\begin{aligned}
 v &\text{ คือ } \text{ความเร็วแสง} \\
 f &\text{ คือ } \text{ความถี่ที่ใช้งาน}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{C}{\pi} \\
 &= \frac{123 \text{ mm}}{\pi} \\
 &= 39 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

ในการสร้างสายอากาศนั้นเราจะใช้ท่อ PVC มาเป็นแกนพันขดลวด โดยลวดที่นำมาพันนั้น เราใช้เส้นลวดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) 2 มิลลิเมตร ดังนั้นเราจะต้องการท่อ PVC ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 37 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ $D = 39$ มิลลิเมตร ตามสมการ 3.2 ที่อย่างไรก็ตามท่อ 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]

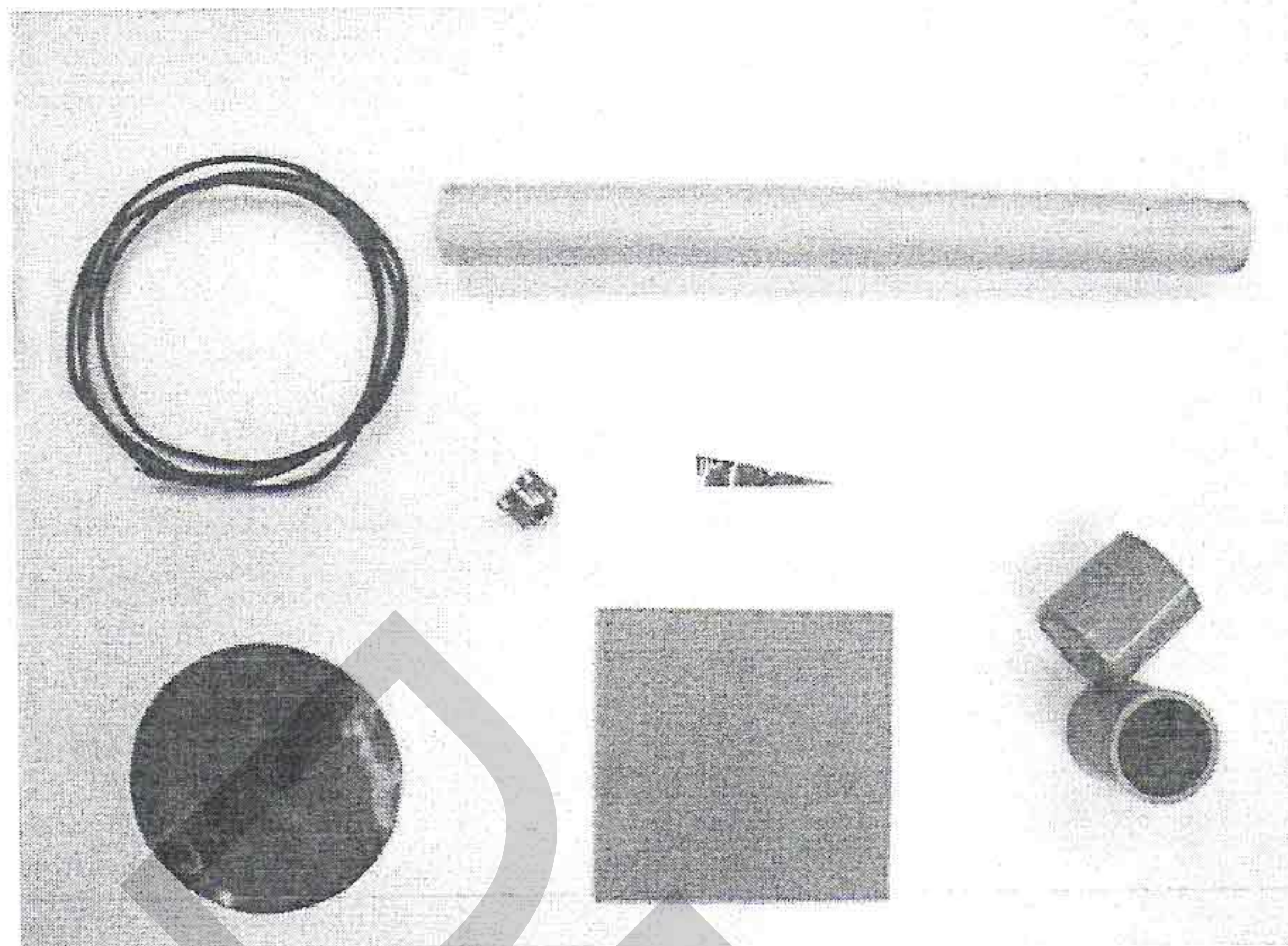
$$\begin{aligned} BWFN &= \frac{115^\circ}{(C/\lambda) \cdot \sqrt{n \cdot (S/\lambda)}} \\ &= \frac{115^\circ}{\left(\frac{132}{123}\right) \cdot \sqrt{12 \cdot \left(\frac{33}{123}\right)}} \\ &= 59.7^\circ \end{aligned} \quad (3.11)$$

3.2 การสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์

การสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์นั้น จะใช้วัสดุที่เบาและทนทาน ที่สามารถหาได้ง่ายและราคาไม่แพง โดยรายการวัสดุที่ใช้งานมีดังนี้

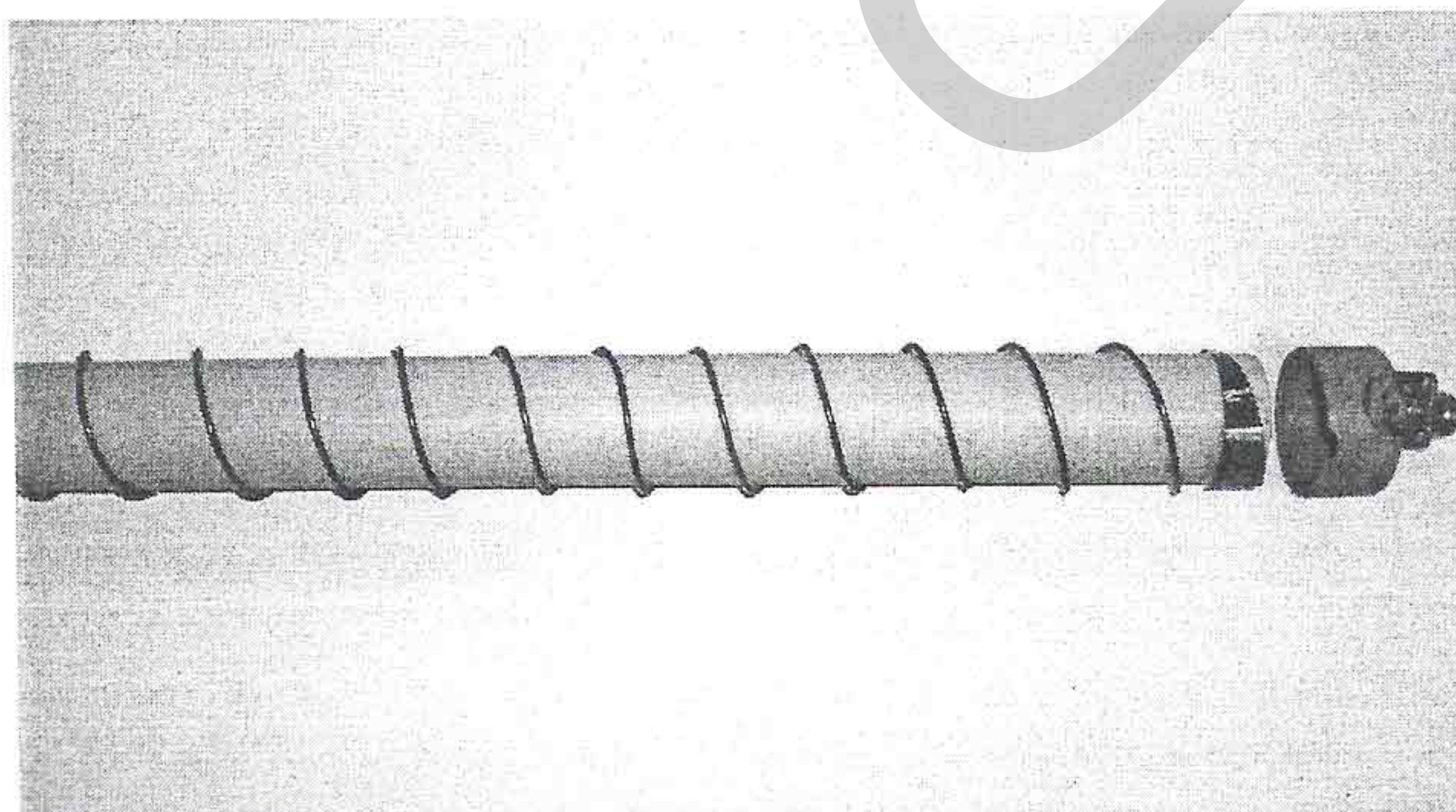
- 1) สายทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร
- 2) ท่อ PVC สีเหลืองนำไปกลึงให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 40 มิลลิเมตรยาว 42 เซนติเมตร
- 3) แผ่นทองแดงสำหรับการสะท้อนคลื่นตัดให้เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร
- 4) แผ่นอะคริลิกใส ตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส 2 แผ่นขนาด 14×14 เซนติเมตร
- 5) แผ่นทองแดงที่นำมาทำเป็นสตัป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

โดยวัสดุต่าง ๆ ที่ต้องจัดเตรียมไว้อยู่ในรูป 3.1



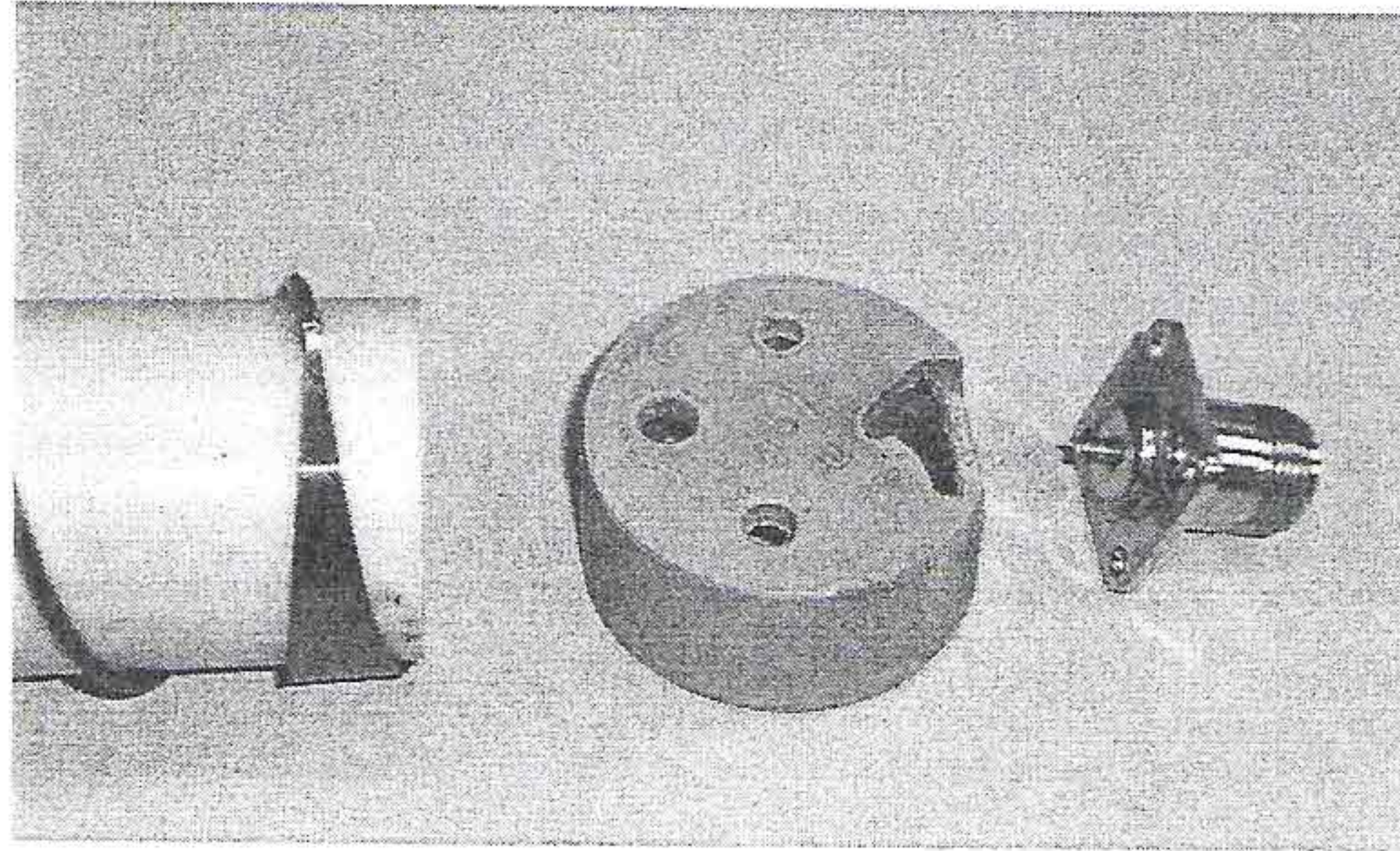
รูปที่ 3.1 การจัดเตรียมวัสดุต่าง ๆ ในการสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์

จากนั้นให้กำหนดแนวเส้นในการพันสายไฟกับท่อ PVC โดยให้เป็นเกลียวและมีระยะระหว่างเกลียว 33 มิลลิเมตร และพันสายไฟตามแนวที่อยู่บนท่อ จากนั้นใส่กาวเพื่อยึดติดดังรูป 3.2



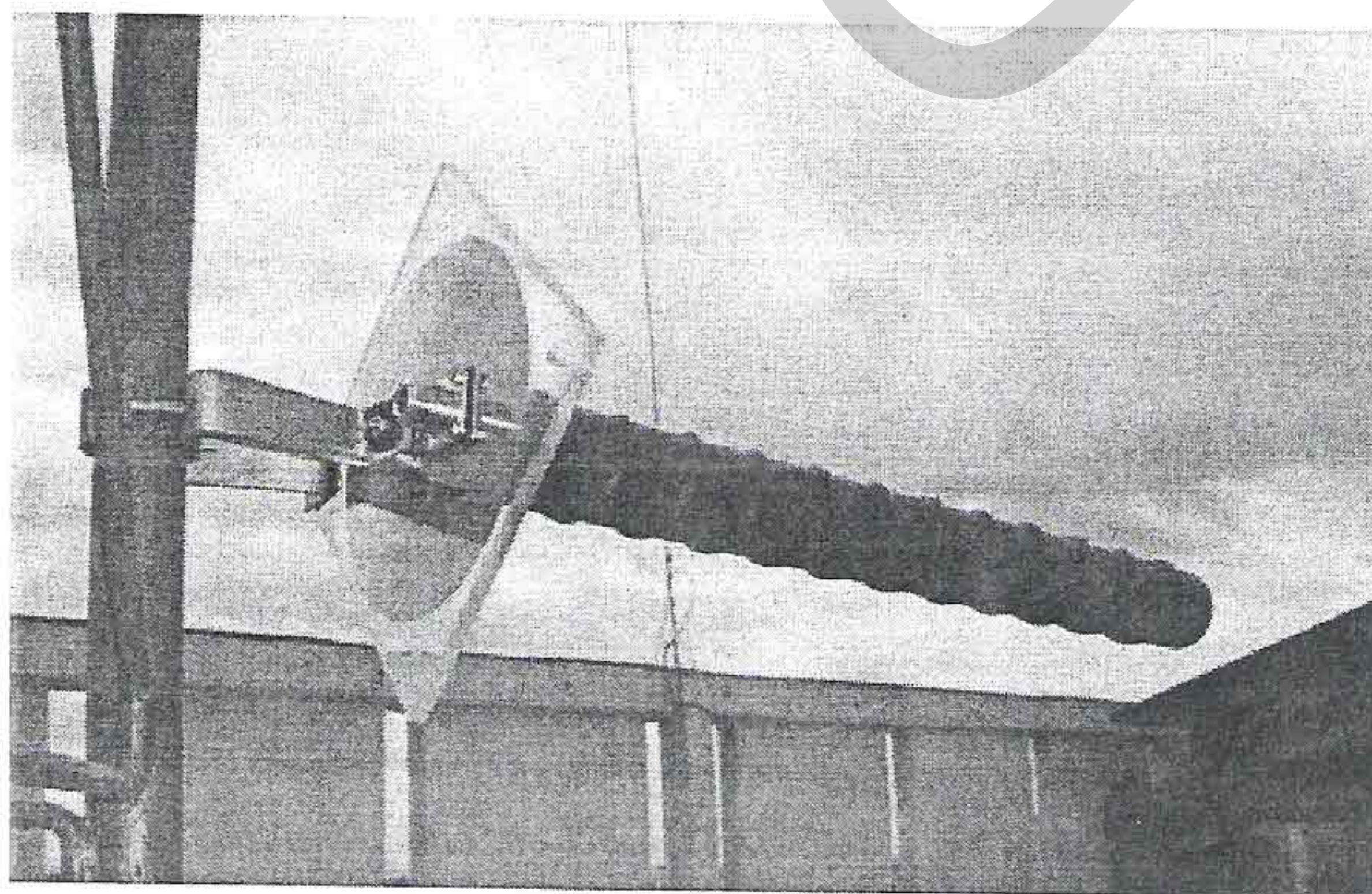
รูปที่ 3.2 การพันสายสายไฟเข้ากับท่อ PVC

จากนั้นให้นำปลายด้านหนึ่งของสายไฟให้เชื่อมต่อเข้ากับปลายของสตัป ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 รูปแบบการเชื่อมต่อสตัปเข้ากับปลายขดลวด และคอนเนกเตอร์ N-TYPE กับ ฐานรอง PVC ที่เตรียมไว้

ให้เจาะรูฝาครอบท่อ ดังรูป 3.3 และประกอบเข้ากับท่อ PVC ทางด้านที่ต่อกับสตัป เพื่อทำเป็นฐานรองยึดติดกับแผ่นสะท้อน จากนั้นให้ประกบแผ่นอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้เข้ากับ แผ่นทองแดง วงกลมสำหรับการสะท้อนคลื่น และเจาะรูเพื่อติดตั้งเข้ากับคอนเนกเตอร์ N-TYPE ชนิด Female 50 Ohm โดยให้ปลายเข็มของคอนเนกเตอร์ อยู่ตรงแนวของแผ่นสะท้อนทองแดง จากนั้นนำชุดแผ่น สะท้อนคลื่นประกอบเข้ากับ ฐานรองท่อและเชื่อมต่อปลายสตัปอีกด้านหนึ่งเข้ากับ เข็มของคอนเนกเตอร์ N-TYPE จากนั้นใช้ท่อหดหุ้มทับอีกชั้นหนึ่งโดยสายอากาศที่สร้างเสร็จแล้วแสดงได้ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 สายอากาศแบบเฮลิคซ์เมื่อสร้างเสร็จสมบูรณ์