

การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่าโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

Design of An Equilateral Triangular Microstrip Antenna Using Neural network

ณสกลธนา สมบัติธีระ* เหมือนฝัน อำทอง เกียรติเดช พระธานี ชาญไชย ไทยเจียม

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

63 หมู่ 7 ถนนรังสิตนครนายก ต.องครักษ์ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

Nasakolthana Sombattheera Muanfun Amthong Kriengdech Prathanee Chanchai Thajijiam

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

63 M.7 Rangsit-Nakhonnayok Rd., Ongkharak, Nakhonnayok 26120

*Corresponding author email: nasakolthana.sombattheera@g.swu.ac.th

(Received: November 16, 2022; Revised: April 11, 2023 ; Accepted: May 26, 2023)

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่าโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน (Radial basis function) เพื่อหาค่าความยาวแต่ละด้านของสายอากาศผ่านโปรแกรมแมทแลป (MATLAB) ความยาวที่เหมาะสมของสายอากาศถูกออกแบบ ณ ความถี่ใช้งาน 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งถูกคำนวณโดยโครงข่ายประสาทเทียมและประยุกต์ในการจำลองแบบสายอากาศบนโปรแกรมซีเอสที (CST) เพื่อหาค่าความถี่ใช้งานของแบบจำลองสายอากาศ พบว่าค่าความถี่ใช้งานที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมและจากโปรแกรม ซีเอสที (CST) มีค่าความถี่ใช้งานสอดคล้องกัน

คำสำคัญ: สายอากาศไมโครสตริป สายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่า โครงข่ายประสาทเทียม โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) และซีเอสที (CST)

ABSTRACT

This paper is to present how to design an equilateral triangular microstrip antenna using the radial basis function neural network to determine the length of each side of the antenna using the MATLAB program. The optimized length of the antenna is designed at the operating frequency of 2.45 GHz, calculated by the neural network method and applied to simulate the antenna model on the CST program to determine the antenna model's operating frequency. As a result, the operating frequency obtained from the Neural Network method and from the CST program are corresponded.

Keyword: Microstrip antenna, equilateral triangular microstrip antenna, neural network, MATLAB and CST programs.

1. บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารไร้สายนั้นได้กลายมาเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวัน เช่น การสื่อสารผ่านโทรศัพท์ การใช้งานระบบวิทยุ และการใช้งานอินเทอร์เน็ต ซึ่งอุปกรณ์ที่ถูกใช้งานเป็นส่วนหนึ่งของระบบสื่อสารแบบไร้สายนั้นคือสายอากาศ สายอากาศแต่ละชนิดก็จะถูกออกแบบเพื่อนำมาใช้งานในระบบการสื่อสารไร้สายที่มีขนาดแตกต่างกันออกไป หนึ่งในสายอากาศที่นิยมใช้งานนั้นคือสายอากาศไมโครสตริปซึ่งเป็นสายอากาศที่มีความนิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายในหมู่ของนักวิจัยและทางด้านอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากสายอากาศชนิดนี้มีน้ำหนักเบา สร้างได้ง่าย และมีต้นทุนต่ำ [1]

สายอากาศไมโครสตริปที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้งาน การทำวิจัย และการศึกษานั้นจะเป็นสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างเรขาคณิตอย่างง่าย เช่น สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม และวงกลม [2] อย่างไรก็ตามสายอากาศไมโครสตริปนั้นมีรูปร่างของโครงสร้างสายอากาศหลากหลายรูปร่าง ซึ่งหนึ่งในรูปร่างของสายอากาศไมโครสตริปที่ได้รับความนิยมคือสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่า โดยสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่า นั้นจะมีข้อได้เปรียบกว่าสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสี่เหลี่ยมคือจะมีขนาดเล็กกว่าเมื่อมีความยาวด้านแต่ละด้านที่เท่ากัน [3] และยังเป็นโครงสร้างพื้นฐานในการออกแบบสายอากาศที่ทำงานได้หลายย่านความถี่ได้เช่นเดียวกับสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสี่เหลี่ยม สายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่าถูกใช้เป็นโครงสร้างพื้นฐานของการออกแบบสายอากาศหลายย่านความถี่ เช่น สายอากาศไมโครสตริปแบบแฟร็กทัลเซียร์พินสกีแกสเก็ต (Sierpinski gasket fractal microstrip antenna) [4]

สำหรับโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปนั้นประกอบด้วย 3 ส่วน คือ แผ่นตัวนำสายอากาศ แผ่นฐานรองวัสดุ และกราวด์ โดยส่วนของแผ่นตัวนำสายอากาศกับกราวด์จะใช้เป็นวัสดุโลหะ เช่น ทองแดง และฐานรองวัสดุจะเป็นส่วนที่อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่น

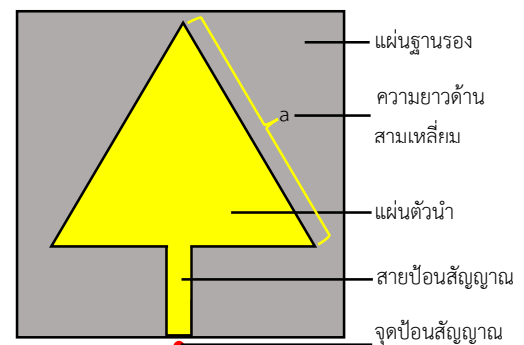
ตัวนำ (แผ่นทองแดง) ของสายอากาศและกราวด์ ในบทความวิจัยนี้ จะทำการออกแบบโครงสร้างที่สำคัญของสายอากาศไมโครสตริปแบบสามเหลี่ยมด้านเท่าด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมผ่านโปรแกรม MATLAB และทำการจำลองแบบสายอากาศผ่านโปรแกรม CST ค่าที่คำนวณได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกใช้เพื่อทำการพิสูจน์ว่าการใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมนั้นสามารถนำไปใช้ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่านี้ได้จริง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่า (Equilateral triangular microstrip antenna)

สายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่า นั้นเป็นสายอากาศไมโครสตริปชนิดหนึ่ง ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้ [5] (รูปที่ 1)

1. แผ่นตัวนำ (patch)
2. สายป้อนสัญญาณ (feedline)
3. จุดป้อนสัญญาณ (feeding point)
4. แผ่นฐานรอง (substrate)
5. แผ่นกราวด์ (ground)



ก) มุมมองจากทางด้านบน (top view)



ข) มุมมองจากทางด้านข้าง (side view)

รูปที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป รูปร่าง
สามเหลี่ยมด้านเท่า

2.1.1 สมการของสายอากาศไมโครสตริปรูปร่าง
สามเหลี่ยมด้านเท่า

การหาความยาวด้านของสายอากาศไมโครสตริป
รูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่า ถูกแสดงดังสมการที่ (1) [6]

$$f_r = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{m^2 + n^2 + mn} \quad (1)$$

โดยที่ f_r = ความถี่ใช้งาน (Hz)
 c = ความเร็วแสง (3×10^8 m/s)
 a = ความยาวด้านสามเหลี่ยมของแผ่น
 ตัวนำ (m)
 ϵ_r = ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของสาร
 ตัวกลาง
 m, n = โหมดของ TM_{mn}

สายอากาศไมโครสตริปนั้นถูกเลือกให้ทำงานในโหมด
 TM_{10} [2,7] ดังนั้นสมการที่ใช้ในการออกแบบถูกแสดงดัง
สมการที่ (2)

$$f_{1,0} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

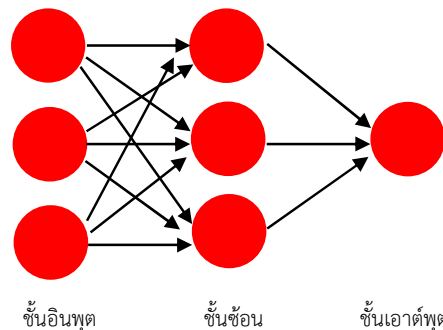
2.2 โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network)

โครงข่ายประสาทเทียมคือ แบบจำลองทาง
คณิตศาสตร์หรือแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับ
ประมวลผลที่มีต้นแบบมาจากการทำงานของสมองมนุษย์
ผ่านกลไกของการเรียนรู้ โดยการใช้ประโยชน์จากตัวอย่าง
หลายๆ ตัวอย่างในการฝึกฝนเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาที่ไม่
มีรูปแบบตายตัวหรือมีรูปแบบที่ซับซ้อนมากกว่าที่จะ
สามารถทำความเข้าใจ [7] โดยโครงข่ายประสาทเทียมนั้น
จะมีองค์ประกอบหลักทั้งหมด 3 ชั้นคือ

1. ชั้นอินพุต (input layer)
2. ชั้นซ่อน (hidden layer)
3. ชั้นเอาต์พุต (output layer)

2.2.1 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน (Radial basis function, RBF)

โครงข่ายประสาทเทียมชนิดเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน (Radial basis function, RBF) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมชนิดไปข้างหน้า (feed forward) ที่มีชั้นซ่อน (hidden layer) ทั้งหมด 1 ชั้น โดยนิวรอน (neural) ที่อยู่ในชั้นซ่อนนี้จะมีคุณสมบัติคือ มีฟังก์ชันการโอนถ่าย (mapping function) ที่จะปรับค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อให้ฟังก์ชันมีความเหมาะสมมากที่สุดกับการนำไปใช้งาน โดยคุณสมบัติของผลตอบสนองฟังก์ชันหรือผลลัพธ์ที่เกิดจาก RBF นั้นจะแปรผันตามระยะห่างของอินพุตที่กำหนดไว้กับจุดศูนย์กลางของฟังก์ชัน โดยที่ถ้าอินพุตอยู่ใกล้จุดศูนย์กลางจะได้ค่าเอาต์พุตที่มาก แต่ถ้าอินพุตอยู่ไกลจากจุดศูนย์กลางจะได้ค่าเอาต์พุตที่น้อย ซึ่งมีความเหมาะสมในการประมาณค่า และมีพารามิเตอร์การกระจาย (spread parameter) เป็นตัวควบคุมความกว้างของระยะห่างใน RBF [8] ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างของ RBF

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในบทความนี้ ต้องการที่จะออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่า โดยอาศัยสมการจากทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียมชนิด RBF ผ่านโปรแกรม MATLAB และผลการคำนวณทางเชิงตัวเลขผ่านโปรแกรม CST ในการออกแบบจำลองของสายอากาศ การกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นในการออกแบบถูกแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางพารามิเตอร์เริ่มต้นในการออกแบบ

พารามิเตอร์ที่ใช้งาน	ค่าพารามิเตอร์
ความถี่ใช้งาน (f_r)	2.45 GHz
ความยาวด้านสามเหลี่ยมของแผ่นตัวนำ (a)	NaN
ความยาวของกราวด์ (L_g)	$2*a$
ความกว้างของกราวด์ (W_g)	$2*a$
ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (ϵ_r)	4.3-4.7

หมายเหตุ NaN คือค่าที่ยังไม่ทราบค่าเริ่มต้น ซึ่งจะหาค่าได้โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

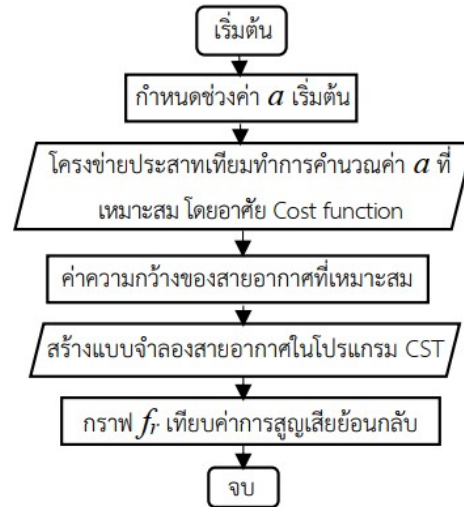
หลังจากที่ได้กำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นในการออกแบบแล้ว ก็จะนำค่าพารามิเตอร์ที่ทราบค่าไปทำการเขียนโปรแกรม MATLAB โดยใช้วิธีการหาค่าด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมชนิด RBF เพื่อหาค่าความยาวด้านสามเหลี่ยมของแผ่นตัวนำ (a) ที่เหมาะสมกับความถี่ใช้งาน (f_r) เพื่อนำไปทำการจำลองแบบของสายอากาศผ่านโปรแกรม CST ต่อไป

3.1 การหาค่าด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

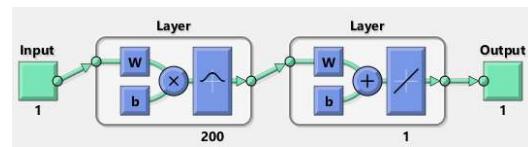
ในการดำเนินการด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมนั้น จะนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้กำหนดไว้ดังตารางที่ 1 มาทำการประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิด RBF และอาศัยฟังก์ชันในการกำหนดทิศทางค่าเอาต์พุต (Cost function) ซึ่งในที่นี้เป็นสมการของความถี่ใช้งาน (f_r) ดังสมการที่ (2) โดยมีอินพุตเป็นความยาวด้านสามเหลี่ยมของแผ่นตัวนำ (a) ดังแสดงในรูปที่ 3

ค่าอินพุตเป็นความยาวด้านสามเหลี่ยมของแผ่นตัวนำ ถูกกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.001 ถึง 0.1 m และกำหนดให้เพิ่มขึ้นทีละ 0.00001 m ค่าเอาต์พุตเป็นความถี่ใช้งาน (f_r) จะถูกคำนวณได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมชนิด RBF ในการประมวลผล ซึ่งกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการกระจายเท่ากับ 200 ดังแสดงในรูปที่ 4 และค่าประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าเท่ากับ $2.3793e^{+11}$ ซึ่งจะได้ค่าความยาวด้านสามเหลี่ยมของแผ่น

ตัวนำ (a) ของสายอากาศเทียบกับค่าความถี่ใช้งาน (f_r) ดังตัวอย่างจำนวน 9 ชุด ถูกแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 4 ชั้นของโครงข่ายประสาทเทียม

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าความยาวของแผ่นตัวนำของสายอากาศเทียบกับค่าความถี่ใช้งาน

ความยาวแผ่นตัวนำ (mm)	ความถี่ใช้งาน (GHz)
37.1	2.4869
37.2	2.4799
37.3	2.4729
37.4	2.4660
37.5	2.4593
37.6*	2.4527*
37.7	2.4463
37.8	2.4401
37.9	2.4339

บทความนี้ต้องการออกแบบสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz จากตารางที่ 2 ได้แสดงค่าความยาวด้านสามเหลี่ยมของแผ่นตัวนำ ณ ความถี่ใช้งานต่างๆ และ ณ ความถี่ใช้งานที่ 2.45 GHz (บันทึกว่า ค่าความถี่ใช้งานที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 2.4527 GHz) ให้ค่าความยาวด้านสามเหลี่ยมของแผ่นตัวนำเท่ากับ 37.6 mm ซึ่งจะถูกนำไปใช้การจำลองแบบในโปรแกรม CST ต่อไป

3.2 การออกแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม CST

ในการออกแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม CST นั้น จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ เพื่อทำการสร้างแบบจำลองของสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่าให้มีความเหมาะสมกับความถี่ใช้งานตามตารางที่ 2 รวมไปถึงค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบบนโปรแกรม CST ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่า

พารามิเตอร์ที่ใช้งาน	ค่าพารามิเตอร์
ความกว้างของกราวด์ (W_g)	75.2 mm
ความยาวของกราวด์ (L_g)	75.2 mm
ความยาวด้านสามเหลี่ยมของแผ่นตัวนำ (a)	37.6 mm
ความหนาแผ่นฐานรอง (h)	0.75 mm
ความหนาแผ่นตัวนำ (t)	0.035 mm
ความกว้างสายป้อนสัญญาณ (W_f)	4.5 mm

จากตารางที่ 3 ความหนาแผ่นฐานรอง (h) ความหนาแผ่นตัวนำ (t) และความกว้างสายป้อนสัญญาณ (W_f) ถูกออกแบบขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับการสร้างแบบจำลองของสายอากาศ ค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 3 ถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองของสายอากาศบนโปรแกรม CST เพื่อหาค่าความถี่ใช้งานและค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11})

4. ผลการดำเนินการ

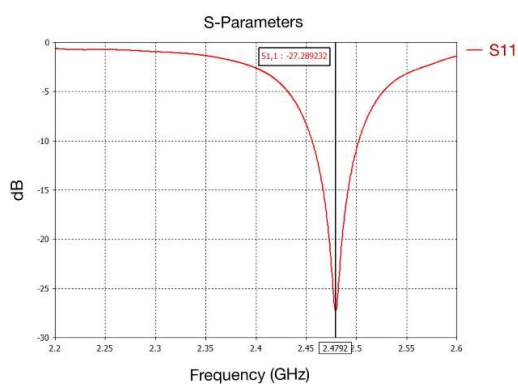
เมื่อนำค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรม MATLAB มาทำการจำลองแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม CST ได้ผลลัพธ์ของการออกแบบจำลองสายอากาศ ไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่า และกราฟแสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับ ดังแสดงในรูปที่ 5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ พบว่าแบบจำลองสายอากาศมีความถี่ใช้งานประมาณ 2.48 GHz (มีความผิดพลาดร้อยละ 1.453 เมื่อเทียบกับค่าความถี่ใช้งานที่ 2.45 GHz) โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับประมาณ -8 dB

ค่าความถี่ที่คำนวณได้จากแบบจำลองสายอากาศแสดงให้เห็นว่า วิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้และออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างสามเหลี่ยมด้านเท่าได้ อย่างไรก็ตาม ค่าความถี่ที่คำนวณได้และค่าความถี่ใช้งานยังมีความผิดพลาดอยู่ รวมทั้งค่าการสูญเสียย้อนกลับยังมีค่าไม่น้อยกว่า -10 dB (ตามมาตรฐานการออกแบบ) เนื่องจากการออกแบบสายอากาศที่นำเสนอในบทความนี้ ยังไม่ได้รวมการออกแบบในส่วนเทคนิคการแมตซ์ซิ่ง (matching techniques) ของสายอากาศกับสายป้อนสัญญาณ ยิ่งไปกว่านั้น พารามิเตอร์ต่างๆ ในการออกแบบสายอากาศบางค่า นั้นเป็นค่าที่เกิดจากการจำลองแบบ เช่น ความหนาแผ่นตัวนำ (t) ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศถูกออกแบบให้มีค่าเท่ากับ 0.035 mm แต่ค่าประมาณในสมการที่ (1) กำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์ ย่อมส่งผลให้เกิดค่าความผิดพลาดได้ (ด้วยโครงสร้างทางกายภาพของสายอากาศแบบจำลองในโปรแกรม CST ความหนาแผ่นตัวนำ (t) จึงไม่ได้กำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์)

5. สรุป

จากการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมชนิดเรเดียลเบสฟังก์ชัน (Radial basis function, RBF) ด้วยโปรแกรม MATLAB และนำค่าที่ได้มาทำการสร้างแบบจำลองสายอากาศผ่านโปรแกรม CST พบว่าได้แบบจำลองสายอากาศที่มี

ค่าความถี่ใช้งานสอดคล้องตรงกัน แต่ในส่วนค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศที่ได้มีค่ามากกว่า -10 dB ทั้งนี้เนื่องจากการที่ยังไม่ได้ทำการแมตซ์ซึ่งสายอากาศกับสายป้อนสัญญาณ ซึ่งจะเป็นส่วนขยายของงานวิจัยนี้ต่อไปในอนาคต อย่างไรก็ตาม บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการใหม่ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศด้วยวิธีปัญญาประดิษฐ์ นั่นคือ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม และผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถถูกนำมาใช้ในการออกแบบสายอากาศได้



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับเทียบกับความถี่ใช้งาน

6. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำหรับเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] D. Ramakrishnan and P. P. V, "Wideband Suspended Strip Feed 30°-60°-90° Triangular Microstrip Patch Antenna," in *2022 3rd International Conference for Emerging Technology (INCET)*, Belgaum, India, 2022, pp. 1-4.
- [2] A. Deshmukh, V. Chaudhary, S. Pawar, A. Mhatre and M. Shah, "Enhancement In Bandwidth using Sectoral Patches in

Equilateral Triangular Microstrip Antenna," in *2019 IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, Bombay, India, 2019, pp. 1-5.

- [3] F. Abdelhak, S. Noureddine and G. Ali, "An Electrical Model to Sierpinski Gasket Patch Antenna," in *2009 Fifth Advanced International Conference on Telecommunications*, 2009, pp. 284-288.
- [4] B. S. Dhaliwal and S. S. Pattnaik, "Artificial Neural Network Analysis of Sierpinski Gasket Fractal Antenna: A Low-Cost Alternative to Experimentation," *Advances in Artificial Neural Systems*, vol. 2013, no. 3, pp. 1-7, 2013.
- [5] M. Mathur, G. Singh, S. K. Bhatnagar, S. Swami and A. Vats, "Transformation of Design Formulae for Feed Line of Triangular Microstrip Antenna," *AIP Conference Proceedings.*, vol. 1715, pp. 20035 (1-5), 2016.
- [6] M.M. Olaimat and N. I. Dib, "A Study of 15-75-90 degree Angles Triangular Patch Antenna." *Progress In Electromagnetic Research Letters*, vol 21, pp. 1 – 9, 2011.
- [7] Grienggrai Rajchakit. [2022, Nov 15]. Artificial neural network. Content summary report of utilization of training, seminar or academic conference [online]. Available: <https://rae.mju.ac.th/acticleDetail.aspx?qid=585>
- [8] S. Arampongsanuwat and P. Meesad, "The development of a model to predict the amount of PM10 in Bangkok using Radial

basis function ,” in *NCIT 2010*, KMITL., 2010, pp. 273-278.

- [9] A. Deshmukh, V. Chaudhary, S. Pawar, A. Mhatre and M. Shah, "Enhancement In Bandwidth using Sectoral Patches in Equilateral Triangular Microstrip Antenna," in *2019 IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, Bombay, India, 2019, pp. 1-5.