Rattanakosin Journal of Science and Technology: RJST
2025, Volume 7 Issue 2: 142-149
Research Article
Online ISSN: 2673-0553

การวัดค่าอัตราการดูดซึมเฉพาะที่ย่านความถี่ 2.4 GHz

บันเจิด สวนทรัพย์[1] นิธิกานต์ ทองลอด[2] และ ประพัทธ์ อานมณี[3*]

[1,2,3]สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

E-mail: [1]notkerdpom@gmail.com, [2]nithikan05092544@gmail.com, [3*]praphat.arn@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการวัดค่าอัตราการดูดซึมเฉพาะย่านความถี่ 2.4 GHz ประกอบด้วยสายอากาศตัวรับ วงจรขยายสัญญาณ RF วงจรเรียงกระแส และบอร์ด Arduino สายอากาศมีโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าวางล้อมรอบแพทช์แพร่กระจายคลื่น ทำหน้าที่กีดขวางการแพร่กระจายคลื่นพื้นผิว ทำให้สายอากาศมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังแคบ ส่งผลให้สายอากาศที่นำเสนอสามารถระบุตำแหน่งที่ต้องการวัดค่า SAR ได้แม่นยำมากขึ้น โครงสร้างสายอากาศมีขนาด 202×202 ตารางมิลลิเมตร สร้างบนวัสดุชนิด FR-4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.3 หนา 1.6 มิลลิเมตร ผลการทดสอบค่าขนาด S11 เท่ากับ -34.17dB ที่ความถี่ 2.45GHz มีค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเท่ากับ 61.8 องศา และ 60.9 องศาในระนาบ XZ และ YZ ตามลำดับ สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศที่นำเสนอถูกป้อนสู่วงจรขยายสัญญาณ RF และวงจรเรียงกระแสเพื่อขยายสัญญาณและแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าก่อนนำเข้าสู่บอร์ด Arduino เพื่อคำนวณค่า SAR และแสดงผลบนหน้าจอ LCD

คำสำคัญ: อัตราการดูดซึมเฉพาะ ย่านความถี่ 2.4 GHz การวัด

* Corresponding author, e-mail: praphat.arn@rmutr.ac.th

Received: 24 08 2024 / Revised: 27 12 2024 / Accepted: 21 01 2025

Rattanakosin Journal of Science and Technology: RJST
2025, Volume 7 Issue 2: 142-149
Research Article
Online ISSN: 2673-0553

Measurement of Specific Absorption Rate (SAR) in the Frequency Band of 2.4 GHz

Banjerd Suansap[1], Nithikan Thonglod[2], Praphat Arnmanee[3*]
[1,2,3]Telecommunication, Engineering Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Rattanakosin
E-mail: [1]notkerdpom@gmail.com, [2]nithikan05092544@gmail.com, [3*]praphat.arn@rmutr.ac.th

Abstract

This paper presents the measurement of specific absorption rate (SAR) in the frequency band of 2.4 GHz. This research consists of a receiving antenna, a RF amplifier, a rectifier and an Arduino board. A radiating patch of the antenna is surrounded by an electromagnetic band gap structure, in order to suppress surface wave propagation. Resulting in a narrow half-power beam width (HPBW) of the antenna. As a result, the proposed antenna can provide more accurate positioning for SAR measurements. The proposed antenna structure has dimensions of 202×202 sq.mm, fabricated on an FR-4 substrate with a dielectric constant of 4.3 and thickness of 1.6 mm. In addition, the measured |S11| of -34.17dB at 2.45GHz frequency, the HPBW of 61.8 and 60.9 degrees in XZ and YZ planes, respectively. A signal received from the proposed antenna is fed to the RF amplifier and the rectifier circuits, to amplify the signals and they are converted to voltage. After that, they are fed to the Arduino board, to calculate the SAR values and display they on the LCD screen.

Keywords: Specific Absorption Rate (SAR), Frequency Band of 2.4 GHz, Measurement

* Corresponding author, e-mail: praphat.arn@rmutr.ac.th

Received: 24 08 2024 / Revised: 27 12 2024 / Accepted: 21 01 2025

1. บทนำ

ในยุคปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะเป็นอุตสาหกรรมเป้าหมายของประเทศไทย ดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะที่สามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ จำเป็นต้องมีสายอากาศติดตั้งในตัวอุปกรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะทุกชนิดที่ใช้งานร่วมกับร่างกายมนุษย์จะมีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กเข้าสู่ร่างกาย อาทิเช่น สมาร์ทวอช แว่นวีอาร์ หูฟังบูลทูธ หรือเสื้อผ้าอัจฉริยะและสมาร์ทโฟน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้ร่างกายมนุษย์ตลอดเวลาและเป็นการสื่อสารที่มีร่างกายเป็นศูนย์กลาง [1] จึงจำเป็นต้องระวังในเรื่องของค่าอัตราการดูดซึมเฉพาะ เป็นสำคัญ

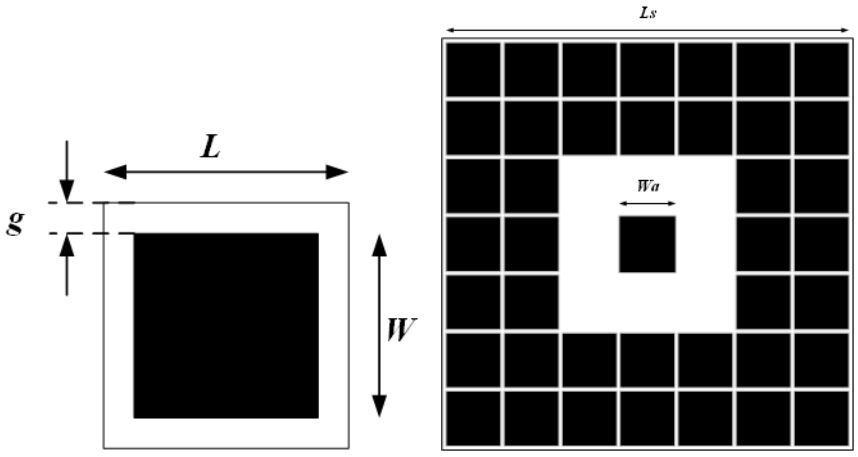
ค่าอัตราการดูดซึมเฉพาะ (SAR) เป็นการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายเข้าไปในร่างกายมนุษย์ โดยปกติค่าอัตราการดูดซึมเฉพาะเป็นค่าเฉลี่ยทั้งร่างกายหรือมีปริมาตรมากกว่าเล็กน้อย (โดยทั่วไปเนื้อเยื่อ 1 กรัมหรือ 10 กรัม) ค่าอัตราการดูดซึมเฉพาะสามารถคำนวณได้จากสมการ [2]

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \quad (1)$$

เมื่อ σ คือ ค่าความนำทางไฟฟ้าของเนื้อเยื่อตัวอย่าง E คือ ค่า RMS ของสนามไฟฟ้า ρ คือค่าความหนาแน่นของเนื้อเยื่อตัวอย่าง (Sample) การวัดค่าอัตราการดูดซึมเฉพาะใน [3] และ [4] จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะ อาทิเช่น โพรบสนามไฟฟ้า ของเหลวที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเนื้อเยื่อมนุษย์ ซอฟแวร์เฉพาะ เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงประดิษฐ์สายอากาศใช้งานร่วมกับวงจรสำหรับคำนวณค่าอัตราการดูดซึมเฉพาะต้นแบบ เพื่อเป็นการพัฒนาองค์ความรู้ในขั้นตอนถัดไป

2. การออกแบบสายอากาศ

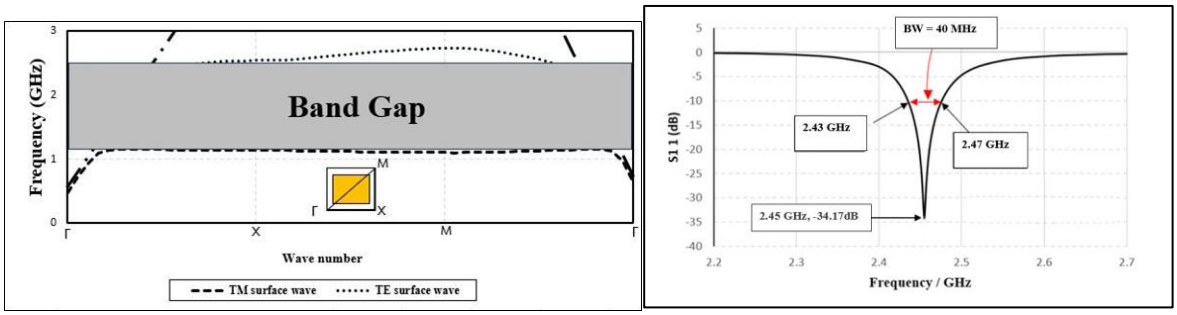
ในหัวข้อนี้ ทำการออกแบบและสร้างสายอากาศบนโครงสร้างไมโครสตริปประกอบด้วยแพทช์แพร่กระจายคลื่นและโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า [5] ดังแสดงในรูปที่ 1



(ก) (ข)

รูปที่ 1 โครงสร้าง (ก) ช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (ข) สายอากาศที่นำเสนอ

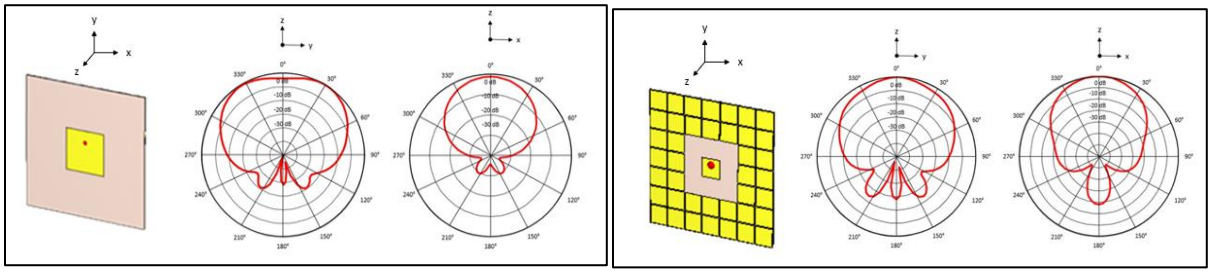
ขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆในรูปที่ 1 คือ *L* เท่ากับ 28.5 มม. *W* เท่ากับ 27 มม. *g* เท่ากับ 1.5 มม. *Ls* เท่ากับ 202 มม. และ *Wa* เท่ากับ 27 มม.



(ก) (ข)

รูปที่ 2 การจำลอง (ก) ไดอะแกรมการกระจาย (ข) |S11| ของสายอากาศที่นำเสนอ

รูปที่ 2(ก) แสดงไดอะแกรมการกระจายของโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าพบว่าคลื่นพื้นผิวที่ย่านความถี่ 2.4 GHz ไม่สามารถแพร่กระจายผ่านโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าได้เนื่องจากคุณสมบัติพื้นผิวอิมพีแดนซ์สูง ทำให้สายอากาศที่นำเสนอมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) แคบลง รูปที่ 2(ข) ค่า |S11| ของสายอากาศที่นำเสนอที่ความถี่



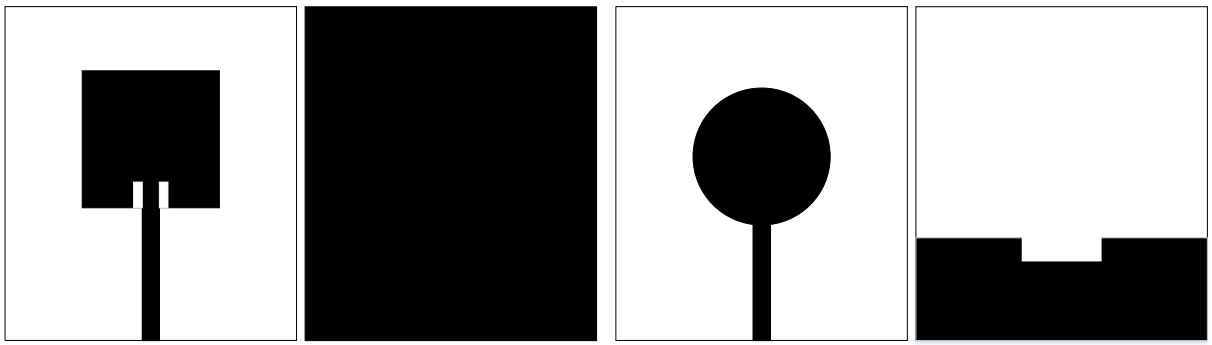
(ก) (ข)

รูปที่ 3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (ก) สายอากาศปกติ (ข) สายอากาศที่นำเสนอ

รูปที่ 3 แสดงผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น รูปที่ 3(ก) ค่า HPBW ของสายอากาศปกติเท่ากับ 80.6 และ 118.2 องศา ในระนาบ XZ และ YZ ตามลำดับ รูปที่ 3(ข) ค่า HPBW ของสายอากาศที่นำเสนอเท่ากับ 61.8 และ 60.9 องศา ในระนาบ XZ และ YZ ตามลำดับ พบว่าค่า HPBW ของสายอากาศที่นำเสนอแคบกว่าสายอากาศปกติ ส่งผลให้สายอากาศที่นำเสนอสามารถระบุตำแหน่งที่ต้องการวัดค่า SAR ได้แม่นยำมากขึ้น

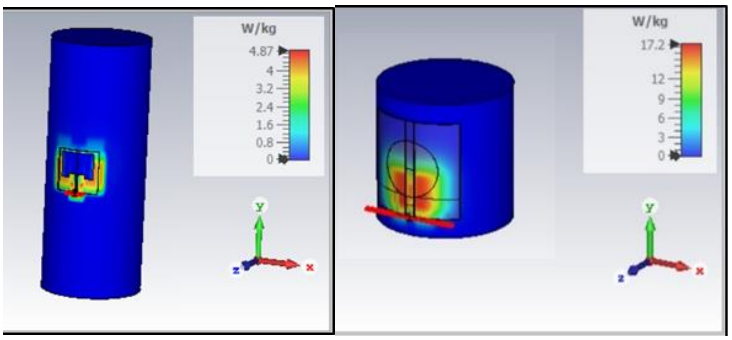
3. ผลการจำลองค่า SAR

ในหัวข้อนี้ทำการจำลองค่า SAR ที่เกิดจากโครงสร้างสายอากาศตัวอย่างสองชนิดเมื่อใช้งานบนร่างกายมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4



(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 4 สายอากาศ (ก) แบบที่ 1 ด้านหน้า (ข) แบบที่ 1 ด้านหลัง [6] (ค) แบบที่ 2 ด้านหน้า (ง) แบบที่ 2 ด้านหลัง

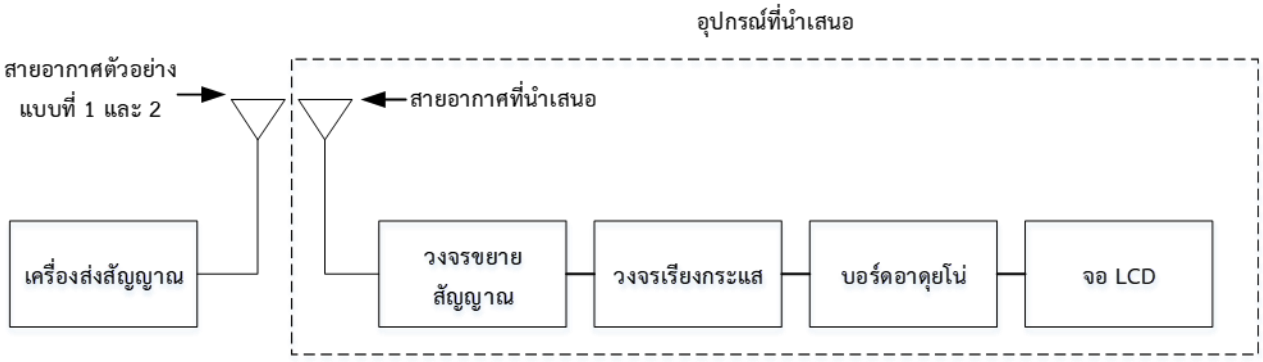


(ก) (ข)

รูปที่ 5 ค่า SAR (ก) สายอากาศแบบที่ 1 (ข) สายอากาศแบบที่ 2

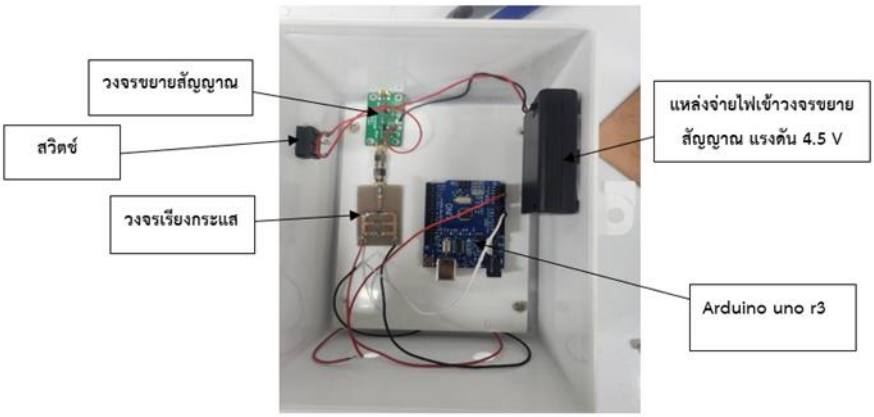
โดยการจำลองค่า SAR ของสายอากาศตัวอย่างสองชนิด สายอากาศจะถูกติดตั้งบนแบบจำลองรูปทรงกระบอกแทนแขนมนุษย์โดยมีการกำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเนื้อเยื่อมนุษย์ [7] ผลการจำลองค่า SAR สูงสุดที่ความถี่ 2.45 GHz ของสายอากาศแบบที่ 1 เท่ากับ 17.2 W/kg (รูปที่ 6(ก)) และของสายอากาศแบบที่ 2 เท่ากับ 4.87 W/kg (รูปที่ 6(ข))

4. การทดสอบ

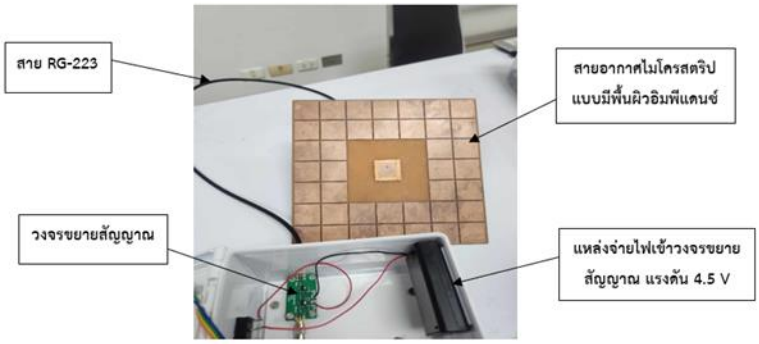


รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบของอุปกรณ์ที่นำเสนอ

บล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 6 แสดงอุปกรณ์ที่นำเสนอที่ประกอบด้วยสายอากาศที่นำเสนอถูกประกอบเข้ากับวงจรขยายสัญญาณ RF วงจรเรียงกระแสและบอร์ด Arduino เพื่อคำนวณค่า SAR บนพื้นฐานของสมการที่ 1 อุปกรณ์ที่นำเสนอสำหรับวัดค่า SAR จะถูกแสดงในรูปที่ 7 ต่อไปนี้



(ก)



(ข)

รูปที่ 7 อุปกรณ์ที่นำเสนอสำหรับวัดค่า SAR **(**ก) วงจรต่างๆ (ข) สายอากาศที่นำเสนอ

ในขั้นตอนการทดสอบ ทำการสร้างสายอากาศตัวอย่างแบบที่ 1 และแบบที่ 2 (รูปที่ 4) ต่อเข้ากับเครื่องส่งสัญญาณ เพื่อทำการทดสอบค่า SAR ของสายอากาศตัวอย่างทั้งสองชนิดด้วยอุปกรณ์ที่นำเสนอ โดยทำการนำสายอากาศที่นำเสนอวัดค่าสนามไฟฟ้าจากสายอากาศตัวอย่าง ทำการเก็บค่าทุกๆ 10 วินาที เป็นระยะเวลา 1 นาที โดยค่า SAR จะถูกแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า SAR ของสายอากาศตัวอย่างทั้งสองชนิด

เวลา (s)	สายอากาศแบบที่ 1 (W/kg)	สายอากาศแบบที่ 2 (W/kg)
10	3.69	16.85
20	4.66	17.84
30	3.51	18.44
40	4.39	16.94
50	4.13	17.94
60	4.52	18.54

จากตารางที่ 1 ที่ความถี่ 2.45 GHz ค่า SAR เฉลี่ยของสายอากาศแบบที่ 1 เท่ากับ 4.15 W/kg และค่า SAR เฉลี่ยของสายอากาศแบบที่ 2 เท่ากับ 17.76 W/kg

5. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่มีโครงสร้างช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อต้องการค่า HPBW แคบสำหรับการระบุตำแหน่งที่ต้องการวัดค่า SAR ได้แม่นยำมากขึ้น สายอากาศที่นำเสนอใช้งานร่วมกับวงจรต่างๆ เพื่อคำนวณค่า SAR โดยค่า SAR เฉลี่ยที่ความถี่ 2.45 GHz ที่ได้จากสายอากาศตัวอย่างสองชนิดมีค่าความคลาดเคลื่อนจากผลการจำลอง 14.78% และ 3.26% โดยอุปกรณ์ที่นำเสนอมีน้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายสะดวก และติดตั้งสำหรับทดสอบง่าย

อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ที่นำเสนอมีข้อจำกัดบางประการ อาทิเช่นค่าการสูญเสียของสายนำสัญญาณที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างสายอากาศที่นำเสนอกับวงจร การจัดวางตำแหน่งของสายอากาศ ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวอย่างกับสายอากาศที่นำเสนอ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ค่าที่วัดได้เกิดการผิดพลาดขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะสำเร็จลุล่วงมิได้หากขาดการสนับสนุนงบวิจัยรายได้ปีงบประมาณ 2565 และงบประมาณการนำเสนอผลงานจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] R. Singh, P. Kumari, S. Rawat, P. Singh, and K. Ray (2017). “Design and Performance Analysis of Low Profile Miniaturized MSPAs for Body Centric Wireless Communication in ISM Band”. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, vol.9, pp. 153-161.

[2] A. Priya, B. Chauhan, and A. Kumar (2015). “A Review of Textile and Cloth Fabric Wearable Antennas”. *International Journal of Computer Applications,* vol.116, no.17, pp. 1-5.

[3] K. Loukil, and K. Siala. (2015). “SAR: Specific Absorption rate”. ITU Training Course, 2015, searched at https://www.itu.int/en/ITUD/Technology/Documents/Events2015/CI_Training_AFR_Tunis_December15/Documents/UIT_SAR.pdf

[4] A. S. Andrenko, Y. Shimizu, and T. Nagaoka (2022). “Specific Absorption Rate Measurement Method for Exposure Assessment and Conformity Evaluation of 2.45 GHz RF Wireless Power Transfer System”. Union Radio-Scientifique Internationale (URSI) Radio Science Letters, Vol.4, pp. 1-4.

[5] P. Arnmanee (2018). “ Microstrip Antenna with High Impedance Surface and Frequency Selective Surface Superstrate”. Doctoral of Engineering (Electrical Engineering). King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

[6] S. Harnnarong, P. Arnmanee, and P. Wongsiritorn (2022). “ Design of 2.4GHz E-Textile Monopole Antenna for Wearable Technology”. *Journal of Manufacturing and Management Technology*, issue 2, pp. 51-62.

[7] U. Ali, S. Ullah, J. Khan, M. Shafi, B. Kamal, A. Basir, J. A. Flint, and R. D. Seager (2017). “Design and SAR Analysis of Wearable Antenna on Various Parts of Human Body, Using Conventional and Artificial Ground Planes”. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol.12 issue 1, pp. 317-328.