

นวัตกรรมสื่อการสอนสายอากาศดิจิทัลชนิดอ่อนความถี่สูงย่าน ยู เอช เอฟ

Innovation for Instructional Media in Flexible UHF Digital Antenna

ธีรพงษ์ ประทุมศิริ^{1*}
Teerapong Pratum Siri¹

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในการนำวัสดุที่มีความอ่อนตัวมาสร้างสายอากาศแทนทองแดงหรืออลูมิเนียมจะเป็นนวัตกรรมใหม่สำหรับเพื่อนำสายอากาศไปติดตั้งใช้งานได้กับทุกสภาพพื้นผิว งานวิจัยมุ่งเน้นการออกแบบสายอากาศความถี่สูงย่าน ยู เอช เอฟ 510-790 เมกะเฮิรตซ์สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินสายอากาศถูกจำลองการออกแบบด้วยโปรแกรม CST MWS ลงบนแผ่นโพลีไอมายด์ ขนาดเล็ก ความหนา 0.3 มิลลิเมตร มีเส้นลายวงจรสายอากาศแบบขดทวน ออกแบบค่าพารามิเตอร์ให้ได้สายอากาศมีค่าที่เหมาะสมที่สุดสายอากาศถูกนำไปวัดและทดสอบผลค่าพารามิเตอร์ 4 ขั้นตอน เพื่อหาค่าอัตราส่วนการสะท้อนกลับ ค่าคุณสมบัติเฉพาะของสายอากาศ ค่าเกณฑ์อัตราขยาย ค่าระดับความแรงช่องสัญญาณ ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น สายอากาศใช้งานรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลงานวิจัยที่เป็นนวัตกรรมนี้เป็นการนำวัสดุชนิดใหม่ที่มีความอ่อนตัว บิดโค้งงอได้สามารถติดตั้งใช้งานได้กับทุกสภาพพื้นผิว เช่นแผ่นกระจกผนังอาคารสำนักงานหรือกระจกรถยนต์ สายอากาศนี้ถูกพัฒนาต่อยอดสร้างเป็นส่วนหนึ่งของคู่มือประกอบการทดลองวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมสายอากาศรองรับแพร่สัญญาณภาพโทรทัศน์ระบบดิจิทัลแทนระบบแอนะล็อกเดิมเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบเดิมสำหรับการเรียนของนิสิตภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้นวัตกรรมใหม่ด้านคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า งานวิจัยนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งในรูปแบบพัฒนางานประจำสู่งานวิจัย

คำสำคัญ: นวัตกรรม โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน สายอากาศไมโครสตริปชนิดอ่อน สายอากาศโพลีไอมายด์

Abstract

The purpose of using flexible material to invent an antenna instead of using copper or aluminum materials is a new innovation of antenna. With its flexible characteristics, it would be suitable to install with all kinds of surface and material. This research was conducted to design UHF antenna in the range of 510-790 MHz for terrestrial digital TV reception. The antenna is designed by a CST MWS program and its structure composed of meander line, functioned as a radiating element, printed on a polyimide film. It is thin film only 0.3 mm, highly flexible, and very lightweight. In the construction process, the parameters were designed at its best function to create the most effective antenna. The prototype antenna was tested by 4 methods of measurement. The results showed the return loss, characteristic impedance, the maximum gain, the channel power, carrier to noise ratio, with the omni-directional pattern. The innovation antenna implement on mirror and wild shield receives digital TV signal. And for the educational application, this research is now revised and developed to use as lab manual of antenna for the students of the Department of Electrical Engineering to support learning, testing, and measurement of the electromagnetic parameters in the communication laboratory experiment. This is a development of routine to a research programme.

Keywords: innovation, digital television, flexible antenna, polyimide antenna

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, 10330

*Corresponding author: e-mail: pteerapo@gmail.com

Received: 20 November 2018, Revised: 7 December 2018, Accepted: 15 December 2018, Published: 28 December 2018

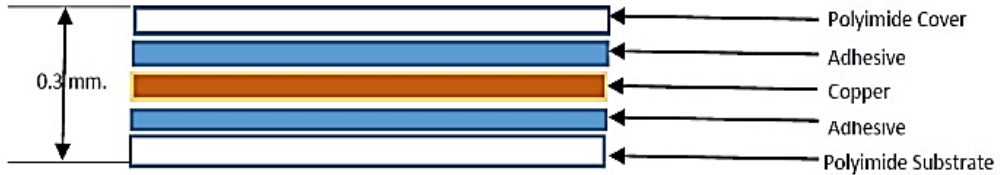
บทนำ

ประเทศไทยเปลี่ยนผ่านการแพร่สัญญาณภาพโทรทัศน์ภาคพื้นดินจากระบบแอนะล็อกเป็นระบบดิจิทัลเมื่อปี พ.ศ.2556 โดยคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ทำหน้าที่ดำเนินการในการเปลี่ยนผ่านและกำกับดูแลช่องโทรทัศน์รายการดิจิทัล ปัจจุบันมีจำนวน 28 ช่องรายการ ประกอบด้วยช่องรายการความคมชัดสูง High Definition : HD จำนวน 10 ช่องรายการและช่องรายการความคมชัดมาตรฐาน SD จำนวน 18 ช่องรายการ (Pratumsiri and Janpugdee, 2015) อุปกรณ์ที่จำเป็นในการรับชมรายการโทรทัศน์ ประกอบด้วย 2 อย่างที่สำคัญ คือกล่องแปลงสัญญาณ Set top Box และสายอากาศ (Constantine ,1997) แต่เครื่องรับโทรทัศน์รุ่นใหม่ในปัจจุบันกล่องแปลงสัญญาณจะถูกติดตั้งไว้ในตัวเครื่องรับพร้อมใช้งานมาจากโรงงานผู้ผลิตเรียบร้อยแล้วแต่สำหรับสายอากาศนั้นผู้บริโภคยังคงต้องซื้อมาติดตั้งเพื่อการรับชม สายอากาศแบ่งตามโครงสร้างออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ 1) สายอากาศภายนอกอาคาร เช่น เสาก้างปลา นับเป็นสายอากาศที่มีอัตราขยายสูงแต่การติดตั้งใช้งานยุ่งยาก เนื่องจากต้องติดตั้งไว้ภายนอกอาคาร เช่น บนหลังคาบ้าน ต้องมีความแข็งแรง ต้องปรับทิศทางหันหาสถานีส่งสัญญาณ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงสำหรับผู้พักอาศัยในอาคารชุดจะไม่ได้รับอนุญาตให้ติดตั้ง 2) สายอากาศภายในอาคารหรือเสาหนวดกิ้งกิ้งเป็นทางเลือก แต่เครื่องรับโทรทัศน์ในปัจจุบันที่มีโครงสร้างจอแบน LED TV ถูกออกแบบสำหรับติดตั้งยึดติดกับผนังห้อง สายอากาศหนวดกิ้งกิ้งไม่มีที่ติดตั้งที่เหมาะสม งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบและสร้างสายอากาศภายในอาคารขนาดเล็กชนิดที่โค้งบดงอได้เพื่อใช้งานแทนสายอากาศก้างปลาหรือหนวดกิ้งกิ้ง สายอากาศจากงานวิจัยนี้สร้างด้วยวัสดุชนิดอ่อน โพลีโอมายด์ที่บางสามารถโค้งบดงอได้จึงนับได้ว่าเป็นนวัตกรรมใหม่ของสายอากาศที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งใช้งานกับทุกสภาพพื้นผิว เช่น ผนังกระจกอาคารสำนักงาน เครื่องรับโทรทัศน์แบบจอโค้งติดตั้งใช้งานกับกระจกรถยนต์

ประเทศไทยและกลุ่มอาเซียนมีมติใช้มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพระบบยุโรป Digital Video Broadcast : DVB-T2 (Water Fisher, 2009) กำหนดให้ Bandwidth กว้าง 8 MHz ต่อ 1 ช่อง Multiplex (MUX) การบีบอัดสัญญาณ MPEG-4/AVC H.264 สามารถส่งได้ 6-12 ช่องรายการระดับคุณภาพสัญญาณ Standard Definition : SD และ High Definition : HD ขึ้นอยู่กับการบีบอัดสัญญาณ ค่ามาตรฐานกำหนดให้ทำการส่งค่า Fast Fourier Transform 16 kHz, ค่า Constellation 64 QAM, ค่า Code rate 3/5 และค่า Guard Interval 19/128

ปัจจุบันวัสดุที่นำมาสร้างสายอากาศในเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่จะผลิตด้วยวัสดุอลูมิเนียม เหตุผลหลักคือน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม ราคาถูก ถึงแม้ค่าความนำไฟฟ้าจะต่ำกว่าวัสดุเงินหรือทองแดง สำหรับสายอากาศไมโครสตริปที่นิยมสร้างใช้งานกันจะสร้างบนแผ่นปรินต์ PCB FR-4 ความหนา 1.6 มิลลิเมตร (Pratumsiri and Janpugdee, 2017) คุณสมบัติของแผ่นโพลีโอมายด์ทนความร้อนและอุณหภูมิได้ดีซึ่งวัสดุนี้ถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของตัวดาวเทียม มีความอ่อนตัว มีความเหนียวนำไฟฟ้าสูง งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วัสดุโพลีโอมายด์ที่มีความหนา 0.3 มิลลิเมตร แผ่นวัสดุ Flexible Print Circuit (FPC) เป็นที่นิยมสำหรับใช้กับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่เชื่อมต่อระหว่างจอ LCD กับส่วนที่เป็น CPU ที่ออกแบบสำหรับให้พับได้หรือถูกนำไปใช้งานกับจุดหมุนของแขนกลต่างๆ หรือใช้เป็นส่วนประกอบของตัวดาวเทียม การออกแบบเส้นลายวงจรเป็นสายอากาศลงบนแผ่น Flexible Kapton Polyimide (Water Fisher, 2009) เป็นวัสดุสำหรับผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อนมีคุณสมบัติทนอุณหภูมิได้กว้างมากคือ -73 ถึง 400°C จึงทำให้ทนแรงดันไฟฟ้าได้สูง ทนต่อ Corona discharge หรือรังสี ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโอโซน อันจะเป็นผลทำให้สูญเสียสภาพความเป็นฉนวนไฟฟ้าเมื่อแรงดันไฟฟ้าถึงค่าวิกฤต วัสดุนี้จึงเหมาะสำหรับนำมาผลิตแผงวงจรทางไฟฟ้า โครงสร้างของแผ่นวัสดุโพลีโอมายด์ที่นำมาสร้างสายอากาศ ประกอบด้วย 5 ชั้น ดังภาพที่ 1

จำลองการออกแบบโดยใช้โปรแกรม CST MWS ออกแบบและจำลองการทำงานของสายอากาศลงบนแผ่น Polyimide ความหนา 0.3 มิลลิเมตร โดยพิจารณาจากค่าอัตราการสะท้อนกลับ (Return loss) เป็นคุณสมบัติเบื้องต้นที่สำคัญในการกำหนดแถบความถี่ของสายอากาศ ซึ่งผลการวิเคราะห์สายอากาศที่ออกแบบด้วยโปรแกรม ได้ค่า Return loss ดังสมการที่ (1)



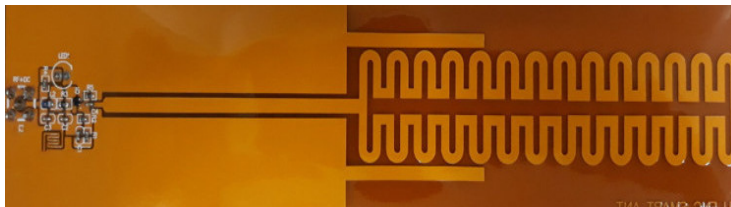
ภาพที่ 1 แสดงแผ่นโพลีโอมายด์ 5 ชั้น

$$S_{11} = \left(\frac{R - Z_0 + jX}{R + Z_0 + jX} \right) \left(\frac{R + Z_0 - jX}{R + Z_0 - jX} \right)$$

$$S_{11} = \left(\frac{R^2 - Z_0^2 + X^2 + j2XZ_0}{(R + Z_0)^2 + X^2} \right) \dots\dots\dots(1)$$

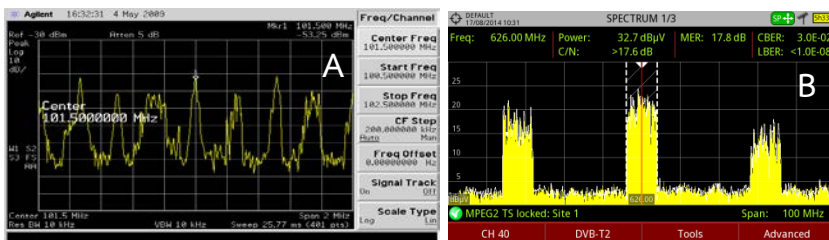
- เมื่อ
- R = ค่าความต้านทานการกระจายคลื่น
 - Z₀ = ค่าคุณสมบัติเฉพาะของสายอากาศ
 - jX = ค่ากำลังคลื่นเชิงซ้อน

สายอากาศมีลักษณะเป็นเส้นลายเส้นวงจรถดวทวนทำให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำคลื่นไฟฟ้าสูงสุด (Resonant) เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 สายอากาศต้นแบบที่สร้างบนแผ่น Polyimide

การเปลี่ยนผ่านระบบการแพร่สัญญาณภาพของโทรทัศน์จากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Water Fisher, 2009) เรื่องมาตรฐานโทรทัศน์ระบบยุโรป DVB-T2 ทำให้การเรียนการสอนในภาคทฤษฎีจึงต้องผนวกกันระหว่างวิชาด้าน Electromagnetic Wave และด้าน Digital Communication เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่มีความแตกต่างกัน ผู้เรียนจึงต้องมีความรู้ให้ครอบคลุมทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติโดยใช้เครื่องมือวัดเฉพาะทางเช่น Network Analyzer, Spectrum Analyzer, Field Strength Meter และเครื่องมือวัดอื่นๆมุ่งสู่ภาคปฏิบัติการ เพื่อให้ผู้เรียนเห็นรูปสัญญาณจากของจริงที่แสดงผ่านเครื่องวัดแบบ Learning by Doing เพราะความรู้เหล่านี้เป็นวิชาที่ผู้เรียนต้องนำไปสอบเทียบเพื่อขอใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสารของสภาวิศวกรหลังสำเร็จการศึกษา โดยเฉพาะการเปลี่ยนผ่านเทคโนโลยีที่รวดเร็วที่ผู้เรียนต้องมีความรู้และเข้าใจความแตกต่างกันของสเปกตรัมสัญญาณคลื่นระบบแอนะล็อกและระบบดิจิทัล แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สเปกตรัมสัญญาณระบบ Analog (A), สเปกตรัมสัญญาณระบบ Digital (B)



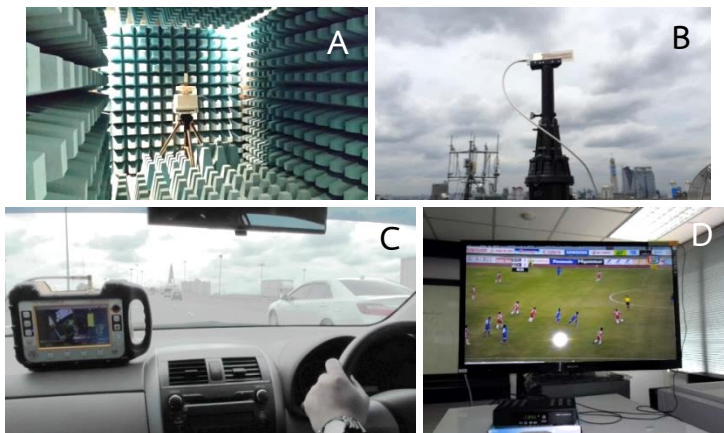
การนำผลงานวิจัยที่ประสบผลสำเร็จและมีประสิทธิภาพสูง มาถ่ายทอดองค์ความรู้เป็นอีกช่องทางหนึ่งในฐานะครูผู้สอน คือการถอดบทเรียนให้มีความทันสมัยก้าวทันเทคโนโลยีออกมาเป็นคู่มือประกอบการเรียนการสอนสู่ผู้เรียน เป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ถ่ายทอดจากประสบการณ์ตรงจากผลงานที่สร้างขึ้นตามหลักทฤษฎีที่ผ่าน การวิเคราะห์ผลถูกต้องตามหลักวิชาการ สายอากาศต้นแบบนี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่ถูกนำมาให้ผู้เรียนได้ทำการทดลองคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญจากนั้นนำไปติดตั้ง วัดผลทั้งในห้องเรียนและวัดในภาคสนามก่อนที่จะนำผลวิเคราะห์ สรุปเพื่อจัดทำรายงานส่ง สายอากาศที่ถูกพัฒนาขึ้นนั้นนอกจากนำมาใช้ประกอบการเรียนและทำให้เป็นการประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อครุภัณฑ์จากต่างประเทศที่มีราคาสูง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวัดและทดสอบประสิทธิภาพของนวัตกรรมสื่อการสอนสายอากาศชนิดอ่อนย่านความถี่ ยู เอช เอฟ สำหรับโทรทัศนระบบดิจิทัล
2. เพื่อสร้างสื่อประกอบการเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมสายอากาศ

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การวัดและการทดสอบนวัตกรรมสื่อการสอนสายอากาศดิจิทัลชนิดอ่อนความถี่สูงย่าน ยู เอช เอฟ โดยการวัดและทดสอบสายอากาศชนิดอ่อนย่านความถี่ ยู เอช เอฟ สำหรับโทรทัศนระบบดิจิทัล ด้วยเครื่องมือวัดเฉพาะทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมการออกแบบ โดยมีขั้นตอนการวัดและทดสอบสายอากาศ 4 ขั้นตอน (ภาพที่ 4) ได้แก่
 - ขั้นตอนที่ 1. การวัดค่าพารามิเตอร์ด้วย Network Analyzer ในห้องปฏิบัติการวิจัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Laboratory Test) ประกอบด้วย Return Loss (S_{11}), Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), Input Impedance (Z_0), Bandwidth (BW) และ Radiation Pattern
 - ขั้นตอนที่ 2. การวัดภาคสนาม (Field Test) ทำการวัดด้วย Field Strength Meter ได้แก่ค่า Ch.Power, C/N และ MER บนดาดฟ้าชั้น 20 อาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยติดตั้งในรถยนต์และวัดในสภาพแวดล้อมใช้งานจริง
 - ขั้นตอนที่ 3. ติดตั้งในรถยนต์วัดขณะวิ่งในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันเพื่อทดสอบประสิทธิภาพสัญญาณในพื้นที่ กรุงเทพมหานครและปริมณฑล (Drive Test)
 - ขั้นตอนที่ 4. ติดตั้งสายอากาศภายในห้องวัดในสภาพแวดล้อมใช้งานจริง (Indoor Reception Test) เพื่อหาค่าระดับสัญญาณให้เป็นไปตามค่ามาตรฐาน (Definition According to Rec., 2013)



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการวัดและทดสอบสายอากาศ, การติดตั้งสายอากาศวัดในห้องปฏิบัติการวิจัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (A), การติดตั้งสายอากาศวัดภาคสนามบนดาดฟ้าชั้น 20 อาคารเจริญวิศวกรรม จุฬาฯ (B), การติดตั้งสายอากาศกับ Field Strength Meter ในรถยนต์วัดสัญญาณขณะวิ่ง (C), การติดตั้งสายอากาศกับเครื่องรับภายในห้องผนังคอนกรีตวัดสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง (D)

2. การนำนวัตกรรมสื่อการสอนสายอากาศดิจิทัลชนิดอ่อนความถี่สูงย่าน ยู เอช เอฟ สนับสนุนการเรียนการสอนรายวิชา 2102473 Communication Engineering Lab ในส่วนการทดลองหัวข้อ Antenna Engineering เป็นการสร้างคู่มือประกอบการเรียนวิชาดังกล่าว เพื่อให้ผู้เรียนได้ทดลองวัดผลหาค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบกับสายอากาศชนิดอื่นๆ โดยผู้เรียนสามารถลงมือปฏิบัติได้ด้วยตนเอง โดยอุปกรณ์ประกอบการสอนมีดังนี้

- สายอากาศ Standard Dipole, Yagi 5 E, Flexible Ant	1	ชุด
- Network Analyzer (Agilent)	1	เครื่อง
- Field Strength Meter (PROMAX HD Ranger+)	1	เครื่อง
- Rotor Controller (Yeasu-600)	1	ชุด
- สายนำสัญญาณพร้อมหัวต่อต่างๆ	1	ชุด

ผลการวิจัย

1. การวัดและการทดสอบนวัตกรรมสื่อการสอนสายอากาศดิจิทัลชนิดอ่อนความถี่สูงย่าน ยู เอช เอฟ ที่ทำการวัดด้วยเครื่องมือวัดเฉพาะทาง Network Analyzer ซึ่งต้องทำการวัดในห้องปฏิบัติการวิจัยที่ปราศจากคลื่นรบกวนจากภายนอกเพื่อหาประสิทธิภาพจากการออกแบบสายอากาศ ดังตารางที่ 1 โดยค่าพารามิเตอร์มาตรฐาน (Water Fisher, 2009) ที่ทำการวัดด้วย Field Strength Meter ได้แก่ค่า Ch.Power เป็นการวัดค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของ 1MUX, และวัดหาค่าผิดพลาด Modulation Error Ratio (MER) ในการผสมสัญญาณของ Phase กับ Amplitude ให้ได้ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานตามที่ International Communication Union : ITU กำหนด ผลการวัดแสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าพารามิเตอร์ด้วย Network Analyzer ในห้องปฏิบัติการวิจัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Laboratory Test) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Parameters	Results	Standard
Return Loss (S_{11})	-33.72 dB	-10 dB
Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)	1 : 1.36	1:1
Input Impedance (Z_0)	76 Ω	75 Ω
Bandwidth (BW)	225 MHz	280 MHz
Radiation Pattern	Omni Directional	Omni Directional

ตารางที่ 2 ผลการวัดสัญญาณด้วย Field Strength Meter ภาคสนาม ติดตั้งในรถยนต์และวัดในสภาพแวดล้อมใช้งานจริง

Parameters	Ch.Power (dB μ V)		C/N (dB)		MER (dB)	
	Results	Standard	Results	Standard	Results	Standard
Field Test	69		18.9		36.6	
Drive Test	68.1	45	30.4	15	18.5	18
Indoor Reception Test	61		33.7		25.5	

2. การนำนวัตกรรมสื่อการสอนสายอากาศดิจิทัลชนิดอ่อนความถี่สูงย่าน ยู เอช เอฟ สนับสนุนการเรียนการสอนรายวิชา 2102473 Communication Engineering Lab ในส่วนการทดลองหัวข้อ Antenna Engineering การสร้างคู่มือประกอบการทดลองจากผลงานวิจัยที่ผ่านการวิเคราะห์และประเมินผลแล้วพบว่า สายอากาศที่ออกแบบและสร้างมีประสิทธิภาพสูงสามารถใช้งานรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลได้ดี เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงได้นำตัวสายอากาศมาพัฒนาเป็นส่วนหนึ่งของการทดลอง โดยสร้างสื่อ

ประกอบการเรียนรายวิชา 2102473 Communication Engineering Lab ในส่วนการทดลองหัวข้อ Antenna Engineering เพื่อให้ผู้เรียนได้ทดลองวัดผลหาค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบกับสายอากาศชนิดอื่นๆ ที่ใช้ทำการทดลอง เนื่องจากวิชาคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นวิชาบังคับที่ผู้จบการศึกษาต้องนำไปสอบเทียบเพื่อขอใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมด้านไฟฟ้า ผู้เรียนอาจเข้าใจการเรียนภาคทฤษฎี สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ได้ถูกต้องแต่ผู้เรียนกลับไม่เคยเห็น Spectrum สัญญาณที่แท้จริง วิชาปฏิบัติการที่ผู้เรียนได้ลงมือทดลองวัดเห็นสัญญาณรูปแบบต่างๆ ผ่านเครื่องมือวัดจึงทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะความเข้าใจแก่นแท้ของวิชาที่สนับสนุนการเรียนภาคทฤษฎี สามารถสรุปการนำนวัตกรรมสื่อการสอนสายอากาศดิจิทัลชนิดอ่อนความถี่สูงย่าน ยู เอช เอฟ สนับสนุนการเรียนการสอนได้ดังนี้

1) **ภาคทฤษฎี** ผู้เรียนต้อง log in เข้าไป Download เอกสารทฤษฎีเบื้องต้นล่วงหน้าให้ผู้สอนขึ้นไว้ใน Website Course Ville ของภาควิชา เพื่อให้เข้าใจก่อนทำแบบทดสอบก่อนเรียน (Pre Test) เป็นเวลา 10 นาที ก่อนลงมือปฏิบัติการทดลอง

- คำนวณหาค่าความยาวคลื่นที่ความถี่กลางออกแบบสายอากาศที่ $\lambda/2$ สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน

- เข้าใจลักษณะสเปกตรัมสัญญาณระบบ Analog กับ Digital โดยวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศ ได้แก่ Return loss, VSWR, C/N, Bandwidth, Multiplexing ของสถานีส่งสัญญาณ ค่าความแรง Ch.Power ช่องสัญญาณ Bit Error Rate, Modulation Error Ratio, Constellation 64 QAM.

2) ภาคปฏิบัติการ

- ให้ผู้เรียนติดตั้งอุปกรณ์ในภาคสนามวัดค่า Radiation Pattern บนดาดฟ้า ชั้น 20 อาคาร เจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อรับสัญญาณคลื่นที่ส่งมาจากสถานีส่งสัญญาณ อาคารโบหยก 2 ประตุน้ำ เพื่อนำผลการวัดมาพล็อตค่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่น คำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศเปรียบเทียบกับสายอากาศไดโพลมาตรฐาน คำนวณหาค่ามุม -3 dB Beam width, Front to Back Ratio จากข้อมูลผลจากการทดลองที่วัดได้

- ตอบคำถามท้ายบทและทำแบบฝึกหัดหลังการสอน (Post Test) ประกอบการทำรายงานส่ง

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวัดและทดสอบนวัตกรรมสื่อการสอนสายอากาศดิจิทัลชนิดอ่อนย่าน ยู เอช เอฟ ตามตารางที่ 1 ผลสรุปในการวัดสายอากาศต้นแบบในห้องปฏิบัติการวิจัย ที่ต้องวัดในห้องที่ป้องกันคลื่นรบกวนด้วยเครื่องมือวัดเฉพาะทาง Network Analyzer พบว่าค่าพารามิเตอร์ทุกค่าเป็นไปตามค่ามาตรฐานของ ITU-R SM.1753-2 (Definition According to Rec., 2013) และผลการวัดสายอากาศต้นแบบในภาคสนาม เช่น บนดาดฟ้าอาคารสูง ติดตั้งกับกระจกรถยนต์วิ่งทดสอบขณะรถเคลื่อนที่ และติดตั้งวัดในห้องสภาพแวดล้อมใช้งานจริง พบว่าค่าพารามิเตอร์บางค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของ ITU-R SM.1753-2 (Definition According to Rec., 2013) จากผลงานสายอากาศต้นแบบแสดงให้เห็นว่า เป็นสายอากาศที่มีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้งานได้จริงทาง ซึ่งผู้วิจัยได้ยื่นจดอนุสิทธิบัตรทรัพย์สินทางปัญญาร่วมกับจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในฐานะผู้สนับสนุนทุนการทำวิจัย เลขที่ 13168 เมื่อวันที่ 9 ตุลาคม 2560

การนำนวัตกรรมสื่อการสอนสายอากาศดิจิทัลชนิดอ่อนความถี่สูงย่าน ยู เอช เอฟ มาเป็นส่วนเพิ่มเติมการทดลองรายวิชา 2102473 Communication Engineering Lab หัวข้อ Antenna Engineering ทำให้นักศึกษาที่เรียนวิชานี้มีประสบการณ์ด้านการออกแบบสายอากาศ และการศึกษาลักษณะสัญญาณทั้งระบบแอนะล็อกกับดิจิทัลได้มากขึ้น ซึ่งก่อนหน้านี้ผู้เรียนจะทำการทดลองเฉพาะระบบอนาล็อกเท่านั้น เมื่อนำนวัตกรรมสื่อการสอน จากผลงานวิจัยสายอากาศใหม่ที่ออกแบบให้สายอากาศทำงานความถี่ย่าน ยู เอช เอฟ รองรับการแพร่สัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล เป็นการสร้างสื่อประกอบการเรียนการสอนให้ทันสมัย ในรูปแบบการพัฒนา งานประจำสู่งานวิจัย (R2R) ของผู้รับผิดชอบรายวิชาในภาคปฏิบัติ ซึ่งทำให้ผู้เรียนได้ทดลองลงมือภาคปฏิบัติ จากของจริงได้เปรียบเทียบกับลักษณะสัญญาณและความแตกต่างของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ระบบคือ แอนะล็อกกับดิจิทัลเป็นการเสริมความรู้ภาคทฤษฎีผ่านภาคปฏิบัติเกิดการเรียนรู้และเข้าใจมากยิ่งขึ้น

สำหรับผู้สอนรายวิชา 2102473 Communication Engineering Lab หัวข้อ Antenna Engineering ได้กล่าวว่า นวัตกรรมสื่อการสอนดังกล่าวนี้ สามารถสร้างขึ้นเองให้เพียงพอกับจำนวนผู้เรียน ด้วยต้นทุนที่ต่ำ ขณะที่ประสิทธิภาพสูงเทียบเท่ากับอุปกรณ์ที่สั่งซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งสามารถลดงบประมาณการจัดซื้ออุปกรณ์สำหรับเป็นสื่อการสอนลงได้มาก เป็นการสนับสนุนการเรียนรู้ภาคปฏิบัติ การ Learning by Doing และสามารถเสริมความรู้ภาคทฤษฎีวิชาคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างเป็นรูปธรรม

สรุปผลการวิจัย

1. สามารถออกแบบและสร้างสายอากาศชนิดอ่อนย่านความถี่ ยู เอช เอฟ สำหรับติดตั้งใช้งานรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลประสิทธิภาพสูง ผลการวัดและทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศที่วัดในห้องปฏิบัติการวิจัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ ค่า Return Loss, ค่า VSWR, ค่า Input Impedance และค่า Radiation Pattern ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานระดับดี สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่วัดในภาคสนาม ติดตั้งวัดในรถยนต์และวัดในห้องสภาพแวดล้อมใช้งานจริงพบว่ามีค่าระดับดีถึงดีมาก

2. นำผลงานวิจัยมาพัฒนาเป็นคู่มือสร้างสื่อประกอบการเรียนการสอนหัวข้อการทดลองเรื่อง Antenna Engineering เป็นส่วนหนึ่งของการทดลองโดยให้ผู้เรียนคำนวณออกแบบหาความยาวคลื่นของสายอากาศ เข้าใจการทำงานของสายอากาศชนิดต่างๆ ทำการติดตั้งสายอากาศชนิดต่างๆในภาคสนามเพื่อวัดสัญญาณรูปแบบต่างๆของสายอากาศ Standard Dipole, Yagi Uda 5 elements และสายอากาศชนิดอ่อนจากผลงานวิจัย แล้วให้นำข้อมูลของสายอากาศมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศชนิดต่างๆ สรุปผลและจัดทำรายงานส่งเพื่อให้ผู้เรียนรู้จักการวิเคราะห์

เอกสารอ้างอิง

- Pratumsiri, T. and P. Janpugdee. 2015. Development of built-in low profile antenna for digital television. Proc. IEEE CAMA 2015 Chiang Mai, Thailand. pp.978-1-4673-9149-8/15/\$31.00 ©2015 IEEE.
- Pratumsiri, T. and P. Janpugdee. 2017. Flexible Printed Antenna for Digital TV Reception. Proc. ISAP 2017 Phuket, Thailand. pp. 978-1-5386-0465-6/17.
- Constantine, A.B. 1997. Antenna Theory. 3rd edition. Wiley-Interscience. 1115 p.
- Water Fisher. 2009. Digital Video Broadcasting Technology. Rohder & Schwarz. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Kapton>. (Retrieved May 18, 2016)
- Definition According to Rec. 2013. ITU-R SM.1753-2 Methods for measurements of radio noise.