

การสร้างสถานีภาคพื้นดินอย่างง่ายเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการอุตุนิยมวิทยา Building of a Simple Ground Station for Receiving Satellite Images for Meteorology

ธนพงศ์ พันธุ์ทอง*, อรัญญา เหล่าสิงห์
Thanapong Phanthong*, Aranya Laosing

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา 90000
Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, 90000, Thailand

*Corresponding author e-mail: Thanapong.phanthong@gmail.com

(Received: July 8, 2019, Revised: October 17, 2019, Accepted: December 20, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเพื่อสร้างสถานีภาคพื้นดินอย่างง่าย เพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT (Automatic Picture Transmission) ในช่วงความถี่ 137.1000 MHz ถึง 137.9125 MHz สำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการอุตุนิยมวิทยา โดยได้เน้นในการสร้างรูปแบบของสายอากาศ 3 รูปแบบ คือ สายอากาศเกลียวสี่แกน หรือ Quadrifilar Helix (QFH) ซึ่งใช้สายแกนร่วมชนิด RG 6 เป็นตัวนำสัญญาณ สายอากาศแบบ QFH ซึ่งใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณ และสายอากาศยาคีไดโพล ระบบรับสัญญาณของสายอากาศทั้งสามแบบนี้ ได้สร้างขึ้นอย่างง่าย ไม่มีภาคขยายสัญญาณส่วนหน้า (pre-amplifier) และวงจรกรองความถี่ (band-pass filter) แต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม ได้นำเครื่องรับวิทยุที่กำหนดด้วยซอฟต์แวร์ (Software Defined Radio; SDR) มาใช้ในระบบ โดยใช้ซอฟต์แวร์ SDR Sharp ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณ ใช้ซอฟต์แวร์ Orbitron ติดตามดาวเทียม และใช้ซอฟต์แวร์ Wxtolmg ถอดรหัสสัญญาณ ผลการทดสอบระบบรับสัญญาณกับสายอากาศทั้งสามแบบที่ได้สร้างขึ้นปรากฏว่า สายอากาศแบบ QFH ซึ่งใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณเหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในสถานีภาคพื้นดินอย่างง่ายเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียม โดยได้ภาพถ่ายดาวเทียมที่สามารถแปลความหมายของภาพถ่ายในลักษณะที่ใกล้เคียงกับภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา หรือเว็บไซต์ <http://www.satda.tmd.go.th/>

คำสำคัญ: ภาพถ่ายดาวเทียม สายอากาศยาคีไดโพล สายอากาศเกลียวสี่แกน สถานีภาคพื้นดิน

Abstract

This research aims to create a simple ground station to receive NOAA satellite signals in the form of APT (Automatic Picture Transmission) in the frequency range from 137.1000 MHz to 137.9125 MHz for the use of meteorological benefits. By focusing on the construction of three appropriate antenna types, namely, a Quadrifilar Helix (QFH) antenna, which uses the Radio Grade (RG6) cable as the signal core, a QFH antenna, which uses copper pipe as the signal core, and a Yagi dipole antenna. This satellite image receiver system is easily built without the pre-amplifier and band-pass filter. However, the Software Defined Radio (SDR) is used in the system using the SDR Sharp software to control the operation of the receiver system, the Orbitron software is used for satellite tracking, and the Wxtolmg software is used to decode the signal. As the result of testing the satellite image receiver system with three types of antenna, it appears that the QFH antenna, which uses a copper pipe as the signal core is suitable one for use in the satellite image receiver system for ground station. Moreover, the received satellite image by this antenna can be interpreted similarly to the satellite image obtained from the Meteorological Department in Thailand, or the website of <http://www.satda.tmd.go.th/>.

Keywords: Satellite Imagery, Yagi Dipole Antenna, Quadrifilar Helix Antenna, Ground Station

1. บทนำ

ดาวเทียมบางส่วน ซึ่งใช้ในงานอุตุนิยมวิทยาในประเทศไทย ได้แก่ ดาวเทียม Himawari-8, FY2 E series, FY2 G series, GOES 9 และ NOAA (Kenny, 2019) โดยกรมอุตุนิยมวิทยา สังกัดกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ได้นำภาพถ่ายจากดาวเทียม Himawari-8 มาใช้เพื่อการพยากรณ์อากาศมากที่สุด (เว็บไซต์ <http://www.satda.tmd.go.th/>) เนื่องด้วยดาวเทียม Himawari-8 นั้น ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและเริ่มใช้งานเมื่อ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2557 โดยศูนย์ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ประเทศญี่ปุ่น ทำงานในระบบดาวนลิงค์ (down link) ที่ความถี่ 18.1 - 18.4 GHz (ย่านความถี่ของ C band และ Ku band คือ 4 ถึง 8 GHz และ 12 ถึง 18 GHz ตามลำดับ (Wikipedia, 2019; Wikipedia, 2019)) และมีความละเอียดของภาพถ่ายประมาณ 0.5×0.5 กิโลเมตร² (Meteorological Satellite Center of JMA, 1978; Kramar et al., 2016) ซึ่งกรมอุตุนิยมวิทยาของไทยได้ใช้ Band 3 ของดาวเทียมดังกล่าว เพื่อนำภาพถ่ายแบบเวลาจริง (real time) มาผ่านกระบวนการทางภาพถ่าย หลังจากนั้น จึงเผยแพร่สู่สาธารณะทางเว็บไซต์ อย่างไรก็ตาม การสร้างสถานีภาคพื้นดินเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียม Himawari-8 นั้น ต้องใช้อุปกรณ์ซึ่งมีราคาสูง เช่น จานรับสัญญาณดาวเทียมชนิดเน้นเฉพาะจุด หรือ prime focus satellite dish (SatelliteDish.com, 2019) ภาควิทยาสัญญาณแบบสัญญาณรบกวนต่ำ (low noise amplifier) และอื่น ๆ ซึ่งต้องใช้งบประมาณไม่ต่ำกว่า 33,000 บาทต่อหน่วย (Automated Sciences, 2012) ดังนั้น การรับสัญญาณจากดาวเทียม NOAA จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาถึงเรื่องงบประมาณในการสร้าง จากการประมาณเบื้องต้นในการสร้างสถานีภาคพื้นดินเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA นั้น ใช้งบประมาณไม่เกิน 2,000 บาท (ไม่รวมราคาของคอมพิวเตอร์) และยังใช้เทคโนโลยีซึ่งพัฒนาขึ้นเอง โดยไม่มีความซับซ้อน

จากการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลงานวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการสร้างสถานีภาคพื้นดินนั้น Torasa (2011) ได้สร้างแบบจำลองการประมาณการฝนตกแบบใกล้เคียงเวลาจริง โดยใช้ภาพสองช่วงคลื่นจากข้อมูล APT โดยแบบจำลองการประมาณการฝนนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับฝนที่ตกปกติตามฤดูกาล แต่ไม่สามารถนำไปใช้กับฝนที่เกิดในช่วงที่มีพายุรุนแรง และใช้วิเคราะห์ได้ในช่วงเวลากลางวันเท่านั้น Kerdusuk et al. (1998)

ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการรับสัญญาณภาพจากดาวเทียม NOAA และ GMS เพื่อใช้ในการติดตั้งสถานีรับสัญญาณภาพจากผลการศึกษาพบว่า สถานีรับสัญญาณภาพที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งนั้น มีอยู่สองระบบคือ สถานีรับสัญญาณภาพจากดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ HRPT และจากดาวเทียม GMS ในรูปแบบ VISSR Utayarat (2006) ได้พัฒนาระบบสื่อสารของสถานีภาคพื้นดินสำหรับดาวเทียมอเนกประสงค์ขนาดเล็ก ซึ่งอยู่ระหว่างการทดสอบโปรโตคอลที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานให้ใช้งานร่วมกับส่วนประมวลผลสัญญาณที่ได้พัฒนาขึ้น และ [11] Machado-Fernández (2015) ได้ตรวจสอบเทคโนโลยี SDR (Software Defined Radio) รวมถึงรูปแบบฮาร์ดแวร์และเซตข้อมูลโปรแกรมประยุกต์ และได้มีการนำเสนออุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงและอุปกรณ์ประสิทธิภาพต่ำ มีการทดสอบหลายครั้งโดยใช้ซอฟต์แวร์ฟรี รวมไปถึงการอธิบายการทำงานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้น

ส่วนในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สร้างสถานีภาคพื้นดินต้นทุนต่ำสำหรับการรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาจากดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT (Automatic Picture Transmission) โดยที่ระบบรับสัญญาณจากดาวเทียม NOAA ทำงานในย่านความถี่ 137.1000 MHz - 137.9125 MHz ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากรูปแบบการรับสัญญาณนี้ มีความละเอียดภาพประมาณ 4×4 กิโลเมตร² ต่อ 1 พิกเซล ซึ่งแม้ว่ามีความละเอียดน้อยกว่าภาพถ่ายที่ได้จากดาวเทียม Himawari-8 แต่ในทางปฏิบัติ ถือว่าเพียงพอแก่การนำมาใช้งานโดยทั่วไป ด้วยต้นทุนของการพัฒนาระบบที่ต่ำและปราศจากความซับซ้อนของระบบ โดยสามารถใช้งานเป็นสถานีภาคพื้นดินระดับท้องถิ่นเพื่อการพยากรณ์ลักษณะอากาศ โดยเฉพาะกลุ่มเมฆ หรือพายุ เพื่อสร้างความแข็งแกร่งระดับชุมชนในการเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ อันเกิดมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยได้ นอกจากนั้นยังเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้จัดตั้งเป็นศูนย์การเรียนรู้ทางด้านเทคโนโลยีอวกาศ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของเยาวชน

สำหรับระบบการรับสัญญาณดาวเทียมที่ได้พัฒนาขึ้นนั้น เป็นการรับในรูปแบบ APT ซึ่งดาวเทียม NOAA ดวงที่สามารถรับสัญญาณได้ในรูปแบบ APT นั้น ปัจจุบันยังใช้งานได้เพียง 3 ดวง คือ NOAA 15, NOAA18 และ NOAA 19 ดังตารางที่ 1

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างสถานีภาคพื้นดินอย่างง่ายในการรับข้อมูลจากดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT

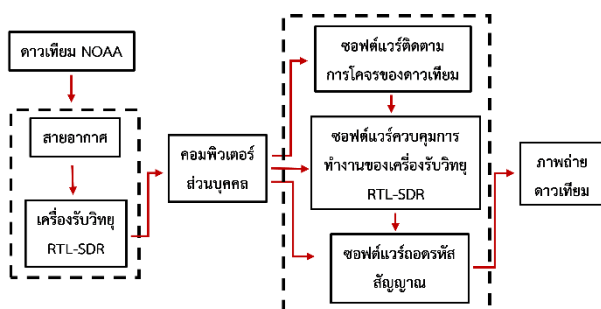
ตารางที่ 1 สถานะดาวเทียม NOAA ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน (NOAA Satellite Information System, 2014)

ดาวเทียม	ความถี่ที่ใช้ (Mode APT)	สถานะ
NOAA 15	137.6200 MHz	ใช้งานได้
NOAA 16	137.6200 MHz	ใช้งานไม่ได้ตั้งแต่ 15/11/2000
NOAA 17	137.5000 MHz	ใช้งานได้แต่ปัจจุบันประสบปัญหาเกี่ยวกับ scan mirror sync.
NOAA 18	137.9125 MHz	ใช้งานได้
NOAA 19	137.1000 MHz	ใช้งานได้

ไว้ใช้งานสำรอง ในกรณีที่ระบบการรับภาพถ่ายจากดาวเทียม Himawari-8 ขัดข้อง หรือเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา (<http://www.satda.tmd.go.th/>) ขัดข้อง หรือ ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ตในการเข้าถึงเว็บไซต์

1.1 ภาพรวมของระบบ

ระบบรับสัญญาณดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT ที่ได้



รูปที่ 1 แสดงภาพรวมของระบบ (ดัดแปลงจาก Chiwapreecha, 2013)

พัฒนาขึ้นนั้น มีการทำงานของระบบ ดังต่อไปนี้

1) ดาวเทียม NOAA ทำการถ่ายภาพสภาพภูมิอากาศบนโลก ในบริเวณที่ดาวเทียมเคลื่อนที่ผ่าน จากนั้นส่งภาพที่ถ่ายได้มาสู่สถานีภาคพื้นดินบนพื้นโลกในรูปแบบ APT ซึ่งภาพที่ถ่ายได้ถูกทำการมอดูเลตแบบแอมพลิจูด (AM) มีความถี่ของคลื่นพาหะ 2.4 kHz และตามด้วยการมอดูเลตแบบความถี่ (FM) อีกครั้งที่ย่านความถี่ 137 MHz ก่อนส่งลงมาสู่พื้นโลก

2) สายอากาศถูกนำมาใช้เพื่อรับสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียม NOAA

3) เครื่องรับวิทยุ RTL-SDR (RTL-SDR.COM, 2010) ถูกใช้เพื่อค้นหาสัญญาณวิทยุในพื้นที่ โดยใช้เทคโนโลยีวิทยุที่ถูกกำหนดโดยซอฟต์แวร์ หรือ SDR

4) ซอฟต์แวร์ติดตามการโคจรของดาวเทียม แสดงเส้นทางการโคจรของดาวเทียมแบบเวลาจริง (real time)

5) ซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของเครื่องรับวิทยุ RTL-SDR ทำงานประสานกับซอฟต์แวร์ติดตามการโคจรของดาวเทียม และส่งข้อมูลไปยังซอฟต์แวร์ถอดรหัสสัญญาณ

6) ซอฟต์แวร์ถอดรหัสสัญญาณที่บันทึกไว้ในรูปไฟล์เสียงให้เป็นภาพถ่ายดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT ตามมาตรฐาน APT Frame Format

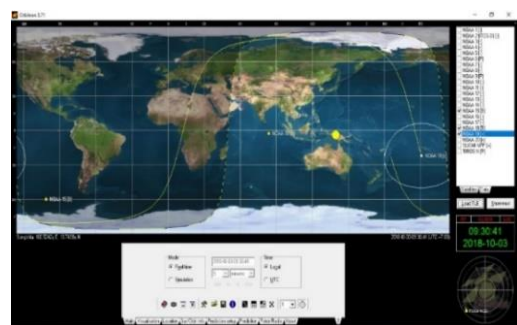
โดยได้แสดงภาพรวมของระบบไว้ในรูปที่ 1

2. ซอฟต์แวร์และทฤษฎีสายอากาศ

2.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการรับสัญญาณ

ระบบรับสัญญาณดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA ในรูปแบบ APT ซึ่งใช้เทคโนโลยีวิทยุที่ถูกกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้รับสัญญาณในย่านความถี่ 137.1000 MHz ถึง 137.9125 MHz โดยมีการทำงานร่วมกันระหว่างซอฟต์แวร์สามซอฟต์แวร์ ได้แก่ 1) Orbitron 2) SDR Sharp และ 3) WXtoImg (Kingsbury, 2019)

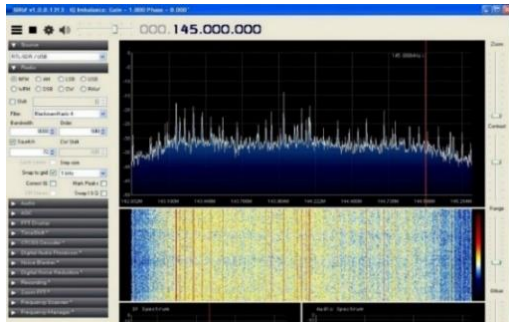
1) ซอฟต์แวร์ Orbitron เป็นซอฟต์แวร์ที่ได้รับความนิยมมากในกลุ่มของนักวิทยุสมัครเล่นที่ใช้ในการสำรวจและติดตามการโคจรของดาวเทียม NOAA และดาวเทียมอื่น ๆ ซึ่งได้แสดงเส้นทางการโคจรของดาวเทียมต่าง ๆ แบบเวลาจริง และสามารถคำนวณการโคจรล่วงหน้าได้ ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ หรือ GUI (graphical user interface) ของซอฟต์แวร์ Orbitron แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงซอฟต์แวร์ Orbitron

2) ซอฟต์แวร์ SDR Sharp เป็นซอฟต์แวร์ซึ่งเขียนโดยโปรแกรมภาษา C# โดยมีความถูกต้องในการออกแบบและมีประสิทธิภาพในการทำงาน และยังเป็นซอฟต์แวร์แบบ open source (สามารถแก้ไข source code ได้เอง และไม่มีค่าใช้จ่าย) ซึ่งใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องรับวิทยุ RTL-SDR โดยทำหน้าที่หลัก คือ แยกสัญญาณ FM ซึ่งมีโปรแกรมเสริม (plugin) ที่ชื่อว่า Satellite Tracker เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกับ

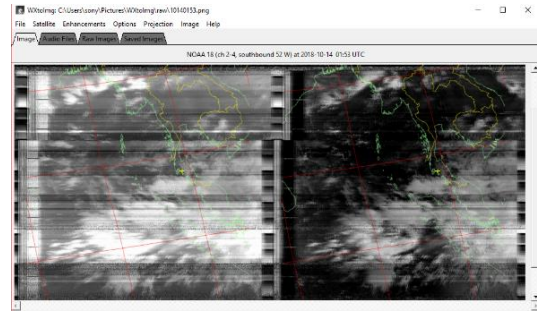
ซอฟต์แวร์ Orbitron โดยเมื่อดาวเทียมโคจรผ่านตำแหน่งสถานีภาคพื้นดิน (ground station) ที่กำหนดไว้แล้ว ซอฟต์แวร์ SDR Sharp จะทำการรับสัญญาณจากดาวเทียม โดยปรับความถี่ในการรับสัญญาณแบบอัตโนมัติตามความถี่ของดาวเทียมแต่ละดวงที่โคจร โดยได้แสดง GUI ของซอฟต์แวร์ SDR Sharp ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงซอฟต์แวร์ SDR Sharp

3) ซอฟต์แวร์ WXtolmg เป็นซอฟต์แวร์ซึ่งใช้ในการถอดรหัสสัญญาณเสียงที่รับมาจากเครื่องรับวิทยุ RTL-SDR ออกมาเป็นภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งในการถอดรหัสนี้สามารถทำได้ทั้งแบบเวลาจริง และแบบไม่ใช่เวลาจริง (non real time) และสามารถแสดงผลเป็นแบบภาพนิ่ง (image) หรือแบบภาพยนตร์ (movie) ได้ นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ WXtolmg สามารถแสดงตารางการโคจรของดาวเทียมดวงต่าง ๆ ที่เคลื่อนที่ผ่าน่านฟ้า ณ ตำแหน่งสถานีภาคพื้นดินนั้นได้ และยังสามารถรับสัญญาณดาวเทียมจากระบบอื่นได้ เช่น ดาวเทียมในระบบ Meteosat, GOES, GMS และ MTSAT (Kenny, 2019) หากมีระบบรับสัญญาณวิทยุและสายอากาศสอดคล้องกับคามถี่ของดาวเทียมดังกล่าว โดยได้แสดง GUI ของซอฟต์แวร์ WXtolmg ไว้ในรูปที่ 4

เมื่อได้ภาพถ่ายดาวเทียมแล้ว จึงทำการเก็บไว้ในฐานข้อมูลเพื่อการสืบค้นภาพถ่ายดาวเทียมย้อนหลัง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมได้อย่างเป็นระบบ และสามารถนำมาทำเป็นสถิติปริมาณน้ำฝน หรือเฝ้าระวังภัยพิบัติได้ เช่น พายุหมุนเขตร้อน พายุไต้ฝุ่น พายุดีเปรสชัน และอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



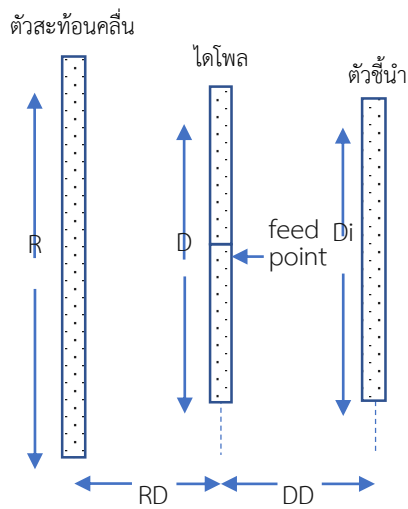
รูปที่ 4 แสดงซอฟต์แวร์ WXtolmg

2.2 ทฤษฎีการออกแบบสายอากาศยาคิโดโพล

สายอากาศยาคิโดโพล (Yagi dipole) อย่างง่ายประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ ไดโพล (dipole) ตัวชี้หน้า (director) และตัวสะท้อนคลื่น (reflector) ดังแผนภาพในรูปที่ 5 สำหรับ 1) ไดโพลหรือตัวขับ (driven element) ประกอบด้วย จุดป้อนสัญญาณ (feed point) ซึ่งอยู่ตรงกลางของไดโพล โดยป้อนสัญญาณมาจาก RTL-SDR ซึ่งเกิดเรโซแนนซ์ขึ้นได้ เมื่อความยาวของไดโพล D มีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น λ 2) ตัวชี้หน้า ทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีความยาวน้อยที่สุด หรือมีความยาว D_i น้อยกว่าความยาวของไดโพล D ประมาณ 5 % และช่วยในการได้มาที่เหมาะสมของอัตราขยาย (gain) และแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศแบบมีทิศทาง (directional pattern) ระยะห่างระหว่างตัวชี้หน้ากับไดโพล (ระยะห่าง DD) โดยปกติมีค่า ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.5 เท่าของ λ โดยประมาณ 3) ตัวสะท้อนคลื่น คือ ส่วนที่วางอยู่หลังไดโพล โดยมีความยาว R มากกว่าความยาวไดโพล D ประมาณ 5 % ระยะห่างระหว่างตัวสะท้อนคลื่นกับไดโพล (ระยะห่าง RD) โดยปกติมีค่า ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.25 เท่าของ λ โดยประมาณ ระยะห่างนี้ยังเป็นสิ่งที่กำหนด อัตราขยาย ความกว้างแถบ (bandwidth) อัตราขยายด้านหน้าและด้านหลัง (front to back ratio) และพวยด้านข้าง (side lobe) ของสายอากาศด้วย (RF Wireless World, 2012) โดย ได้ ส ร ร ป ข อ ม ล ไว้ ต า ม ต า ร า ง ที่ 2

2.3 ทฤษฎีการออกแบบสายอากาศเกลียวสี่แกน

สายอากาศแบบเกลียวสี่แกน หรือ Quadrifilar Helix (QFH) มีคุณสมบัติที่ดีในการโพลารไรซ์แบบวงกลม และมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง (omni-directional) มีความกว้างแถบมาก (Pansomboon, 2012) ซึ่งเหมาะสำหรับการรับสัญญาณจากดาวเทียม NOAA จากรูปที่ 6 ได้แสดงโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสี่แกน ซึ่งประกอบด้วยสายอากาศเกลียว

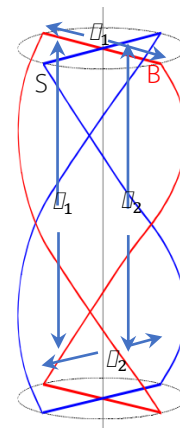


รูปที่ 5 โครงสร้างสายอากาศยาก็ไดโพล

ตารางที่ 2 ความยาวโดยประมาณของแต่ละส่วนของสายอากาศยาก็ไดโพลแบบสามองค์ประกอบ

ความยาว/ระยะห่าง	ค่าโดยประมาณ
D	0.473λ
R	0.495λ
Di	0.440λ
RD	$0.10\lambda - 0.25\lambda$
DD	$0.10\lambda - 0.50\lambda$

สองชุด คือ ชุด B (สีแดง) และชุด S (สีน้ำเงิน) โดยที่ H_1 และ H_2 คือ ความสูงของสายอากาศเกลียวชุด B และชุด S ตามลำดับ ส่วน D_1 และ D_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศเกลียวชุด B และ S ตามลำดับ เห็นได้ว่าสายอากาศเกลียวชุด B และชุด S วางตัวทำมุมกัน 90 องศา สำหรับการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศนั้น ให้ป้อนที่จุดกึ่งกลางด้านบนหรือด้านล่างก็ได้ ซึ่งทำให้การกระจายของกระแสในสายอากาศเหมือนกัน และทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นและการโพลาไรเซชันเหมือนกัน รูปร่างของการกระจายของคลื่นและอิมพีแดนซ์ (impedance) ของสายอากาศสามารถคำนวณได้จากจำนวนของรอบ อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศเกลียวหารด้วยความสูงของเกลียว (อัตราส่วน R) และสมบัติอื่น ๆ นอกจากนั้น ประสิทธิภาพสูงสุดของสายอากาศเกลียวสี่เหลี่ยมจะเกิดขึ้นเมื่อสายอากาศเกลียวชุด B และ S ถูกกระตุ้นด้วยเฟสเดียวกัน (in phase) ของสัญญาณที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน หรือ



รูปที่ 6 โครงสร้างสายอากาศเกลียวสี่เหลี่ยม (ดัดแปลงจาก Hollander, 1999; Lint, 2018)

เรียกว่า การเกิดเรโซแนนซ์ของความถี่ ซึ่งจุดเรโซแนนซ์นี้ จะเกิดขึ้นเมื่อความยาวเรโซแนนซ์ (resonant length) L_{res} หรือความยาวส่วนโค้งของเกลียวชุด B มีค่าเป็น [20]

$$L_{res}^{(B)} = 2D_1 + 2\sqrt{\left(\frac{\pi D_1}{2}\right)^2 + H_1^2} \quad (1)$$

และความยาวส่วนโค้งของเกลียวชุด S มีค่าเป็น

$$L_{res}^{(S)} = 2D_2 + 2\sqrt{\left(\frac{\pi D_2}{2}\right)^2 + H_2^2} \quad (2)$$

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์โดยประมาณระหว่างค่า L_{res} ของสายอากาศเกลียวชุด B และ S กับความยาวคลื่นของสัญญาณ (λ) จึงได้ว่า

$$L_{res}^{(B)} \cong 1.120\lambda \quad (3)$$

$$L_{res}^{(S)} \cong 1.106\lambda \quad (4)$$

หรือเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์โดยประมาณระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของสายอากาศเกลียวชุด B และ S กับความยาวคลื่นของสัญญาณ จึงได้ว่า

$$D_1 \cong 0.173\lambda \quad (5)$$

$$H_1 \cong 0.260\lambda \quad (6)$$

$$D_2 \cong 0.156\lambda \quad (7)$$

$$\text{และ} \quad H_2 \cong 0.238\lambda \quad (8)$$

สมการเหล่านี้ยังไม่สามารถคำนวณขนาดที่แน่นอนได้ แต่ทางปฏิบัติ สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบได้ (Pansomboon, 2012; Kilgus, 1969; Maxwell, 2001)

3. วิธีวิจัย

3.1 ขั้นตอนการสร้างสถานีภาคพื้นดินเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา มีดังนี้

3.1.1 ศึกษาการทำงานของระบบรับสัญญาณดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT ซึ่งรับสัญญาณในย่าน VHF ที่ความถี่ 137.1000 MHz - 137.9125 MHz และศึกษาการถอดรหัสสัญญาณดังกล่าว

3.1.2 ออกแบบระบบรับสัญญาณ โดยได้ใช้เครื่องรับวิทยุ RTL-SDR (LAZADA, 2017) ที่ใช้งานในย่านความถี่ VHF และระบบสายอากาศที่ใช้งานร่วมกัน ดังนั้น สายอากาศจึงมีความสำคัญ เพราะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการรับสัญญาณของระบบรับสัญญาณ ซึ่งสายอากาศที่ใช้ในการรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT นี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบไว้ 3 แบบ กล่าวคือ สายอากาศเกลียวสี่เหลี่ยมซึ่งใช้สายแกนร่วมชนิด RG 6 เป็นตัวนำสัญญาณ สายอากาศเกลียวสี่เหลี่ยมซึ่งใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณ และสายอากาศยาคิโดโพลอย่างใดก็ตาม สัญญาณที่ได้จากสายอากาศควรนำมาขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายสัญญาณส่วนหน้าและวงจรกรองความถี่เสียก่อน แล้วจึงส่งไปยังเครื่องรับวิทยุ RTL-SDR แต่เนื่องจากวงจรดังกล่าวมีราคาค่อนข้างสูง (Antennas-Amplifiers, 2019) มีรายละเอียดในการออกแบบมากและเกินขอบเขตของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงไม่นำมาใช้ในขณะนี้ โดยมีรายละเอียดการสร้างสายอากาศทั้งสามแบบดังต่อไปนี้

1) สายอากาศ QFH แบบที่ 1 สายอากาศแบบนี้ได้ใช้สายแกนร่วมชนิด RG 6 เป็นตัวนำสัญญาณ โดยสายอากาศแบบ QFH นี้ มีโพลาริเซชันแบบวงกลมขวา (right-hand circular polarization) จึงต้องสร้างสายอากาศให้มีลักษณะเป็นเกลียว (helix) เพื่อรับสัญญาณที่มีโพลาริเซชันในลักษณะดังกล่าว ในขั้นตอนแรก ต้องคำนวณความยาวคลื่น (λ) ที่จะรับจากดาวเทียมเสียก่อน โดยคำนวณจาก

$$\lambda = c/f \quad (9)$$

ซึ่งใช้อัตราเร็วของคลื่น c เป็น 3.0×10^8 m/s และใช้ความถี่ของคลื่น f เป็น 137.54 MHz คำนวณได้จากความถี่เฉลี่ยของสัญญาณจากดาวเทียม NOAA ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน นั่นคือ 137.62 MHz, 137.91 MHz และ 137.10 MHz จึงได้ความยาวคลื่นเป็น 218 cm อย่างไรก็ตาม ช่วงแรกของการสร้างสายอากาศแบบนี้ ผู้วิจัยประสบกับปัญหาความยุ่งยากในการ

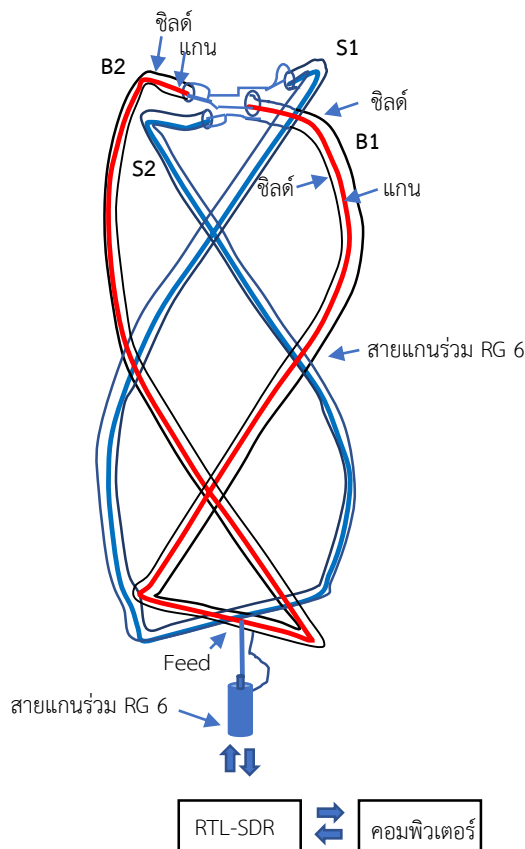
สร้างสายอากาศให้เป็นเกลียว เนื่องจากยังไม่มีประสบการณ์ จึงไม่สามารถสร้างสายอากาศแบบนี้ให้เป็นไปตามทฤษฎีได้ โดยเฉพาะระยะ $L_{res}^{(S)}$, H_1 และ H_2 โดยได้แสดงข้อมูลไว้ในตารางที่ 3 ก่อนที่จะอธิบายในส่วนการเชื่อมต่อสายอากาศนั้น ต้องรู้อาจประกอบหลักของสายแกนร่วมชนิด RG 6 ประกอบด้วย แกนนำสัญญาณซึ่งเป็นทองแดง ผนวหุ้มทองแดงซึ่งทำจากวัสดุไดอิเล็กตริก polyethylene (PE) ชิลด์ฟรอยด์แผ่น APA ชิลด์อลูมิเนียม (เรียกว่า ชิลด์) และผนวหุ้มภายนอกเป็น PVC/PE โดยมีค่าอิมพีแดนซ์เป็น 75 โอห์ม ในการสร้างสายอากาศแบบนี้ ได้ป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศที่จุดกึ่งกลางด้านล่าง ในเชิงปฏิบัติ ค่อนข้างยากในการป้อนสัญญาณจากจุดที่อยู่กึ่งกลางพอดี จุดป้อนสัญญาณจากจุด Feed ในรูปที่ 7 และ 10 ซึ่งได้ป้อนสัญญาณผ่านไปกับสายอากาศเกลียวชุด B เพื่อความสะดวกในการอธิบาย จึงแยกสายอากาศเกลียวชุด B เป็นส่วน B1 และส่วน B2 ดูแผนภาพในรูปที่ 7 โดยแกนของส่วน B1 เชื่อมกับแกนและชิลด์ของส่วน B2 นอกจากนั้น ยังเชื่อมกับแกนและชิลด์ของส่วน S1 ด้วย (สายอากาศเกลียวชุด S แยกเป็นส่วน S1 และส่วน S2) หลังจากนั้น ให้เชื่อมแกนและชิลด์ของส่วน S2 กับชิลด์ของส่วน B1 โดยได้แสดงการเชื่อมจริงในรูปที่ 9 (มองจากด้านบน) และได้แสดงอุปกรณ์และขั้นตอนการสร้างบางส่วนไว้ในรูปที่ 8

2) สายอากาศ QFH แบบที่ 2 สายอากาศแบบนี้ได้ใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณ โดยได้อาศัยทฤษฎีในการสร้างสายอากาศเหมือนกันกับทฤษฎีที่ใช้ในการสร้างสายอากาศ QFH แบบที่ 1 สำหรับการสร้างสายอากาศแบบนี้ ผู้วิจัยได้

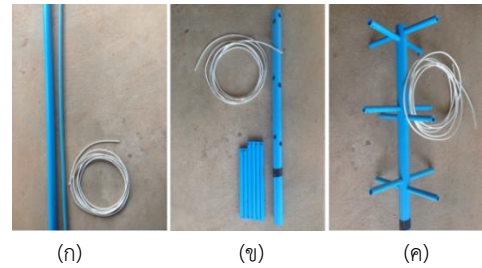
ตารางที่ 3 ความยาวของแต่ละส่วนของสายอากาศแบบ QFH ซึ่งใช้สายแกนร่วมชนิด RG 6 และความยาวจากทฤษฎี

ระยะ	ความยาว (cm)	ความยาวจากทฤษฎี (cm)	ความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี (cm)
$L_{res}^{(B)}$	240	244	-4
H_1	70	57	13
D_1	36	38	-2
$L_{res}^{(S)}$	223	241	-18
H_2	61	52	9
D_2	36	34	2

ประสบการณ์จากการสร้างสายอากาศแบบที่ 1 แล้ว จึงรู้เทคนิคของการสร้างมากขึ้นและสามารถสร้างสายอากาศแบบนี้ให้ใกล้เคียงกับทฤษฎีมากขึ้น โดยได้แสดงข้อมูลของการสร้างไว้ในตารางที่ 4 สายอากาศ QFH แบบที่ 2 นี้ ประกอบด้วย ตัวนำสัญญาณ ซึ่งเป็นท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.35 mm โดยเป็นวัสดุที่ใช้ในงานเครื่องปรับอากาศทั่วไปและหาซื้อได้ง่าย (FLOWTECHWORLD, 2017) และสายแกนร่วมชนิด RG 58 ซึ่งประกอบด้วย แกนซึ่งทำจากทองแดงผสมดีบุก ฉนวนหุ้มทองแดงซึ่งทำจากวัสดุไดอิเล็กตริก PE ชิลด์ทองแดงผสมดีบุก (เรียกว่า ชิลด์) และฉนวนหุ้มภายนอกเป็น PVC โดยมีค่าอิมพีแดนซ์เป็น 50 โอห์ม ในการสร้างสายอากาศแบบนี้สามารถสร้างจุดในการป้อนสัญญาณใกล้เคียงกับจุดกึ่งกลางของเกลียว ซึ่งทำได้ดีกว่าการสร้างสายอากาศ QFH แบบที่ 1 ดูจุด Feed ในรูปที่ 11



รูปที่ 7 แผนภาพการเชื่อมต่อสายอากาศ QFH แบบที่ 1



รูปที่ 8 (ก) อุปกรณ์การสร้างสายอากาศแบบ QFH แบบที่ 1 (ข) การตัดและการเจาะรู (ค) การประกอบเบื้องต้น



รูปที่ 9 การเชื่อมแกนและชิลด์ของสายอากาศ QFH แบบที่ 1 (มองจากด้านบน)

และ 12) และได้ป้อนสัญญาณมาจากด้านล่างผ่านสายแกนร่วมชนิด RG 58 หลังจากนั้น จึงนำแกนของสายแกนร่วม RG 58 เชื่อมกับท่อทองแดงชุด B1 และชุด S1 และนำปลายของท่อทองแดงชุด B2 และชุด S2 เชื่อมกับชิลด์ของสายแกนร่วม RG 58 ดังแผนภาพในรูปที่ 11 โดยได้แสดงการเชื่อมจริงในรูปที่ 12 (มองจากด้านบน) และรูปจริงของอุปกรณ์และขั้นตอนการสร้างบางส่วนแสดงไว้ในรูปที่ 13 ถึง รูปที่ 15 นอกจากนั้น ยังแสดงสายอากาศ QFH แบบที่ 2 ในขณะรับสัญญาณ ดังรูปที่ 16

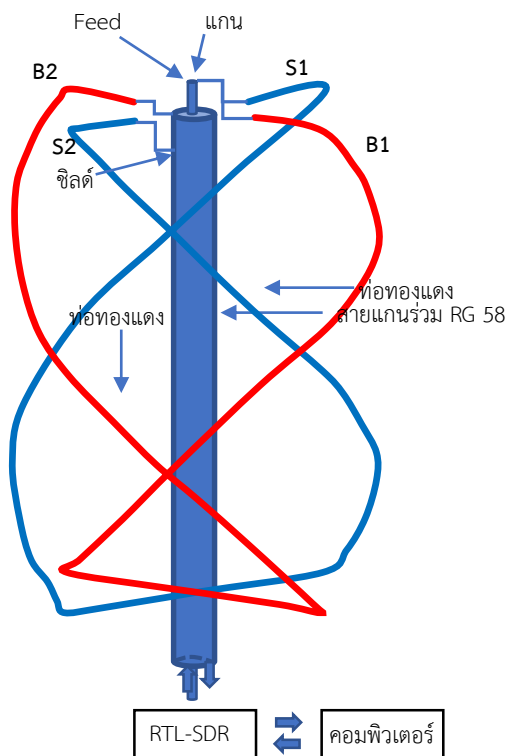


รูปที่ 10 สายอากาศแบบ QFH แบบที่ 1 ขณะรับสัญญาณ

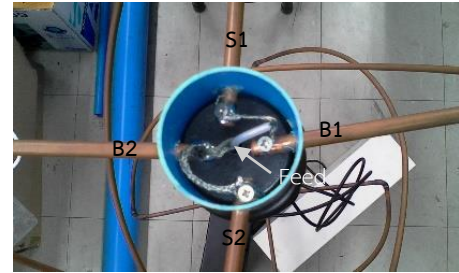
ตารางที่ 4 ความยาวของแต่ละระยะของสายอากาศแบบ QFH ซึ่งใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณ และความยาวจากทฤษฎี

ระยะ	ความยาว (cm)	ความยาวจากทฤษฎี (cm)	ความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี (cm)
$L_{res}^{(B)}$	242	244	-2
H_1	56	57	-1
D_1	40	38	2
$L_{res}^{(S)}$	228	241	-13
H_2	53	52	1
D_2	38	34	4

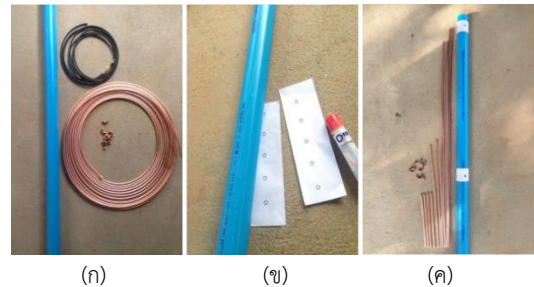
3) สายอากาศยาเกิโดโพล การออกแบบสายอากาศแบบนี้ มีชิ้นส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ไดโพล ตัวสะท้อนคลื่น และตัวชี้หน้า โดยทั้งสามส่วนนี้ ผู้วิจัยสร้างขึ้นจากทึบเมตรชนิดโลหะสำหรับงานวัดทั่วไป โดยทึบเมตรมีความกว้าง 14 mm



รูปที่ 11 แผนภาพการเชื่อมต่อสายอากาศ QFH แบบที่ 2



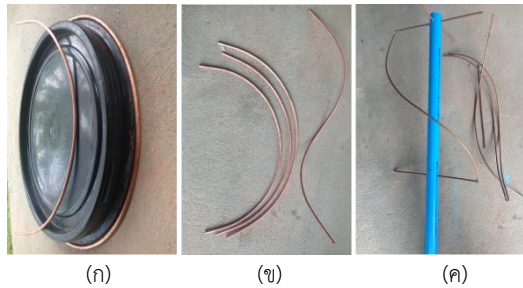
รูปที่ 12 การเชื่อมต่อทองแดงของสายอากาศ QFH แบบที่ 2



รูปที่ 13 (ก) อุปกรณ์ในการสร้างสายอากาศแบบ QFH แบบที่ 2 (ข) การเตรียมการสำหรับการเจาะ (ค) ท่อทองแดงที่ตัดเตรียมไว้ และใช้ท่อและข้อต่อ PVC (ทั่วไป) เป็นตัวยึดไดโพล ตัวสะท้อนคลื่น และตัวชี้หน้าไว้ด้วยกัน ดูรูปที่ 18 และ 19 (ก) จากสมการ (9) คำนวณความยาวคลื่น λ ได้เท่ากับ 218 cm หลังจากนั้นจึงสร้างสายอากาศแบบนี้ โดยกำหนดความยาว D, R และ Di เป็นไปตามตารางที่ 2 นั่นคือ 103.1 cm, 107.9 cm และ 95.9



รูปที่ 14 ขั้นตอนบางส่วนในการสร้างสายอากาศแบบ QFH แบบที่ 2 (ก) เครื่องมือตัดและเจาะ (ข) การเจาะ (ค) การยึดท่อทองแดงกับแกนกลาง



รูปที่ 15 ขั้นตอนบางส่วนในการสร้างสายอากาศแบบ QFH แบบที่ 2 (ก) อุปกรณ์ช่วยทำเกลียว (ข) ท่อทองแดงที่ทำเกลียวแล้ว (ค) การยึดท่อทองแดงเกลียวกับแกนกลาง



รูปที่ 16 สายอากาศแบบ QFH แบบที่ 2 ขณะรับสัญญาณ

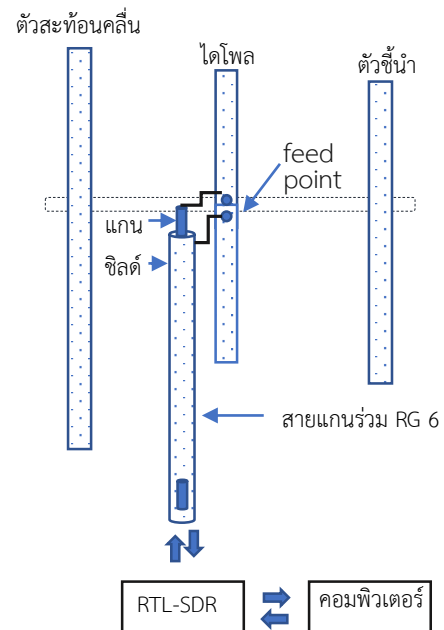
cm ตามลำดับ และเลือกระยะ RD เท่ากับ 0.10λ หรือ 21.8 cm ระยะ DD เท่ากับ 0.145λ หรือ 31.7 cm โดยได้แสดงข้อมูลไว้ในตารางที่ 5 ข้อสังเกต ระยะ D, R และ Di มีความแม่นยำในระดับ mm เนื่องจากบนตลับเมตรนั้น มีสเกลให้อ่านอย่างสะดวกและถูกต้อง

ตารางที่ 5 ความยาวในแต่ละส่วนของสายอากาศยาคิโดโพลที่สร้างขึ้น

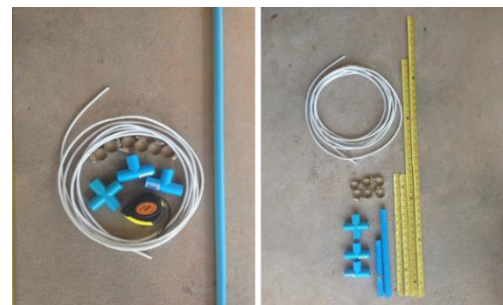
ความยาว/ระยะห่าง	ค่า (cm)
D	103.1
R	107.9
Di	95.9
RD	21.8
DD	31.7

สำหรับการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแบบนี้ ได้ป้อนที่จุดกึ่งกลางของไดโพล จุดป้อนสัญญาณจากจุด feed point ในรูปที่ 17 และ 19 (ข) ซึ่งได้ป้อนสัญญาณผ่านไปกับสายแกนร่วม RG 6 (อิมพีแดนซ์เท่ากับ 75 โอห์ม) โดยเชื่อมแกนของสาย RG 6 กับครึ่งหนึ่งของไดโพลด้านหนึ่งและเชื่อมซิปต์ของสาย

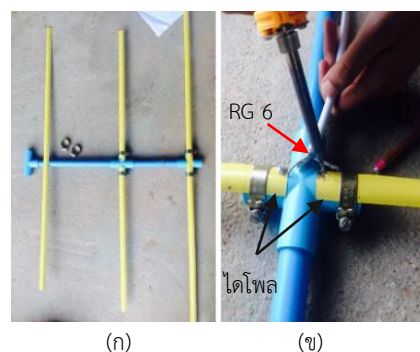
RG 6 กับครึ่งหนึ่งของไดโพลอีกด้านหนึ่ง การเชื่อมสลับกันนั้นไม่มีผลแต่อย่างใด และได้แสดงสายอากาศยาคิโดโพลที่สร้าง



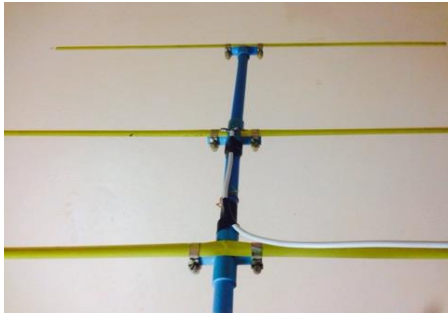
รูปที่ 17 แผนภาพการเชื่อมต่อสายอากาศยาคิโดโพล



รูปที่ 18 แสดงอุปกรณ์สำหรับการสร้างสายอากาศแบบยาคิโดโพล



รูปที่ 19 (ก) การประกอบ (ข) จุดป้อนสัญญาณ



รูปที่ 20 สายอากาศยาภิโดโพลขณะรับสัญญาณ

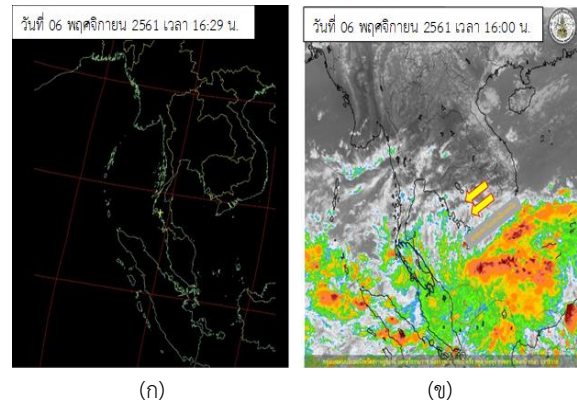
เสร็จแล้วขณะรับสัญญาณตามรูปที่ 20

4. ผลการวิจัย

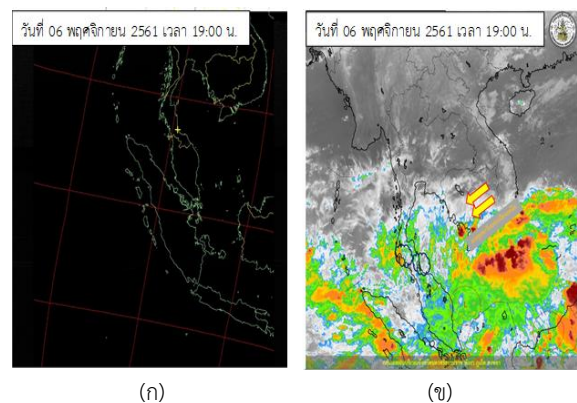
ได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบทั้งหมด 55 ครั้ง ในช่วงวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ.2561 - วันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2562 เพื่อตรวจสอบคุณภาพและความถูกต้องของภาพถ่ายดาวเทียมจากระบบที่สร้าง จึงได้เปรียบเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียมจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา จากการทดสอบการทำงานของสายอากาศ QFH แบบที่ 1 (ใช้สายแกนร่วมชนิด RG 6 เป็นตัวนำสัญญาณ) ในช่วงวันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 - 29 พฤศจิกายน พ.ศ.2561 โดยทำการทดสอบจำนวน 9 ครั้งนั้น ได้ผลของภาพถ่ายดาวเทียมบางส่วนที่ใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 1 และเปรียบเทียบกับภาพถ่ายจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน (The Meteorological Department, 2013) ดังรูปที่ 21 และรูปที่ 22 และจากการทดสอบการทำงานของสายอากาศ QFH แบบที่ 2 (ใช้ตัวนำสัญญาณเป็นท่อทองแดง) ในช่วงวันที่ 2 มกราคม พ.ศ.2562 - 14 มีนาคม พ.ศ.2562 โดยทำการทดสอบจำนวน 25 ครั้งนั้น ได้ผลของภาพถ่ายดาวเทียมบางส่วนที่ใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 2 และเปรียบเทียบกับภาพถ่ายจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 23 และรูปที่ 24 และจากการทดสอบการทำงานของสายอากาศยาภิโดโพล ในช่วงวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ.2561 - 11 มีนาคม พ.ศ.2562 โดยทำการทดสอบจำนวน 21 ครั้งนั้น ได้ผลของภาพถ่ายดาวเทียมบางส่วนที่ใช้สายอากาศยาภิโดโพลและเปรียบเทียบกับภาพถ่ายของกรมอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 25 ถึงรูปที่ 27

จากการเปรียบเทียบภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้สายอากาศทั้ง 3 แบบด้วยตนเอง เห็นได้ว่า ภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งได้จากการใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 2 นั้น มีสัญญาณรบกวน (noise) ใกล้เคียงกับภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งได้จากการใช้สายอากาศแบบยาภิโดโพล แต่มีไม่มากนัก สืบเนื่องจากลักษณะของแถบที่พาดตัวตามแนวราบภายในภาพถ่าย อย่างไรก็ตาม จากการ

เปรียบเทียบภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้สายอากาศทั้ง 3 แบบกับภาพถ่ายจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา เห็นได้ว่า ภาพถ่ายที่ได้จากการใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 2 กับแบบยาภิโดโพลนั้น สามารถแปลความหมายของภาพถ่ายได้ใกล้เคียงกับภาพถ่ายจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา เช่น ลักษณะของ



รูปที่ 21 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 19 ซึ่งใช้สายอากาศแบบ QFH แบบที่ 1 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา



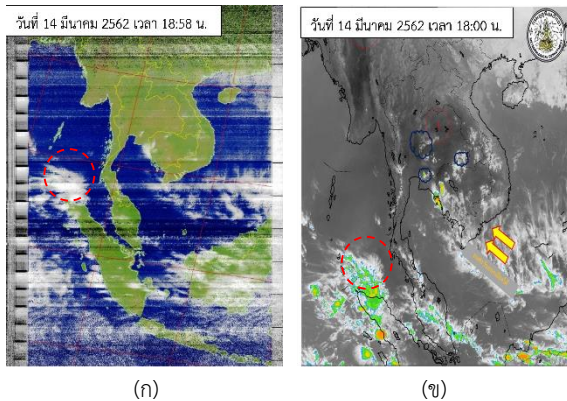
รูปที่ 22 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 18 ซึ่งใช้สายอากาศแบบ QFH แบบที่ 1 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา

กลุ่มเมฆ เป็นต้น ส่วนภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากสายอากาศ QFH แบบที่ 1 นั้น ไม่สามารถแปลความหมายของภาพถ่ายได้

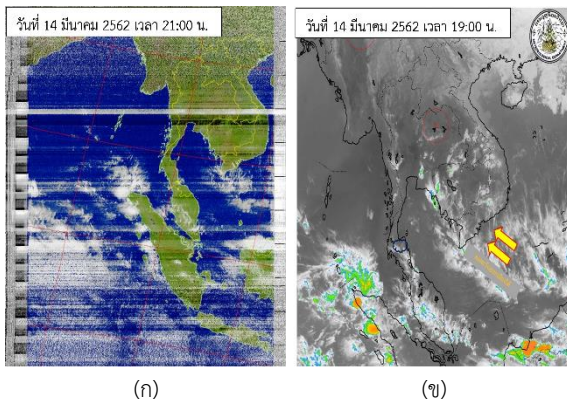
5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA โดยการออกแบบและสร้างสายอากาศในรูปแบบต่าง ๆ กัน 3 รูปแบบ ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การใช้สายอากาศในรูปแบบ QFH ที่ใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณและสายอากาศแบบยาภิโดโพลนั้น สามารถแปลความหมายของภาพถ่ายได้ใกล้เคียงกับภาพถ่ายจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา ส่วนภาพถ่ายที่ได้จากการใช้สายอากาศ QFH ที่

ใช้สาย RG 6 เป็นตัวนำสัญญาณนั้น ไม่สามารถแปลความหมายของภาพถ่ายได้



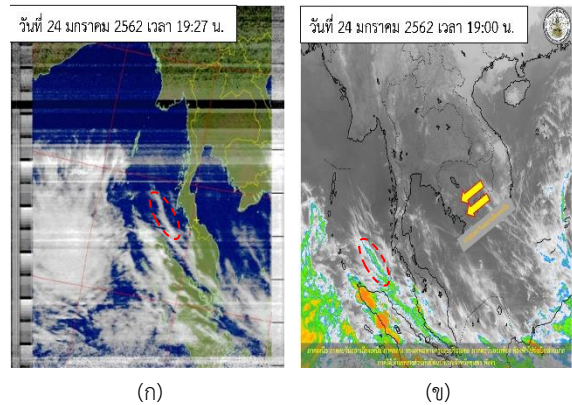
รูปที่ 23 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 15 ซึ่งใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 2 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา



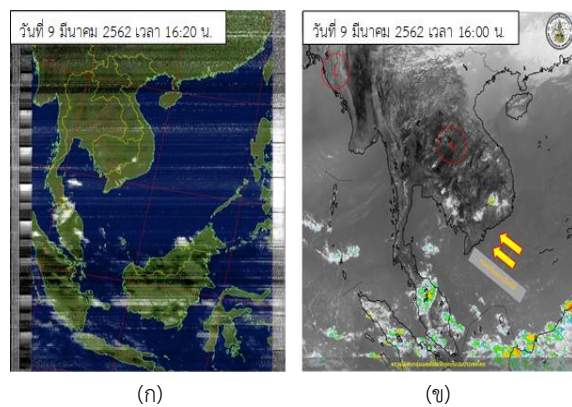
รูปที่ 24 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 18 ซึ่งใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 2 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา

6. บทวิจารณ์

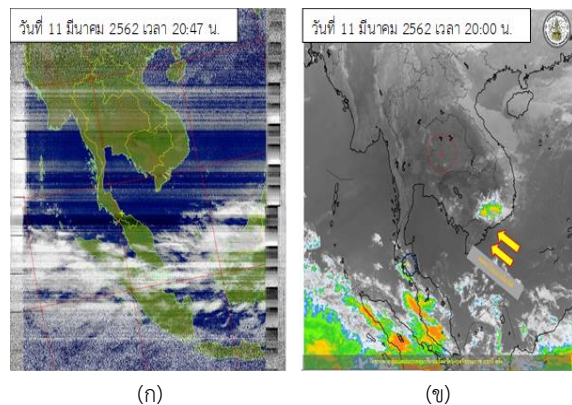
เนื่องจากสายอากาศยากิไดโพลเป็นสายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง กล่าวคือ ต้องโฟกัสไปที่ทิศทางใดทิศทางหนึ่ง จึงจะรับสัญญาณได้ดี เมื่อชี้ตรงทิศทางแล้ว จะมีอัตราการขยายสูง (Tutorialspoint, 2019)



รูปที่ 25 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 15 ซึ่งใช้สายอากาศยากิไดโพล (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 26 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 19 ซึ่งใช้สายอากาศยากิไดโพล (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 27 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 18 ซึ่งใช้สายอากาศยากิไดโพล (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา

อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยต้องปรับทิศของตัวชี้หน้าของสายอากาศแบบนี้ (ด้วยมือ) ตลอดเวลา เพื่อให้สอดคล้องกับตำแหน่งของดาวเทียม NOAA ขณะเคลื่อนที่บนท้องฟ้า สิ่งนี้เป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งของการใช้สายอากาศยาคิโดโพลในการรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียม การทดสอบที่เสนอในบทความนี้เป็นเพียงการทดสอบเบื้องต้น ในอนาคต ถ้าจะใช้สายอากาศยาคิโดโพลเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA ในสถานีภาคพื้นดินให้ได้ดี ต้องพัฒนาระบบการปรับทิศของตัวชี้หน้าอย่างอัตโนมัติของสายอากาศยาคิโดโพลนี้ด้วย

อย่างไรก็ตาม สายอากาศเกลียวสี่แฉกที่ใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณนั้น สามารถรับคลื่นได้แบบไม่ต้องเจาะจงทิศทาง กล่าวคือ รับคลื่นได้รอบทิศทางแม้สายอากาศอยู่บัง และอัตราการขยายก็เท่ากันในทุกทิศทาง สิ่งนี้เป็นข้อดีของสายอากาศแบบนี้ แม้ว่าการสร้างอาจจะซับซ้อนมากกว่าการสร้างสายอากาศยาคิโดโพล แต่ได้ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ถูกต้องและมีความใกล้เคียง (ประเมินด้วยสายตา) กับภาพถ่ายจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา และที่สำคัญ คือ ไม่ต้องปรับทิศของสายอากาศเหมือนกับแบบยาคิโดโพล ผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่า สายอากาศแบบนี้เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้จริงในสถานีภาคพื้นดินอย่างง่ายสำหรับการรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA โดยภาพรวมของระบบสถานีภาคพื้นดินที่สร้างขึ้นนี้ (รูปที่ 28) มีความสูงจากฐานถึงยอดสายอากาศประมาณ 184 cm และความกว้างของแต่ละด้านของฐานพีระมิดรูปสามเหลี่ยมเฉลี่ยประมาณ 117 cm และมีค่าใช้จ่ายโดยสังเขปเพิ่มเติม ดังนี้ ท่อทองแดง 638 บาท (Lazada, 2019) คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (เครื่องที่ราคาถูกที่สุดในเวลานี้) ประมาณ 2,800 บาท (Lazada, 2019) ท่อเหล็ก (สำหรับทำฐาน) 444 บาท (Onestockhome. 2019) ท่อ PVC (สีฟ้า) 100 บาท สายแกนร่วม RG 58 ยาว 3 m 100 บาท STL-SDR 318 บาท (LAZADA, 2017) และสิ่งของเบ็ดเตล็ด รวมทั้งหมดประมาณ 4,400 บาท ซึ่งถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่ถูกมาก เมื่อเทียบกับประโยชน์อันมากมายในการพยากรณ์อากาศในถิ่นทุรกันดารที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต

ในส่วนของสายอากาศเกลียวสี่แฉกที่ใช้สายแกนร่วม RG 6 เป็นตัวนำสัญญาณนั้น ได้ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งผู้วิจัยคิดว่า ไม่น่าจะมีสาเหตุมาจากการมีสัญญาณรบกวนมากเกินไป สังเกตจากการที่ไม่มีแถบที่พาดตัวตามแนวราบภายในภาพถ่ายเหมือนกับภาพถ่ายที่ได้จากสายอากาศแบบอื่น แต่อาจจะมีสาเหตุจากการรับสัญญาณไม่ได้ อันเกิดจากการเชื่อมต่อหรือบัดกรีสายนำสัญญาณที่ไม่ถูกต้อง เช่น สายนำสัญญาณขาดหรือเชื่อมกันไม่สนิท ซึ่งจุดที่ผิดพลาดน่าจะเป็นจุดบ่อนสัญญาณ

กึ่งกลางด้านล่างของสายอากาศเกลียวชุด B ซึ่งผู้วิจัยจะแก้ไขข้อบกพร่องจุดนี้ในอนาคตอันใกล้



รูปที่ 28 ภาพโดยรวมของสถานีภาคพื้นดินอย่างง่ายที่สร้างขึ้นจากสายอากาศแบบที่เหมาะสมที่สุด

การทดสอบสายอากาศทั้งสามชนิดนั้น ผู้วิจัยมีได้ดำเนินการเปรียบเทียบจากรูปสัญญาณที่ได้ในช่วงเวลาเดียวกันนั้น เนื่องจากการรับสัญญาณในช่วงเวลาเดียวกัน จะต้องใช้คอมพิวเตอร์ (โน้ตบุ๊ก) ถึง 3 เครื่อง ซึ่งผู้วิจัยยังไม่มียังประมาณในการจัดซื้อ ผนวกกับผู้วิจัยไม่ได้เน้นการศึกษาต่อสถานการณ์ดังกล่าว ในส่วนจำนวนครั้งในการทดสอบการทำงานของสายอากาศ QFH แบบที่ 1 นั้น มีน้อย นั้นเป็นเพราะเมื่อผู้วิจัยได้ภาพถ่ายดาวเทียมออกมาไม่ถูกต้อง เมื่อเดือนพฤศจิกายน 2561 จึงได้ตัดสินใจหยุดการทดสอบและการพัฒนาไว้เพียงเท่านั้นสำหรับสายอากาศดังกล่าว แล้วเริ่มสร้างและทดสอบสายอากาศ QFH แบบที่ 2 ต่อไป สำหรับจำนวนครั้งของการทดสอบการทำงานของสายอากาศ QFH แบบที่ 2 และแบบยาคิโดโพล ซึ่งมีไม่เท่ากันนั้น มีสาเหตุจาก ในแต่ละวัน ดาวเทียมแต่ละดวงที่สามารถรับสัญญาณได้ นั้นคือ NOAA 15, NOAA 18 และ NOAA 19 เคลื่อนที่พาดผ่าน่านฟ้าบริเวณจังหวัดสงขลาไม่พร้อมกัน เช่น ดวงหนึ่งพาดผ่านในเวลากลางวัน อีกดวงหนึ่งพาดผ่านในเวลากลางคืนและบางครั้งถี่มาก ทำให้ไม่สะดวกในการทดสอบ จึงต้องยกเลิกการทดสอบในบางครั้ง

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดสอบในงานวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์อย่างง่ายในการตีความความเหมือนระหว่างภาพที่ได้จากสัญญาณดาวเทียมจากสายอากาศ QFH แบบที่ 2 และยาคิโดโพล กับภาพที่ได้จากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา ยกตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 23 (ก) (กรณีใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 2) สังเกตได้ว่ามีกลุ่มเมฆในบริเวณวงกลมเส้นประที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มเมฆในบริเวณวงกลมเส้นประในรูปที่ 23 (ข)

หรือ ในรูปที่ 25 (ก) (กรณีใช้สายอากาศยาไกโดโพล) สังเกตได้ว่ามีกลุ่มเมฆในบริเวณเส้นประวงรีที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มเมฆในบริเวณเส้นประวงรีในรูปที่ 25 (ข) การตีความความเหมือนระหว่างภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA แบบ APT กับภาพถ่ายจากดาวเทียม Himawari-8 (กรมอุตุนิยมวิทยานำมาเผยแพร่) โดยใช้เกณฑ์อย่างละเอียดนั้น อาจจะต้องใช้ความรู้ด้าน Digital Image Processing ในขั้นสูง ซึ่งอาจจะเกินขอบเขตของงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ เทคโนโลยีของการผลิตภาพจากดาวเทียม NOAA แบบ APT กับดาวเทียม Himawari-8 นั้น แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง กล่าวคือ เทคโนโลยี APT นั้นใช้สัญญาณภาพวิดีโอแบบเวลาจริง (real time video images) โดยข้อมูลถูกผลิตขึ้นจากการโมดูเลตแบบ AM ที่ความถี่ 2,400 Hz และเป็นสัญญาณแบบอนาล็อกที่มีอัตรา 120 เส้นต่อนาที่ของภาพวิดีโอ (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2009) ในขณะที่ดาวเทียม Himawari-8 นั้นได้ใช้เทคโนโลยีสีจริง (True Color technology) (Miller et al., 2016) ซึ่งประกอบด้วยการแปลงสีของภาพถ่ายแบบ CIE XYZ (The Proprietor Phil Cruse, 2019) และตัวผลิตภาพ (imager) ใช้สเปกตรัมแบบออปติคความถี่สูง

การสร้างสถานีภาคพื้นดินอย่างง่ายเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT ที่พัฒนาขึ้นนี้เน้นในส่วนของการออกแบบและพัฒนาอย่างง่ายไม่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงหรือซับซ้อน โดยอาศัยเพียงองค์ประกอบที่สำคัญ คือ เครื่องรับวิทยุ RTL-SDR ซอฟต์แวร์ คอมพิวเตอร์ และสายอากาศ โดยใช้งบประมาณในการสร้างต่ำ สามารถประกอบใช้งานได้อย่างรวดเร็ว สะดวกในการเคลื่อนย้าย จึงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นสถานีพยากรณ์อากาศประจำหมู่บ้านในถิ่นทุรกันดาร ซึ่งไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต

7. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และเจ้าหน้าที่ของหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษาสงขลา ซึ่งได้อนุญาตให้สถานที่ในการสร้างและทดสอบระบบ

8. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

Antennas-Amplifiers. (2019, October 16). 144 - 146 MHz VLNA with Band-pass Filter. <https://www.antennas-amplifiers.com/2m-bandpass-filter-vlna>

Automated Sciences. (2012, June 4). Himawari 8. <http://www.automatedsciences.com/Himawari8.shtml>

Chiwapreecha, S. (2013, January 18). Development of Low-Cost Ground Station for Receiving and Image Production of Weather Satellites NOAA in APT Mode. <http://www1.telecom.kmitl.ac.th/telecom/component/content/article/47-2013-03-13-19-11-52/217-noahapt.html>

FLOWTECHWORLD. (2017, March 10). Copper tube roll. <http://www.flowtechworld.com/types/copper-tube>

Hollander, R. W. (1999). Resonant Quadrafilar Helical Antenna. Technote 1999-1.

Kenny, M. (2019, June 5). Meteorological Satellite Frequencies. http://mdkenny.customer.netspace.net.au/metsat_frequencies-NEW.html#Him

Kerdsuk, T., Thamprasert, C., Chureeganon, T., & Vichchakool, N. (1998). Study of Signal Processing from NOAA and GMS Satellites for Receiving Stations [Master's thesis]. Kasetsart University.

Kilgus, C. C. (1969). Resonant Quadrafilar Helix. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 17(3), 349-351.

Kingsbury. (2019, January 1). NOAA Satellite Signals With a PVC QFH Antenna and Laptop. <https://www.instructables.com/id/NOAA-Satellite-Signals-with-a-PVC-QFH-Antenna>

Kramar, M., Ignatov, A., Petrenko, B., Kihai, Y., & Dash, P. (2016). Near Real Time SST retrievals from Himawari-8 at NOAA using ACSPO system. In W. H. Weilin & A. A. Robert (Eds.), *Proceedings of the SPIE 9827, Ocean Sensing and Monitoring VIII, 98270L* (17 May 2016). Baltimore, Maryland, United States: SPIE.

LAZADA. (2017, December 1). USB 2.0 Digital DVB-T SDR. <https://www.lazada.co.th/products/usb-20-digital-dvb-t-sdr-dab-fm-rtl2832u-r820t2-i280235377-s453129716.html?spm=a2o4m.searchlist.list.11.24733abcNQx5yy&search=1>

Lazada. (2019, October 29). Copper Tubes 6.35 mm. <https://www.lazada.co.th/products/38-635-071-15-i367330788-s717664430.html>

Lazada. (2019, October 29). Notebook Dell Latitude 2100. https://www.lazada.co.th/products/notebookdelllatitude21002120i383474593s745028378.html?ef_id=CjwKCAjwxt_tBRAXEiwAENY8haomgAFn8I3mUwdTOoyc29wdllQB3j1urmjQxzlhcwxxwhGlZrSbwvxOCQ4wQAvD_BwE:G:s&s_kwcid=AL13152I3I286179630377!!u!296030489971!&exlaz=d_1:mm_150050845_51350205_2010350205::12:1498579383I58089999096!!pla296030489971!cl296030489971!745028378I135277793I286179630377&gclid=CjwKCAjwxt_tBRAXEiwAENY8haomgAFn8I3mUwdTOoyc29wdllQB3j1urmjQxzlhcwxxwhGlZrSbwvxOCQ4wQAvD_BwE

- Lint, V. C. (2018, December 16). *A QFH antenna for the weather satellite band*. http://silver-wolfenterprises.co.za/hvbxextra/QFH_2_for_137.pdf
- Machado-Fernández, J. R. (2015). Software Defined Radio: Basic Principles and Applications. *Revista Facultad de Ingeniería (Fac. Ing.)*, 24(38), 79-96.
- Marais, S. J. (2007, October 21). *The Quadrifilar Helix Antenna and Its Application to Wide Angle Phase-Steered Arrays*. https://scholar.sun.ac.za/bitstream/handle/10019.1/21675/Marais_Quadrifilar_2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Maxwell, M. W. (2001). *Reflections II—Transmission Lines and Antennas*. Worldradio Books.
- Meteorological Satellite Center of JMA. (1978, June 5). *Himawari Real-Time Image*. http://ds.data.jma.go.jp/mscweb/data/himawari/sat_img.php?area=se1
- Miller, S., Schmit, T., Seaman, C., Lindsey, D., Gunshor, M., Kohrs, R., Sumida, Y., & Hillger, D. (2016). *A Sight for Sore Eyes - The Return of True Color to Geostationary Satellites*. Bull. Amer. Meteor. Soc.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2009, October 31). *User's Guide for Building and Operating Environmental Satellite Receiving Stations*. https://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/pubs/Users_Guide-Building_Receive_Stations_March_2009.pdf
- NOAA Satellite Information System. (2014, November 15). *Satellite Status Information*. https://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/services_status.html
- Onestockhome. (2019, October 29). *Round pipe 2.5 inch*. <https://www.onestockhome.com/th/products/76065400/steel-round-pipe-2-12-inch-steel-pap-pacific-pipe>
- Pansomboon, R. (2012, October 19). *Dual-band Quadrifilar Helical Antenna for Radio Beacon Receiver of Low Earth Orbit Satellite*. <http://opac.lib.kmitl.ac.th/Catalog/BibItem.aspx?BibID=b00261241>
- RF Wireless World. (2012, June 3). *Element Yagi Antenna Basics / Yagi Antenna calculator*. <http://www.rfwireless-world.com/calculators/3-element-Yagi-Antenna-Calculator.html>
- RTL-SDR.COM. (2010, December 6). *RTL-SDR (RTL2832U) and software defined radio news and projects*. <https://www.rtl-sdr.com>
- SatelliteDish.com. (2019, October 19). *2.4 Meter Prime Focus Az/El Mount Dish Antenna*. <http://www.satellitedish.com/page5.htm>
- The Meteorological Department. (2013, March 14). *Satellite image analysis*. <http://www.satda.tmd.go.th>
- The Proprietor Phil Cruse. (2019, October 31). *CIE XYZ*. https://www.colourphil.co.uk/xyz_colour_space.shtml
- Torasa, C. (2011). *Modeling of Real-time Forecasting for Near-real-time Rainfall using Images from Two Waves Ranges Bands from APT Data*. Faculty of Industrial Technology. Suan Sunandha Rajabhat University.
- Tutorialspoint. (2019, October 26). *Antenna Theory - Yagi-Uda Antenna*. https://www.tutorialspoint.com/antenna_theory/yagi_uda_antenna_theory.htm
- Utayarat, S. (2006). *Research and Development of Processing Section Baseband Digital Signal of Communication System In Ground Stations for Small multi-purpose Satellites*. Kasetsart University.
- Wikipedia. (2019, October 19). *C band (IEEE)*. [https://en.wikipedia.org/wiki/C_band_\(IEEE\)](https://en.wikipedia.org/wiki/C_band_(IEEE))
- Wikipedia. (2019, October 19). *Ku band*. from https://en.wikipedia.org/wiki/Ku_band