การศึกษาผลกระทบเชิงเทคนิคของการสื่อสารข้อมูลเพื่อการบูรณาการโดรนใต้น้ำและความจริงคู่เสมือนดิจิทัลบนเครือข่าย 5G สำหรับการยกระดับการท่องเที่ยวทางทะเลสมัยใหม่ของประเทศไทย

A Study on Impact of Technical Data Communication for Integrating Underwater Drones and Virtual Reality Digital Twin on 5G Network to Enhance Thailand's Modern Tourism

ศรัญ ดวงสุวรรณ
Sarun Duangsuwan
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
Department of Engineering, Electrical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, Chumphon, Thailand,

***Corresponding Author E-mail**: sarun.du@kmitl.ac.th

Received: 5/09/25, **Revised**: 6/10/25, **Accepted** 8/10/25

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวทางทะเลของประเทศไทยได้ถูกเปลี่ยนผ่านเข้าสู่ยุคดิจิทัล การสร้างโลกเสมือนจริงของการท่องเที่ยวจะสามารถสร้างแรงจูงใจให้กับนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นได้ด้วยการบูรณาการนวัตกรรมสมัยใหม่ เช่น เทคโนโลยีการใช้โดรนใต้น้ำ เทคโนโลยีคู่เสมือนดิจิทัล เทคโนโลยีความจริงเสมือนหรือ Virtual reality (VR) และโครงข่ายเทคโนโลยี 5G บทความวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของการสื่อสารข้อมูลเชิงเทคนิคของการบูรณาการโดรนใต้น้ำและเทคโนโลยีความจริงคู่เสมือนดิจิทัลบนโครงข่าย 5G สำหรับการยกระดับการท่องเที่ยวสมัยใหม่ ระบบการสื่อสารได้ออกแบบให้โดรนใต้น้ำสามารถส่งข้อมูลภาพและเสียงใต้น้ำแบบเรียลไทม์ไปยังแว่น VR บนเครือข่าย 5G พร้อมการแสดงข้อมูลสภาพแวดล้อมใต้น้ำในรูปแบบคู่เสมือนดิจิทัล การทดสอบภาคสนามดำเนินการบริเวณชายฝั่งหาดพระจอมถึงเกาะไข่ จังหวัดชุมพร ที่ระยะทาง 1-5 กิโลเมตร โดยการประเมินผลการสื่อสารข้อมูลเชิงเทคนิค ได้แก่ ค่ากำลังสัญญาณที่รับได้ แบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถี อัตราการรับส่งข้อมูล และคุณภาพการสตรีมวิดีโอ จากผลการทดสอบสามารถยืนยันได้ว่าการสตรีมข้อมูลแบบเรียลไทม์มายังฝั่งที่ระยะทางตั้งแต่ 1 km - 5 km มีความเสถียรของภาพวีดีโอระดับ Full HD ได้แบบต่อเนื่อง ทั้งนี้เครือข่าย 5G ที่รับได้ที่ย่านความถี่ 700 MHz สามารถให้แบนด์วิดท์ได้สูงถึง 20 MHz ทั้งนี้ผลของระยะทางมีผลต่อการสูญเสียเชิงวิถีและกำลังสัญญาณที่รับได้ จากผลลัพธ์ของการศึกษาผลกระทบของการสื่อสารข้อมูลเชิงเทคนิคสามารถยืนยันได้ว่าการบูรณาการโดรนใต้น้ำร่วมกับเทคโนโลยี VR และเครือข่าย 5G จะเป็นแนวทางสร้างโลกเสมือนจริงที่สามารถยกระดับอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวทางทะเลสมัยใหม่ของประเทศไทย

คำสำคัญ: การท่องเที่ยวทางทะเลสมัยใหม่ คู่เสมือนดิจิทัล โดรนใต้น้ำ ความจริงเสมือน เครือข่าย 5G

Abstract

Thailand's marine tourism industry has transitioned into the digital age. The creation of metaverse tourism environments can further enhance tourist engagement by integrating advanced innovations such as underwater drone technology, digital twin systems, virtual reality (VR), and 5G communication networks. This paper presents the technical impact of data communication in integrating underwater drones with VR technology over a 5G network to advance modern marine tourism. The proposed communication system is designed to enable underwater drones to transmit real-time underwater video and audio to VR headsets via a 5G network. Field experiments were conducted along a 1 km to 5 km coastal route from Phra-Chom beach to Koh-Khai Island, Chumphon province. The technical performance of data communication was evaluated using key parameters, including received signal strength indicator (RSSI), channel bandwidth, path loss, data rate, and video streaming quality. The results demonstrate that real-time streaming from offshore distances of 1 km to 5 km maintained continuous Full HD video quality. The 5G network operating in the 700 MHz frequency band delivered up to 20 MHz of bandwidth. Moreover, transmission distance was found to influence both path loss significantly and received signal strength. Overall, the findings confirm that integrating underwater drones, VR technology, and 5G networks offers a novel and effective approach to developing immersive metaverse tourism experiences, with strong potential to enhance Thailand's modern marine tourism industry.

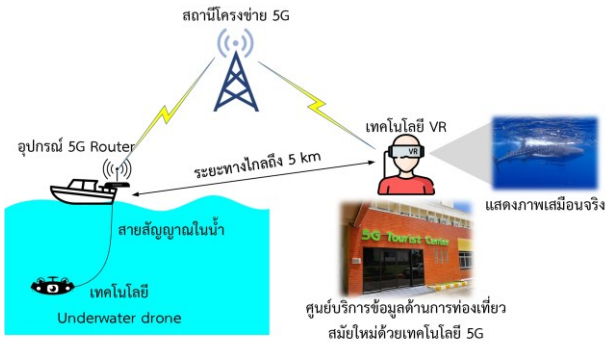
Keywords: Modern Marine Tourism, Digital Twin, Underwater Drones, Virtual Reality (VR), 5G Network.

1. บทนำ

จากการประชุมแผนการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมกลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอ่าวไทยของคณะรัฐมนตรีได้มีมติให้จังหวัดชุมพรเป็นเมืองท่องเที่ยวอย่างปลอดภัยหลังจากการแพร่กระบาดของโควิด 19 ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมและดึงดูดนักท่องเที่ยวให้เข้ามาท่องเที่ยวนั้นจำเป็นจะต้องพัฒนาส่วนการให้บริการ อาทิเช่น ต้องมีการพัฒนานวัตกรรมเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในเมืองท่องเที่ยวหรือแอปพลิเคชันแสดงข้อมูลด้านการท่องเที่ยวรองรับการใช้งาน ต้องมีการจัดตั้งศูนย์ควบคุมข้อมูลและสั่งการด้านความปลอดภัยทางน้ำของภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย และต้องมีแผนพัฒนานวัตกรรมเพื่อส่งเสริมและขับเคลื่อนการท่องเที่ยวทางทะเลสมัยใหม่ รวมถึงการรักษาสิ่งแวดล้อมควบคู่กัน ปัจจุบันแนวโน้มด้านการท่องเที่ยวของจังหวัดชุมพรมีปริมาณนักท่องเที่ยวทั้งไทยและต่างชาติเข้ามาเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 60

กิจกรรมทางทะเลที่ขึ้นชื่อของจังหวัดชุมพรก็คือ การดำน้ำตื้น (Scuba diving) ซึ่งจังหวัดชุมพรมีความหลากหลายทางทรัพยากรทางทะเลที่ยังคงมีความอุดมสมบูรณ์ไม่ว่าจะเป็นดงดอกไม้ทะเลและปลาสายพันธ์ต่าง ๆ แม้ว่ากิจกรรมดำน้ำตื้นดูปะการังในพื้นที่ของจังหวัดชุมพรจะเป็นที่ดึงดูดนักท่องเที่ยวเป็นจำนวนมากแล้วนั้น อย่างไรก็ตาม การดำน้ำจำเป็นจะต้องผ่านการฝึกฝนจากผู้เชี่ยวชาญและนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ไม่ได้มีพื้นฐานทักษะในการดำน้ำที่ถูกต้อง โดยปัญหาหลักคือ อุบัติเหตุจากการดำน้ำและความไม่พร้อมของสภาพร่างกายส่งผลให้นักท่องเที่ยวที่พร้อมทำกิจกรรมในการดำน้ำมีข้อจำกัด ดังนั้น เพื่อส่งเสริมมีกิจกรรมเหล่านี้อย่างต่อเนื่องและขับเคลื่อนอุตสาหกรรมท่องเที่ยวทางทะเลตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมกลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย [1]

ระบบคู่เสมือนดิจิทัล Digital twin systems [2]-[3] เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ต้องบูรณาการเทคโนโลยีหุ่นยนต์ โดรน เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence: AI) เครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง ระบบเซนเซอร์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT sensor) และเทคโนโลยีความจริงเสมือน VR เข้าด้วยกัน เพื่อให้มนุษย์สามารถเห็นข้อมูลได้เสมือนอยู่ในเหตุการณ์จริง



รูปที่ 1 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลระหว่างโดรนใต้น้ำและเทคโนโลยี VR บนเครือข่าย 5G ระยะทางไกล

กรอบแนวคิดของบทความวิจัยนี้คือ การบูรณาการโดรนใต้น้ำร่วมกับเทคโนโลยี VR ที่สามารถส่งข้อมูลภาพและวีดีโอเคลื่อนไหวจากใต้น้ำกลับมายังศูนย์บริการข้อมูลด้านการท่องเที่ยวในระยะไกลได้จริง โดยใช้โครงข่าย 5G เป็นเครือข่ายหลัก (Backbone) ของการสตรีมข้อมูลภาพและวีดีโอจากโดรนใต้น้ำมาแสดงผลได้ที่อุปกรณ์แว่นเทคโนโลยี VR ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งการทำงานของโดรนใต้น้ำจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ 5G router เพื่อส่งข้อมูลภาพและวีดีโอไปยังอุปกรณ์แว่นเทคโนโลยี VR ผ่านเครือข่าย 5G ที่ระยะทางไกลถึง 5 km จากทะเลมายังบริเวณชายฝั่ง โดยการออกแบบระบบสื่อสารไร้สายจำเป็นจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบของการสื่อสารข้อมูลเชิงเทคนิค เช่น กำลังสัญญาณที่ได้รับ แบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถี อัตราเร็วข้อมูล และคุณภาพของภาพวีดีโอ เนื่องจากว่าการใช้งานเทคโนโลยี VR จำเป็นต้องอาศัยคุณภาพของสัญญาณที่เหมาะสมเท่านั้น ซึ่งความท้าทายของการใช้งานเทคโนโลยี VR คือ การหน่วงของการสื่อสารข้อมูล โดยเฉพาะระบบการสื่อสารไร้สายหรือโครงข่ายหลักที่ใช้รับส่งข้อมูลระหว่างโดรนใต้น้ำและเทคโนโลยี VR จะต้องรองรับมีความเร็วข้อมูลสูงเพียงพอ

2. การสื่อสารข้อมูลเพื่อการบูรณาการโดรนใต้น้ำและความจริงคู่เสมือนดิจิทัลบนเครือข่าย 5G

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปโดรนใต้น้ำจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) Autonomous Underwater Vehicles: AUVs และ 2) Remotely Operated Vehicles: ROVs งานวิจัยเกี่ยวกับโดรนใต้น้ำส่วนใหญ่มุ่งเน้นการวิจัยเพื่อการสำรวจสภาพแวดล้อมใต้ทะเลและเก็บข้อมูลเป็นหลัก เช่น การถ่ายภาพและวีดีโอ การตรวจคุณภาพน้ำ การกู้ภัย และการค้นหาสิ่งของใต้ท้องทะเล งานวิจัยลำดับที่ [4] กล่าวถึงการพัฒนาโดรนใต้น้ำ AUVs สำหรับการสำรวจสิ่งแวดล้อมใต้ทะเล โดยใช้กล้องความละเอียดสูงและระบบนำทางใต้น้ำอัตโนมัติ ซึ่งสามารถทำงานต่อเนื่องได้ในระยะไกล ต่อมางานวิจัยลำดับที่ [5] ศึกษาหลากหลายงานวิจัยเกี่ยวกับโดรนใต้น้ำแบบ ROVs สำหรับงานอนุรักษ์ปลิงทะเล โดยกล่าวถึงการเพิ่มความเสถียรของการใช้งานและระบบส่งข้อมูลภาพแบบเรียลไทม์ ซึ่งโดรนใต้น้ำแบบ ROVs ถือเป็นโดรนที่ได้รับความนิยมสูง โดยเฉพาะรุ่น FiFish V6 Evo ที่นำมาใช้ถ่ายภาพใต้น้ำที่ระดับความลึกไม่เกิน 100 เมตร

เทคโนโลยี VR เป็นส่วนหนึ่งของวิวัฒนาการคู่เสมือนดิจิทัล Digital Twin งานวิจัยลำดับที่ [6] นำเสนอมุมมองของระบบคู่เสมือนดิจิทัลสำหรับท่องเที่ยวทางทะเลและกิจกรรมทางทะเล โดยแบ่งกรอบสถาปัตยกรรมของการออกแบบเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ชั้นการจำลอง การตรวจวิเคราะห์ การพยากรณ์ และการรสนับสนุนการตัดสินใจ ซึ่งการออกแบบระบบจะต้องอาศัยความหลากหลายทางเทคโนโลยีร่วมกัน เช่น โดรนใต้น้ำ เทคโนโลยี VR ระบบเซนเซอร์น้ำใต้ [7] Underwater IoT (UIoT) มาบูรณาการร่วมกัน โดยแนวโน้มการพัฒนาโลกใต้ทะเลด้วยการ

จำลองคู่เสมือนดิจิทัลกำลังถูกศึกษาวิจัยอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน งานวิจัยลำดับที่ [8] ได้ศึกษาเพิ่มเติมว่าการใช้งานเทคโนโลยี Extended Reality (XR) ซึ่งจะต้องประกอบด้วย VR, Augmented Reality (AR), และ Immersive Reality (MR) จะเป็นเครื่องมือสำคัญของการพัฒนาระบบนิเวศน์ทางทะเลสมัยใหม่เพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 1 แบบอักษรและขนาดสำหรับส่วนต่างๆของบทความ

งานวิจัยลำดับที่	โดรนใต้น้ำ ROV/AUV	เทคโนโลยี VR	เครือข่าย 5G	จุดเด่น
[9]	✓	☒	☒	นำเสนอโดรนใต้น้ำแบบ ROVs ที่รองรับการจัดการสิ่งแวดล้อมแต่ไม่รองรับเทคโนโลยี VR และเครือข่าย 5G
[10]	☒	✓	☒	นำเสนอมุมมองของการใช้เทคโนโลยี VR สำหรับการสำรวจสภาพแวดล้อมใต้ทะเล
[11]	☒	☒	✓	นำเสนอเครือข่ายการสื่อสารความเร็วสูงที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีคู่เสมือนดิจิทัล
บทความวิจัยนี้	✓	✓	✓	นำเสนอการบูรณาการร่วมกันระหว่างโดรนใต้น้ำและเทคโนโลยีความจริงเสมือนคู่ดิจิทัลบนเครือข่าย 5G

งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาโดรนใต้น้ำ การใช้เทคโนโลยี VR เพื่อการศึกษา หรือการออกแบบสถาปัตยกรรมระบบคู่เสมือนดิจิทัล แต่ยังไม่พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบูรณาการโดรนใต้น้ำและเทคโนโลยี VR ด้านการท่องเที่ยว ในบทความนี้ได้ทำการเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังแสดงในตารางที่ 1 โดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ในลำดับที่ [9]-[11] ตามลำดับ

2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

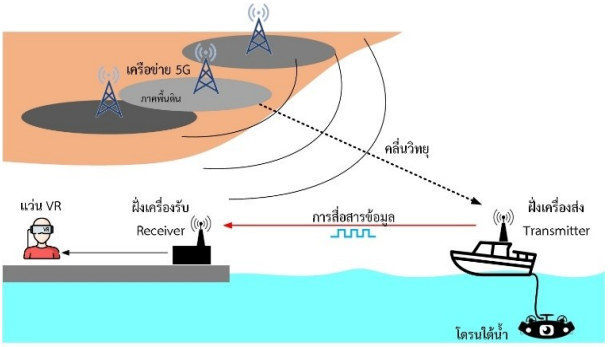
2.2.1 ทดสอบการทำงานของโดรนใต้น้ำรุ่น FiFish V6 Evo พร้อมถ่ายภาพเคลื่อนไหวใต้น้ำความละเอียดระดับ 4K โดยส่งข้อมูลผ่านชุดเครือข่าย 5G และแสดงผลภาพแบบเรียลไทม์ (Real-time streaming) บนอุปกรณ์เทคโนโลยี VR หรือแว่น VR ได้จริง โดยใช้สถานที่บริเวณชายหาดพระจอมฝั่งทะเลของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรฯ กับพื้นที่เกาะไข่ ซึ่งตั้งอยู่ที่ ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร ระยะทางประมาณ 5 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4

2.2.2 ประเมินผลกระทบเชิงเทคนิคของการสื่อสารข้อมูลระหว่างโดรนใต้น้ำและเทคโนโลยี VR เช่น ค่ากำลังสัญญาณที่รับค่าแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ ค่าการสูญเสียเชิงวิถี ค่าอัตราเร็วข้อมูล และคุณภาพของภาพวีดีโอ

รูปที่ 4 ระยะทางจากชายฝั่งหาดพระจอมไปยังพื้นที่เกาะไข่

2.3 การวัดผล

รูปที่ 5 แสดงแผนภาพการสื่อสารข้อมูลจากโดรนใต้น้ำที่เปรียบเสมือนเป็นฝั่งเครื่องส่งสตรีมข้อมูลภาพเสียง และวีดีโอที่ไปยังฝั่งเครื่องรับแว่น VR ซึ่งโดยทั่วไปโดรนใต้น้ำจะไม่สามารถส่งข้อมูลไปได้ในระยะไกล ดังนั้น การใช้เครือข่าย 5G จะรองรับคุณภาพของข้อมูลได้เป็นอย่างดี [12] ทั้งนี้จำเป็นจะต้องประเมินผลกำลังสัญญาณที่รับได้ของเครือข่าย 5G และจำเป็นต้องวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่อไปนี้



รูปที่ 5 แผนภาพการสื่อสารข้อมูลจากโดรนใต้น้ำฝั่งเครื่องส่งไปอุปกรณ์แว่น VR ซึ่งเปรียบเสมือนฝั่งเครื่องรับ

2.3.1 ค่ากำลังสัญญาณที่รับได้ (RSSI)

โดยการวัดค่ากำลังสัญญาณที่รับได้จะสัมพันธ์กับสูตรการแผ่พลังงานของฟรีซ์ (Friis's transmission formula) จะสามารถเขียนความสัมพันธ์ของสมการสำหรับกำลังเครื่องรับได้ดังนี้

$$P_r = SA_r \tag{1}$$

โดยที่ S คือ ค่าความหนาแน่นการแพร่กระจายกำลัง (Power density radiation) A_r คือ พื้นที่ประสิทธิผลของสายอากาศ (Antenna effective area) ซึ่งเมื่อพิจารณาที่สายอากาศของเครื่องรับ สามารถเขียนสมการใหม่

$$A_r = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi} \tag{2}$$

เมื่อ G_r คือ อัตราขยายสายอากาศเครื่องรับ (Receiver antenna gain) และเมื่อแทนค่าในสมการที่ (1) จะเขียนอธิบายในรูปของสูตรการแผ่พลังงานของฟรีซ์ (Friis transmission formula) มีวัดหน่วยเป็นวัตต์

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \tag{3}$$

โดยที่สามารถเขียนอธิบายใหม่ได้ในรูปของเดซิเบล (dB) เป็น

$$P_r[\text{dB}] = 10\log P_t + 10\log G_t + 10\log G_r - L_f[\text{dB}] \tag{4}$$

2.3.2 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)

การสูญเสียเชิงวิถี คือ อัตราการสูญเสียของกำลังสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ โดยพิจารณาสัดส่วนของกำลังเครื่องส่งต่อกำลังเครื่องรับ ดังสมการที่ (5) และสมการที่ (6) ในหน่วย dB

$$L_f = \frac{P_t}{P_r} \tag{5}$$

$$L_f[\text{dB}] = 10\log P_t + 10\log G_t + 10\log G_r - P_r[\text{dB}] \tag{6}$$

เมื่อ P_t คือ กำลังเครื่องส่ง (Transmitter power) หน่วยวัตต์ และ P_r คือ กำลังเครื่องรับ (Received power) หน่วยวัตต์

2.3.3 ค่าอัตราเร็วข้อมูล (Data rate)

อัตราเร็วข้อมูล คือ ความเร็วของการสื่อสารข้อมูลที่สามารถรับส่งระหว่างโดรนใต้น้ำไปยังแว่น VR ซึ่งจะมีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bps) ทั้งนี้อัตราเร็วข้อมูลจะขึ้นอยู่กับแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ 5G ที่ใช้งานและระดับกำลังสัญญาณที่รับได้ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$C = B\log_2\left(1+\frac{P_r}{BN_0}\right) \tag{7}$$

โดยที่ B คือ แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ 5G และ N_0 คือ สเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวน (Noise)

3. การทดลอง

การทดลองดำเนินการบริเวณชายฝั่งหาดพระจอมและเกาะไข่ ระยะทางประมาณ 5 km โดยกำหนดจุดการทดลองทั้งหมด 5 จุด ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งตำแหน่งที่ 1 กำหนดที่ระยะทาง 1 km และเพิ่มขึ้นทีละ 1 km จนกระทั่งถึงตำแหน่งที่ 5 ที่ระยะทาง 5 km การระบุตำแหน่งจะใช้ระบบ GPS เป็นหลัก จากนั้นทำการทดสอบโดรนใต้น้ำที่ระดับความลึกต่ำสุดของแต่ละจุดเพื่อส่งข้อมูลภาพและวีดีโอกลับไปยังแว่น VR ของผู้ใช้งานแบบเรียลไทม์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 6 มีดังนี้

1) แว่น VR

2) ชุดโมดูลสื่อสาร 5G router รุ่น RUTX50 โดยมีอัตราขยายสายอากาศ 8 dBi และกำลังส่งข้อมูลสูงสุด 1 วัตต์

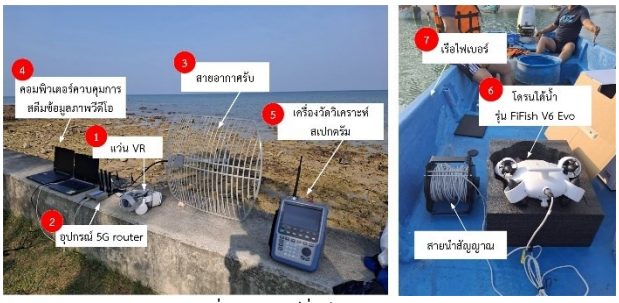
3) สายอากาศรับ ย่านความถี่ 700 MHz – 2600 MHz และอัตราขยาย (Gain) เท่ากับ 11 dBi

4) คอมพิวเตอร์ควบคุมการสตรีมข้อมูลภาพวีดีโอ

5) เครื่องวัดวิเคราะห์สเปกตรัม

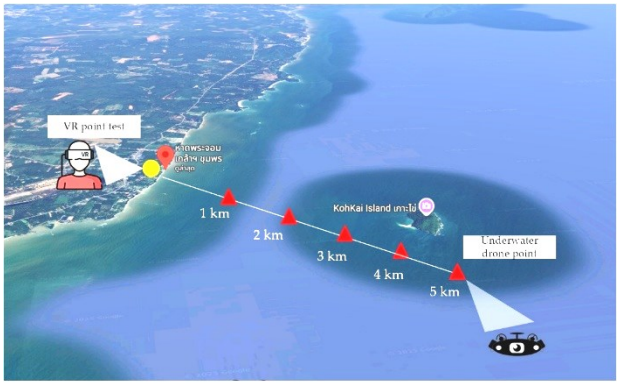
6) โดรนใต้น้ำ รุ่น FiFish V6 Evo

7) เรือไฟเบอร์ ขนาดกว้าง 2.5 เมตร ยาว 4 เมตร



รูปที่ 6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองฝั่งอุปกรณ์บนเรือจะประกอบด้วยโดรนใต้น้ำและเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม โดยทำการวิเคราะห์ระดับ RSSI และแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ ในการทดสอบเรือจะหยุดอยู่กับที่ในตำแหน่งที่ 1–5 km ดังรูปที่ 7 และกำหนดให้โดรนทดสอบที่ความลึกทะเลต่ำสุด ในส่วนของภาครับจะใช้สายอากาศรับผ่านอุปกรณ์ 5G router โดยมีแว่น VR เป็นอุปกรณ์แสดงผลและชุดคอมพิวเตอร์ควบคุมการสตรีมข้อมูลเรียลไทม์



รูปที่ 7 ตำแหน่งจุดทดสอบตำแหน่งของโดรนใต้น้ำและแว่น VR

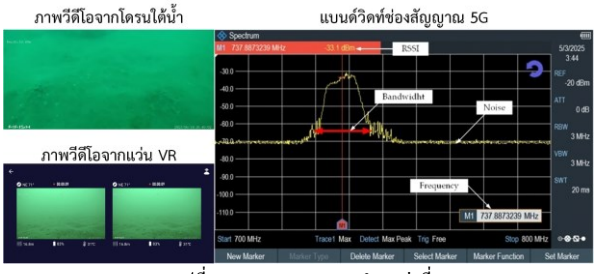
ผลการทดลองในแต่ละตำแหน่งจะแสดงค่ากำลังสัญญาณที่รับได้ ค่าการสูญเสียเชิงวิถี แบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ ค่าอัตราเร็วข้อมูล และภาพการสตรีมข้อมูลจากโดรนใต้น้ำไปยังแว่น VR ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 การทดสอบการสตรีมข้อมูลจากโดรนใต้น้ำไปยังแว่น VR

โดยผลการทดสอบของตำแหน่งที่ 1 – 5 แสดงได้ดังรูปที่ 9 – 13 และข้อมูลการวัดผลของแต่ละตำแหน่งแสดงในตารางที่ 2 - 6 ตามลำดับ โดยการวัดค่ากำลังสัญญาณที่รับได้สามารถนำไปคำนวณหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี จากสมการที่ (6) และคำนวณอัตราเร็วข้อมูลได้จากสมการที่ (7) ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบของตำแหน่งที่ 1

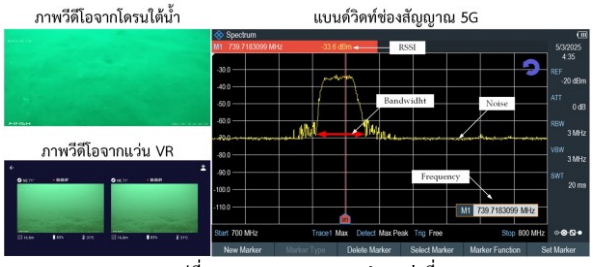
ผลการทดลอง				
RSSI (dBm)	**Path loss (dB)**	**Bandwidth (MHz)**	**Data rate (kbps)**	**Frequency (MHz)**
-33.1	62.64	18.2	9752	737.8



รูปที่ 9 ผลการทดสอบของตำแหน่งที่ 1

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบของตำแหน่งที่ 2

ผลการทดลอง				
RSSI (dBm)	**Path loss (dB)**	**Bandwidth (MHz)**	**Data rate (kbps)**	**Frequency (MHz)**
-33.6	63.14	15.7	6443	739.7



รูปที่ 10 ผลการทดสอบของตำแหน่งที่ 2

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบของตำแหน่งที่ 3

ผลการทดลอง				
RSSI (dBm)	**Path loss (dB)**	**Bandwidth (MHz)**	**Data rate (kbps)**	**Frequency (MHz)**
-34.3	63.84	19.7	6013	740.8

รูปที่ 11 ผลการทดสอบของตำแหน่งที่ 3

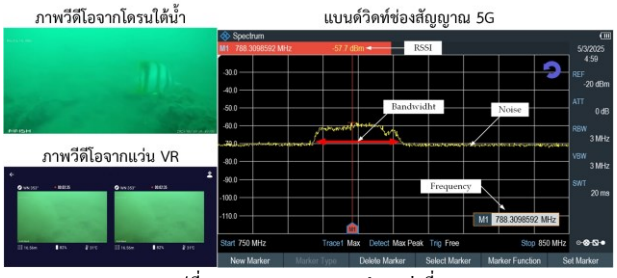
ตารางที่ 5 ผลการทดสอบของตำแหน่งที่ 4

ผลการทดลอง				
RSSI (dBm)	**Path loss (dB)**	**Bandwidth (MHz)**	**Data rate (kbps)**	**Frequency (MHz)**
-41.0	70.54	16.7	1550	740.5

รูปที่ 12 ผลการทดสอบของตำแหน่งที่ 4

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบของตำแหน่งที่ 5

ผลการทดลอง				
RSSI (dBm)	**Path loss (dB)**	**Bandwidth (MHz)**	**Data rate (kbps)**	**Frequency (MHz)**
-57.7	87.24	23.2	25.07	788.3



รูปที่ 13 ผลการทดสอบของตำแหน่งที่ 5

ผลการทดสอบยืนยันได้ว่าการสตรีมข้อมูลจากโดรนใต้น้ำไปยังแว่น VR แบบเรียลไทม์ที่ระยะทางตั้งแต่ 1 km ถึง 5 km มีความเสถียรของภาพวีดีโอระดับ Full HD แบบต่อเนื่องด้วยเครือข่ายสัญญาณ 5G ย่านความถี่ 700 MHz แบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ 20 MHz ทั้งนี้ระยะทาง 4 – 5 km จะมีผลต่อค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่เพิ่มขึ้นและกำลังสัญญาณที่รับได้ลดลง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าระยะทางในการทดสอบเพิ่มขึ้นแต่การสตรีมข้อมูลยังสามารถรับส่งได้คุณภาพของภาพและวีดีโอในระดับ Full HD ได้อย่างต่อเนื่อง และผู้วิจัยยืนยันว่าผลการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพการให้บริการโทรคมนาคมปี 2565 ของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)

4. สรุป

บทความวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและประเมินผลกระทบเชิงเทคนิคของการสื่อสารข้อมูลสำหรับการบูรณาการโดรนใต้น้ำร่วมกับเทคโนโลยีความจริงคู่เสมือนดิจิทัลบนเครือข่าย 5G ย่านความถี่ 700 MHz แบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ 20 MHz เพื่อยกระดับการท่องเที่ยวทางทะเลสมัยใหม่ ผลการศึกษาพิสูจน์ให้เห็นว่าการบูรณาการโดรนใต้น้ำ

และเทคโนโลยี VR สามารถผสานเข้ากับเครือข่าย 5G เพื่อใช้เป็นระบบสื่อสารข้อมูลระยะไกล โดยคุณภาพของภาพวีดีโอยังคงระดับ Full HD แบบต่อเนื่องที่ระยะทาง 1 – 3 km และยังคงเสถียรในระยะทาง 4 – 5 km แม้จะมีการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มขึ้นและค่ากำลังสัญญาณที่รับได้ลดลง ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาวิจัยนี้ได้เห็นถึงความเป็นไปได้ของโลกคู่เสมือนดิจิทัลระหว่างโดรนใต้น้ำและเทคโนโลยี VR ซึ่งจะเป็นแนวทางการยกระดับนวัตกรรมด้านการท่องเที่ยวสมัยใหม่ของประเทศไทย

ประโยชน์ของบทความวิจัยนี้สามารถต่อยอดไปสู่การพัฒนาต้นแบบของคู่เสมือนดิจิทัลทางทะเล (Marine digital twin) ที่เปิดโอกาสให้นักท่องเที่ยวได้สัมผัสประสบการณ์ใต้น้ำโดยไม่ต้องดำน้ำจริง เสริมความปลอดภัยและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจด้านการท่องเที่ยว นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้เพื่อการศึกษา การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และการพัฒนาเศรษฐกิจสร้างสรรค์ของท้องถิ่นในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักบริหารยุทธศาสตร์กลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย, “แผนพัฒนากลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย (พ.ศ. 2566–2570) ฉบับทบทวน ปีงบประมาณ พ.ศ. 2569,” Jul. 31, 2024. [Online]. Available: https://drive.google.com/file/d/rtIjsuIr0JNth7TNi1lpHFnS8RvxyQS/view, [Accessed: Aug. 12, 2025].

[2] A. Fuller, Z. Fan, C. Day, and C. Barlow, “Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 108952 – 108971, 2020.

[3] Z. Lv, H. Lv, and M. Fridenfalk, “Digital twins in the marine industry,” *Electronics*, vol. 12, pp. 1 – 26, 2023.

[4] A. Lambertini, M. Menghini, J. Cimini, A. Odetti, G. Bruzzone, M. Bibuli, E. Mandanici, L. Vittuari, P. Castaldi, M. Caccia, and L. D. Marchi “Underwater drone architecture for marine digital twin: Lessons learned from SUSHI DROP project,” *Sensors*, vol. 22, pp. 1 – 21, 2022.

[5] U. N. A. Baharin and K. R. Kamarudin, “Using remote-controlled vehicles (ROV) as tools for sea cucumber conservation: A review,” *Maritime Tech. and Research*, vol. 7, pp. 1 – 21, 2025.

[6] X. Han, J. Liu, B. Tan, and L. Duan, “Design and implementation of smart ocean visualization system based on extended reality technology,” *J. of Web Engineering*, vol. 20, pp. 557 – 574, 2021.

[7] E. Ko, K. M. R. Delphin, S-Y. Shin, H. Choe, and S-H. Park, “Underwater Internet of Things: Standardization Strategy,” *13th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, Jeju Island, Korea, pp.1 – 3, 2022.

[8] M. A. Hakim, M. N. Hasan, R. Sanders, and J. Thomas, “Shore defender: A VR edutainment game aiming to raise public awareness on ocean conservation and plastic recycling,” *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, Saint Malo, France, pp. 1 – 5, 2025.

[9] Y. Seung-Hyeok, J. Yeong-Tae, K. Jong-Sil, and K. Eung-Kon, “Design and development of underwater drone for fish farm growth environment management,” *The J. of the Korea Institute of Elec. Communication Sci.*, vol. 15, pp. 959 – 966, 2020.

[10] D. Hatsushika, K. Nagata, and Y. Hashimoto, “SCUBA VR: Submersible-type virtual underwater experience system,” *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Osaka, Japan, pp. 1 – 2, 2019.

[11] T. Yang, Z. Cui, C. Peng, J. Wu, F. Liu, and Y. Yang, “Integrated communication and computing maritime networks design for green metaverse,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 30, pp. 120 – 126, 2023.

[12] G. Chen, J. Yang, B. Huang, C. Ma, F. Tian, L. Ge, L. Xia, and J. Li, “Toward digital twin of the ocean: from digitalization to cloning,” *Intelligent Marine Technology and System*, vol.1, pp. 1 – 12, 2023.