

การออกแบบระบบการสื่อสารแบบแอนะล็อกสำหรับใช้งานในการสื่อสารถ้ำ

The design of an analog communication system for Cave communication

พีรสันท์ คำสาดี อรรถวิท จันทอุปดี และ รังสรรค์ วงศ์สรรค์

Peerasan Khamsalee*, Atawit Jantaupalee and Rangsan Wongsan

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

The School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology

*Corresponding Author E-mail: peerasan@sut.ac.th

Received: 08/06/24, Revised: 01/07/24, Accepted: 17/07/24

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการออกแบบระบบสื่อสารแบบแอนะล็อกสำหรับการใช้งานในการสื่อสารถ้ำที่เป็นการสื่อสารระหว่างภายในโพรงถ้ำออกมาภายนอกโพรงถ้ำ ระบบการสื่อสารออกแบบด้วยการใช้ความถี่ทั้งหมด 2 ความถี่คือ 350 kHz สำหรับใช้ในการสื่อสารระหว่างในโพรงถ้ำออกมาภายนอกโพรงถ้ำใช้เครื่องวิทยุแอนะล็อกแบบหลายโหมดร่วมกับสายอากาศชนิด และความถี่ 3 MHz สำหรับใช้ในการสื่อสารระยะปานกลางภายในโพรงถ้ำและใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณไม่ว่าจะเป็นพิกัดตำแหน่งหรือว่ารูปภาพที่ได้รับมาจากภายในโพรงถ้ำที่ตำแหน่งบนภูเขาเหนือถ้ำลงมาชั้นขั้วขั้วเหตุการณ์ที่ขั้วบริเวณปากถ้ำโดยใช้เครื่องวิทยุแอนะล็อกแบบ AM (Amplitude Modulation) ร่วมกับสายอากาศ 3 MHz โดยทั้งสองความถี่สามารถติดต่อกันได้ผ่านทางอุปกรณ์แปลงกลับความถี่ระหว่าง 350 kHz และ 3 MHz จากการทดสอบการใช้งานระบบสื่อสารที่ได้ออกแบบพบว่าที่หน้าปากถ้ำสามารถติดต่อสื่อสารเข้าไปยังภายในโพรงถ้ำตลอดระยะที่ทำการทดสอบได้

คำสำคัญ: การสื่อสารถ้ำ แอนะล็อก ย่านความถี่กลาง

Abstract

This article proposes the design of an analog communication system for use in cave communication, enabling communication between the inside and outside of the cave. The system employs two frequencies: 350 kHz for communication from inside the cave to outside, utilizing a multi-mode analog transceiver with an earth-grounded antenna, and 3 MHz for medium-range communication within the cave. The 3 MHz frequency also transmits signals, including location data or images, from within the cave to the incident command center at the cave's entrance using an AM analog transceiver with a 3 MHz antenna. A frequency converter device facilitates communication between the 350 kHz and 3 MHz frequencies. The experimental results showed that the designed communication system established that the

cave entrance could maintain communication with the cave inside throughout the entire testing period.

Keywords: Cave Communication, Analog, Medium Frequency Band

1. บทนำ

เมื่อ 6 ปี ที่ผ่านมามีเกิดเหตุการณ์ทีมฟุตบอลหมูป่าทั้ง 13 ชีวิต เข้าไปติดอยู่ภายในถ้ำขุนน้ำนางนอน อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย ส่งผลว่านักกู้ภัยใช้เครื่องรับส่งวิทยุและโทรศัพท์มือถือ ซึ่งอยู่ในย่านความถี่ VHF (Very High Frequency) และ UHF (Ultra High Frequency) เข้าไปติดต่อสื่อสารภายในถ้ำ แต่อย่างไรก็ตามพบปัญหาคือไม่สามารถติดต่อสื่อสารในระยะไกลได้โดยเกิดจากการลดทอนความแรงของสัญญาณด้วยการดูดซับคลื่น การสะท้อนและการเลี้ยวเบนตามลักษณะทางธรณีวิทยาที่แตกต่างกันภายในถ้ำ เช่น ผ่นัง พื้นดิน และเพดาน ทำให้การสื่อสารด้วยระบบทั่วไปไม่สามารถใช้งานได้ สำหรับการสื่อสารไปยังใต้ดินนิยมใช้การสื่อสารผ่านโลกโดยใช้วิธีการส่งสัญญาณจากพื้นผิวโลกไปยังชั้นผิวโลกในถ้ำ ในส่วนของระบบวิทยุถ้ำแบบแอนะล็อกสำหรับใช้งานในถ้ำได้เริ่มต้นในปี 1982 [1] ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ที่ชื่อว่า Speleophon ใช้งานในย่านความถี่ MF (Medium Frequency) ประสบความสำเร็จในการสื่อสารที่ระยะความถี่ไม่เกิน 600 เมตร และอุปกรณ์มีน้ำหนักมากถึง 5 กิโลกรัม ต่อมาในปี 1987 กลุ่มนักวิทยุสมัครเล่นของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ได้ทำการพัฒนาต่อไปโดยเปลี่ยนไปใช้ความถี่วิทยุสมัครเล่นย่าน HF ที่ความยาวคลื่น 160 เมตร เมื่อทดสอบพบว่าสามารถติดต่อสื่อสารได้ไกลกว่า 600 เมตร แต่ก็ติดอุปสรรคเรื่องของสายอากาศไดโพลที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักของเครื่องรับส่งวิทยุก่อนข้างหนักทำให้ไม่สะดวกต่อการใช้งานจริง แต่ก็ได้ข้อสรุปว่าความถี่ที่เหมาะสมต่อการแพร่กระจายคลื่นภายในถ้ำคือความถี่ย่าน VLF และ LF หลังจากนั้นในปี 1990 จึงได้มีการสร้างอุปกรณ์เพื่อทดสอบในย่านความถี่ 10 – 150 kHz และเปลี่ยนจากสายอากาศไดโพลมาเป็นแท่งอิเล็กโทรด (electrodes) สองแท่งวางห่างกันที่ระยะ 20 – 160 เมตร ปักลงบนพื้นผิวโลกแทน ส่งคลื่นแบบ CW (Continuous Wave) ในปี 2000 Mike Bedford ได้ตีพิมพ์บทความลงในวารสาร Cave Radio [2] ว่าระบบวิทยุสื่อสารสำหรับใช้ในถ้ำได้เริ่มมีใช้งานมาก่อน

หน้านั้น 15 ปีแล้ว ในชื่อของ Molefone ซึ่งใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารจากในถ้ำมายังพื้นผิวโลกที่อยู่ด้านบน ถ้ำ (Cave-to-surface communication) ด้วยความถี่ 87 kHz โดยใช้วิธีผสมสัญญาณ (Modulation) แบบแถบความถี่ด้านข้างที่อยู่ด้านบนเพียงแถบเดียว (Upper Single Side Band: SSB) แต่ประสบปัญหาในเรื่องของการซ่อมแซมและเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เสียหายที่กระทำได้อย่างยาก ทาง British Cave Rescue Council (BCRC) จึงได้เริ่มต้นหาวิธีพัฒนาและออกแบบระบบสื่อสารสำหรับใช้งานในถ้ำชุดใหม่ขึ้นมาทดแทนในปี 1999 ซึ่งออกแบบโดย John Hey ร่วมมือกับทาง BCRC และ Cave Radio & Electronics Group (CREG) และได้พัฒนามาจนแล้วเสร็จออกมาในชื่อว่า HeyPhone ในปี 2001 [3] และทดลองใช้งานกับนักกู้ภัยในถ้ำครั้งแรก (HeyPhone in Action) ในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ปีเดียวกัน [4] จากการศึกษาการแพร่กระจายคลื่นความถี่ในถ้ำเชิงควาพบว่าความถี่ย่าน LF (Low-frequency) มีการสูญเสียการส่งผ่านต่อเมตรค่อนข้างสูง อันเนื่องมาจากมีคุณสมบัติการแพร่แบบคลื่นดินหรือคลื่นผิวที่สามารถแพร่ลงไปใต้มิได้ และความถี่ปลายย่านความถี่ MF (Medium frequency) ช่วงประมาณ 3 MHz มีคุณสมบัติการแพร่คลื่นแบบคลื่นฟ้ามากกว่าที่จะแพร่ไปตามพื้นผิว [5]

ดังนั้นบทความนี้เสนอการออกแบบระบบการสื่อสารแบบแอนะล็อกสำหรับใช้ในการสื่อสารถ้ำ ออกแบบโดยใช้ความถี่ 350 kHz สำหรับใช้ในการสื่อสารระหว่างในโพรงถ้ำออกมายังภายนอกโพรงถ้ำและความถี่ 3 MHz สำหรับใช้ในการสื่อสารระยะปานกลางภายในโพรงถ้ำและใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณจากตำแหน่งบนภูเขาเหนือถ้ำลงมายังศูนย์บัญชาการเหตุการณ์ที่อยู่บริเวณปากถ้ำเพื่อรับข้อมูลและติดต่อสื่อสารกับในถ้ำ โดยทั้งสองความถี่สามารถติดต่อกันได้ผ่านทางอุปกรณ์แปลงกลับความถี่ระหว่าง 350 kHz และ 3 MHz

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องรับส่งวิทยุแบบแอนะล็อก

เครื่องรับส่งวิทยุระบบแอนะล็อกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ 1.เครื่องรับส่งวิทยุระบบแอนะล็อกแบบโหมดเดียว (Single mode) เครื่องรับส่งวิทยุถูกออกแบบให้ทำงานในโหมดการทำงานได้เฉพาะเพียงโหมดเดียว เช่น AM, SSB, FM, หรือ CW เป็นต้น ดังนั้นการออกแบบเพื่อใช้งานเพียงแค่โหมดใดโหมดหนึ่งจะทำให้มีความเฉพาะตัวและมีประสิทธิภาพสูงสำหรับใช้งานในโหมดที่ออกแบบ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในโหมดอื่นๆ ที่นอกเหนือจากที่ออกแบบได้ เนื่องจากการออกแบบเครื่องรับส่งวิทยุแบบโหมดเดียวออกแบบง่ายกว่าแบบหลายโหมด ส่งผลให้มีราคาค่าต้นทุนในการออกแบบที่ต่ำกว่าเครื่องรับส่งวิทยุแบบหลายโหมด อีกทั้งมีขนาดเล็กและสามารถพกพาสะดวก

2. เครื่องรับส่งวิทยุระบบแอนะล็อกแบบหลายโหมด (Multi-modes) เครื่องรับส่งวิทยุประเภทนี้ถูกออกแบบให้รองรับการทำงานได้หลายโหมด เช่น AM, SSB, FM และ CW เป็นต้น จึงทำให้เครื่องรับส่ง

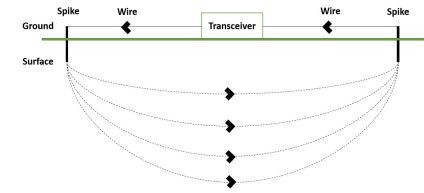
วิทยุแบบหลายโหมดนี้มีความยืดหยุ่นการใช้งานมากขึ้นและมีความเป็นอเนกประสงค์มากขึ้น เนื่องจากสามารถรองรับการทำงานได้หลากหลาย โดยผู้ใช้งานจะสามารถเลือกความถี่และเปลี่ยนโหมดให้เหมาะสมสำหรับการสื่อสารที่แตกต่างกันไป ดังนั้นในการออกแบบจึงมีความซับซ้อนกว่าเครื่องรับส่งวิทยุแบบโหมดเดียวแต่ประสิทธิภาพและคุณสมบัติเฉพาะตัวจะน้อยกว่าเครื่องรับส่งวิทยุแบบโหมดเดียวเป็นอย่างมาก อีกทั้งเครื่องรับส่งวิทยุแบบหลายโหมดจะมีคุณสมบัติเพิ่มเติมเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน เช่น สามารถบันทึกช่องความถี่ตามโหมดที่ตั้งไว้ สามารถปรับจูนพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับโหมดที่เลือกโดยอัตโนมัติ หรือสามารถเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการตั้งค่าต่างๆ ได้ ในการเลือกใช้โหมดต่างๆ ของเครื่องรับส่งวิทยุระบบแอนะล็อกแบบหลายโหมดจะใช้ปุ่ม Mode หรือ สวิตช์เลือกโหมด (Mode selector switch) หรืออาจนำไปอยู่ในรายการเมนูของเครื่อง ตามความต้องการใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปจะทำงานด้วยการเปลี่ยนการกำหนดค่าของวงจรภายในเครื่องรับส่งวิทยุให้ตรงกับโหมดการทำงานที่ต้องการใช้งาน

2.2 การส่งคลื่นผ่านพื้นโลก

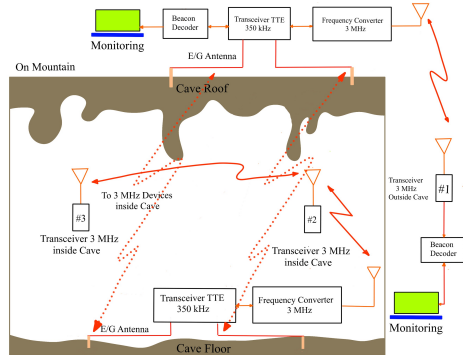
สำหรับหลักการส่งคลื่นผ่านพื้นโลก (Through-the-Earth : TTE) โดยใช้วิธีเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านชั้นดิน จำเป็นต้องใช้สายอากาศแบบฝังลงพื้นโลก (Earth-grounded antenna) เทคนิคนี้แตกต่างจากการแพร่กระจายคลื่นในอากาศแบบทั่วไป โดยจะใช้วิธีเหนี่ยวนำประจุที่ปลายเส้นลวดตัวนำปล่อยลงสู่พื้นโลกในรูปของสนามไฟฟ้า ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสของกระแสสลับตามความถี่ที่ออกแบบ เมื่อสนามไฟฟ้านี้ถูกปล่อยจากปลายเส้นลวดด้านหนึ่งลงสู่พื้นโลก จะเกิดการเหนี่ยวนำในชั้นดินหรือหินไปสู่ปลายสายทองแดงอีกด้านหนึ่ง กลับไปสู่เครื่องส่งวิทยุเพื่อให้เกิดสภาวะครบวงจรกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในพื้นที่โลกจะใช้เส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุดที่เชื่อมต่อพื้นโลกทั้งสองจุด อีกส่วนหนึ่งจะเกิดการเหนี่ยวนำแผ่ออกไปในส่วนที่ลึกลงไปในพื้นที่โลกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเฟสอย่างต่อเนื่อง โดยเวกเตอร์ของเส้นแรงไฟฟ้าจะแผ่ออกไปเป็นเส้นโค้งคล้ายกับสายอากาศแบบไดโพลที่ใช้ในการแพร่กระจายคลื่นในอากาศ ดังนั้น เพื่อให้การเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าระหว่างปลายเส้นลวดทั้งสองด้านเกิดขึ้นในพื้นที่โลกได้สะดวกขึ้น จะใช้แท่งโลหะทำหน้าที่เป็นแท่งอิเล็กโทรด (Electrode rods) ต่อที่ปลายทั้งสองของเส้นลวดสำหรับฝังลงพื้นดินในตำแหน่งที่ต้องการติดตั้งสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 1 ในส่วนของความถี่ที่เกิดขึ้นภายในดินที่เป็นตัวกลางส่งผลต่อการเดินทางของกระแสไฟฟ้าด้วยเช่นกัน โดยยิ่งความถี่สูงขึ้นจะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเดินทางได้ลึกขึ้นนั่นเอง [6-9].

3. การออกแบบการสื่อสารระบบแอนะล็อก

จากรูปที่ 2 แสดง แนวคิดการออกแบบการสื่อสารแบบแอนะล็อกสำหรับใช้งานในการสื่อสารถ้ำ โดยแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาเครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารระบบแอนะล็อกถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1. เครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารระบบแอนะล็อกความถี่ 350 kHz แบบหลาย



รูปที่ 1 หลักการทำงานของสายอากาศแบบฝังลงพื้นโลก



รูปที่ 2 ระบบการสื่อสารแบบแอนะล็อกสำหรับใช้งานในการสื่อสารถ้ำ

โหมดให้สามารถรับส่งคลื่นได้ทั้งระบบ AM และระบบ SSB (Single Side Band) ทั้งแถบล่าง (LSB: Lower Side Band) และแถบบน (USB: Upper Side Band) สำหรับผู้ปฏิบัติหน้าที่ภายในและภายนอกถ้ำ โดยใช้คลื่นความถี่ 350 kHz พร้อมระบบปรับความถี่ละเอียด (Frequency Fine Tuning) เพื่อชดเชยความถี่ที่ถูกเลื่อน (Frequency Shift) ออกไปในขณะผ่านชั้นหิน และเป็นสื่อกลางสำหรับรับส่งข้อมูลเสียง ภาพนิ่ง และข้อมูลพิกัดตำแหน่งในถ้ำออกมายังเครื่องวิทยุสื่อสารที่ติดตั้งอยู่บนภูเขาเหนือโพรงถ้ำได้ด้วยความถี่แถบที่จำกัดประมาณ 3 - 5 kHz โดยใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุผ่านพื้นโลก (TTE: Through The Earth) ในรูปแบบของคลื่น (Seismic waves) ดังแสดงในรูปที่ 3-4 และ 2. เครื่องรับส่งวิทยุระบบแอนะล็อกความถี่ 3 MHz แบบโหมดเดี่ยว ระบบ AM สำหรับใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณจากเครื่องวิทยุสื่อสาร 350 kHz ที่ติดตั้งบนภูเขาเหนือถ้ำ แต่คลื่นผ่านอากาศมายังศูนย์บัญชาการเหตุการณ์ที่อยู่บริเวณปากถ้ำและสามารถใช้เครื่องวิทยุสื่อสารความถี่ 3 MHz นี้ภายในโพรงถ้ำเพื่อสื่อสารกับเครื่องวิทยุสื่อสารความถี่ 350 kHz ผ่านอุปกรณ์แปลงกลับความถี่ระหว่าง 3 MHz และ 350 kHz อีกทั้งยังสามารถติดต่อสื่อสารได้โดยตรงระหว่างเครื่องวิทยุสื่อสารที่มีความถี่ 3 MHz ที่อยู่ในพื้นที่เดียวกันได้ตามปกติ โดย

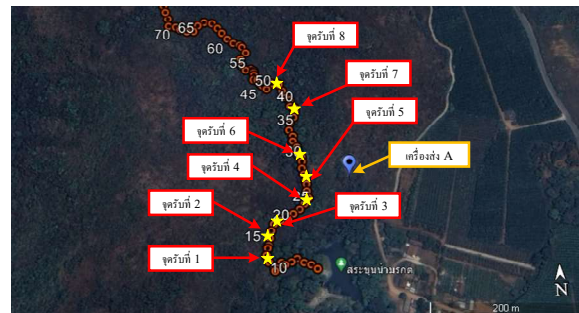


รูปที่ 3 เครื่องรับส่งวิทยุแอนะล็อกแบบหลายโหมดความถี่ 350 kHz



รูปที่ 4 เครื่องรับส่งวิทยุแอนะล็อกแบบโหมดเดี่ยวความถี่ 3 MHz

4. การทดสอบการสื่อสารระบบแอนะล็อก



รูปที่ 5 ภาพแสดงตำแหน่งจุดที่ตั้งสายอากาศภาครับที่ติดตั้งภายในทางเดินของโพรงถ้ำและสายอากาศภาคส่งที่ติดตั้งบนภูเขาเหนือโพรงถ้ำทรายทอง

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเครื่องส่งวิทยุสื่อสารระบบแอนะล็อกแบบ TTE-350 kHz แบบหลายโหมด

จุดที่	ตำแหน่งพิกัด		ระยะทางบนพื้นถ้ำ (เมตร)	ระยะกระจัด (เมตร)	กำลังที่รับได้ (dBm)	ความชัดเจนของสัญญาณ
	ละติจูด (องศา)	ลองจิจูด (องศา)				
1	20.372260	99.871347	10.0	151.0	-70.4	4
2	20.372475	99.871409	35.0	133.1	-69.3	4
3	20.372600	99.871637	66.0	107.0	-67.5	4
4	20.373071	99.871898	131.9	78.4	-58.2	5
5	20.37323	99.871865	150.9	83.3	-62.8	5
6	20.373410	99.871829	172.8	96.2	-63.2	5
7	20.373963	99.871834	239.5	140.3	-70.7	4
8	20.374347	99.871561	301.0	191.6	-73.1	4

หมายเหตุ ระดับความชัดเจนของสัญญาณ

- 1 หมายถึง จับใจความไม่ได้, 2 หมายถึง ไม่ชัดเจน แต่พอฟังได้, 3 หมายถึง ชัดเจนพอใช้, 4 หมายถึง ชัดเจนดี, 5 หมายถึง ชัดเจนดีมาก

สำหรับการทดสอบจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ครั้งคือ ในครั้งแรกเป็นการทดสอบระหว่างเครื่องรับส่งวิทยุ 350 kHz จากในถ้ำและภายนอกถ้ำ และครั้งที่ 2 จะเป็นการทดสอบการสื่อสารจากเครื่องวิทยุ 3 MHz ลงไปยังภายในโพรงถ้ำผ่านระบบการสื่อสารที่ได้ออกแบบไว้การวัดทดสอบเครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารระบบแอนะล็อก ความถี่ 350 kHz ได้กำหนดให้สายอากาศของเครื่องวิทยุสื่อสารถูกนำไปติดตั้งแบบประจำที่

ไว้บนภูเขาที่อยู่เหนือโครงถ้ำทรายทองที่ตำแหน่ง A (ละติจูด 20.373084 องศาเหนือ / ลองจิจูด 99.872454 องศาตะวันออก) ทำการวัดทดสอบโดยการเคลื่อนตำแหน่งของอุปกรณ์ทั้งหมดดังกล่าวไปตามแนวโครงถ้ำได้ตั้งแต่จุดที่ 1-8 ดังแสดงในรูปที่ 5 และผลการทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

จากผลการทดสอบในตารางที่ 1 เป็นผลการทดสอบที่ได้จากการวัดระดับความแรงของสัญญาณเสียงในขณะที่มีการส่งสัญญาณบีคอน (Beacon) และทดสอบระดับคุณภาพความชัดเจนของเสียงขณะที่มีการสนทนาในแต่ละที่กีดตำแหน่ง โดยมีการปรับการไหลเข้าของสายอากาศทั้งที่อยู่บนภูเขาและในโครงถ้ำให้มีความเหมาะสมตามสภาพภูมิประเทศและใช้กำลังส่งของเครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารอยู่ที่ 15 วัตต์ จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องรับส่งวิทยุสามารถรับฟังสัญญาณได้อย่างชัดเจนตั้งแต่ตำแหน่งหน้าปากถ้ำ (ตำแหน่งที่ 1) จนถึงตำแหน่งกลางโครงถ้ำ (ตำแหน่งที่ 8) รวมระยะทางบนพื้นถ้ำ 301 เมตร โดยสามารถรับกำลังของสัญญาณได้ตั้งแต่ -58.2 dBm ถึง -73.1 dBm ซึ่งตำแหน่งที่อยู่ในโครงถ้ำตำแหน่งที่ 4 ถึง 6 มีความชัดเจนของสัญญาณเสียงระดับ 5 ในขณะที่ตำแหน่งที่ 8 มีกำลังที่รับได้ต่ำที่สุดอยู่ที่ -73.1 dBm แต่ยังคงให้ความชัดเจนของสัญญาณเสียงอยู่ที่ระดับ 3

การทดสอบการทำงานของเครื่องวิทยุสื่อสารความถี่ 3 MHz และวงจรแปลงกลับความถี่ระหว่าง 350 kHz และ 3 MHz ได้ถูกดำเนินการอยู่ที่ถ้ำพระวังแดง อ.เนินมะปราง จ.พิษณุโลก ทำการวัดทดสอบสัญญาณการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีวิทยุสื่อสารภายในโครงถ้ำขึ้นมายังสถานีวิทยุสื่อสาร 350 kHz บนภูเขา (ละติจูด 16.678022 องศาเหนือ / ลองจิจูด 100.687388 องศาตะวันออก) แล้วแปลงกลับสัญญาณไปเป็นความถี่ 3 MHz ส่งผ่านสายอากาศแบบโมโนโพลและส่งต่อไปยังเครื่องวิทยุสื่อสารแบบแอนะล็อกความถี่ 3 MHz โดยเคลื่อนตำแหน่งของวิทยุ 3 MHz พร้อมเครื่องมือวัดลงไปตามเส้นทางการลงภูเขา โดยทำการกำหนดจุดการวัดทดสอบสัญญาณแต่ละครั้งตามระยะทางและพื้นที่ตามความเหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 6 และผลการวัดทดสอบระดับสัญญาณและคุณภาพเสียงได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

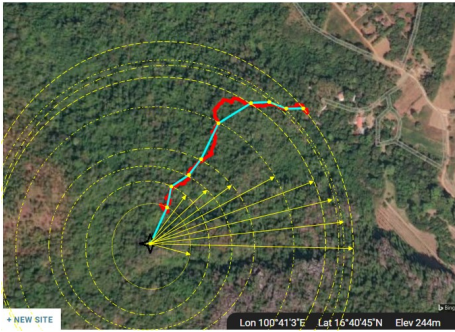
จากผลการทดสอบตารางที่ 2 พบว่า กำลังที่รับได้ตลอดเส้นทางการเดินลงเขาที่มีระยะประมาณ 500 เมตร สามารถรับสัญญาณที่ส่งออกมาจากภายในโครงถ้ำได้ตั้งแต่ -45.3 dBm ถึง -67.1 dBm ซึ่งจุดที่รับสัญญาณได้ต่ำที่สุดอยู่ที่จุด 8 รับสัญญาณได้เท่ากับ -67.1 dBm แต่ยังคงให้ความชัดเจนของสัญญาณเสียงอยู่ที่ระดับ 3 โดยมีความชัดเจนของสัญญาณอยู่ที่ระดับ 3 ถึง 5 ตลอดระยะทางในการทดสอบ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเครื่องแปลงความถี่ความถี่ 350 kHz เป็น 3 MHz

จุดที่	ตำแหน่งที่กีด		ระยะ กระจัด (เมตร)	กำลังที่ รับได้ (dBm)	ความ ชัดเจนของ สัญญาณ
	ละติจูด (องศา)	ลองจิจูด (องศา)			
1	16.679068	100.687546	117.5	-46.8	5
2	16.679377	100.687729	155	-46.5	5
3	16.679741	100.688072	204.6	-45.3	5
4	16.680092	100.688507	259.2	-65.6	3
5	16.680561	100.688606	310.7	-56.1	4
6	16.680792	100.688721	339.2	-54.5	4
7	16.681341	100.689125	412.8	-52.7	4
8	16.681240	100.689359	414.9	-67.1	3
9	16.681166	100.689682	426.5	-65.8	3
10	16.681097	100.691017	516.1	-64.9	3

หมายเหตุ ระดับความชัดเจนของสัญญาณ

- 1 หมายถึง จับใจความไม่ได้, 2 หมายถึง ไม่ชัดเจน แต่พอฟังได้,
3 หมายถึง ชัดเจนพอใช้, 4 หมายถึง ชัดเจนดี, 5 หมายถึง ชัดเจนดีมาก



รูปที่ 6 การทดสอบและระยะกระจัดวงจรรอบการทดสอบวงจรแปลงกลับความถี่ 3 MHz

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอบทความนำเสนอการออกแบบระบบสื่อสารแบบแอนะล็อกสำหรับการใช้งานในการสื่อสารถ้ำที่เป็นการสื่อสารระหว่างภายในโครงถ้ำออกมาภายนอกโครงถ้ำ โดยได้ออกแบบเป็น 2 ย่านความถี่คือ 350 kHz สำหรับใช้ในการสื่อสารระหว่างในโครงถ้ำออกมาภายนอกโครงถ้ำโดยใช้เครื่องวิทยุแอนะล็อกแบบหลายโหมดร่วมกับสายอากาศดิน และความถี่ 3 MHz สำหรับใช้ในการสื่อสารระหว่างปานกลางภายในโครงถ้ำและใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณไม่ว่าจะเป็นที่กีดตำแหน่งหรือรูปภาพที่ได้รับขึ้นมาจากในโครงถ้ำที่ตำแหน่งบนภูเขาเหนือถ้ำลงมาขึ้นชันชันวิชาการเหตุการณ์ที่อยู่บริเวณปากถ้ำโดยใช้เครื่องวิทยุแอนะล็อกแบบ AM ร่วมกับสายอากาศ 3 MHz โดยทั้งสองความถี่สามารถติดต่อกันได้ผ่านทางอุปกรณ์แปลงกลับความถี่ระหว่าง 350 kHz และ 3 MHz จากผลการทดสอบพบว่า การทดสอบระบบเครื่องรับส่งวิทยุระหว่างภายในโครงถ้ำกับบนภูเขาที่ถ้ำทรายทอง จังหวัดเชียงราย เครื่องรับส่งวิทยุสามารถรับฟังสัญญาณได้อย่างชัดเจนตั้งแต่ตำแหน่งหน้าปากถ้ำ จนถึงตำแหน่งกลางโครงถ้ำรวมระยะทางบนพื้นถ้ำ

301 เมตร โดยสามารถรับค่ากำลังของสัญญาณได้ตั้งแต่ -58.2 dBm ถึง -73.1 dBm มีความชัดเจนของสัญญาณอยู่ที่ระดับ 4 ถึง 5 และในการทดสอบเครื่องวิทยุสื่อสารความถี่ 3 MHz และวงจรแปลงกลับความถี่ระหว่าง 350 kHz และ 3 MHz ถ้าพระวังแดง จังหวัดพิษณุโลก ค่ากำลังที่รับได้ตลอดเส้นทางการเดินลงเขาที่มีรัศมีประมาณ 500 เมตร สามารถรับสัญญาณที่ส่งออกมาจากภายในโพรงถ้ำได้ตั้งแต่ -45.3 dBm ถึง -67.1 dBm และมีความชัดเจนของสัญญาณอยู่ที่ระดับ 3 ถึง 5 ตลอดระยะทางในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Huri and C. Ebi, "Alpine Cave Radio-Earth-current at Holloch," *Journal of BCRA Cave Radio & Electronics Group*, No.25, pp.4-5, Sep. 1996.
- [2] M. Bedford, "Introducing a New Cave Radio for Rescue Use," *BCRA Cave Radio & Electronics Group*, Vol. 41, pp. 3, Sep. 2000.
- [3] M. Bedford, "Introducing the HeyPhone," *C&C Magazine*, pp.15-17, 2001.
- [4] M. Bedford, "The HeyPhone to the Rescue," *RadCom Magazine*, pp.16-18, Jan. 2002.
- [5] R. Wongsan, P. Khamsalee, A. Wannakomol, P. Kumsawat, A. Srikaew, and A. Jantaupalee, "A Study on Radio Wave Propagation in Chiang Dao Cave," *NBTC Journal 2022*, pp. 123-147, 2022.
- [6] C. Trayner, "CRO HeyPhone Communications System Technical Reference Manual (Temporary)," Issue 3, pp. 1-39, Jun. 23, (2002). [Online]. Available: <https://bcra.org.uk/creg/heyphone/pdf/heyphone-techmanual.pdf>
- [7] A. Jantaupalee, R. Wongsan, P. Khamsalee, A. Wannakomol, and K. Tansuwan, "A Study of Radio Wave Propagation in the Cave for Developing the Through-The-Earth Application." *GEOMATE Journal*, Vol. 26, No. 118, pp. 74-86, 2024.
- [8] D. Gibson, "Channel Characterisation and System Design for Sub-Surface Communications," *Lulu Enterprises*, 2010, pp. 1-274.
- [9] D. Gibson, "How Earth-Current Antennas Really Work," *CREG Journal*, Vol.88, pp. 13–14, 2014.