การออกแบบโปรแกรมด้วยภาษา Python เพื่อใช้งานร่วมกับโปรแกรม Quantum Geographic Information System ในการวางแผนติดตั้งวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี Design of Python Programs Used with Quantum Geographic Information System in Combat Microwave Link Planning

พันตรี กนก เจริญชัยประกิจ
Major Kanok Charoenchaiprakit

อาจารย์ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
Lecturer of the Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy
Corresponding Author: lightlord56@hotmail.com
(Received: September 9, 2018, Revised: November 7, 2018, Accepted: November 23, 2018)

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความล่าช้าในการวางแผนติดตั้งวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี ด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้นจากภาษา Python เพื่อใช้งานควบคู่กับโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Quantum Geographic Information System (QGIS) โดยกระบวนการวิจัยเป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลจากตำราเรียนของโรงเรียนทหารสื่อสาร คู่มือราชการสนามของกองทัพบก และเอกสารเกี่ยวกับการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ต่าง ๆ เพื่อนำไปพัฒนากระบวนการวางแผนการติดตั้งวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี การวิจัยนี้จึงมีประโยชน์สำหรับเจ้าหน้าที่ ฝ่ายอำนวยการ และผู้บังคับหน่วยทหารสื่อสาร เพื่อใช้ในการฝึกวางแผนการติดตั้งระบบวิทยุถ่ายทอดสำหรับสนับสนุนหน่วยปฏิบัติการหลัก อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่ออาจารย์โรงเรียนทหารสื่อสารและอาจารย์โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนสำหรับนักเรียนเหล่าทหารสื่อสารในวิชาการสื่อสารประเภทสาย และนักเรียนนายร้อยสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสารในวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ การวิจัยนี้พบว่า สามารถนำค่าระยะทางและความสูงภูมิประเทศที่ได้จากโปรแกรม QGIS มาวาดภาพสัณฐานด้านข้างและนำมาคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้นจากภาษา Python ในแบบวิธีการทางวิศวกรรมไฟฟ้า สำหรับการทดสอบใช้งานโปรแกรมทำได้โดยการวัดค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดระยะทางที่ 50 กิโลเมตร (ระยะทางไกลสุดสำหรับการเชื่อมต่อสถานีวิทยุถ่ายทอด) บนโปรแกรม QGIS ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดระยะทางมีผลกระทบกับค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรในกระบวนการวางแผน คือ ข้อ 1 ค่าความสูงเส้นโค้งผิวโลกที่นำมาวาดภาพสัณฐาน ผลที่ได้จากการทดสอบ มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 14 เซนติเมตร ข้อ 2 รัศมีของ Fresnel Zone อันดับที่หนึ่ง ผลที่ได้จากการทดสอบมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1.1 เซนติเมตร และข้อ 3 ค่าลดทอนในอากาศว่าง ผลที่ได้จากการทดสอบ มีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.05 dB หรือ 1.01 เท่า ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในข้อ 1 และ 2 ไม่มีนัยสำคัญต่อการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ของระบบเมื่อเทียบกับสเกลที่ใช้ในการคำนวณที่มีหน่วยเป็นเมตร สำหรับในข้อ 3 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีค่า 1.01 เท่า ซึ่งมีค่าประมาณ 1 ซึ่งถือว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก

คำสำคัญ : ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ภาพสัณฐานด้านข้าง การคำนวณระดับสัญญาณเชื่อมต่อของสถานีวิทยุ ภาษาไพธอน

Abstract: The purpose of this research is to reduce time in microwave link planning by specific programs written by a Python programming language in order to be used with Quantum Geographic Information System (QGIS). The study method is to analyze and compare the contents in the Signal student textbook of Signal school, field manuals of Royal Thai Army, and other civilian documents about Path calculation or Link budget in order to develop the process of the combat microwave link planning. The benefits of this research are for Signal officers, staffs and commanders to train about the combat microwave link planning that supports the operations units. In addition, this research facilitates the instructors and lecturers as a teaching media for Signal students of Signal school in the subject of Wire Communication and for Electrical Engineering cadets of Chulachomklao Military Academy in the subject of Microwave Engineering. This research is found that the distances and elevations between 2 microwave link stations can be collected by QGIS, and then be calculated on Path profile and Path calculation in an Electrical Engineering approach by Python programs. To verify the use of these programs in the combat microwave link planning, the experiments are set to test the error of acquired distances from QGIS that affects: 1. earth curvature in the Path profile process, 2. 1st Fresnel zone radius, and 3. free space loss. The maximum acquired distance is 50 kilometers (maximum range of a microwave link). The results are: 1. error of the height of earth curvature is not more than 14 centimeters that is insignificant compare to the unit of kilometers in calculation, 2. error of 1st Fresnel zone radius is not more than 12 centimeters that is insignificant compare to the unit of meters in calculation, and 3. error of free space loss is not more than 0.05 dB or 1.01 that is a small change in the calculation.

Keywords: Geographic information system, Path profile, Path calculation, Python

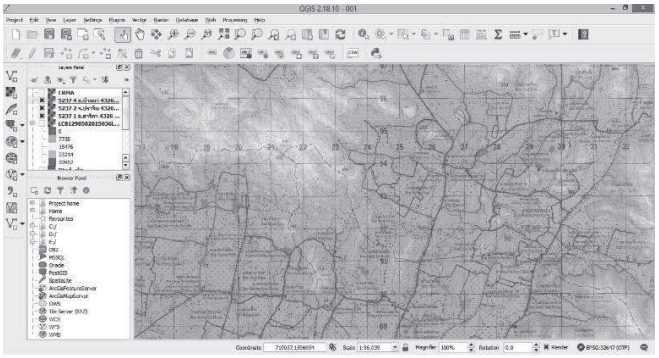
1. บทนำ

เพื่อให้การบริการทางการสื่อสารสอดคล้องกับภารกิจที่ต้องอาศัยความคล่องตัวและความรวดเร็วในการปฏิบัติการ เช่น การปฏิบัติการรบด้วยวิธีรุก วิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธีจะต้องมีความคล่องตัวในการเคลื่อนย้ายสถานีตลอดเวลา แตกต่างจากวิทยุถ่ายทอดที่ใช้ในงานทั่วไปที่ทำการติดตั้งประจำที่

การดำเนินการวางแผนการจัดตั้งสถานีวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธีจะต้องทำการคำนวณค่าความเชื่อถือได้เพื่อให้ทราบถึงประเภทของการบริการข้อมูล เช่น เสียง (Voice) โทรพิมพ์ (Teletype) และข้อมูลคอมพิวเตอร์ (Data) ซึ่งกระบวนการคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ระหว่างสถานีวิทยุถ่ายทอดสองสถานีนั้น ผู้วางแผนจะต้องพิจารณาว่าสายอากาศของสถานีรับและส่งไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างเส้น Line of Sight หรืออยู่ในรัศมี Fresnel Zone อันดับที่หนึ่ง กระบวนการตรวจสอบว่าสายอากาศนั้นอยู่ในลักษณะดังกล่าวหรือไม่ จะต้องทำภาพสัณฐานด้านข้าง (Path Profile) ระหว่างสถานีรับและส่งด้วยกราฟตามแนวความโค้งของผิวโลก เมื่อได้สถานที่ตั้งสถานีวิทยุถ่ายทอดทั้ง 2 สถานีแล้ว จึงนำระยะทางระหว่างสถานี รวมถึงค่าปัจจัยต่างๆ มาคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ของระบบ (Path Calculation) เพื่อดูประสิทธิภาพของการบริการข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการวางแผนการจัดตั้งสถานีวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี คือ 1. ความล่าช้าในการอ่านข้อมูลบนแผนที่กระดาษ และ 2. โปรแกรมที่ใช้ในการวาดภาพสัณฐานด้านข้างรวมถึงการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ในปัจจุบันโปรแกรม Excel ถูกนำมาใช้ในกระบวนการวางแผน ข้อเสียของโปรแกรมนี้ คือ เป็นโปรแกรมที่มีลิขสิทธิ์และมีอุปสรรคต่อการพัฒนาต่อยอดโปรแกรมทางด้านวิศวกรรม

โปรแกรม Quantum Geographic Information System (GIS) ซึ่งเป็นโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์แบบรหัสเปิด สามารถนำมาแก้ปัญหาความล่าช้าในการอ่านข้อมูลบนแผนที่กระดาษ ด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ดังนั้น ผู้วางแผนสามารถนำเข้าข้อมูลแผนที่ได้หลากหลายรูปแบบ รวมถึงการปรับแต่งค่าการแสดงผลของแผนที่ให้เหมาะสมกับการพิจารณาเลือกที่ตั้งสถานีวิทยุถ่ายทอด



ภาพที่ 1 โปรแกรม QGIS

โปรแกรม QGIS มีความสามารถในการดึงข้อมูลระยะทางและความสูงภูมิประเทศจากแผนที่ความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model) เพื่อนำมาสร้างภาพสัณฐานด้านข้างแบบทั่วไป ซึ่งภาพสัณฐานที่ได้นั้นไม่มีการปรับแก้ความสูงเนื่องจากความโค้งของผิวโลก ดังนั้น ภาพสัณฐานด้านข้างที่สร้างจาก QGIS ไม่สามารถนำมาพิจารณาสิ่งกีดขวางบนเส้น Line of sight ระหว่างสายอากาศของสถานีวิทยุถ่ายทอดตามหลักการทางวิศวกรรมไฟฟ้า

เพื่อตอบสนองต่อการคำนวณทางวิศวกรรม ผู้วิจัยได้จัดทำโปรแกรม Path Profile และ Path Calculation ด้วยภาษา Python สำหรับใช้งานควบคู่กับโปรแกรม QGIS และสามารถทดแทนโปรแกรมที่สร้างด้วย Excel ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System (GIS) เป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-information Technology) ที่ประกอบไปด้วย 1. การรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing:

RS) 2. ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning systems: GPS) และ 3. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) [1] ซึ่งรองศาสตราจารย์สรรค์ใจ กลิ่นดาว กรรมการตรวจแบบเรียนวิชาภูมิศาสตร์ กรมวิชาการกระทรวงศึกษาธิการ ได้ให้นิยาม GIS ไว้ 3 ประการ ดังนี้ (1) เครื่องมือคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ประกอบสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (2) ระบบสารสนเทศที่ใช้กับข้อมูลเชิงพื้นที่ และ (3) การวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้กับข้อมูลเชิงพื้นที่ [2]

เนื่องจาก GIS เป็นระบบที่ทำงานด้วยโปรแกรมเฉพาะทางบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งโปรแกรมนี้มีทั้งแบบที่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ เช่น ArcGIS และ Global mapper เป็นต้น และแบบที่ไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ในการใช้งาน หรือที่เรียกว่า Open-source software เช่น Quantum GIS (QGIS), Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS) และ MapWindow เป็นต้น ในการวิจัยนี้ใช้โปรแกรม QGIS ในการทดลอง เพราะไม่เสียค่าใช้จ่ายในการใช้งาน อีกทั้งยังสามารถใช้งานได้ทั้งระบบปฏิบัติการ Windows, Linux และ MacOS จึงสามารถรองรับกับการเปลี่ยนรูปแบบการใช้งานระบบปฏิบัติการของภาครัฐ ให้เป็นระบบปฏิบัติการ Linux ที่ไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ในการใช้งาน

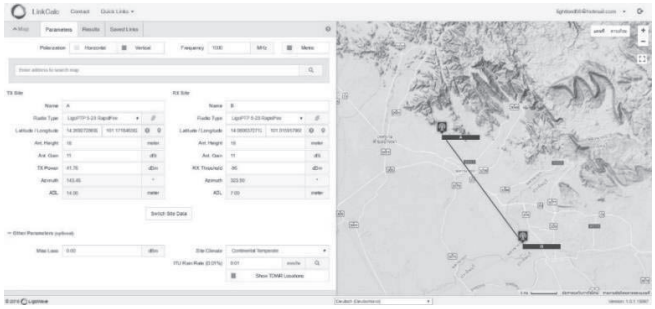
โปรแกรม QGIS มี Plugin หรือโปรแกรมย่อยที่เป็นเสมือนเครื่องมือที่ช่วยในการทำงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น Plugin ชื่อ “Georeferencer” สามารถแปลงแผนที่รูปภาพนามสกุล JPEG หรือ TIFF ให้เป็นไฟล์นามสกุล GeoTIFF ด้วยการใส่พิกัดทางภูมิศาสตร์ลงในไฟล์ภาพแผนที่ด้วยตนเอง เป็นต้น ในกรณีที่ผู้ใช้งานไม่มีไฟล์แผนที่ โปรแกรม QGIS มี Plugin ชื่อ “Open-layers plugin” ที่สามารถนำเข้าแผนที่แบบออนไลน์จากผู้ให้บริการต่าง ๆ เช่น Open Street Map, Google Maps และ Bing Maps เป็นต้น ดังนั้น หน่วยงานทางทหารสามารถทำการสแกนแผนที่กระดาษที่สร้างขึ้นเองหรือที่มีอยู่เพื่อทำการใส่พิกัดทางภูมิศาสตร์เพื่อใช้งานร่วมกับแผนที่ออนไลน์บนโปรแกรม QGIS ได้

ภาษา Python เปิดใช้งานอย่างเป็นทางการครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2534 (ค.ศ. 1991) พัฒนาโดย Guido van Rossum นักเขียนโปรแกรมชาว Dutch บริษัทและหน่วยงานที่สำคัญระดับโลก เช่น Google, IBM, Industrial Light & Magic, Microsoft, NASA, Red Hat, Verizon, Xerox และ Yahoo! ได้เลือกภาษา Python ในการดำเนินกิจการ [3]

ภาษา Python ถูกจัดเป็นภาษาชั้นสูง (High-Level Language) เช่นเดียวกับภาษา Visual Basic, C# และ Java ที่มีลักษณะการใช้งานใกล้เคียงกับภาษามนุษย์ โดยเฉพาะภาษา Python ซึ่งถูกออกแบบการใช้งานให้ใกล้เคียงกับภาษาอังกฤษมากกว่าภาษาอื่น ดังนั้น การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Python จึงง่ายและรวดเร็วกว่าภาษาอื่น จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ภาษา Python จึงเหมาะกับการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้งานในยุคปัจจุบัน

ในส่วนของชุดวิทยุถ่ายทอดที่มีใช้งานอยู่ในกองทัพบก เป็นชุดวิทยุถ่ายทอด แบบ RL–4 Series ที่มีความถี่การใช้งานอยู่ในช่วง 610-1,850 MHz กำลังส่งมีให้เลือก 2 โหมด คือ 1. กำลังต่ำที่ 1 W และ 2. กำลังสูงที่ 15 W สายส่งสัญญาณยาว 35 เมตร มีค่าความลดทอนของสัญญาณ เท่ากับ 4 dB สายอากาศแบบ Corner reflector มีอัตราการขยายตั้งแต่ 11-19.8 dB (ขึ้นอยู่กับรุ่นที่ใช้งาน) ซึ่งสามารถประกอบกับเสาอากาศ รุ่น TAM-18 สูง 18 เมตร

สำหรับโปรแกรมการคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ของระบบ สามารถหาใช้งานได้ในสื่อออนไลน์และโปรแกรมที่มาพร้อมกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์วิทยุถ่ายทอด เช่น เว็บไซต์ ALL ABOUT CIRCUIT, เว็บไซต์ Radio Link Budget Calculator และเว็บไซต์ LinkCalc เป็นต้น [4-6] ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้มีการใช้แบบจำลองในการคำนวณที่แตกต่างกัน ดังนั้น ในการวิจัยนี้ เป็นการออกแบบโปรแกรมให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานกับวิทยุถ่ายทอดทางทหารที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน



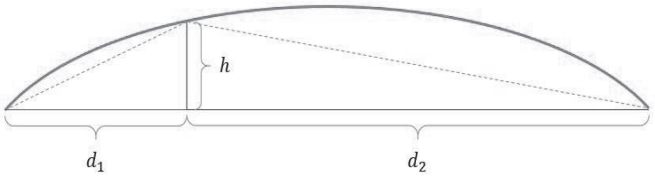
ภาพที่ 2 หน้าต่างโปรแกรมจากเว็บไซต์ LinkCalc

3. การออกแบบโปรแกรม Path profile

โปรแกรม Path Profile เป็นโปรแกรมในการวาดภาพสัณฐานด้านข้างบนกราฟเส้นโค้งผิวโลก ที่ค่า K = 3/4 ซึ่งสามารถคำนวณค่าความสูงเส้นโค้งผิวโลกได้ดังสมการด้านล่าง [7]

$$h = \frac{d_1 d_2}{12.75K} \quad (1)$$

โดย h คือ ความสูงที่เกิดจากความโค้งของผิวโลก หน่วยเป็น เมตร, K คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 4/3 และ ค่า d_1 และ d_2 คือ ระยะทางในแนวนอน หน่วยเป็น กิโลเมตร ดังแสดงในภาพด้านล่าง

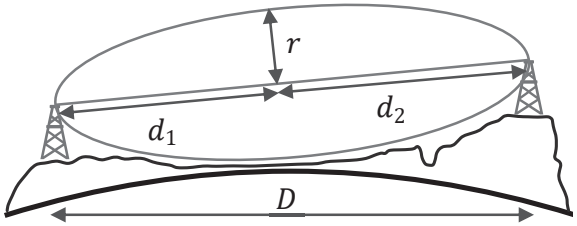


ภาพที่ 3 ภาพแสดงค่าตัวแปรในการวาดกราฟเส้นโค้งผิวโลก

สมการต่อไปเป็นสมการคำนวณค่ารัศมี Fresnel zone อันดับที่หนึ่ง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสูญเสียเนื่องจากสิ่งกีดขวาง [4]

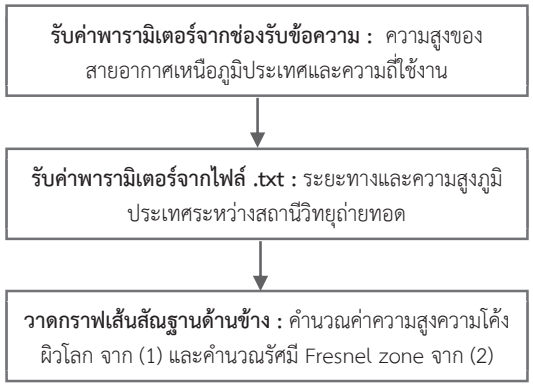
$$r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{D}} \quad (2)$$

โดย r คือ รัศมีของ Fresnel zone อันดับที่หนึ่ง หน่วยเป็น เมตร, λ คือ ความยาวของคลื่น หน่วยเป็น เมตร, ค่า d_1 และ d_2 คือ ระยะทางของเส้น Line of sight หน่วยเป็น เมตร และค่า D คือ ระยะทางรวมของเส้น Line of sight หน่วยเป็น เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ $d_1 + d_2$ ดังแสดงในภาพด้านล่าง

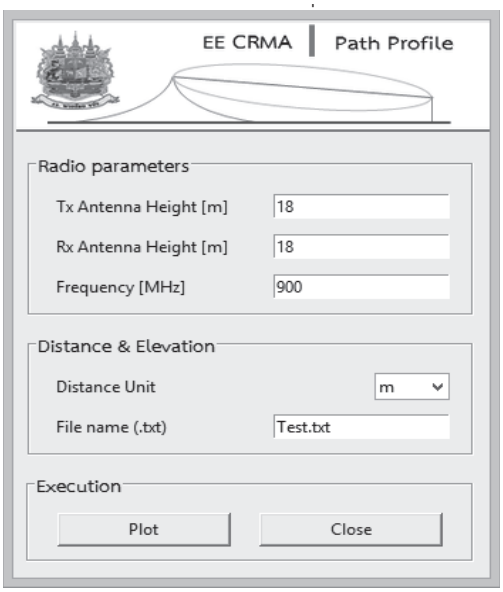


ภาพที่ 4 ภาพแสดงเส้นรัศมี Fresnel zone

ในการวาดเส้น Line of Sight ผู้วางแผนจะต้องทราบความสูงของเสาอากาศ เพื่อนำไปกำหนดลงบนตารางกราฟเส้นโค้งผิวโลก ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าหน้าต่างของโปรแกรม Path Profile ต้องประกอบด้วย (1) เฟรมรับค่าตัวแปรของวิทยุถ่ายทอด ได้แก่ ความสูงของสายอากาศและความถี่ที่ใช้งาน (2) เฟรมรับค่าระยะทางและความสูงภูมิประเทศที่ได้จากโปรแกรม QGIS ซึ่งบันทึกอยู่ในรูปของไฟล์ .txt และ 3. เฟรมปุ่มคำสั่งในการคำนวณและแสดงผล รวมถึงปุ่มปิดโปรแกรม โดยมีแผนผังและหน้าต่างของโปรแกรมดังภาพด้านล่าง

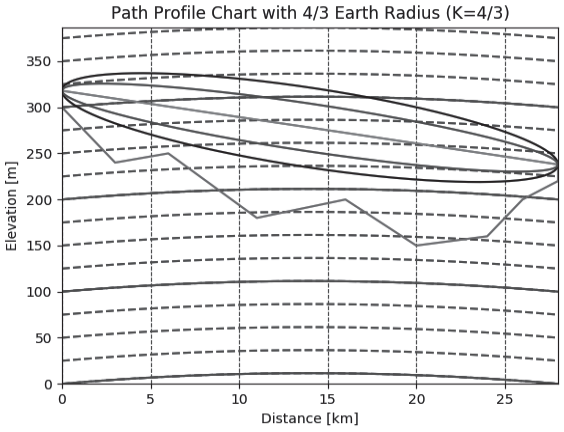


ภาพที่ 5 แผนผังโปรแกรม Path profile



ภาพที่ 6 หน้าต่างโปรแกรม Path profile

เมื่อทำการป้อนค่าตัวแปรในโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว หลังจากกดปุ่ม “Plot” โปรแกรมจะแสดงรูปภาพสัณฐานด้านข้างประกอบไปด้วยเส้นความสูงภูมิประเทศ เส้น Line of Sight และเส้นรัศมี Fresnel Zone อันดับที่หนึ่งที่มีขนาด 100 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพด้านล่าง



ภาพที่ 7 หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม Path profile

4. การออกแบบโปรแกรม Path calculation

การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ของระบบหรือการทำ Path Calculation ประกอบไปด้วยการคำนวณค่าของระบบ (System Value) ค่าความลดทอนรวมในอากาศ (Total Attenuation) ค่าขอบการจางหาย (Fade Margin) และการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ของระบบ (Reliability) โดยเป็นไปดังสมการด้านล่าง [8]

ค่าของระบบ (System value)

$$S.V. = P_{out} - FL_{tx} + AG_{tx} + AG_{rx} - FL_{rx} - P_{th} \quad (3)$$

โดยที่ $S.V.$ คือ ค่าของระบบ มีหน่วยเป็น dBm, P out คือ กำลังส่งสัญญาณของวิทยุถ่ายทอด ณ สถานีส่งสัญญาณ มีหน่วยเป็น dBm, FLtx และ FLrx คือ ค่าการลดทอนกำลังในสายส่งสัญญาณของสถานีส่งสัญญาณและรับสัญญาณ หน่วยเป็น dB, AGtx และ AGrx คือ กำลังขยายของสายอากาศของสถานีส่งสัญญาณและรับสัญญาณ มีหน่วยเป็น dB และ Pth คือ กำลังงานต่ำสุดที่เครื่องรับสามารถรับได้ หน่วยเป็น dBm

ค่าความลดทอนรวมในอากาศ (Total Attenuation)

$$A_{total} = A_s + A_a \quad (4)$$

โดยที่ A_{total} คือ ค่าการลดทอนรวมในอากาศ มีหน่วยเป็น dB, A_s คือ ค่าการลดทอนในอากาศว่าง หน่วยเป็น dB และ A_a คือ ค่าการลดทอนอื่นๆ หน่วยเป็น dB สำหรับการคำนวณค่าการลดทอนในอากาศว่าง ซึ่งเกิดจากการแพร่กระจายคลื่น สามารถหาได้จากดังสมการด้านล่าง

$$A_s = 32.44 + 20\,log\,D + 20\,log\,f \quad (5)$$

โดยที่ A_s คือ ค่าการลดทอนในอากาศว่าง หน่วยเป็น dB, D คือ ระยะทางระหว่างสถานี หน่วยเป็น กิโลเมตร และ f คือ ความถี่ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล หน่วยเป็น MHz

ค่าขอบการจางหาย (Fade margin)

$$M.G. = S.V. - A_{total} \quad (6)$$

โดยที่ $M.G.$ คือ ค่าขอบการจางหาย มีหน่วยเป็น dB, $S.V.$ คือ ค่าของระบบ หน่วยเป็น dB และ A_{total} คือ ค่าการลดทอนรวมในอากาศ หน่วยเป็น dB

ค่าความเชื่อถือได้ของระบบ (Reliability)

$$R \approx 1 - 10^{-(M.G.+A)/10} \quad (7)$$

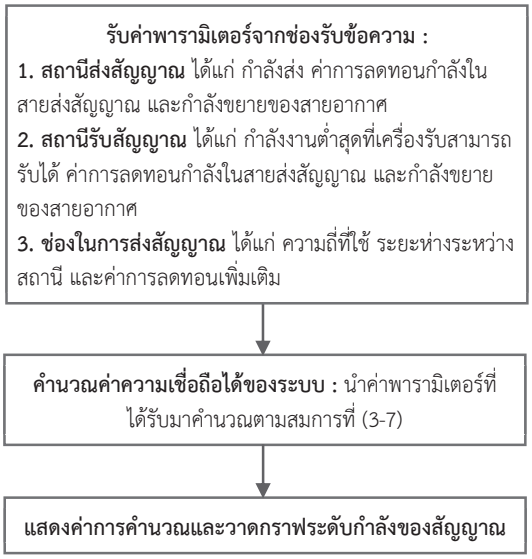
โดยที่ A คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.001 และ $M.G.$ คือ ค่าขอบการจางหาย มีหน่วยเป็น dB

จากสมการข้างต้น สามารถออกแบบเฟรมการรับค่าข้อมูลออกเป็น 3 เฟรม คือ (1) เฟรมค่าตัวแปรสำหรับสถานีส่งสัญญาณ (2) เฟรมค่าตัวแปรสำหรับสถานีรับสัญญาณ และ (3) เฟรมค่าตัวแปรที่เกี่ยวกับการลดทอนในอากาศ

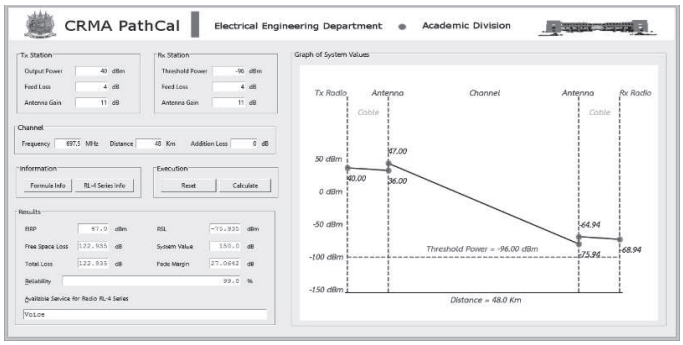
สำหรับการแสดงผล กำหนดให้มีการแสดงผลในรูปแบบข้อความและรูปภาพที่บอกระดับของกำลังสัญญาณ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ระบบ โดยมีแผนผังและหน้าต่างของโปรแกรม ดังภาพที่ 8

5. การทดสอบการใช้โปรแกรม

เพื่อทดสอบว่าการใช้งานโปรแกรม QGIS ในกระบวนการหาค่าความเชื่อถือได้ของระบบมีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด สามารถกระทำได้โดยการวัดความคลาดเคลื่อนของระยะทางและความสูงภูมิประเทศเมื่อเทียบกับการทำงานกับแผนที่กระดาษ สำหรับแผนที่ดิจิทัลที่ใช้ คือ (1) แผนที่ประเทศไทย มาตราส่วน 1:50,000 ชุด L7018 ในรูปแบบของไฟล์ JPEG และแผนที่ความสูงภูมิประเทศเชิงเลขแบบ DTED Level 2 สามารถทำได้ดังนี้



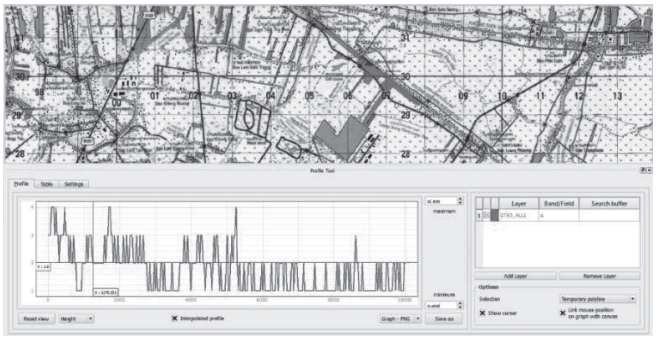
ภาพที่ 8 แผนผังโปรแกรม Path Profile



ภาพที่ 9 หน้าต่างโปรแกรม Path Calculation

5.1 การทดสอบความคลาดเคลื่อนในการวัดระยะทาง

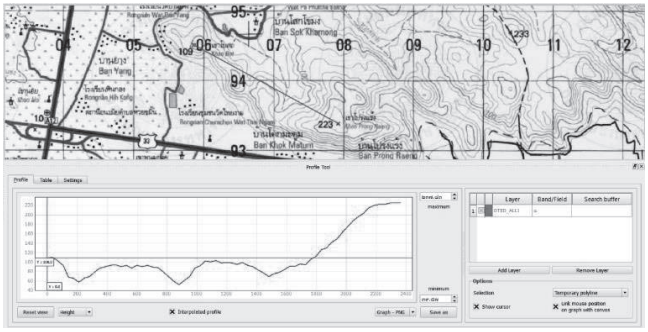
เป็นการทดสอบการอ่านค่าระยะทาง โดยการทดสอบจะทำการกำหนดการวัดระยะบนแผนที่ทหารที่ 10 กม. (10 ช่อง), 20 กม. (20 ช่อง), 30 กม. (30 ช่อง), 40 กม. (40 ช่อง) และ 50 กม. (50 ช่อง) ดังแสดงในภาพด้านล่าง



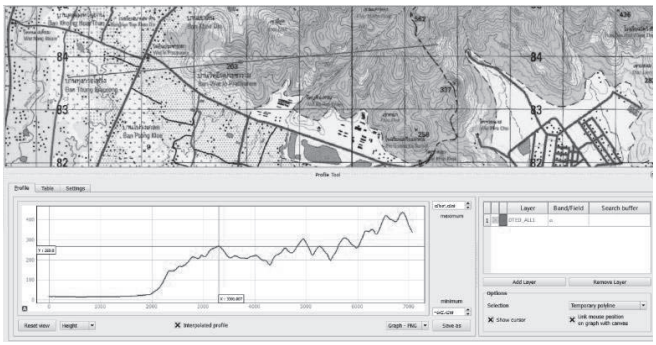
ภาพที่ 10 การวัดระยะทาง 10 กม. บนแผนที่ทหารในโปรแกรม QGIS

5.2 การทดสอบความคลาดเคลื่อนในการวัดความสูงภูมิประเทศ

การทดสอบการวัดค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดความสูงภูมิประเทศจะทำการทดสอบ 2 แบบด้วยกัน คือ (1) การอ่านค่าความสูงจากเลเยอร์แผนที่ความสูงภูมิประเทศเชิงเลขที่จุดพิกัดเดียวกันกับที่แสดงบนแผนที่ทหาร และ (2) การทำภาพสัณฐานด้านข้างจากข้อมูลบนเลเยอร์แผนที่ความสูงภูมิประเทศเชิงเลขที่ผ่านจุดที่ทราบค่าความสูงบนแผนที่ทหาร ดังแสดงในภาพด้านล่าง แล้วทำการบันทึกผลและหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3



ภาพที่ 11 การวัดความสูงภูมิประเทศโดยอ่านค่าความสูงที่พิกัดเดียวกับแผนที่ทหาร



ภาพที่ 12 การวัดความสูงภูมิประเทศโดยใช้ค่าความสูงบนภาพสัณฐานด้านข้าง

6. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ ทำโดยการพิจารณาค่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการรับค่าระยะทางและความสูงภูมิประเทศ โดยผลการทดสอบในข้อ 5 จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าระยะทางและความสูงบันทึกอยู่ในรูปแบบของตาราง ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ทางทฤษฎีได้โดยการหาค่าผลต่างของสมการให้อยู่ในรูปของตัวแปรความคลาดเคลื่อนของระยะทางเพื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองไปแทนค่าหาความคลาดเคลื่อนของค่าที่มีผลกระทบนั้น ๆ หรืออาจจะทำการวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรที่สนใจกับค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่ทำการวัด ดังแสดงในหัวข้อถัดไป

6.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนในการวัดระยะทาง

จากการทดสอบที่ 5.1 สามารถบันทึกค่าได้ดังตารางที่ 1 โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าระยะทางมากที่สุดในการวัดระยะ 50 กิโลเมตร มีความคลาดเคลื่อน 53.3 เมตร หรือ 0.107 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1 ผลการหาค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดระยะทางบนแผนที่ทหาร

ระยะทาง (กม.)	ระยะทางที่อ่านได้ (กม.)	ค่าความคลาดเคลื่อน (กม.)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
10	10.0095	0.0095	0.095
20	20.0065	0.0065	0.033
30	29.9971	0.0029	0.010
40	39.9864	0.0136	0.034
50	50.0533	0.0533	0.107

ปัจจัยเรื่องของระยะทางนั้น มีผลกระทบต่อ 1. การคำนวณความสูงเส้นโค้งผิวโลก 2. การคำนวณรัศมีของ Fresnel Zone อันดับที่หนึ่ง และ 3. การคำนวณค่าลดทอนในอากาศว่าง ดังนั้น เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่อตัวแปรดังกล่าวได้อย่างชัดเจน สามารถคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ดังนี้

ก. การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของกราฟเส้นโค้งผิวโลก (K = 3/4) สามารถคำนวณได้โดยการนำสมการที่ (1) มาหาค่าผลต่าง โดยกำหนดให้ D คือ ระยะทางทั้งหมด, e คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทาง และ Δh คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของความสูงของเส้นโค้งผิวโลก ดังแสดงในสมการด้านล่าง

$$\Delta h = \frac{\left(\frac{D+e}{2}\right)^2}{12.75(3/4)} - \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2}{12.75(3/4)}$$

หรือ

$$\Delta h = \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2}{12.75(3/4)} - \frac{\left(\frac{D-e}{2}\right)^2}{12.75(3/4)}$$

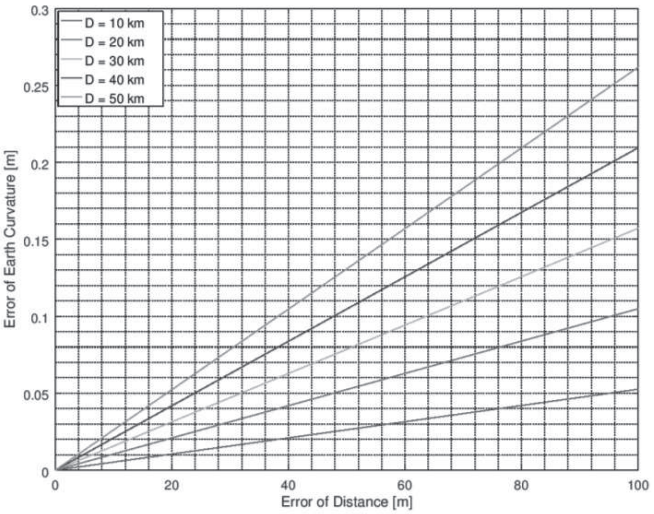
จะได้

$$\Delta h = \frac{2eD \pm e^2}{38.25}$$

จากค่า e มีหน่วยเป็น กิโลเมตร แต่ค่าที่วัดได้มีค่ามากสุด คือ 53.3 เมตร สามารถประมาณค่า e^2 เท่ากับศูนย์ ดังนั้น จะได้สมการค่าความคลาดเคลื่อนของความสูงของเส้นโค้งผิวโลก ดังนี้

$$\Delta h = \frac{2eD}{38.25} \quad (8)$$

จากสมการด้านบนเมื่อนำมาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของความสูงเส้นโค้งผิวโลกกับค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 กิโลเมตร พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะทางจากการทดสอบการใช้งานโปรแกรม QGIS ที่มากที่สุดที่ 53.3 เมตร นั้น ให้ค่าความคลาดเคลื่อนของกราฟเส้นโค้งผิวโลกไม่เกิน 14 เซนติเมตร



ภาพที่ 13 ค่าความคลาดเคลื่อนของความสูงของเส้นโค้งผิวโลกกับค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทาง

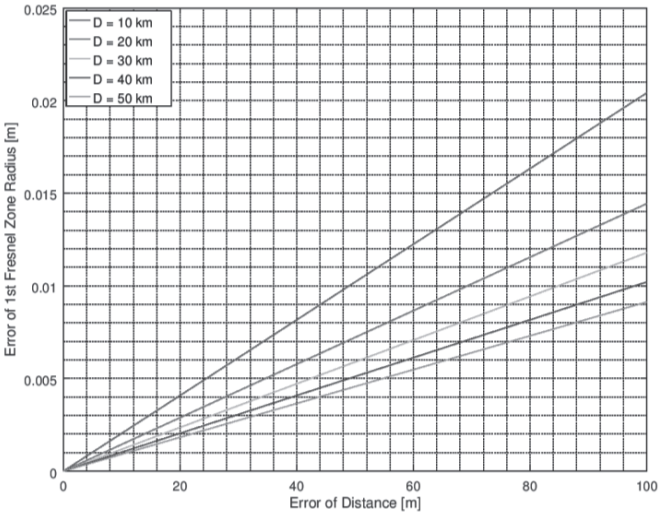
ข. การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของเส้นรัศมี Fresnel Zone อันดับที่หนึ่ง สามารถหาได้จากผลต่างของสมการที่ (2) โดยกำหนดให้ คือ ระยะทางทั้งหมด, คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทาง และ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นรัศมี Fresnel zone อันดับที่หนึ่ง ดังแสดงในสมการด้านล่าง

$$\Delta r = \sqrt{\frac{\lambda\left(\frac{D+e}{2}\right)^2}{D}} - \sqrt{\frac{\lambda\left(\frac{D}{2}\right)^2}{D}} \text{ หรือ } \Delta r = \sqrt{\frac{\lambda\left(\frac{D}{2}\right)^2}{D}} - \sqrt{\frac{\lambda\left(\frac{D-e}{2}\right)^2}{D}}$$

จะได้

$$\Delta r = \frac{e}{2\sqrt{fD}} \quad (9)$$

เมื่อทำการวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นรัศมี Fresnel Zone อันดับที่หนึ่งกับค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 กิโลเมตร โดยกำหนดค่าความถี่ต่ำที่สุดของเครื่องวิทยุถ่ายทอด RL–4 Series ที่ประมาณ 600 MHz (ใช้ค่าความถี่ต่ำที่สุดเพื่อให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุด) พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะทางจากการทดสอบการใช้งานโปรแกรม QGIS ที่มากที่สุด คือ 53.3 เมตร ให้ค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นรัศมี Fresnel zone อันดับที่หนึ่งไม่เกิน 1.1 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพด้านล่าง



ภาพที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นรัศมี Fresnel zone อันดับที่หนึ่งกับค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทาง

ค. การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของค่าการลดทอนในอากาศว่าง สามารถหาได้จากผลต่างของสมการที่ (5) โดยกำหนดให้ เมื่อ D คือ ระยะทางทั้งหมด, e คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทาง และ ΔA_s คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าการลดทอนในอากาศว่าง ดังแสดงในสมการด้านล่าง

$$\Delta A_s = 20\,log(D+e) - 20\,log\,D$$

หรือ

$$\Delta A_s = 20\,log\,D - 20\,log(D-e)$$

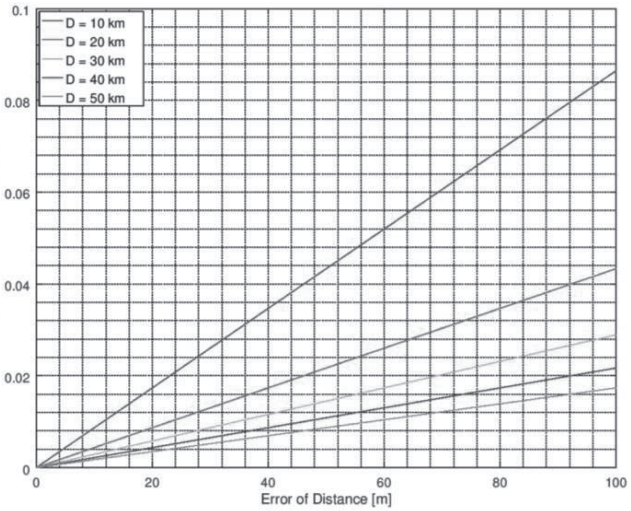
จะได้

$$\Delta A_s = 20\,log(1+\frac{e}{D})$$

หรือ

$$\Delta A_s = -20\,log(1-\frac{e}{D}) \quad (10)$$

เมื่อวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของค่าการลดทอนในอากาศว่างกับค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 กิโลเมตร พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะทางจากการทดสอบการใช้งานโปรแกรม QGIS ที่มากที่สุด คือ 53.3 เมตร นั้น ให้ค่าความคลาดเคลื่อนการลดทอนในอากาศว่างไม่เกิน 0.05 dB หรือ 1.01 เท่า ดังแสดงในภาพด้านล่าง



ภาพที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของค่าการลดทอนในอากาศว่างกับค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทาง

6.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนในการวัดความสูงภูมิประเทศ

จากการทดสอบที่ 5.2 สามารถบันทึกค่าได้ตามข้อมูลในตารางที่ 2 และ 3 โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าความสูงมากสุดที่ 19 เมตร ดังนั้น การพิจารณาภาพสัณฐานด้านข้าง จะต้องเผื่อค่าความสูง 20 เมตร เป็นอย่างน้อย

ตารางที่ 2 ผลการหาค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดความสูงที่อ้างอิงตำแหน่งความสูงจากแผนที่ทหารเป็นหลัก

จุดที่	ความสูงบนแผนที่ทหาร (ม.)	ความสูงที่อ่านได้ (ม.)	ค่าความคลาด-เคลื่อน (ม.)
1	109	110	1
2	223	225	2
3	223	225	2
4	233	233	0
5	236	217	19
6	132	116	16
7	239	234	5
8	233	227	6
9	299	289	10
10	217	210	7

ตารางที่ 3 ผลการหาค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดความสูงที่อ้างอิงตำแหน่งความสูงจากแผนที่ความสูงภูมิศาสตร์เชิงแลขเป็นหลัก

จุดที่	ความสูงบนแผนที่ทหาร (ม.)	ความสูงที่อ่านได้ (ม.)	ค่าความคลาด-เคลื่อน (ม.)
1	263	269	6
2	562	578	16
3	436	438	2
4	724	742	18
5	684	695	11

สำหรับการแก้ไขปัญหานี้ เนื่องจากแผนที่ความสูงภูมิประเทศเชิงเลขที่ใช้ เป็นแบบ DTED Level 2 ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนทางความสูง 18 เมตร ผู้วางแผนอาจจะเลือกใช้แผนที่ความสูงภูมิประเทศเชิงเลขที่มีความละเอียดสูงขึ้นเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในการรับค่าจาก QGIS

7. สรุปผล

การใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ QGIS ร่วมกับโปรแกรม Path Profile และ Path Calculation ที่เขียนด้วยภาษา Python เพื่อใช้วางแผนการติดตั้งสถานีวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี สามารถลดเวลาในการเก็บข้อมูลระยะทางและความสูงภูมิประเทศ สามารถแสดงผลการคำนวณในรูปแบบข้อความและแบบกราฟระดับสัญญาณ เพื่อทำให้ง่ายต่อการปรับแก้ระบบเมื่อมีค่าความเชื่อถือได้น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากกระบวนการทั้งหมดนี้สามารถประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์แบบพกพา ทำให้ใช้พื้นที่น้อยในการวางแผนและมีความคล่องตัวในการย้ายที่ปฏิบัติการ

สำหรับความถูกต้องของการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ของระบบนั้น ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของแผนที่ที่ใช้ในโปรแกรม QGIS ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ ใช้แผนที่ทหารที่สแกนเป็นภาพดิจิทัลแล้วทำการใส่พิกัดด้วยโปรแกรม QGIS ทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนของพิกัดจำนวนหนึ่ง และแผนที่ความสูงภูมิประเทศเชิงเลขที่มีความคลาดเคลื่อนทางความสูงที่ 18 เมตร ซึ่งแผนที่ดังกล่าว เมื่อนำมาทำการทดสอบ ให้ค่าความคลาดเคลื่อนของกราฟเส้นโค้งผิวโลกไม่เกิน 14 เซนติเมตร, ค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นรัศมี Fresnel Zone อันดับที่หนึ่งไม่เกิน 1.1 เซนติเมตร, และค่าความคลาดเคลื่อนการลดทอนในอากาศว่างไม่เกิน 0.05 dB หรือ 1.01 เท่า ซึ่งถือว่าเป็นความคลาดเคลื่อนที่ไม่มีนัยสำคัญต่อการคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ของระบบ ยกเว้นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดความสูงภูมิประเทศ ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนมากสุดที่ 19 เมตร ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการใช้แผนที่ความสูง ภูมิประเทศเชิงเลขที่มีความละเอียดสูงขึ้น

สำหรับข้อจำกัดในการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการหาความน่าเชื่อถือได้ของระบบวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธีในสถานการณ์ไม่ปกตินั้น จำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำรอง เช่น เครื่องปั่นไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่สำรอง เป็นต้น หากเปรียบเทียบกับข้อดีที่ได้นั้น การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จึงเป็นตัวเลือกหนึ่งในการนำไปใช้งานและพัฒนาต่อยอดเพื่อเชื่อมโยงกับระบบการปฏิบัติการทางทหารอื่นๆ

ในการวิจัยพัฒนาเกี่ยวกับการวางแผนการจัดตั้งสถานีวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธีในอนาคตนั้น สามารถนำโปรแกรมนี้ให้หน่วยทหารสื่อสารไปทดลองใช้งานจริงเพื่อรับข้อเสนอแนะในระดับผู้ใช้งานไปแก้ไขในจุดที่บกพร่องและพัฒนาในส่วนที่หน่วยใช้ต้องการต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองร้อยลาดตระเวนระยะไกลที่ 2 กองพลทหารราบที่ 2 รักษาพระองค์ ที่ให้การสนับสนุนแผนที่ประเทศไทย มาตราส่วน 1:50,000 ชุด L7018 ในรูปแบบของไฟล์ JPEG ขอขอบคุณชุดอำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแผนที่ กรมแผนที่ทหาร ที่ให้การสนับสนุนแผนที่ความสูงภูมิประเทศเชิงเลข สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าที่สนับสนุนทุนวิจัย ทำให้ผู้วิจัยได้พัฒนาศักยภาพทางวิชาการและได้ต่อยอดความรู้และทักษะเกี่ยวกับ การออกแบบระบบการสื่อสารเพื่อนำไปถ่ายทอดให้กับนักเรียนนายร้อยและพัฒนากองทัพบกต่อไป

บรรณานุกรม

(1) สุเพชร จิรขจรกุล, 2555. เรียนรู้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3.1 (ฉบับปรับปรุง). นนทบุรี : บริษัท เอ.พี. กราฟิคดีไซน์และการพิมพ์ จำกัด.

(2) สรรค์ใจ กลิ่นดาว, 2555. แบบฝึกปฏิบัติการเรียนรู้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โปรแกรม ArchGIS. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

(3) Micheal Dawson. 2010. Python Programming for the Absolute Beginner. 3rd Ed. Boston : Course Technology.

(4) ALL ABOUT CIRCUITS, "Link Budget Calculator," ค้นเมื่อ 24 กรกฎาคม 2561, ที่มา https:// www.allaboutcircuits.com/tools/link-budget-calculator/.

(5) Satellite Signals, "Radio link budget calculator - line of sight radio or microwave link," ค้นเมื่อ 24 กรกฎาคม 2561, ที่มา http://www.satsig.net/link-budget.htm.

(6) Ligo Wave, "โปรแกรม LinkCalc ออนไลน์," ค้นเมื่อ 24 กรกฎาคม 2561, ที่มา https://linkcalc.ligowave.com

(7) บัณฑิต โรจน์อารยานนท์, 2536. วิศวกรรมไมโครเวฟ. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

(8) แผนกการสื่อสารประเภทสาย ส่วนการศึกษา โรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร, 2550. การสื่อสารประเภทสาย. กรุงเทพ : โรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร.