การแบ่งกลุ่มสำรวจในการเดินสำรวจทรัพยากรป่าไม้ กรณีศึกษาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า ลุ่มน้ำปาย อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน

Survey position clustering of the forest resources: A case study in the Pai River Wildlife Sanctuary, Amphur Pai, Mae Hong Son

กนกอร เหลืองทรัพย์ทวี[1] พชร ตินะมาส[2] และ จูลิน ลิคะสิริ[1]*

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200, E-mail: Chulin.l@cmu.ac.th
วิทยาลัยศิลปะ สื่อ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200, E-mail: pachara.t@cmu.ac.th

บทคัดย่อ **- งานวิจัยนี้ศึกษาการนำปัญหาการแบ่งกลุ่ม (clustering problem) ไปใช้ในการแบ่งจุดสำรวจในการเดินสำรวจทรัพยากรป่าไม้ กรณีศึกษาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งมีจุดสำรวจทั้งหมด 164 จุด และมีหน่วยพิทักษ์ป่า 15 จุด โดยมีวัตถุประสงค์ให้ระยะทางในการสำรวจสั้นที่สุด โดยที่มีเงื่อนไขบังคับในการออกปฏิบัติการแต่ละครั้งไม่เกิน 3 วัน งานวิจัยนี้มีการออกแบบการแบ่งกลุ่มย่อยโดยใช้พื้นที่สี่เหลี่ยม เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะจุดสำรวจซึ่งได้มาจากการสุ่มพิกัดตัวอย่างแบบสม่ำเสมอ (Systematic Sampling) ในการหาตำแหน่งจุดสำรวจทรัพยากรป่าไม้บนแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม และแบ่งกลุ่มย่อยโดยปรับปรุงขั้นตอนวิธีการหาเส้นทางเดินสำรวจที่สั้นที่สุดของ Travelling Salesman Problem (TSP) โดยเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีทั้งสองแบบกับเส้นทางการเดินสำรวจของเจ้าหน้าที่ป่าไม้ในปัจจุบัน พบว่าขั้นตอนวิธีที่ได้จากการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการหาเส้นทางเดินสำรวจที่สั้นที่สุดของ TSP ได้ระยะทางการสำรวจโดยรวมสั้นที่สุด ขณะที่การแบ่งกลุ่มย่อยโดยใช้พื้นที่สี่เหลี่ยมได้ระยะทางรวมในการสำรวจสูงที่สุด ซึ่งขัดแย้งกับลักษณะจุดสำรวจซึ่งกระจายแบบสม่ำเสมอ**

คำสำคัญ – เส้นทางเดินย่อย ปัญหาการแบ่งกลุ่ม ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย

Abstract **– In this research, we apply clustering problem to partition the survey positions of the forest resources in the Pai River Wildlife Sanctuary, Amphur Pai, Mae Hong Son which composed of 164 survey points and 15 forest protection centers. The objective is to minimize the total walking distance of the survey officers whereas the maximum number of traveled days in each cluster should not exceed 3 days. This research offers two types of clustering: rectangular clustering corresponding to the survey positions obtained from a uniform random coordinates (systematic sampling) on satellite images; and merging subtour clustering improved from Travelling Salesman Problem (TSP) algorithm. Compare these two clustering results and the clusters that the survey officers currently using, we found that the merging subtour clusters from TSP algorithm result in minimum total distance traveled while the rectangular clusters give the worst performance despite the fact that it is intuitively reasonable considering the uniformly placement of the survey positions.**

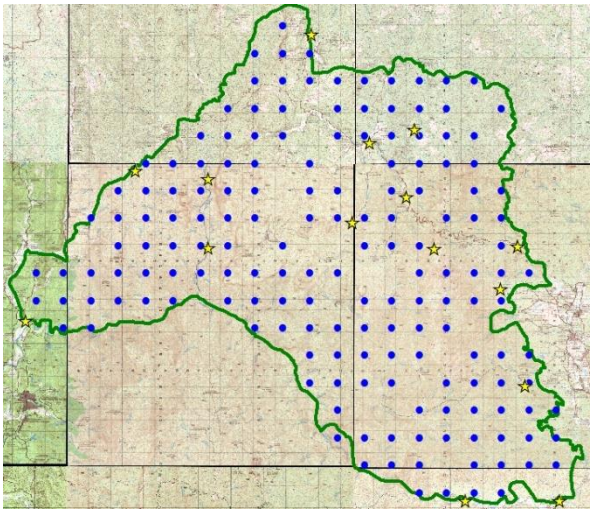
Keywords – subtour, clustering problem, travelling salesman problem, Pai River Wildlife Sanctuary.

1. บทนำ

ประเทศไทยมีการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2504 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประเภทของป่าไม้ ความหนาแน่นของต้นไม้และกล้าไม้ การกระจายขนาดความโตของปริมาณไม้ตลอดจนความหลากหลายทางชีวภาพของพรรณไม้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการบริหารจัดการพื้นที่ป่าไม้ให้กลับมามีความอุดมสมบูรณ์และยั่งยืน ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลดังกล่าว จึงมีการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ซ้ำๆในแปลงตัวอย่างถาวรทุกแปลง

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช เริ่มดำเนินการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ โดยวางจุดครอบคลุมในระยะ 20 x 20 กิโลเมตร ทั่วประเทศ ทั้งพื้นที่ที่เป็นป่าและไม่ใช่ป่า จากนั้นใช้วิธีสุ่มพิกัดตัวอย่างแบบสม่ำเสมอ (การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ) ในการหาตำแหน่งจุดสำรวจทรัพยากรป่าไม้บนแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมที่ภาพถ่ายดาวเทียมแปลว่ามีสภาพเป็นป่าโดยให้แต่ละแปลงตัวอย่าง (Sample plot) มีระยะห่างเท่า ๆ กัน เริ่มจากการสุ่มจุดสำรวจแรกบนเส้นกริด (Grid) แผนที่ดิจิตอลภูมิประเทศ กรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 ลำดับชุด L7018 ให้มีระยะห่างระหว่างเส้นกริดทั้งแนวตั้งและแนวนอนเท่ากับ 10 x 10 กิโลเมตร ที่ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ป่าไม้ และ 5 x 5 กิโลเมตร ที่ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ป่าอนุรักษ์ โดยที่จุดตัดของเส้นกริดทั้งสองแนวจะเป็นตำแหน่งที่ตั้งของแปลงตัวอย่าง [1]

การสำรวจทรัพยากรป่าไม้ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ในความรับผิดชอบของสำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 16 สาขาแม่สะเรียง กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช ใช้วิธีสุ่มพิกัดตัวอย่างแบบมีระบบในการหาตำแหน่งจุดสำรวจทรัพยากรป่าไม้ โดยให้แต่ละแปลงตัวอย่างมีระยะห่างระหว่างเส้นกริดทั้งแนวตั้งและแนวนอนเท่ากับ 2.5 x 2.5 กิโลเมตร เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น ดังนั้น จุดตัดของเส้นกริดทั้งสองแนวจะเป็นตำแหน่งที่ตั้งของจุดสำรวจ (จำนวน164 จุด) และมีหน่วยพิทักษ์ป่าจำนวน 15 จุดกระจายทั่วพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย โดยใช้สัญลักษณ์จุดสีน้ำเงินแทนตำแหน่งของจุดสำรวจและสัญลักษณ์รูปดาวสีเหลืองแทนตำแหน่งของหน่วยพิทักษ์ป่า ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตำแหน่งของจุดสำรวจและหน่วยพิทักษ์ป่าในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย

หลังจากการแบ่งจุดสำรวจแล้ว ในการสำรวจทรัพยากรป่าไม้เจ้าหน้าที่จะต้องไปสำรวจทั้งหมด 164 จุดสำรวจ โดยสามารถแวะพักอาศัยได้ที่หน่วยพิทักษ์ป่า ซึ่งมีทั้งหมด 15 จุด เจ้าหน้าที่จึงต้องเดินทางผ่านทั้งหมด 179 จุด โดยในทางปฏิบัติงานจริง การออกปฏิบัติงานแต่ละครั้งจะไม่เกิน 3 วัน และเนื่องจากการที่เจ้าหน้าที่สามารถสำรวจได้เฉลี่ยวันละ 5 จุด ทำให้การออกปฏิบัติงานแต่ละครั้งสามารถปฏิบัติการสำรวจได้เฉลี่ย 15 จุด ทั้งนี้การเดินสำรวจจะเดินเลี่ยงหน้าผา น้ำตก แม่น้ำ หรือพื้นที่ส่วนบุคคล

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการพิจารณาปัญหาออกเป็นสองส่วน คือ 1. การหาวิธีการแบ่งกลุ่มย่อยหรือพื้นที่ย่อย และ 2. การหาเส้นทางเดินสำรวจที่สั้นที่สุดในแต่ละพื้นที่ย่อย โดยในส่วนแรกคือ การหาวิธีการแบ่งจุดที่ต้องเดินทางผ่านทั้งหมดออกเป็นพื้นที่ย่อย ซึ่งเป็นปัญหาการแบ่งกลุ่มนั่นเอง โดยในที่นี้มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้ระยะทางรวมในการเดินสำรวจของทุกพื้นที่ย่อยสั้นที่สุด ในขณะที่มีเงื่อนไขบังคับเป็นจำนวนจุดในแต่พื้นที่ย่อยที่แบ่งจะต้องมีไม่เกิน 15 จุด ปัญหาการแบ่งกลุ่มมีการศึกษามาอย่างยาวนานและนำไปประยุกต์ใช้กับหลาย ๆ สาขา เช่น การค้นหาข้อมูล (data mining) [2] และเครือข่ายเครื่องรับรู้ไร้สาย (wireless sensor network) [3] เป็นต้น และมีการเขียนและพัฒนาขั้นตอนวิธีในการหาคำตอบมากมาย เช่น การแบ่งกลุ่มตามขนาดของเมือง [4] การแบ่งกลุ่มแบบสุ่มและกลุ่มควบคุม [5] และการแบ่งกลุ่มโดยใช้เทคนิค k-Means [6, 7, 8] เป็นต้น

ในส่วนที่สองซึ่งเป็นปัญหาการวางแผนเส้นทางการเดินสำรวจ ซึ่งเจ้าหน้าที่จะต้องเดินทางออกจากหน่วยพิทักษ์ป่าไปยังตำแหน่งของจุดสำรวจต่าง ๆ เพื่อทำการสำรวจทรัพยากรป่าไม้และกลับมายังหน่วยพิทักษ์ป่าเพื่อให้ได้ระยะทางสั้นที่สุดนั้น เป็นปัญหาลักษณะเดียวกันกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) ซึ่งเป็นปัญหาที่ยากและยังไม่มีขั้นตอนวิธีที่ใช้เวลาแบบโพลิโนเมียลในการแก้ปัญหาได้ ดังนั้น จึงมีงานวิจัยสำหรับการหาขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยของขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้น [9, 10, 11, 12, 13, 14] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยซึ่งประยุกต์ใช้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายในระบบต่าง ๆ เช่น ปัญหาเส้นทางเดินของรถรับส่งนักเรียน [15, 16, 17] ปัญหาระบบขนส่งสำหรับโลจิสติกส์ [18] ปัญหาระบบการขนส่งชีวมวล [14] และปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ [19] เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการแบ่งพื้นที่ย่อยสองแบบ คือ การแบ่งพื้นที่ย่อยโดยใช้พื้นที่รูปสี่เหลี่ยม และการแบ่งพื้นที่ย่อยโดยใช้การเชื่อมสับทัวร์ในกระบวนการของ TSP จากนั้นจึงใช้ขั้นตอนวิธีที่ได้ศึกษาใน [14] หาเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดในแต่ละพื้นที่ย่อย นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการแบ่ง

พื้นที่ย่อยทั้งสองแบบกับเส้นทางการเดินสำรวจของเจ้าหน้าที่ป่าไม้ในปัจจุบันอีกด้วย

2. วิธีการแบ่งพื้นที่ย่อย

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการแบ่งพื้นที่ย่อยสองแบบ คือ การแบ่งพื้นที่ย่อยโดยใช้พื้นที่รูปสี่เหลี่ยม และการแบ่งพื้นที่ย่อยโดยใช้การเชื่อมสับทัวร์ในกระบวนการของ TSP ต่อไปจะกล่าวถึงวิธีการพื้นที่ย่อยแต่ละแบบโดยละเอียด

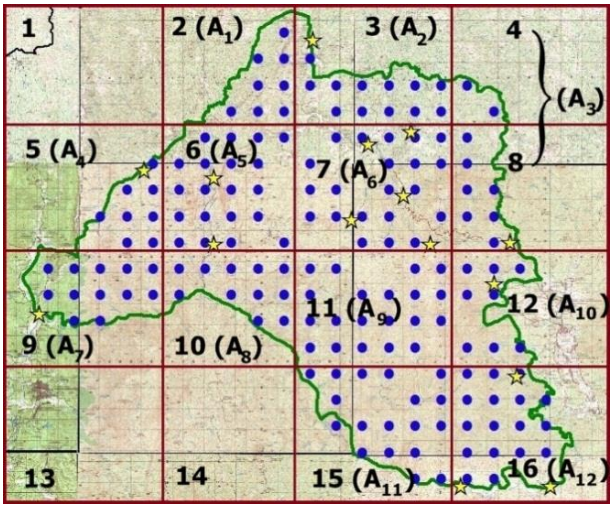
2.1 การแบ่งพื้นที่ย่อยโดยใช้พื้นที่รูปสี่เหลี่ยม

เนื่องจากจุดสำรวจทั้งหมด 164 จุดสำรวจ เกิดจากจุดตัดของเส้นกริดที่มีระยะห่างเท่ากับ 2.5 x 2.5 กิโลเมตร หรือการตัดกันเกิดเป็นรูปสี่เหลี่ยม และหน่วยพิทักษ์ป่าจำนวน 15 จุด กระจายตัวแบบค่อนข้างสม่ำเสมอ (uniform) จึงเกิดแนวคิดในการแบ่งพื้นที่ย่อยโดยใช้พื้นที่รูปสี่เหลี่ยม

การแบ่งพื้นที่ย่อยในการสำรวจโดยใช้รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำโดยใช้เส้นกริดในการแบ่งระยะห่างในแนวตั้งและแนวนอนเป็น 10 และ 15.5 กิโลเมตร ทำให้แบ่งพื้นที่ที่ต้องสำรวจออกเป็น 16 ส่วน ดังรูปที่ 2 ซึ่งมีบางส่วนที่ไม่มีจุดที่ต้องสำรวจ จึงไม่ต้องพิจารณาส่วนเหล่านั้น บางส่วนที่มีจุดที่ต้องสำรวจน้อยมาก จะนำจุดสำรวจไปรวมกับส่วนที่อยู่ใกล้กันที่มีจุดสำรวจน้อยที่สุด และบางส่วนมีจุดที่ต้องสำรวจจำนวนมาก ในการแบ่งพื้นที่ย่อยจะพิจารณาทีละส่วนตามขั้นตอนต่อไปนี้ โดยกำหนดให้ A_i แทนส่วนที่ต้องพิจารณา ($i = 1,2,..,12$) และจำนวนจุดสำรวจในแต่ละส่วนแทนด้วย n_{A_i}

ขั้นตอนที่ 1 ถ้า $9 \le n_{A_i} \le 15$ ให้ส่วนนั้นเป็นพื้นที่ย่อย
ขั้นตอนที่ 2 ถ้า $n_{A_i} < 9$ ให้เพิ่มจุดสำรวจเข้าไปในส่วนนั้น โดยจุดสำรวจที่เพิ่มเข้าไปนั้นมาจากส่วนที่อยู่ติดกันที่มีจำนวนจุดสำรวจมาก $(n_{A_i} > 15)$

จากขั้นตอนดังกล่าวสามารถแบ่งจุดสำรวจ (จำนวน 164 จุด) ออกเป็น 15 พื้นที่ย่อย จากนั้นพิจารณาว่าควรใช้หน่วยพิทักษ์ป่าใดเป็นจุดเริ่มต้นในการเดินสำรวจสำหรับแต่ละพื้นที่ย่อย เพื่อให้ระยะทางเดินสำรวจน้อยที่สุด โดยใช้ขั้นตอนวิธีการหาคำตอบในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2 การแบ่งพื้นที่ย่อยโดยใช้รูปสี่เหลี่ยม

2.2 การแบ่งพื้นที่ย่อยโดยใช้การเชื่อมสับทัวร์ในกระบวนการของ TSP

ปัญหาระบบการขนส่งชีวมวลของ [13] มีการประยุกต์ใช้ปัญหา TSP มาหาเส้นทางเดินแบบมีทิศทางที่ทำให้ระยะทางรวมสั้นที่สุด ดังตัวแบบต่อไปนี้

ตัวแบบ TSP (TSP model)

$$\min z = \sum_j \sum_i c_{ij} x_{ij}$$

s.t. $$\sum_j x_{ij} = 1,$$

$$\forall i \in N, N = \{1,2,\dots,n\} \quad (1)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1,$$

$$\forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i=j} x_{ij} = 0,$$

$$\forall i,j \in N \quad (3)$$

$$\sum_{j \in S} \sum_{i \in S} x_{ij} \le |S| - 1, \forall S \subset N, 1 < |S| \le n + 1 \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i,j \in N$$

โดยที่ z เป็น ระยะทางรวม

c_{ij} เป็น ระยะทางจากจุดสำรวจ i ไปยังจุดสำรวจ j

x_{ij} เป็น ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเป็น 1 ถ้ามีการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j และมีค่าเป็น 0 ถ้าไม่เป็นเช่นนั้น

N เป็น เซตของจุดที่ต้องเดินทางผ่าน

n เป็น จำนวนจุดที่ต้องเดินทางผ่าน

เงื่อนไขบังคับ (1) เพื่อให้สำหรับแต่ละจุดสำรวจ i สามารถเดินทางไปยังจุดสำรวจอื่นได้เพียงจุดเดียวเท่านั้น เงื่อนไขบังคับ (2) เพื่อให้สำหรับแต่ละจุดสำรวจ j มีจุดสำรวจเพียงจุดเดียวเท่านั้นที่สามารถเดินทางมายังจุดสำรวจ j ได้ เงื่อนไขบังคับ (3) เป็นเงื่อนไขที่บังคับไม่ให้มีวงวน (loop) นั่นคือไม่มีการเดินทางจากจุดเดียวกันไปยังจุดเดียวกัน และเงื่อนไขบังคับ (4) เป็นเงื่อนไขบังคับไม่ให้เกิดเส้นทางเดินย่อยหรือสับทัวร์ (subtour)

จากตัวแบบข้างต้นจะเห็นว่ามีเงื่อนไขบังคับที่ทำให้คำตอบที่ได้ไม่เกิดสับทัวร์ ทำให้เกิดแนวคิดในการดัดแปลงตัวแบบ เพื่อนำมาใช้ในการแบ่งพื้นที่ย่อย

การดัดแปลงตัวแบบกระทำโดยการตัดเงื่อนไขบังคับที่ (4) ซึ่งมีจำนวนของอสมการเป็นแบบเลขชี้กำลังออกจากเงื่อนไขบังคับ ทำให้ได้ตัวแบบต่อไปนี้

ตัวแบบ TSP ผ่อนปรน (Relaxed TSP model)

$$\min z = \sum_{k=1}^{m} z_k$$

$$\text{s.t.} \sum_{j} x_{ij} = 1, \qquad \forall i \in N, N = \{1,2,\dots,179\} \qquad (5)$$

$$\sum_{i} x_{ij} = 1, \qquad \forall j \in N \qquad (6)$$

$$\sum_{i=j} x_{ij} = 0, \qquad \forall i,j \in N \qquad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i,j \in N$$

โดยที่ z_k เป็นระยะทางรวมของพื้นที่ย่อย

k เป็นกลุ่มของพื้นที่ย่อย

n_k เป็นจำนวนจุดสำรวจในกลุ่มของพื้นที่ย่อย k

คำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยตัวแบบข้างต้น ทำให้เกิดสับทัวร์ทั้งหมด 84 สับทัวร์ เราจะทำการปรับปรุงคำตอบที่ได้ให้มีจำนวนพื้นที่ย่อยตามต้องการและสอดคล้องกับความสามารถในการออกปฏิบัติงานแต่ละครั้งของ โดยที่ จำนวนพื้นที่ย่อยที่ต้องการจะเท่ากับจำนวนหน่วยพิทักษ์ป่า (15 จุด) นั่นคือ จะทำการปรับปรุงขั้นตอนวิธีดังกล่าวให้มีการรวมสับทัวร์ที่เกิดขึ้นให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่ต้องการด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

กำหนดให้

m แทน จำนวนสับทัวร์ทั้งหมด

n แทน จำนวนสับทัวร์ที่ต้องการ

S_i แทน สับทัวร์ที่ i

$|S|$ แทน จำนวนสมาชิกในเซต S

$d(S_i, S_j)$ แทน ระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่าง S_i กับ S_j

S แทน เซตของสับทัวร์ที่เป็นคำตอบของการแบ่งพื้นที่ย่อยที่ได้จากขั้นตอนวิธี 2.2

$\bar{S}$ แทน เซตของสับทัวร์ที่เหลือ

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณา $|S + \bar{S}|$

if $|S + \bar{S}| \leq n$

end จะได้ $S + \bar{S}$ เป็นคำตอบของการแบ่งพื้นที่ย่อย

else จะได้ $|S + \bar{S}| > n$

if $|\bar{S}| = \emptyset$

end จะได้ว่าไม่สามารถแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยให้แต่ละพื้นที่มีขนาด n ได้

else $|\bar{S}| \neq \emptyset$

เลือก $S_k \in \bar{S}, \bar{S} = \bar{S} - S_k$ เรียงลำดับสับทัวร์ที่เหลือเป็น $S_{k1}, S_{k2}, \dots, S_{k(|\bar{S}|-1)}$ โดยที่ $d(S_k, S_{k1}) \leq d(S_k, S_{k2}) \leq \cdots \leq d(S_k, S_{k(|\bar{S}|-1)})$

ขั้นตอนที่ 2 สำหรับทุก ๆ i โดยที่ $i = 1,2,\dots,|\bar{S}| - 1$

if $|S_k - S_{ki}| \leq 15$

เชื่อมสับทัวร์ S_k และ S_{ki}

$S_k = S_k + S_{ki}$

$\bar{S} = \bar{S} - S_k$

$i = i + 1$

else $|S_k - S_{ki}| > 15$

$i = i + 1$

ขั้นตอนที่ 3 ให้ $S = S + S_k$

ไปขั้นตอนที่ 1

การแบ่งพื้นที่ย่อยในการเดินสำรวจจากวิธีทั้งสองสามารถแบ่งได้วิธีละ 15 พื้นที่ย่อย โดยแต่ละพื้นที่ย่อยจะถูกนำไปพิจารณาหาเส้นทางเดินสำรวจที่สั้นที่สุดต่อไป

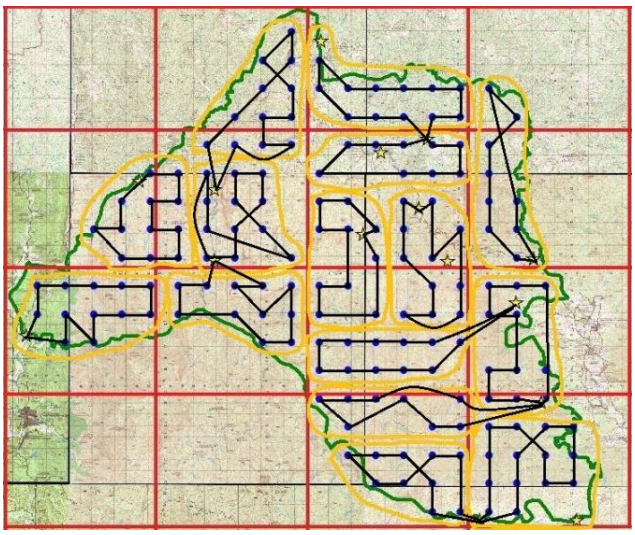
3. วิธีการหาเส้นทางเดินสำรวจในแต่ละพื้นที่ย่อย

ปัญหาการหาเส้นทางเดินสำรวจของเจ้าหน้าที่ป่าไม้เป็นปัญหาลักษณะเดียวกันกับปัญหา TSP ดังนั้น ในงานนี้จึงใช้ขั้นตอนวิธีของ [14] (ตัวแบบแรกใน 2.2) หาคำตอบ โดยขั้นตอนวิธีดังกล่าวใช้ภาษา Java ในการเขียนโปรแกรมหาคำตอบ ที่ซึ่งพิจารณาโครงข่ายของกราฟที่ระบุทิศทาง

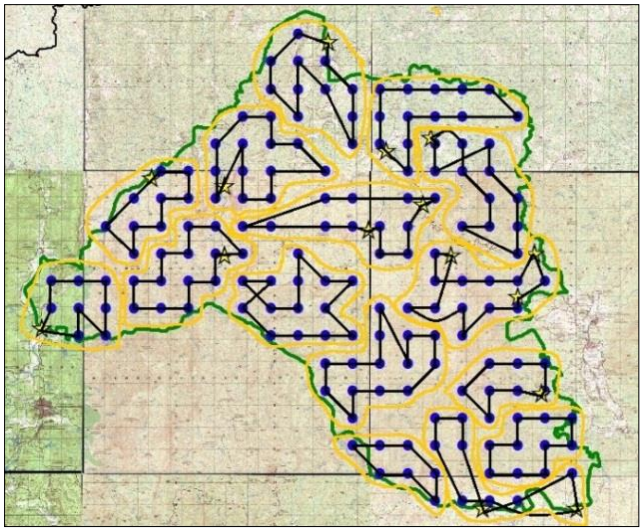
การหาคำตอบของ TSP ด้วยขั้นตอนวิธีของ [14] กระทำโดยการนำเงื่อนไขบังคับที่ (4) ออก ทำให้คำตอบที่ได้อาจเกิดสับทัวร์ขึ้น หากการหาคำตอบขั้นต้นไม่มีสับทัวร์ จะได้ว่าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่หากคำตอบขั้นต้นมีสับทัวร์จะต้องทำการรวมสับทัวร์เข้าด้วยกัน โดยต้องพิจารณาทิศทางของสับทัวร์ก่อนที่จะเชื่อมกันด้วย ทำให้การรวมสับทัวร์ของขั้นตอนวิธีนี้อาจไม่ให้คำตอบที่ดีที่สุด

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

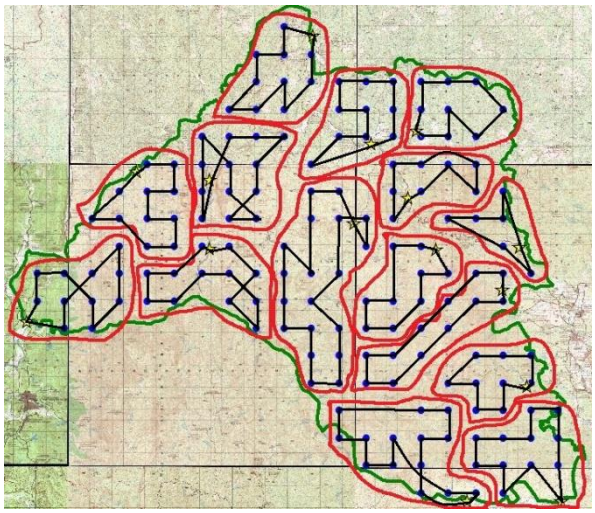
เส้นทางการเดินสำรวจในแต่ละพื้นที่ย่อยที่ได้จากการแบ่งพื้นที่ย่อยโดยใช้พื้นที่รูปสี่เหลี่ยม (วิธีที่ 1) และการแบ่งพื้นที่ย่อยโดยใช้การเชื่อมสับทัวร์ในกระบวนการของ TSP (วิธีที่ 2) แสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีเส้นทางการเดินสำรวจในแต่ละพื้นที่ย่อยที่ได้จากการแบ่งพื้นที่ย่อยโดยเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน (วิธีที่ 3) ซึ่งเจ้าหน้าที่แบ่งพื้นที่ย่อยตามประสบการณ์เป็น 15 พื้นที่ย่อย แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 3 เส้นทางเดินของแต่ละพื้นที่ย่อยจากการแบ่งพื้นที่ย่อยด้วยวิธีที่ 1



รูปที่ 4 เส้นทางเดินของแต่ละพื้นที่ย่อยจากการแบ่งพื้นที่ย่อยด้วยวิธีที่ 2



รูปที่ 5 เส้นทางเดินของแต่ละพื้นที่ย่อยจากการแบ่งพื้นที่ย่อยด้วยวิธีที่ 3

การหาเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดโดยใช้ขั้นตอนวิธีของ [14] จะมีการเชื่อมสับทัวร์ที่เกิดขึ้นแบบพิจารณาทิศทาง ทำให้คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่มีทิศทางและคำตอบนั้นอาจจะมีเส้นทางการเดินที่ไขว้กัน ดังรูปที่ 3-5 ซึ่งคำตอบที่มีเส้นทางไขว้กันจะไม่เป็นคำตอบที่ดีที่สุด เพราะถ้าทำการเชื่อมสับทัวร์แล้วไม่มีเส้นทางที่ไขว้กันจะได้คำตอบที่ดีกว่า

เส้นทางการเดินสำรวจในแต่ละพื้นที่ย่อยที่ได้จากการแบ่งโดยวิธีการต่าง ๆ จะทำให้ได้ระยะทางในการเดินสำรวจในแต่ละพื้นที่ย่อยน้อยที่สุด ดังนั้น ผลรวมของระยะทางในแต่ละพื้นที่ย่อยที่น้อยที่สุดจะเป็นระยะทางรวมที่เจ้าหน้าที่จะต้องเดินทางไปสำรวจ โดยที่ระยะทางรวมที่ได้จากการแบ่งพื้นที่ย่อยด้วยวิธีการต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระยะทางในการเดินสำรวจ (กิโลเมตร)

วิธีการแบ่งกลุ่ม	ระยะทางในพื้นที่ย่อย		ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะทางรวม
	น้อยที่สุด	มากที่สุด			
วิธีที่ 1	30.034	51.305	41.471	5.265	622.062
วิธีที่ 2	23.839	48.481	38.204	8.991	573.067
วิธีที่ 3	26.806	64.569	39.227	10.691	588.408

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำปัญหาการแบ่งกลุ่ม (clustering problem) ไปใช้ในการแบ่งจุดสำรวจในการเดินสำรวจทรัพยากรป่าไม้ เพื่อให้ระยะทางรวมที่เจ้าหน้าที่จะต้องเดินทางไปสำรวจน้อยที่สุด โดยแบ่งการพิจารณาปัญหาออกเป็นสองส่วน คือ 1. การหาวิธีการแบ่งพื้นที่ย่อย และ 2. การหาเส้นทางเดินสำรวจที่สั้นที่สุดในแต่ละพื้นที่ย่อย

การแบ่งพื้นที่ย่อยด้วยวิธีที่ 1-3 สามารถแบ่งพื้นที่ย่อยเป็น 15 พื้นที่ย่อย และใช้ขั้นตอนวิธีของ [14] ในการหาเส้นทางเดินที่สั้นที่สุด โดยการแบ่งพื้นที่ย่อยเพื่อเดินสำรวจด้วยวิธีที่ 2 ให้ผลรวมของระยะทางการเดินสำรวจน้อยที่สุด ซึ่งน้อยกว่าวิธีที่ 3 และวิธีที่ 1 ตามลำดับ นอกจากนี้ทั้งวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าวิธีที่ 3 นั่นคือ การแบ่งพื้นที่สำรวจด้วยวิธีที่ 3 จะทำให้ภาระหรือระยะทางในแต่ละพื้นที่ย่อยแตกต่างกันมากกว่าวิธีอื่น ๆ และมากกว่าวิธีที่ 1 ถึงเท่าตัว หากต้องการให้แต่ละหน่วยย่อยมีภาระเท่าเทียมกัน อาจจะเลือกกลุ่มย่อยที่แบ่งโดยวิธีที่ 2 ถึงแม้ว่าจะมีระยะทางรวมมากที่สุดก็ตาม

นอกจากนี้จะสังเกตว่าบางพื้นที่ย่อยในวิธีที่ 2 ไม่มีหน่วยพิทักษ์ป่าเลย ทั้งนี้เนื่องจากการแบ่งแบบนี้ไม่ได้มีเงื่อนไขบังคับให้แต่ละพื้นที่ย่อยมีหน่วยพิทักษ์ป่า จึงทำให้บางพื้นที่ย่อยมีหน่วยพิทักษ์ป่ามากกว่าหนึ่งหน่วย เนื่องจากในทางปฏิบัติจริงไม่จำเป็นต้องมีหน่วยพิทักษ์ป่าในแต่ละพื้นที่ย่อย จึงไม่ได้บังคับให้แต่ละสับทัวร์มีหน่วยพิทักษ์ป่าด้วย อย่างไรก็ตามขั้นตอนวิธีที่ 2 ที่ปรับปรุงขึ้นจากการรวมสับทัวร์จะไม่สามารถบังคับให้แต่ละพื้นที่ย่อยมีหน่วยพิทักษ์ป่าได้ หากมีความจำเป็นดังกล่าว หรือต้องการนำขั้นตอนวิธีไปใช้กับปัญหาอื่นที่มีการบังคับให้มีบางจุดอยู่ในกลุ่มย่อยจะต้องปรับปรุงขั้นตอนวิธีให้รองรับในส่วนนี้

แต่อย่างไรก็ตามวิธีการแบ่งกลุ่มย่อยและเส้นทางเดินในแต่ละกลุ่มย่อยที่งานนี้หาได้จะเป็นทางเลือกให้เจ้าหน้าที่นำไปปรับใช้ในการวางแผนก่อนออกปฏิบัติงานจริง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายเสริมพงศ์ นวลงาม นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการ หัวหน้ากลุ่มงานวิชาการ และนายยศกร บุญวัฒน์ ช่างเขียนแผนที่ ช. 2 สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 16 สาขาแม่สะเรียง สำหรับความอนุเคราะห์เรื่องข้อมูลการศึกษาเส้นทางเดินสำรวจทรัพยากรป่าไม้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. กลุ่มสำรวจทรัพยากรป่าไม้ ส่วนสำรวจและวิเคราะห์ทรัพยากรป่าไม้ เอกสาร รายงานทั่วประเทศ, สืบค้นเมื่อวันที่ 2557 พฤศจิกายน 7, จาก http://www.dnp.go.th/inventory/Downloads.html

[2] Kesheng Wang, “Applying data mining to manufacturing: the nature and implications,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 18, pp. 487–495, 2007.

[3] Ameer Ahmed Abbasi and Mohamed Younis, “A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks,” *Computer Communications*, vol. 30, pp. 2826–2841, 2007.

[4] Chunyang Hea, Yuanyuan Zhaob, Jie Tianc and Peijun Shia, “Modeling the urban landscape dynamics in a megalopolitan cluster area by incorporating a gravitational field model with cellular automata,” *Landscape and Urban Planning*, vol. 113, pp. 78–89, 2013.

[5] Vincent Corbel, Martin Akogbeto, Georgia B Damien, Armel Djenontin, Fabrice Chandre, Christophe Rogier, Nicolas Moiroux, Joseph Chabi, Bio Banganna, Gil G Padonou and Marie-Claire Henry, “Combination of malaria vector control interventions in pyrethroid resistance area in Benin: a cluster randomized controlled trial,” *Lancet Infect Dis*, vol. 12, pp. 617-626, August 2012.

[6] Gong-bing Bi, Wen Song and Jie Wu, “A clustering method for evaluating the environmental performance based on slacks-based measure,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 72, pp. 169–177, 2014.

[7] Edward T. Vieira Jr.a and Susan Grantham, “Defining public relations roles in the U.S.A. using cluster analysis,” *Public Relations Review*, vol. 40, pp. 60–68, 2014.

[8] Tapas Kanungo, David M. Mount, Nathan S. Netanyahu, Christine D. Piatko, Ruth Silverman, and Angela Y. Wu, “An Efficient k-Means Clustering Algorithm: Analysis and Implementation,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, No. 7, pp. 881-892, JULY 2002.

[9] Xiaoguang Bao and Zhaohui Liu, “An improved approximation algorithm for the clustered traveling salesman problem,” *Information Processing Letters*, vol. 112, pp. 908–910, 2012.

[10] DING Chao, CHENG Ye and HE Miao, “Two-Level Genetic Algorithm for Clustered Traveling Salesman Problem with Application in Large-Scale TSPs,” *Tsinghua Science and Technology,* vol. 12, pp. 459-465, August 2007.

[11] Dalian Liu, Xinfeng Wang and Jinling Du, “A Clustering-Based Evolutionary Algorithm for Traveling Salesman Problem,” in *Proc.2009 International Conference on Computational Intelligence and Security*, pp. 118-122.

[12] Mário Mestria, Luiz Satoru Ochi and Simone de Lima Martins, “GRASP with path relinking for the symmetric Euclidean clustered traveling salesman problem,” *Computers & Operations Research*, vol. 40, pp. 3218–3229, 2013.

[13] R.Nallusamy, K.Duraiswamy, R.Dhanalaksmi and P. Parthiban “Optimization of Non-Linear Multiple Traveling Salesman Problem Using K-Means Clustering, Shrink Wrap Algorithm and Meta-Heuristics,” International Journal of Nonlinear Science, vol. 8, pp. 480-487, 2009.

[14] Pidchaporn Panyoyai, Chulin Likasiri, Pachara Tinamas and Wetchayan Rangsri, “Logistic Models and Algorithms for a Biomass Transportation System,” *Chiang Mai J. Sci.*, vol. 40, pp. 459-470, 2013.

[15] Robert Bowerman, Brent Hall and Paul Calamai, “Multi-objective optimization approach to urban school bus routing: formulation and solution method,” Transp. Res. – A., vol. 29A, pp. 107-123, 1995.

[16] Paul F. Hanley, “Transportation cost changes with statewide school district consolidation,” *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 41, pp. 163–179, 2007.

[17] David Ripplinger, “Rural School Vehicle Routing Problem,” *Journal of the Transportation Research Board*, pp. 105–110, 2005.

[18] Exnar Filip and Macha Otakar, “The Travelling Salesman Problem and its Application in Logistic Practice,” *Wseas Transactions on Business and economics*, vol. 8, pp. 163–173, October 2011.

[19] Petrica C. Pop, Imdat Kara and Andrei Horvat Marc, “New mathematical models of the generalized vehicle routing problem and extensions,” *Applied Mathematical Modelling*, vol. 36, pp. 97–107, 2012.

8. ชีวประวัติ

นางสาวกนกอร เหลืองทรัพย์ทวี
นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาคณิตศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

นายพชร ตินะมาส
อาจารย์วิทยาลัยศิลปะ สื่อ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผศ.ดร.จูลิน ลิคะสิริ
อาจารย์ประจำภาควิชาคณิตศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่