

**การวางแผนเส้นทางการท่องเที่ยวที่มีวัตถุประสงค์ให้เกิดความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวสูงสุด
ภายใต้ข้อจำกัดของงบประมาณและเวลาด้วยวิธีตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม**

ธีระเดช ไทสุพรรณวงศ์^{*1}

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

Received: 03 March 2024; Revised: 18 May 2024; Accepted: 23 May 2024

บทคัดย่อ

การวางแผนเส้นทางการท่องเที่ยวเพื่อให้ได้เส้นทางการท่องเที่ยวที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากเส้นทางการท่องเที่ยวที่เหมาะสมสามารถทำให้นักท่องเที่ยวประหยัดเวลาในการเดินทาง ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง รวมถึงได้รับความพึงพอใจและประสบการณ์ที่ประทับใจจากการท่องเที่ยวได้ งานวิจัยนี้นำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับวางแผนเส้นทางการท่องเที่ยว โดยมีพื้นฐานมาจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย วัตถุประสงค์ของตัวแบบที่นำเสนอมี 2 อย่างคือ ทำให้นักท่องเที่ยวมีความพึงพอใจต่อสถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ในเส้นทางการท่องเที่ยวมากที่สุดซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลัก และทำให้ระยะทางรวมตลอดเส้นทางการท่องเที่ยวน้อยที่สุดซึ่งเป็นวัตถุประสงค์รอง ข้อจำกัดที่พิจารณาในการวางแผนเส้นทางการท่องเที่ยวคือ ค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้เยี่ยมชมทุกสถานที่ในเส้นทางการท่องเที่ยวต้องไม่เกินค่าที่นักท่องเที่ยวกำหนด และการท่องเที่ยวจะต้องเริ่มเดินทางออกจากจุดนัดพบหรือที่พักซึ่งเป็นสถานที่เริ่มต้นของการเดินทาง ไปยังสถานที่ต่าง ๆ ในเส้นทางการท่องเที่ยว แล้วกลับมาที่จุดเริ่มต้นหลังเสร็จสิ้นการเดินทาง ในงานวิจัยนี้ สถานที่บางแห่งอาจไม่ถูกเลือกอยู่ในเส้นทางการท่องเที่ยวเนื่องจากข้อจำกัดของงบประมาณและเวลา ตัวแบบที่นำเสนอถูกทดสอบกับปัญหาทดสอบ 3 ปัญหา (ปัญหาที่ 1 – 3) โดยใช้ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่น่าสนใจ 6 แห่งในกรุงเทพมหานคร, 11 แห่งในจังหวัดนครปฐม, และ 16 แห่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาตามลำดับ แต่ละปัญหากำหนดเวลาที่ใช้เยี่ยมชมสถานที่ท่องเที่ยวทั้งหมดไม่เกิน 8 ชั่วโมง และกำหนดงบประมาณที่ใช้ตลอดเส้นทางการท่องเที่ยวไม่เกิน 1400, 1800, และ 500 บาท ในปัญหาที่ 1 – 3 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ตัวแบบที่นำเสนอสามารถหาเส้นทางการท่องเที่ยวที่เหมาะสมที่สุดในทุกปัญหา โดยปัญหาที่ 1 – 3 มีจำนวนสถานที่ที่ถูกเลือกอยู่ในเส้นทางการท่องเที่ยว 6, 9, และ 13 แห่งตามลำดับ ผลลัพธ์จากตัวแบบสามารถสร้างตารางเวลาการท่องเที่ยว ซึ่งระบุว่าการท่องเที่ยวต้องเดินทางตามเส้นทางไปถึงแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว และออกจากแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว ณ เวลาใด ตัวแบบที่นำเสนอสามารถเป็นทางเลือกในการจัดเส้นทางการท่องเที่ยวให้กับนักท่องเที่ยวในสถานการณ์จริงได้

คำสำคัญ: กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม, การวางแผนเส้นทาง, การท่องเที่ยว

^{*} Corresponding author. E-mail: laisupannawong_t@su.ac.th

¹ อาจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Planning a Tourist Route with the Objective of Maximizing Tourist Satisfaction Within Budget and Time Constraints Using a Mixed Integer Linear Programming Model

Teeradech Laisupannawong^{*1}

Department of Mathematics, Faculty of Science, Silpakorn University, Muang, Nakhon Pathom 73000

Received: 03 March 2024; Revised: 18 May 2024; Accepted: 23 May 2024

Abstract

Planning a tourist route to create an optimal tourist itinerary is crucial because it can save travel time, travel expenses, as well as provide satisfaction and memorable experiences from the journey. This paper presents a mixed integer linear programming model for planning a tourist route that is based on the traveling salesman problem. The proposed model has two objectives. The first is the main objective which is to maximize the satisfaction of tourists with the tourist attractions on the tourist route. The second is the secondary objective which is to minimize the overall travel distance. The constraints considered in this study include ensuring that the expenses and time spent visiting all tourist attractions within the tourist route do not exceed the limits set by the tourists. Furthermore, the tourists must start at the starting point (meeting point or accommodation), go through all tourist attractions along the tourist route, and then come back to the starting point. In this paper, some tourist attractions may not be selected to be on the tourist route due to budget and time constraints. The proposed model was tested with three test problems (Problems 1 – 3) using data on six interesting tourist attractions in Bangkok, 11 in Nakhon Pathom, and 16 in Ayutthaya, respectively. Each problem was assigned a maximum visit time to all tourist attractions on the route, not exceeding 8 hours, and a budget for the entire tour, not exceeding 1400, 1800, and 500 Baht for Problems 1 – 3, respectively. The results showed that the proposed model could find an optimal tourist route for all test problems, where the number of selected tourist attractions on the optimal tourist route in Problems 1 – 3 are 6, 9, and 13, respectively. The solution from the proposed model can be used to create a travel timetable specifying arrival and departure times for each destination. Moreover, it can be used as an option to find an optimal tourist route for travelers in a real-life situation.

Keywords: mixed integer linear programming, route planning, travel

^{*} Corresponding author. E-mail: laisupannawong_t@su.ac.th

¹ Lecturer in Department of Mathematics, Faculty of Science, Silpakorn University

1. บทนำ

การท่องเที่ยวเป็นอุตสาหกรรมหลักที่สำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของหลายประเทศทั่วโลก อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวมีความเกี่ยวข้องกับการเดินทาง ที่พัก อาหาร สินค้า และบริการต่าง ๆ ซึ่งล้วนเป็นธุรกิจที่สร้างรายได้ให้กับประเทศ ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีรายได้จากอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก เนื่องจากประเทศไทยมีสถานที่ท่องเที่ยวมากมาย ทั้งสถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่สวยงาม หรือสถานที่ท่องเที่ยวทางวัฒนธรรม ซึ่งเป็นเป้าหมายในการท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวจากทั่วโลก ดังนั้นอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวจึงเป็นอุตสาหกรรมที่สร้างรายได้ให้กับประเทศไทยและยังคงมีแนวโน้มขยายตัวสูงขึ้น

ในการท่องเที่ยวแต่ละครั้ง การวางแผนการท่องเที่ยวเป็นสิ่งสำคัญ เพราะแผนการท่องเที่ยวที่ดีจะช่วยให้สามารถจัดการท่องเที่ยวให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้เกิดความพึงพอใจและความประทับใจในการท่องเที่ยวได้ สำหรับบริษัทนำเที่ยว แผนการท่องเที่ยวที่เหมาะสมจะสามารถดึงดูดนักท่องเที่ยวให้มาใช้บริการกับบริษัทได้มากขึ้น หรือสำหรับนักท่องเที่ยว แผนการท่องเที่ยวที่เหมาะสมจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายหรือเวลาในการท่องเที่ยวได้ ในแต่ละครั้งของการท่องเที่ยวนั้น นักท่องเที่ยวมักต้องการที่จะเยี่ยมชมหลายสถานที่ท่องเที่ยว แต่นักท่องเที่ยวเองก็มีข้อจำกัดที่ต้องคำนึงถึงในการเดินทางท่องเที่ยว การวางแผนเส้นทางการท่องเที่ยวเพื่อให้ตอบสนองกับความต้องการของนักท่องเที่ยวจึงมีความสำคัญอย่างมาก และหากทำการวางแผนการท่องเที่ยวด้วยมืออาจจะไม่ได้แผนการท่องเที่ยวที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมเพื่อหาแผนการท่องเที่ยวที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาปัจจัยของระยะทางระหว่างสถานที่ท่องเที่ยว เวลาการเดินทาง เวลาเยี่ยมชมงบประมาณ และความพึงพอใจในแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบัน ปัญหาการวางแผนเส้นทางการท่องเที่ยวถูกศึกษาอย่างกว้างขวาง ปัญหานี้สามารถแก้ได้เบื้องต้นได้ด้วยการประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (traveling salesman problem) ในปัญหา

การเดินทางของพนักงานขายจะมีสถานที่ที่พิจารณาอยู่จำนวนหนึ่ง วัตถุประสงค์ของปัญหาคือ ต้องการหาเส้นทางที่ใช้เวลาหรือระยะทางรวมต่ำที่สุด โดยที่พนักงานขายจะต้องเดินทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ ให้ครบทุกสถานที่ โดยผ่านแต่ละสถานที่เพียงครั้งเดียว และกลับมายังจุดเริ่มต้น ในปัจจุบันมีงานวิจัยของปัญหาการวางแผนเส้นทางการท่องเที่ยวที่มีพื้นฐานจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขายอยู่เป็นจำนวนมาก

ัญญารัตน์ บุญเชิด และคณะ [1] ได้ศึกษาการจัดเส้นทางการท่องเที่ยว โดยนำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเป้าหมายที่มีข้อจำกัดที่ปรับปรุงจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยเส้นทางการท่องเที่ยวที่ถูกสร้างขึ้นไม่จำเป็นต้องมีครบทุกสถานที่ที่พิจารณา และทำให้เวลาค่าใช้จ่าย และความพึงพอใจของนักท่องเที่ยว มีค่าเบี่ยงเบนจากค่าที่ตั้งเป้าหมายไว้ให้น้อยที่สุด

ในปี 2009 Vansteenwegen et al. [2] ได้พิจารณาปัญหาการจัดเส้นทางการท่องเที่ยว โดยนำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมที่มีวัตถุประสงค์ทำให้คะแนน (score) ของสถานที่ที่ถูกเลือกอยู่ในเส้นทางการท่องเที่ยวมีค่าสูงที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดของเวลาในการท่องเที่ยวตลอดเส้นทางต้องไม่เกินค่าที่กำหนด และการท่องเที่ยวไม่ต้องกลับมาที่จุดเริ่มต้น และในปี 2011 Vansteenwegen et al. [3] ได้นำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมของปัญหาการจัดเส้นทางการท่องเที่ยวโดยเพิ่มข้อจำกัดว่าการท่องเที่ยวต้องกลับมาที่จุดเริ่มต้นเมื่อสิ้นสุดการเดินทาง

Zhu et al. [4] ได้เสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการท่องเที่ยวซึ่งมีวัตถุประสงค์ทำให้ความพึงพอใจจากทุกสถานที่ท่องเที่ยวที่ไปเยี่ยมชมและที่พักมีค่าสูงที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดของงบประมาณต้องไม่เกินค่าที่กำหนดและเวลาที่เข้าเยี่ยมชมสถานที่ท่องเที่ยวต้องอยู่ในช่วงเวลาที่กำหนด

Wu et al. [5] ได้เสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการท่องเที่ยวโดยวัตถุประสงค์ปัญหาคือ ต้องการทำให้ความพึงพอใจจากการเดินทางและความพึงพอใจจากกิจกรรมในการท่องเที่ยวมีค่าสูงที่สุด โดยมีข้อจำกัดของปัญหาคือ งบประมาณของการ

ท่องเที่ยวต้องไม่เกินค่าที่กำหนดและเวลาท่องเที่ยวตลอดเส้นทางต้องอยู่ในช่วงเวลาที่กำหนด

Hashim & Ismail [6] ได้ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางท่องเที่ยวในรัฐตรังกานูของประเทศมาเลเซีย โดยนำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเป้าหมายที่ใช้ข้อจำกัดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย วัตถุประสงค์ของปัญหาคือ ต้องการให้ระยะทาง ค่าที่พัก และจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวในเส้นทางท่องเที่ยวมีค่าเบี่ยงเบนจากค่าที่ตั้งไว้ให้น้อยที่สุด

Afriani et al. [7] ได้เสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเป้าหมายสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางท่องเที่ยวในจังหวัดสุมาตราตะวันตก ประเทศอินโดนีเซีย โดยมีวัตถุประสงค์คือ ทำให้ระยะทาง ค่าใช้จ่าย และเวลาเดินทางตลอดการท่องเที่ยวมีค่าเบี่ยงเบนจากค่าที่กำหนดไว้ให้น้อยที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

Brandinu & Trautmann [8] ได้พิจารณาปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางรถท่องเที่ยว โดยพิจารณาปัญหาซึ่งมีรถบัส 5 คัน และรถบัสแต่ละคันต้องเดินทางเพื่อไปทำกิจกรรมตามสถานที่ต่าง ๆ ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ภายใต้เงื่อนไขว่าไม่สามารถมีรถบัสมากกว่าหนึ่งคันสามารถทำกิจกรรมที่เดียวกันพร้อมกันได้ และมีเงื่อนไขของกิจกรรมที่ต้องทำตามลำดับก่อนหลัง งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม โดยมีวัตถุประสงค์ทำให้เวลารอคอยเพื่อทำกิจกรรมของรถบัสแต่ละคัน และเวลาเดินทางรวมของรถบัสทุกคันมีค่าน้อยที่สุด

Sirirak & Pitakaso [9] ได้พิจารณาปัญหาการจัดเส้นทางส่งสินค้าการเกษตรจากฟาร์มไปยังสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ ในจังหวัดเชียงราย โดยนำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับหาเส้นทางขนส่งที่มีวัตถุประสงค์คือ ทำให้ระยะทางรวมในการส่งสินค้าไปยังสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ มีค่าต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดว่าสินค้าต้องถูกส่งไปถึงในช่วงเวลาที่เปิดทำการของสถานที่ท่องเที่ยว

Bektaş & Elmastaş [10] ได้นำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางรถบัสโรงเรียน รถบัสแต่ละคันต้องไปรับนักเรียนตามจุดต่าง ๆ โดยงานวิจัยนี้พิจารณาข้อจำกัดได้แก่ ความจุของ

รถบัส ระยะทางสูงสุดของรถบัสที่สามารถวิ่งได้ และแต่ละจุดจะถูกรับได้โดยรถบัสเพียงคันเดียว วัตถุประสงค์ของปัญหา คือ ต้องการหาจำนวนรถบัสที่น้อยที่สุด และเส้นทางเดินทางรถบัสของแต่ละคัน เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางมีค่าน้อยที่สุด

นอกจากวรรณกรรมของปัญหาการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยวที่แก้ปัญหาด้วยวิธีตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) แล้ว ยังมีวรรณกรรมอื่น ๆ ที่แก้ปัญหานี้ด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก (metaheuristic) อีกหลายงานวิจัย เช่น วิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) [11] วิธีจำลองอบอ้อน (simulated annealing) [12, 13] วิธีการค้นหาตาบู่ (tabu search) [14] และวิธีเมตาฮิวริสติกผสมระหว่างวิธีเชิงพันธุกรรมกับวิธีค้นหาค่าตอบย่านใกล้เคียง (variable neighborhood search) [15] เป็นต้น

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการหาเส้นทางท่องเที่ยวสามารถถูกสร้างเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ได้หลายรูปแบบ ทั้งตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม ตัวแบบกำหนดการเชิงเป้าหมาย รวมถึงสามารถใช้วิธีเมตาฮิวริสติกในการแก้ปัญหาได้ งานวิจัยนี้สนใจการแก้ปัญหาการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยวด้วยวิธีตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยใช้วิธีตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

สำหรับปัญหาการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยวที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ปรับปรุงขอบเขตของปัญหาการจัดเส้นทางท่องเที่ยวในงานวิจัยของธัญญรัตน์ และคณะ [1] โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ทุกสถานที่ไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นทางท่องเที่ยวทั้งหมดเช่นเดียวกับใน [1] และการเพิ่มเติมและปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของปัญหาดังนี้

1. งานวิจัยนี้พิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยวโดยต้องการสร้างเส้นทางท่องเที่ยวให้เกิดความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวสูงสุดเป็นวัตถุประสงค์หลัก รวมทั้งมีระยะทางรวมในเส้นทางท่องเที่ยวต่ำที่สุดเป็นวัตถุประสงค์รอง ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 2

ประการนี้พร้อมกันยังไม่เคยถูกศึกษามาก่อนในวรรณกรรม

- งานวิจัยนี้พิจารณาข้อจำกัดว่า เวลาและค่าใช้จ่ายที่ใช้เยี่ยมชมทุกสถานที่ในเส้นทางการท่องเที่ยวต้องไม่เกินค่าที่กำหนด ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของธัญญารัตน์ และคณะ [1] ที่พิจารณาเวลาและค่าใช้จ่ายให้มีการเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ให้น้อยที่สุด
- งานวิจัยนี้เพิ่มข้อจำกัดว่า ในปัญหาจะมีสถานที่แห่งหนึ่งเป็นที่พักหรือจุดนัดพบของนักท่องเที่ยว ซึ่งเป็นสถานที่เริ่มต้นของการเดินทาง และต้องกลับมาที่สถานที่แห่งนี้หลังเสร็จสิ้นการเดินทาง
- งานวิจัยนี้เพิ่มข้อจำกัดที่ทำให้ตัวแบบที่นำเสนอสามารถบอกเวลาที่เดินทางไปถึงแต่ละสถานที่ในเส้นทางการท่องเที่ยว ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นตารางเวลาการท่องเที่ยวในสถานการณ์จริงได้

3. ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมที่นำเสนอ

สำหรับปัญหาการวางแผนเส้นทางการท่องเที่ยวที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ มีรายละเอียดดังนี้ กำหนดให้มีสถานที่ท่องเที่ยวที่สนใจอยู่จำนวน n สถานที่ แต่ละสถานที่จะถูกกำหนดว่ากลุ่มนักท่องเที่ยวจะใช้เวลาเยี่ยมชมในสถานที่นั้น ๆ เป็นเวลานานเท่าใด ซึ่งหนึ่งในสถานที่เหล่านี้จะเป็นจุดเริ่มต้นของการเดินทาง ปัญหาคือการหาเส้นทางการท่องเที่ยว (tour) ที่เริ่มต้นจากจุดเริ่มต้น และเดินทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ เพียงครั้งเดียว และกลับมาที่จุดเริ่มต้น โดยไม่จำเป็นต้องเดินทางให้ครบทุกสถานที่ เพื่อให้ได้วัตถุประสงค์หลักคือ เกิดความพึงพอใจของกลุ่มนักท่องเที่ยวสูงสุด และวัตถุประสงค์รองคือ ให้ระยะทางรวมของเส้นทางการท่องเที่ยวสั้นที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดคือ ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในทุกสถานที่ท่องเที่ยวรวมกันต้องไม่เกินงบประมาณที่นักท่องเที่ยวกำหนดไว้ และเวลาที่ใช้เยี่ยมชมในทุกสถานที่ท่องเที่ยวรวมกันต้องไม่เกินเวลาที่นักท่องเที่ยวกำหนดไว้ นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ใช้สมมติฐานว่า นักท่องเที่ยวแต่ละคนกำหนดจำนวนเงินที่จะใช้จ่ายในแต่ละสถานที่เป็นจำนวน

เท่ากัน และนักท่องเที่ยวแต่ละคนมีงบประมาณสำหรับใช้จ่ายตลอดการท่องเที่ยวเป็นจำนวนเท่ากัน

สำหรับพารามิเตอร์ ดังนี้ และตัวแปรตัดสินใจที่ใช้ในตัวแบบที่นำเสนอมีดังนี้

ดัชนี

i, j เป็นดัชนีของสถานที่

พารามิเตอร์

n แทนจำนวนสถานที่ และกำหนดให้ $N = \{1, 2, \dots, n\}$ เป็นเซตของสถานที่ทั้งหมด

d_{ij} แทนระยะทางจากสถานที่ $i \in N$ ไปยังสถานที่ $j \in N$

q_{ij} แทนเวลาที่ใช้เดินทางจากสถานที่ $i \in N$ ไปยังสถานที่ $j \in N$

p_i แทนระดับความพึงพอใจ (เฉลี่ย) ในสถานที่ i ของกลุ่มนักท่องเที่ยว

c_i แทนค่าใช้จ่ายที่ใช้ในสถานที่ i ของนักท่องเที่ยวต่อคน

a_i แทนเวลาที่ใช้เยี่ยมชมในสถานที่ i

f แทนงบประมาณที่มีของนักท่องเที่ยวต่อคน

g แทนเวลารวมที่ใช้เยี่ยมชมในทุกสถานที่ท่องเที่ยวของกลุ่มนักท่องเที่ยว

M แทนจำนวนบวกขนาดใหญ่

ε แทนจำนวนบวกขนาดเล็ก

ตัวแปรตัดสินใจ

x_{ij} เป็นตัวแปรไบนารี จะมีค่าเป็น 1 ถ้ามีการเดินทางจากสถานที่ i ไปยังสถานที่ j และเป็น 0 ถ้าไม่ใช่

u_i เป็นตัวแปรต่อเนื่อง ที่ใช้ป้องกันการเกิดการเดินทางย่อย (subtour) ในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

y_i เป็นตัวแปรไบนารี จะมีค่าเป็น 1 ถ้าสถานที่ i ถูกเลือกอยู่ในเส้นทางการท่องเที่ยว และเป็น 0 ถ้าไม่ใช่

t_i เป็นตัวแปรต่อเนื่อง ที่แทนเวลาที่เดินทางไปถึงสถานที่ i ในเส้นทางการท่องเที่ยว

ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมของปัญหาการวางแผนเส้นทางการท่องเที่ยวที่นำเสนอ เป็นดังนี้

$$\max \sum_{i=1}^n p_i y_i - \varepsilon \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1, i \neq j}^n x_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1 \quad \forall i, j \in N - \{1\}, i \neq j \quad (4)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji} = \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij} \quad \forall i \in N \quad (5)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji} + \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij} = 2y_i \quad \forall i \in N \quad (6)$$

$$y_1 = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n c_i y_i \leq f \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i y_i \leq g \quad (9)$$

$$t_1 = 0 \quad (10)$$

$$t_i + (a_i + q_{ij}) - (1 - x_{ij})M \leq t_j \quad \forall i, j \in N, i \neq j, j \neq 1 \quad (11)$$

$$t_j \leq t_i + (a_i + q_{ij}) + (1 - x_{ij})M \quad \forall i, j \in N, i \neq j, j \neq 1 \quad (12)$$

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

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in N$$

$$u_i \geq 0 \quad \forall i \in N - \{1\}$$

$$t_i \geq 0 \quad \forall i \in N$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (1) ของตัวแบบที่นำเสนอเป็นการหาค่าสูงสุดซึ่งประกอบด้วย 2 เทอม โดยเทอมแรกคือ วัตถุประสงค์หลักซึ่งต้องการให้ความพึงพอใจรวมที่เกิดจากสถานที่ที่ถูกเลือกอยู่ในเส้นทางท่องเที่ยวมีค่าสูงสุด และเทอมที่สองเป็นวัตถุประสงค์รองซึ่งต้องการให้ค่าติดลบของผลรวมระยะทางในเส้นทางท่องเที่ยวมีค่าสูงสุด หรือเป็นการทำให้ค่าที่เป็นบวกของผลรวมระยะทางในเส้นทางท่องเที่ยวมีค่าต่ำที่สุดนั่นเอง โดยเทอมที่สองจะมีค่า ε ซึ่งเป็นจำนวนบวกขนาดเล็กคูณอยู่ ด้วยธรรมชาติของ

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต้องการหาค่าสูงสุด จะพยายามทำให้เทอมแรกมีค่าสูงที่สุดก่อน (ทำให้ความพึงพอใจรวมสูงสุดเป็นวัตถุประสงค์หลัก) จากนั้นค่อยพยายามทำให้เทอมที่สองมีค่าสูงสุดในลำดับต่อมา (ทำให้ระยะทางรวมในเส้นทางท่องเที่ยวต่ำสุดเป็นวัตถุประสงค์รอง)

ข้อจำกัด (2) และ (3) บังคับให้แต่ละสถานที่จะต้องมีการเดินทางเข้าและเดินทางออกจากสถานที่นั้นได้มากที่สุดไม่เกิน 1 ครั้ง ส่วนข้อจำกัด (4) เป็นข้อจำกัดที่ป้องกันไม่ให้เกิดการเดินทางย้อนภายในเส้นทางท่องเที่ยว เช่นเดียวกับในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ข้อจำกัด (5) บังคับให้จำนวนครั้งของการเดินทางเข้าสถานที่ใด ต้องเท่ากับจำนวนครั้งของการเดินทางออกจากสถานที่นั้น ส่วนข้อจำกัด (6) บังคับว่า ถ้าสถานที่ i ถูกเลือกอยู่ในเส้นทางท่องเที่ยว แล้วจะต้องมีการเดินทางเข้าและออกจากสถานที่ i

ข้อจำกัด (7) บังคับให้สถานที่ $i = 1$ ต้องอยู่ในเส้นทางท่องเที่ยว โดยในงานวิจัยนี้สมมติว่าสถานที่ $i = 1$ เป็นที่พักหรือจุดนัดพบกันของกลุ่มนักท่องเที่ยว ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นของการเดินทาง และจะต้องกลับมาสถานที่นี้เมื่อเสร็จสิ้นการเดินทาง

ข้อจำกัด (8) บังคับให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายทั้งหมดของนักท่องเที่ยวแต่ละคนที่ใช้ตลอดเส้นทางท่องเที่ยวจะต้องไม่เกินงบประมาณที่นักท่องเที่ยวกำหนด ส่วนข้อจำกัด (9) บังคับให้เวลารวมที่ใช้เยี่ยมชมในทุกสถานที่ที่เลือกมา จะต้องไม่เกินเวลารวมที่ใช้เยี่ยมชมในทุกสถานที่ท่องเที่ยวที่ถูกกำหนดโดยนักท่องเที่ยว

ข้อจำกัด (10) กำหนดให้เวลาที่เริ่มต้นเดินทางออกจากจุดเริ่มต้นของการเดินทางเป็นเวลาที่เริ่มต้นเท่ากับศูนย์ ส่วนข้อจำกัด (11) และ (12) เป็นข้อจำกัดที่เก็บค่าตัวแปรเวลาที่เดินทางไปถึงแต่ละสถานที่ในเส้นทางท่องเที่ยว ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ ถ้า $x_{ij} = 1$ หรือมีการเดินทางจากสถานที่ i ไปยังสถานที่ j จะได้ว่า $t_i + (a_i + q_{ij}) \leq t_j$ และ $t_j \leq t_i + (a_i + q_{ij})$ ในข้อจำกัด (11) และ (12) ตามลำดับ ซึ่งได้ว่า $t_j = t_i + (a_i + q_{ij})$ หรือเวลาที่เดินทางไปถึงสถานที่ j เท่ากับเวลาที่เดินทางไปถึงสถานที่ i ก่อนหน้า รวมกับเวลาที่เยี่ยมชมในสถานที่ i และเวลาที่ต้องใช้เดินทางจากสถานที่ i มายังสถานที่ j แต่ถ้า $x_{ij} =$

0 หรือไม่มีการเดินทางจากสถานที่ i ไปยังสถานที่ j จะได้ว่าทั้งสองข้อจำกัดนี้จะเป็นเงื่อนไขไม่จำเป็น (redundant) นอกจากนี้ ข้อจำกัด (11) และ (12) จะไม่รวมกรณีที่ $j = 1$ เพราะกรณีที่ $j = 1$ ถูกกำหนดโดยข้อจำกัดที่ (10) ซึ่งเป็นค่าเวลาที่เริ่มต้นเดินทางออกจากจุดเริ่มต้นของการเดินทาง

สำหรับผลลัพธ์จากตัวแบบที่นำเสนอ จะให้เส้นทางการท่องเที่ยวที่มีจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ภายใต้ข้อจำกัดของงบประมาณและเวลาการท่องเที่ยวรวมที่กำหนดโดยผู้ใช้ การท่องเที่ยวจะเริ่มต้นออกจากจุดเริ่มต้น (ที่พักหรือจุดนัดพบ) และไปตามสถานที่ต่าง ๆ ในเส้นทางการท่องเที่ยว แล้วกลับมาที่จุดเริ่มต้นอีกครั้งหลังเสร็จสิ้นการเดินทาง เส้นทางการท่องเที่ยวที่ได้จะให้ค่าผลรวมความพึงพอใจของสถานที่ท่องเที่ยวทั้งหมดมีค่าสูงที่สุด (ตามวัตถุประสงค์หลัก) พร้อมทั้งระยะทางรวมตลอดเส้นทางการท่องเที่ยวมีค่าต่ำที่สุด (ตามวัตถุประสงค์รอง) นอกจากนี้ ผลลัพธ์จากตัวแบบยังให้ค่าเวลาที่เดินทางไปถึงแต่ละสถานที่ในเส้นทางการท่องเที่ยว ซึ่งสามารถนำมาสร้างเป็นตารางเวลาการท่องเที่ยวในสถานการณ์จริงได้อีกด้วย

4. ผลการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะทดสอบตัวแบบที่นำเสนอ โดยงานวิจัยนี้จะทดสอบตัวแบบที่นำเสนอด้วยปัญหาทดสอบ 3 ปัญหาที่มีจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวคือ 6, 11, และ 16 สถานที่ตามลำดับ ข้อมูลของแต่ละปัญหาและผลลัพธ์จากการแก้แต่ละปัญหาด้วยตัวแบบที่นำเสนอจะแสดงในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

4.1 ปัญหาทดสอบ

ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบตัวแบบที่นำเสนอมีทั้งหมด 3 ปัญหา โดยปัญหาที่ 1 จะใช้ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่น่าสนใจในกรุงเทพมหานครจำนวน 6 แห่ง ปัญหาที่ 2 จะใช้ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่น่าสนใจในจังหวัดนครปฐมจำนวน 11 แห่ง ส่วนในปัญหาที่ 3 จะใช้ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่น่าสนใจในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาจำนวน 16 แห่ง สำหรับระยะทาง (หน่วยเป็นกิโลเมตร) และเวลา (หน่วยเป็นนาที) ที่ใช้เดินทางระหว่างสถานที่ใด ๆ ในแต่ละปัญหาจะใช้ข้อมูลจาก google map ส่วนค่าใช้จ่าย

(หน่วยเป็นบาท) ที่ใช้ในแต่ละสถานที่ของนักท่องเที่ยวแต่ละคน งบประมาณที่มีของนักท่องเที่ยวแต่ละคน เวลาที่ใช้เยี่ยมชมในแต่ละสถานที่ เวลาเยี่ยมชมรวมที่ใช้ในทุกสถานที่ท่องเที่ยว และระดับความพึงพอใจเฉลี่ยในแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว (ค่าเหล่านี้สามารถถูกกำหนดโดยผู้ใช้) ของแต่ละปัญหาจะเป็นค่าที่ถูกสุ่มกำหนดขึ้น สำหรับระดับความพึงพอใจเฉลี่ยของกลุ่มนักท่องเที่ยวในแต่ละสถานที่ ในที่นี้สมมติให้มีค่าได้ตั้งแต่ 1 ถึง 10 ข้อมูลทั้งหมดของแต่ละปัญหาที่ใช้ในการทดสอบตัวแบบที่นำเสนอแสดงได้ดังตารางที่ 1 – 3

ในตารางที่ 1 – 3 ค่าของระยะทาง (d_{ij}) และเวลาที่ใช้เดินทาง (q_{ij}) ระหว่างสถานที่ใด ๆ แสดงด้วยเมทริกซ์ โดยแต่ละแถวและแต่ละคอลัมน์ของเมทริกซ์แทนสถานที่ต่าง ๆ ตั้งแต่สถานที่ 1 ถึงสถานที่สุดท้ายตามลำดับ เช่น ในตารางที่ 2 สมาชิก $d_{12} = 3.4$ ในเมทริกซ์ของค่าระยะทางระหว่างสถานที่ของปัญหาที่ 2 หมายถึง ระยะทางจากโรงแรมริเวอร์ไปยังองค์พระปฐมเจดีย์เท่ากับ 3.4 กิโลเมตร หรือสมาชิก $q_{12} = 7$ ในเมทริกซ์ของเวลาการเดินทางระหว่างสถานที่ของปัญหาที่ 2 ซึ่งหมายถึง เวลาที่ใช้เดินทางจากโรงแรมริเวอร์ไปยังองค์พระปฐมเจดีย์เท่ากับ 7 นาที เป็นต้น ส่วนค่าของ p_i , c_i , และ a_i ในตารางที่ 1 – 3 แสดงเป็นลำดับรายการ โดยเรียงตามสถานที่ 1 ถึงสถานที่สุดท้ายตามลำดับ เช่น ในตารางที่ 2 ค่าระดับความพึงพอใจเฉลี่ยของกลุ่มนักท่องเที่ยว (p_2) ค่าใช้จ่าย (c_2) และเวลาที่จะใช้เยี่ยมชม (a_2) ณ องค์พระปฐมเจดีย์เท่ากับ 8, 100 บาท, และ 40 นาที ตามลำดับ เป็นต้น สำหรับสถานที่ $i = 1$ ค่า p_1 , c_1 , และ a_1 ในทุกตารางเป็นศูนย์เนื่องจากเป็นที่พักหรือจุดเริ่มต้นของการท่องเที่ยวในแต่ละปัญหา

ตารางที่ 1 ข้อมูลของปัญหาที่ 1 สำหรับทดสอบตัวแบบที่นำเสนอ

ชนิดข้อมูล	รายละเอียด/ค่าพารามิเตอร์
ชื่อสถานที่*	สถานีรถไฟหัวลำโพง, สวนรถไฟ, เขาวราช, ตลาดน้ำตลิ่งชัน, วัดโพธิ์, เซ็นทรัลลาดพร้าว
n	6
d_{ij}	$\begin{bmatrix} 0 & 15.2 & 2.2 & 12.8 & 4.1 & 10.9 \\ 13.8 & 0 & 15 & 17 & 15.3 & 3.3 \\ 1.9 & 16.6 & 0 & 10.8 & 2.5 & 16.1 \\ 11.4 & 18.4 & 10.6 & 0 & 8.9 & 19.6 \\ 4.3 & 17.5 & 2.6 & 10 & 0 & 13.2 \\ 12.3 & 2.1 & 12.6 & 17.5 & 13.8 & 0 \end{bmatrix}$

ชนิดข้อมูล	รายละเอียด/ค่าพารามิเตอร์
q_{ij}	$\begin{bmatrix} 0 & 16 & 8 & 26 & 13 & 16 \\ 25 & 0 & 30 & 28 & 35 & 11 \\ 8 & 25 & 0 & 26 & 10 & 23 \\ 26 & 27 & 28 & 0 & 21 & 26 \\ 13 & 31 & 13 & 22 & 0 & 31 \\ 18 & 8 & 22 & 24 & 31 & 0 \end{bmatrix}$
p_i	[0 9 10 8.5 7.5 8]
c_i	[0 100 500 250 200 300]
a_i	[0 90 120 70 80 90]
f	1,400
g	480

*แต่ละสถานที่ในด้านขวามือเรียงตามสถานที่ 1 ถึงสถานที่ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ข้อมูลของปัญหาที่ 2 สำหรับทดสอบตัวแบบที่นำเสนอ

ชนิดข้อมูล	รายละเอียด/ค่าพารามิเตอร์
ชื่อสถานที่*	โรงแรมริเวอร์, องค์พระปฐมเจดีย์, พระราชวังสนามจันทร์, ตลาดดอนหวาย, วุดแลนด์เมืองไม้, ฟาร์มจระเข้สามพราน, พิพิธภัณฑ์หุ่นขี้ผึ้ง, หาดทรายขาว, วัดศรีระทอง, สวนสามพรานโรสการ์เดน, ตลาดน้ำทุ่งบัวแดง
n	11
d_{ij}	$\begin{bmatrix} 0 & 3.4 & 1.2 & 30.7 & 24.1 & 29.2 & 20.2 & 12.5 & 12.8 & 26.2 & 34.2 \\ 3.2 & 0 & 4.8 & 29.4 & 22.8 & 27.9 & 18.9 & 11.2 & 11.5 & 24.9 & 31.2 \\ 1.1 & 4.3 & 0 & 31.6 & 24.9 & 30.1 & 21.1 & 13.4 & 13.6 & 27 & 34.6 \\ 30.6 & 29 & 31.1 & 0 & 19.8 & 10.9 & 14.9 & 23.9 & 20.5 & 7.8 & 42.6 \\ 24.8 & 23.2 & 25.3 & 20.8 & 0 & 26.7 & 17.7 & 18.3 & 11.3 & 23.7 & 28.6 \\ 28.5 & 26.9 & 29 & 10.2 & 25.7 & 0 & 13.3 & 21.9 & 18.5 & 2.7 & 49.8 \\ 21.4 & 19.8 & 21.9 & 10.5 & 14.9 & 14.5 & 0 & 14.7 & 8.1 & 11.5 & 38.9 \\ 12.8 & 11.2 & 13.3 & 24.3 & 17.8 & 22.9 & 15.1 & 0 & 6.4 & 19.8 & 40.5 \\ 13.5 & 11.9 & 14 & 19.1 & 11.3 & 17.6 & 8.6 & 7 & 0 & 14.5 & 35.4 \\ 25.8 & 24.3 & 26.3 & 10 & 23.1 & 6.8 & 10.7 & 19.2 & 15.8 & 0 & 47.1 \\ 35.9 & 33.2 & 37.3 & 43.5 & 33.9 & 57 & 48 & 42.3 & 41.5 & 53.9 & 0 \end{bmatrix}$
q_{ij}	$\begin{bmatrix} 0 & 7 & 4 & 30 & 25 & 27 & 17 & 13 & 13 & 23 & 42 \\ 8 & 0 & 8 & 30 & 25 & 27 & 17 & 13 & 13 & 23 & 38 \\ 3 & 9 & 0 & 31 & 26 & 28 & 18 & 14 & 13 & 24 & 44 \\ 26 & 27 & 27 & 0 & 25 & 16 & 15 & 23 & 21 & 11 & 50 \\ 25 & 26 & 26 & 25 & 0 & 28 & 18 & 21 & 12 & 24 & 35 \\ 31 & 32 & 32 & 23 & 31 & 0 & 18 & 27 & 25 & 5 & 56 \\ 27 & 28 & 27 & 17 & 24 & 21 & 0 & 23 & 18 & 16 & 48 \\ 16 & 16 & 16 & 38 & 23 & 37 & 23 & 0 & 10 & 34 & 47 \\ 17 & 18 & 17 & 33 & 14 & 38 & 19 & 12 & 0 & 31 & 41 \\ 26 & 27 & 26 & 18 & 30 & 10 & 13 & 22 & 20 & 0 & 51 \\ 44 & 39 & 44 & 56 & 37 & 60 & 49 & 48 & 44 & 56 & 0 \end{bmatrix}$
p_i	[0 8 7.5 9.5 7 8 5 9 6 8.5 9.5]
c_i	[0 100 130 350 300 250 100 300 100 200 350]
a_i	[0 40 40 60 50 90 30 60 25 60 60]
f	1,800
g	480

*แต่ละสถานที่ในด้านขวามือเรียงตามสถานที่ 1 ถึงสถานที่ 11 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ข้อมูลของปัญหาที่ 3 สำหรับทดสอบตัวแบบที่นำเสนอ

ชนิดข้อมูล	รายละเอียด/ค่าพารามิเตอร์
ชื่อสถานที่*	ที่ว่าการอำเภอพระนครศรีอยุธยา, วัดพนัญเชิงวรวิหาร, วัดโลกยสุธาราม, วัดมหาธาตุ, วัดใหญ่ชัยมงคล, วัดพระศรีสรรเพชญ์, วัดราชบูรณะ, วัดธรรมิกราช, วัดหน้าพระเมรุ, วัดมงคลบพิตร, วัดไชยวัฒนาราม, วัดพุทไธศวรรย์, วัดกษัตราธิราชวรวิหาร, วัดพระงาม, วัดวรเชษฐาราม, วัดเชิงท่า
n	16
d_{ij}	$\begin{bmatrix} 0 & 4.1 & 4.4 & 2.3 & 2.6 & 3.3 & 2.6 & 3.8 & 4.3 & 3.8 & 6.3 & 10.2 & 5.8 & 8.7 & 4.4 & 5.4 \\ 5.3 & 0 & 7.5 & 5.4 & 1.7 & 6.3 & 5.7 & 6.8 & 7.3 & 6.8 & 7.1 & 6 & 8.6 & 11.4 & 7.4 & 7.6 \\ 3.6 & 7.6 & 0 & 2.7 & 6.1 & 1.8 & 3 & 1.7 & 1.7 & 1.4 & 3.2 & 7.3 & 2.7 & 4.6 & 0.4 & 1.5 \\ 1.6 & 5.6 & 2.9 & 0 & 4 & 1.3 & 0.3 & 1.4 & 1.9 & 2.3 & 5.3 & 9.3 & 4.8 & 6.7 & 2.8 & 2.2 \\ 3.7 & 1.7 & 5.9 & 3.9 & 0 & 4.8 & 4.2 & 5.3 & 5.8 & 5.3 & 8.9 & 7.8 & 8.2 & 10.1 & 5.9 & 6.1 \\ 2.4 & 6.4 & 1.9 & 1.5 & 4.8 & 0 & 1.8 & 2.5 & 2.6 & 1.2 & 3.7 & 7.8 & 3.2 & 5.1 & 1.8 & 2.9 \\ 1.9 & 5.9 & 2.7 & 1.2 & 4.4 & 1.7 & 0 & 1.1 & 1.6 & 2.9 & 5 & 9 & 4.5 & 6.4 & 2.5 & 1.9 \\ 3 & 6.9 & 1.7 & 2.1 & 5.4 & 1.8 & 1.3 & 0 & 0.6 & 1.9 & 4 & 8 & 3.5 & 5.4 & 1.4 & 0.9 \\ 3.4 & 7.4 & 1.6 & 3.4 & 5.9 & 2.5 & 1.8 & 0.5 & 0 & 1.8 & 3.8 & 7.9 & 3.3 & 5.2 & 1.4 & 0.4 \\ 3.2 & 7.2 & 1.7 & 2.3 & 5.7 & 1.4 & 2.7 & 1.8 & 1.8 & 0 & 4.2 & 8.3 & 3.7 & 5.6 & 1.7 & 2.1 \\ 6.8 & 7.8 & 3.6 & 5 & 9.5 & 4.1 & 5.3 & 4.4 & 4.4 & 3.7 & 0 & 3 & 1.8 & 3.7 & 3.7 & 4.3 \\ 9.5 & 6.7 & 6.3 & 7.7 & 8.4 & 6.8 & 8 & 7.1 & 7.1 & 6.4 & 3 & 0 & 4.5 & 7.3 & 6.4 & 6.9 \\ 5.5 & 9.3 & 2.4 & 3.7 & 8 & 2.8 & 4 & 3.1 & 3.1 & 2.4 & 1.6 & 4.4 & 0 & 3 & 2.4 & 3 \\ 9.4 & 18.2 & 6.3 & 7.6 & 11.9 & 6.7 & 7.9 & 7 & 10.5 & 6.3 & 5.4 & 8.3 & 4 & 0 & 6.3 & 8.4 \\ 3.4 & 7.3 & 0.4 & 2.5 & 5.8 & 1.6 & 2.8 & 1.4 & 1.4 & 1.2 & 3.2 & 7.3 & 2.7 & 4.6 & 0 & 1.7 \\ 4.3 & 8.3 & 1.3 & 3.4 & 6.8 & 2.5 & 2.1 & 0.9 & 0.4 & 1.9 & 3.5 & 7.6 & 3 & 4.9 & 1.1 & 0 \end{bmatrix}$
q_{ij}	$\begin{bmatrix} 0 & 7 & 10 & 6 & 5 & 7 & 7 & 10 & 11 & 9 & 15 & 17 & 14 & 17 & 10 & 12 \\ 11 & 0 & 15 & 10 & 4 & 11 & 12 & 15 & 16 & 14 & 12 & 9 & 16 & 17 & 14 & 16 \\ 8 & 14 & 0 & 6 & 12 & 4 & 7 & 4 & 5 & 4 & 7 & 12 & 6 & 8 & 2 & 4 \\ 4 & 10 & 7 & 0 & 8 & 3 & 1 & 4 & 6 & 5 & 12 & 17 & 10 & 12 & 7 & 6 \\ 8 & 4 & 11 & 7 & 0 & 8 & 8 & 11 & 12 & 10 & 16 & 13 & 14 & 16 & 11 & 13 \\ 5 & 10 & 5 & 3 & 9 & 0 & 3 & 5 & 5 & 3 & 9 & 14 & 7 & 9 & 4 & 6 \\ 5 & 11 & 7 & 4 & 9 & 5 & 0 & 3 & 5 & 7 & 11 & 16 & 10 & 11 & 6 & 6 \\ 7 & 12 & 4 & 6 & 11 & 5 & 3 & 0 & 2 & 4 & 8 & 13 & 7 & 9 & 3 & 2 \\ 8 & 14 & 4 & 6 & 12 & 5 & 5 & 2 & 0 & 5 & 8 & 13 & 7 & 9 & 4 & 1 \\ 8 & 14 & 6 & 6 & 12 & 5 & 7 & 5 & 5 & 0 & 10 & 15 & 8 & 10 & 5 & 6 \\ 12 & 12 & 8 & 11 & 16 & 10 & 12 & 9 & 9 & 9 & 0 & 6 & 4 & 6 & 8 & 8 \\ 17 & 10 & 13 & 15 & 13 & 14 & 16 & 13 & 14 & 14 & 6 & 0 & 9 & 10 & 13 & 13 \\ 10 & 16 & 5 & 8 & 14 & 7 & 9 & 6 & 6 & 6 & 4 & 9 & 0 & 5 & 5 & 6 \\ 14 & 20 & 9 & 13 & 18 & 11 & 13 & 10 & 11 & 11 & 8 & 13 & 5 & 0 & 9 & 10 \\ 7 & 14 & 2 & 5 & 11 & 4 & 6 & 3 & 4 & 4 & 7 & 12 & 6 & 8 & 0 & 4 \\ 8 & 15 & 3 & 6 & 12 & 5 & 5 & 3 & 1 & 4 & 7 & 12 & 6 & 8 & 3 & 0 \end{bmatrix}$
p_i	[0 7 7.5 8.5 8 7.5 6 7 6.5 8 7.5 9 6 5 5.5 6.5]
c_i	[0 50 40 50 20 30 40 60 50 40 60 30 40 20 50 40]
a_i	[0 35 30 40 45 45 50 35 30 40 45 50 35 45 30 35]
f	500
g	480

*แต่ละสถานที่ในด้านขวามือเรียงตามสถานที่ 1 ถึงสถานที่ 16 ตามลำดับ

4.2 ผลลัพธ์จากตัวแบบที่นำเสนอ

ปัญหาที่ 1 – 3 ร่วมกับตัวแบบที่นำเสนอถูกแก้ด้วยโปรแกรม ILOG OPL CPLEX 12.6 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ AMD RADEON R5 2.50 GHz CPU และ 8 GB RAM จำนวนตัวแปรไบนารี (binary variable) จำนวนตัวแปรต่อเนื่อง (continuous variable) และจำนวนข้อจำกัด (constraint) ของแต่ละปัญหาแสดงได้ในตารางที่ 4 ส่วนผลลัพธ์จากตัวแบบที่ได้จากการแก้แต่ละปัญหาแสดงได้ดังหัวข้อ 4.2.1 – 4.2.3 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4 ขนาดของปัญหา

ปัญหา จำนวน	ตัวแปรไบนารี	ตัวแปร ต่อเนื่อง	ข้อจำกัด
ปัญหาที่ 1	36	11	98
ปัญหาที่ 2	121	21	338
ปัญหาที่ 3	256	31	728

4.2.1 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 1

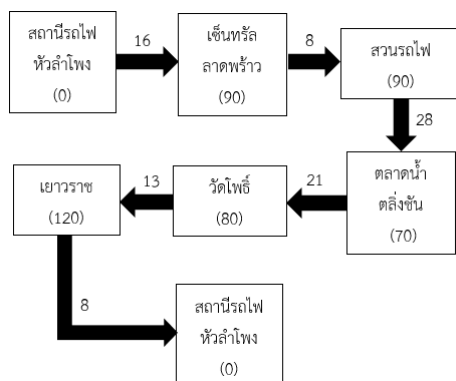
สำหรับปัญหาที่ 1 ที่มีสถานที่ท่องเที่ยวที่พิจารณาจำนวน 6 สถานที่ หลังจากแก้ปัญหาคับด้วยโปรแกรม ILOG OPL CPLEX 12.6 พบว่า เวลาที่ใช้ประมวลผลคือ 0.38 วินาที โดยผลเฉลยที่ได้จากตัวแบบ ได้แก่ ค่าตัวแปร x_{ij} และ y_i ที่มีค่าเท่ากับ 1 แสดงในตารางที่ 5 และค่าของตัวแปร t_i แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ค่าของตัวแปร x_{ij} และ y_i ที่มีค่าเท่ากับ 1 ที่ได้จากการแก้ปัญหาคับที่ 1

ชนิดตัวแปร	ตัวแปรที่มีค่าเท่ากับ 1
x_{ij}	$x_{16}, x_{62}, x_{24}, x_{45}, x_{53}, x_{31}$
y_i	$y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6$

ตารางที่ 6 ค่า t_i ที่ได้จากการแก้ปัญหาคับที่ 1 โดยเรียงตามลำดับที่ของสถานที่ในเส้นทางการท่องเที่ยว

t_1	t_6	t_2	t_4	t_5	t_3
0	16	114	232	323	416



รูปที่ 1 เส้นทางการท่องเที่ยวของปัญหาที่ 1

จากตารางที่ 5 จะได้ว่า ทุกสถานที่ที่สามารถอยู่ในเส้นทางการท่องเที่ยวในครั้งนี้ได้ทั้งหมด เนื่องจากทุกตัวแปร y_i มีค่าเท่ากับ 1 และลำดับการท่องเที่ยวไปยังสถานที่ต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 (ตามค่าของตัวแปร x_{ij} ที่แสดงในตารางที่ 5) โดยในรูปที่ 1 ตัวเลขที่อยู่ใต้ชื่อสถานที่แสดงเวลาที่ผู้ใช้เยี่ยมชมในสถานที่นั้น และตัวเลขที่อยู่บนลูกศรแสดงเวลาที่ใช้เดินทางจากสถานที่หนึ่งไปอีกสถานที่หนึ่ง

จากค่าของตัวแปร t_i ในตารางที่ 6 ซึ่งแสดงเวลาที่ไปถึงในแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว ร่วมกับผลที่ได้จากรูปที่ 1 จะสามารถนำมาสร้างเป็นตารางเวลาการท่องเที่ยวได้ สมมติว่าการท่องเที่ยวของปัญหาที่ 1 นี้เริ่มต้นออกเดินทางจากจุดเริ่มต้นคือสถานีรถไฟหัวลำโพง ณ เวลา 10.00 น. จะได้ว่าตารางเวลาการท่องเที่ยวของปัญหาที่ 1 ที่ได้จากผลเฉลยของตัวแบบที่นำเสนอ แสดงได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตารางเวลาการท่องเที่ยวของปัญหาที่ 1

เวลาเดินทาง	เวลาที่ไปถึงสถานที่ท่องเที่ยว	เวลาที่ออกจากสถานที่ท่องเที่ยว
10.00 – 10.16 น.	เดินทางจากสถานีรถไฟหัวลำโพง ไปถึงเซ็นทรัลลาดพร้าว ณ เวลา 10.16 น. ($t_6 = 16$)	อยู่ที่เซ็นทรัลลาดพร้าวเป็นเวลา 90 นาที จนถึงเวลา 11.46 น.
11.46 – 11.54 น.	เดินทางจากเซ็นทรัลลาดพร้าว ไปถึงสวนรถไฟ ณ เวลา 11.54 น. ($t_2 = 114$)	อยู่ที่สวนรถไฟเป็นเวลา 90 นาที จนถึงเวลา 13.24 น.
13.24 – 13.52 น.	เดินทางจากสวนรถไฟ ไปถึงตลาดน้ำตลิ่งชัน ณ เวลา 13.52 น. ($t_4 = 232$)	อยู่ที่ตลาดน้ำตลิ่งชันเป็นเวลา 70 นาที จนถึงเวลา 15.02 น.
15.02 – 15.23 น.	เดินทางจากตลาดน้ำตลิ่งชัน ไปถึงวัดโพธิ์ ณ เวลา 15.23 น. ($t_5 = 323$)	อยู่ที่วัดโพธิ์เป็นเวลา 80 นาที จนถึงเวลา 16.43 น.
16.43 – 16.56 น.	เดินทางจากวัดโพธิ์ ไปถึงเยาวราช ณ เวลา 16.56 น. ($t_3 = 416$)	อยู่ที่เยาวราชเป็นเวลา 120 นาที จนถึงเวลา 18.56 น.
18.56 – 19.04 น.	เดินทางจากเยาวราช กลับไปยังสถานีรถไฟหัวลำโพง ณ เวลา 19.04 น.	

นอกจากนี้ จากผลเฉลยของปัญหาที่ 1 ที่ได้จากตัวแบบที่นำเสนอ จะได้ว่า ค่าวัตถุประสงค์หลักหรือความพึงพอใจสูงสุดจากสถานที่ทั้งหมดที่อยู่ในเส้นทางท่องเที่ยวคือ 43 และค่าวัตถุประสงค์รองหรือผลรวมระยะทางในเส้นทางท่องเที่ยวต่ำสุดคือ 43.4 กิโลเมตร ค่าใช้จ่ายรวมตลอดเส้นทางท่องเที่ยวคือ 1,350 บาท ซึ่งไม่เกินงบประมาณที่นักท่องเที่ยวกำหนดคือ 1,400 บาท และเวลารวมที่ใช้เยี่ยมชมในทุกสถานที่ท่องเที่ยวคือ 450 นาที ซึ่งไม่เกิน 480 นาทีที่นักท่องเที่ยวตั้งไว้ และจากรูปที่ 1 จะได้ว่า เวลาที่ต้องใช้เดินทางจากสถานีรถไฟหัวลำโพง (จุดเริ่มต้น) ไปยังสถานที่ต่าง ๆ รวมตลอดเส้นทางท่องเที่ยวจนกระทั่งกลับมาสถานีรถไฟหัวลำโพงอีกครั้งคือ 94 นาที

4.2.2 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 2

สำหรับปัญหาที่ 2 ที่มีสถานที่ท่องเที่ยวที่พิจารณาจำนวน 11 สถานที่ เมื่อแก้ปัญหาพบว่ามีโปรแกรม ILOG OPL CPLEX 12.6 ใช้เวลาประมวลผลเท่ากับ 0.62 วินาที ค่าตัวแปร x_{ij} และ y_i ที่มีค่าเท่ากับ 1 ที่ได้จากการแก้ตัวแบบที่นำเสนอ แสดงในตารางที่ 8 และค่าของตัวแปร t_i แสดงในตารางที่ 9

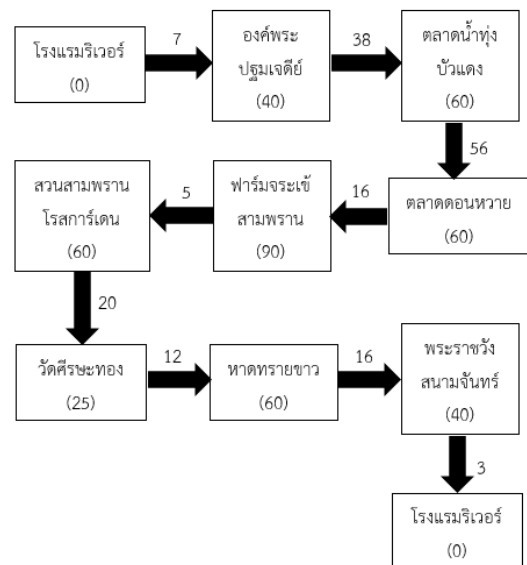
ตารางที่ 8 ค่าของตัวแปร x_{ij} และ y_i ที่มีค่าเท่ากับ 1 ที่ได้จากการแก้ปัญหาที่ 2

ชนิดตัวแปร	ตัวแปรที่มีค่าเท่ากับ 1
x_{ij}	$x_{12}, x_{2,11}, x_{11,4}, x_{4,6}, x_{6,10}, x_{10,9}, x_{9,8}, x_{8,3}, x_{3,1}$
y_i	$y_1, y_2, y_3, y_4, y_6, y_8, y_9, y_{10}, y_{11}$

ตารางที่ 9 ค่า t_i ที่ได้จากการแก้ปัญหาที่ 2 โดยเรียงตามลำดับที่ของสถานที่ในเส้นทางท่องเที่ยว

t_1	t_2	t_{11}	t_4	t_6	t_{10}
0	7	85	201	277	372
t_9	t_8	t_3	t_5	t_7	
452	489	565	-	-	

จากตารางที่ 8 จะได้ว่า ทุกสถานที่ท่องเที่ยวในปัญหาที่ 2 ไม่สามารถอยู่ในเส้นทางท่องเที่ยวได้ทั้งหมด โดยจำนวนสถานที่มากที่สุดที่สามารถอยู่ในเส้นทางท่องเที่ยวภายใต้ข้อจำกัดของปัญหานี้คือ 9 แห่ง ซึ่งประกอบด้วย โรงแรมริเวอร์ องค์กรพระปฐมเจดีย์ พระราชวังสนามจันทร์ ตลาดดอนหวาย ฟาร์มจระเข้สามพราน หาดทรายขาว วัดศรีษะทอง สวนสามพรานโรสการ์เดน และตลาดน้ำทุ่งบัวแดง (ตามค่าของตัวแปร y_i ที่แสดงในตารางที่ 8) และลำดับการท่องเที่ยวไปยังสถานที่ต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 (ตามค่าของตัวแปร x_{ij} ที่แสดงในตารางที่ 8)



รูปที่ 2 เส้นทางท่องเที่ยวของปัญหาที่ 2

จากผลเฉลยที่ได้จากการแก้ตัวแบบของปัญหาที่ 2 สามารถสร้างเป็นตารางเวลาการท่องเที่ยวได้ ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้การท่องเที่ยวนี้เริ่มต้นออกเดินทางจากที่พักคือ โรงแรมริเวอร์ ณ เวลา 9.00 น. จะได้ว่า ตารางเวลาการท่องเที่ยวของปัญหาที่ 2 ที่ได้จากผลเฉลยของตัวแบบที่นำเสนอ แสดงได้ดังตารางที่ 10

นอกจากนี้ ผลเฉลยจากการแก้ปัญหาที่ 2 ได้ว่า ค่าความพึงพอใจสูงสุดจากสถานที่ทั้งหมดที่อยู่ในเส้นทางท่องเที่ยวคือ 66 และค่าผลรวมระยะทางในเส้นทางท่องเที่ยวต่ำสุดคือ 128.9 กิโลเมตร ค่าใช้จ่ายรวมตลอด

เส้นทางการท่องเที่ยวคือ 1,780 บาท ซึ่งอยู่ภายในงบประมาณที่นักท่องเที่ยวกำหนดคือ 1,800 บาท และเวลารวมที่ใช้เยี่ยมชมในทุกสถานที่ท่องเที่ยวคือ 435 นาที ซึ่งไม่เกิน 480 นาทีที่นักท่องเที่ยวกำหนด ส่วนเวลาที่ต้องใช้เดินทางจากที่พักคือโรงแรมริเวอร์ไปยังสถานที่ต่าง ๆ รวมตลอดเส้นทางการท่องเที่ยวจนกระทั่งกลับมาที่พักอีกครั้งคือ 173 นาที ซึ่งคำนวณได้จากรูปที่ 2

เวลาเดินทาง	เวลาที่ไปถึงสถานที่ท่องเที่ยว	เวลาที่ออกจากสถานที่ท่องเที่ยว
		นาฬิกาจนถึงเวลา 19.05 น.
19.05 – 19.08 น.	เดินทางจากองค์พระปฐมเจดีย์ กลับไปถึงที่พักโรงแรมริเวอร์ ณ เวลา 19.08 น.	

ตารางที่ 10 ตารางเวลาการท่องเที่ยวของปัญหาที่ 2

เวลาเดินทาง	เวลาที่ไปถึงสถานที่ท่องเที่ยว	เวลาที่ออกจากสถานที่ท่องเที่ยว
9.00 – 9.07 น.	เดินทางจากที่พัก ไปถึงองค์พระปฐมเจดีย์ ณ เวลา 9.07 น. ($t_2 = 7$)	อยู่ที่องค์พระปฐมเจดีย์เป็นเวลา 40 นาที จนถึงเวลา 9.47 น.
9.47 – 10.25 น.	เดินทางจากองค์พระปฐมเจดีย์ ไปถึงตลาดน้ำทุ่งบัวแดง ณ เวลา 10.25 น. ($t_{11} = 85$)	อยู่ที่ตลาดน้ำทุ่งบัวแดงเป็นเวลา 60 นาที จนถึงเวลา 11.25 น.
11.25 – 12.21 น.	เดินทางจากตลาดน้ำทุ่งบัวแดง ไปถึงตลาดดอนหวาย ณ เวลา 12.21 น. ($t_4 = 201$)	อยู่ที่ตลาดดอนหวายเป็นเวลา 60 นาที จนถึงเวลา 13.21 น.
13.21 – 13.37 น.	เดินทางจากตลาดดอนหวาย ไปถึงฟาร์มจระเข้สามพราน ณ เวลา 13.37 น. ($t_6 = 277$)	อยู่ที่ฟาร์มจระเข้สามพรานเป็นเวลา 90 นาที จนถึงเวลา 15.07 น.
15.07 – 15.12 น.	เดินทางจากฟาร์มจระเข้สามพราน ไปถึงสวนสามพรานโรสการ์เดน ณ เวลา 15.12 น. ($t_{10} = 372$)	อยู่ที่สวนสามพรานโรสการ์เดนเป็นเวลา 60 นาที จนถึงเวลา 16.12 น.
16.12 – 16.32 น.	เดินทางจากสวนสามพรานโรสการ์เดน ไปถึงวัดศิระทอง ณ เวลา 16.32 น. ($t_9 = 452$)	อยู่ที่วัดศิระทองเป็นเวลา 25 นาที จนถึงเวลา 16.57 น.
16.57 – 17.09 น.	เดินทางจากวัดศิระทอง ไปถึงหาดทรายขาว ณ เวลา 17.09 น. ($t_8 = 489$)	อยู่ที่หาดทรายขาวเป็นเวลา 60 นาที จนถึงเวลา 18.09 น.
18.09 – 18.25 น.	เดินทางจากหาดทรายขาว ไปถึงพระราชวังสนามจันทร์ ณ เวลา 18.25 น. ($t_3 = 565$)	อยู่ที่พระราชวังสนามจันทร์เป็นเวลา 40 นาที

4.2.3 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 3

ในปัญหาที่ 3 ซึ่งพิจารณาสถานที่ท่องเที่ยวจำนวน 16 สถานที่ โปรแกรม ILOG OPL CPLEX 12.6 สามารถแก้ปัญหาโดยใช้เวลาประมวลผลเท่ากับ 1.21 วินาที ค่าตัวแปร x_{ij} และ y_i ที่มีค่าเท่ากับ 1 ที่ได้จากการแก้ปัญหาี้แสดงในตารางที่ 11 และค่าของตัวแปร t_i แสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 11 ค่าของตัวแปร x_{ij} และ y_i ที่มีค่าเท่ากับ 1 ที่ได้จากการแก้ปัญหาที่ 3

ชนิดตัวแปร	ตัวแปรที่มีค่าเท่ากับ 1
x_{ij}	$x_{15}, x_{54}, x_{47}, x_{78}, x_{89}, x_{9,16}, x_{16,10}, x_{10,3}, x_{3,11}, x_{11,12}, x_{12,13}, x_{13,6}, x_{61}$
y_i	$y_1, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_{10}, y_{11}, y_{12}, y_{13}, y_{16}$

ตารางที่ 12 ค่า t_i ที่ได้จากการแก้ปัญหาที่ 3 โดยเรียงตามลำดับที่ของสถานที่ในเส้นทางการท่องเที่ยว

t_1	t_5	t_4	t_7	t_8	t_9	t_{16}	t_{10}
0	5	57	98	151	188	219	258
t_3	t_{11}	t_{12}	t_{13}	t_6	t_2	t_{14}	t_{15}
304	341	392	451	493	-	-	-

จากตารางที่ 11 จะได้ว่า สถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ในเส้นทางการท่องเที่ยวของปัญหาที่ 3 มีจำนวน 13 แห่ง (รวมจุดเริ่มต้น) โดยในเส้นทางการท่องเที่ยวจะมีการไปเยี่ยมชมทุกวัดยกเว้นวัดพนัญเชิงวรวิหาร, วัดพระงาม, และวัดวรเชษฐาราม (ตัวแปร $y_2 = y_{14} = y_{15} = 0$) ส่วนลำดับการท่องเที่ยวไปยังสถานที่ต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3

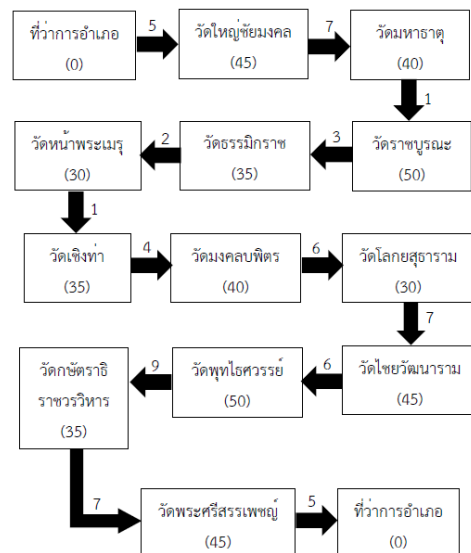
(ตามค่าของตัวแปร x_{ij} ที่แสดงในตารางที่ 11) จากผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาที่ 3 ข้างต้น เมื่อกำหนดเวลาเริ่มต้นของการเดินทางออกจากจุดเริ่มต้น (ที่ว่าการอำเภอพระนครศรีอยุธยา) จะสามารถสร้างเป็นตารางการท่องเที่ยวได้ ตัวอย่างเช่น หากกำหนดให้เวลาเริ่มต้นของการท่องเที่ยวในครั้งนี้คือเวลา 8.00 น. จะได้ตารางเวลาการท่องเที่ยวของปัญหาที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ตารางเวลาการท่องเที่ยวของปัญหาที่ 3

เวลาเดินทาง	เวลาที่ไปถึงสถานที่ท่องเที่ยว	เวลาที่ออกจากสถานที่ท่องเที่ยว
8.00 – 8.05 น.	เดินทางจากที่ว่าการอำเภอพระนครศรีอยุธยา ไปยังวัดใหญ่ชัยมงคล ณ เวลา 8.05 น. ($t_5 = 5$)	อยู่ที่วัดใหญ่ชัยมงคลเป็นเวลา 45 นาที จนถึงเวลา 8.50 น.
8.50 – 8.57 น.	เดินทางจากวัดใหญ่ชัยมงคล ไปยังวัดมหาธาตุ ณ เวลา 8.57 น. ($t_4 = 57$)	อยู่ที่วัดมหาธาตุเป็นเวลา 40 นาที จนถึงเวลา 9.37 น.
9.37 – 9.38 น.	เดินทางจากวัดมหาธาตุ ไปยังวัดราชบูรณะ ณ เวลา 9.38 น. ($t_7 = 98$)	อยู่ที่วัดราชบูรณะเป็นเวลา 50 นาที จนถึงเวลา 10.28 น.
10.28 – 10.31 น.	เดินทางจากวัดราชบูรณะ ไปยังวัดธรรมิกราช ณ เวลา 10.31 น. ($t_8 = 151$)	อยู่ที่วัดธรรมิกราชเป็นเวลา 35 นาที จนถึงเวลา 11.06 น.
11.06 – 11.08 น.	เดินทางจากวัดธรรมิกราช ไปยังวัดหน้าพระเมรุ ณ เวลา 11.08 น. ($t_9 = 188$)	อยู่ที่วัดหน้าพระเมรุเป็นเวลา 30 นาที จนถึงเวลา 11.38 น.
11.38 – 11.39 น.	เดินทางจากวัดหน้าพระเมรุ ไปยังวัดเชิงท่า ณ เวลา 11.39 น. ($t_{16} = 219$)	อยู่ที่วัดเชิงท่าเป็นเวลา 35 นาที จนถึงเวลา 12.14 น.
12.14 – 12.18 น.	เดินทางจากวัดเชิงท่า ไปยังวัดมงคลพิตร ณ เวลา 12.18 น. ($t_{10} = 258$)	อยู่ที่วัดมงคลพิตรเป็นเวลา 40 นาที จนถึงเวลา 12.58 น.
12.58 – 13.04 น.	เดินทางจากวัดมงคลพิตร ไปยังวัดโลกยสุธาราม ณ เวลา 13.04 น. ($t_3 = 304$)	อยู่ที่วัดโลกยสุธารามเป็นเวลา 30 นาที จนถึงเวลา 13.34 น.
13.34 – 13.41 น.	เดินทางจากวัดโลกยสุธาราม ไปยังวัดไชยวัฒนาราม ณ เวลา 13.41 น. ($t_{11} = 341$)	อยู่ที่วัดไชยวัฒนารามเป็นเวลา 45 นาที จนถึงเวลา 14.26 น.
14.26 – 14.32 น.	เดินทางจากวัดไชยวัฒนาราม ไปยังวัดพุทไธศวรรย์ ณ เวลา 14.32 น. ($t_{12} = 392$)	อยู่ที่วัดพุทไธศวรรย์เป็นเวลา 50 นาที จนถึงเวลา 15.22 น.
15.22 – 15.31 น.	เดินทางจากวัดพุทไธศวรรย์ ไปยังวัดกษัตราธิราชวรวิหาร ณ เวลา 15.31 น. ($t_{13} = 451$)	อยู่ที่วัดกษัตราธิราชวรวิหารเป็นเวลา 35 นาที จนถึงเวลา 16.06 น.

เวลาเดินทาง	เวลาที่ไปถึงสถานที่ท่องเที่ยว	เวลาที่ออกจากสถานที่ท่องเที่ยว
16.06 – 16.13 น.	เดินทางจากวัดกษัตราธิราชวรวิหาร ไปยังวัดพระศรีสรรเพชญ์ ณ เวลา 16.13 น. ($t_6 = 493$)	อยู่ที่วัดพระศรีสรรเพชญ์เป็นเวลา 45 นาที จนถึงเวลา 16.58 น.
16.58 – 17.03 น.	เดินทางจากวัดพระศรีสรรเพชญ์ กลับไปยังที่ว่าการอำเภอพระนครศรีอยุธยา ณ เวลา 17.03 น.	

สำหรับผลลัพธ์อื่น ๆ ที่ได้จากการแก้ปัญหาที่ 3 ได้แก่ ค่าความพึงพอใจสูงสุดจากสถานที่ทั้งหมดที่อยู่ในเส้นทางการท่องเที่ยวคือ 88 และระยะทางรวมในเส้นทางการท่องเที่ยวต่ำสุดคือ 28.4 กิโลเมตร ค่าใช้จ่ายรวมตลอดเส้นทางการท่องเที่ยวคือ 500 บาท ซึ่งเท่ากับงบประมาณที่นักท่องเที่ยวแต่ละคนกำหนดพอดีคือ 500 บาท และเวลารวมที่ใช้เยี่ยมชมในทุกสถานที่ท่องเที่ยวคือ 480 นาที ซึ่งเท่ากับเวลา 480 นาทีที่นักท่องเที่ยวกำหนดพอดีเช่นกัน ส่วนเวลาที่ ต้องใช้ เดินทางจากที่ว่าการอำเภอพระนครศรีอยุธยาซึ่งเป็นจุดเริ่มต้น ไปยังสถานที่ต่าง ๆ รวมตลอดเส้นทางการท่องเที่ยวจนกระทั่งกลับมาที่ว่าการอำเภออีกครั้งคือ 63 นาที ซึ่งคำนวณได้จากรูปที่ 3



รูปที่ 3 เส้นทางการท่องเที่ยวของปัญหาที่ 3

5. อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมเพื่อวางแผนจัดเส้นทางรถท่องเที่ยว โดยต้องการให้เกิดความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวสูงสุดเป็นวัตถุประสงค์หลัก และมีระยะทางรวมตลอดเส้นทางรถท่องเที่ยวต่ำสุดเป็นวัตถุประสงค์รอง เส้นทางรถท่องเที่ยวที่ได้ไม่จำเป็นต้องมีครบทุกสถานที่ที่พิจารณาเนื่องจากมีข้อจำกัดของงบประมาณและเวลารวมที่ใช้ในการท่องเที่ยว

ตัวแบบที่นำเสนอได้นำมาทดสอบกับข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่น่าสนใจใน 3 จังหวัดของประเทศไทย ได้แก่ กรุงเทพมหานคร นครปฐม และพระนครศรีอยุธยา ซึ่งพบว่าตัวแบบที่นำเสนอสามารถนำมาใช้จัดเส้นทางรถท่องเที่ยวได้จริง อย่างไรก็ตาม ตัวแบบที่นำเสนอสามารถนำไปใช้จัดเส้นทางรถท่องเที่ยว ณ สถานที่ใด ๆ ก็ได้ ตัวแบบที่นำเสนอมีข้อมูลนำเข้าประกอบด้วย สถานที่ท่องเที่ยว ระยะทางกับเวลาที่ใช้เดินทางระหว่างสถานที่ท่องเที่ยว ค่าความพึงพอใจในแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว ค่าใช้จ่ายกับเวลาที่จะใช้ในแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว และงบประมาณกับเวลารวมที่ใช้ในทุกสถานที่ท่องเที่ยว ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้สามารถกำหนดได้เองโดยผู้ใช้

ตัวแบบที่นำเสนอมีค่าของตัวแปร t_i ซึ่งเก็บค่าเวลาที่ใช้เดินทางไปถึงแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว ค่าตัวแปรเหล่านี้สามารถนำมาใช้เขียนเป็นตารางเวลารถท่องเที่ยวได้ เช่น จากปัญหาที่ 2 ที่พิจารณาสถานที่ท่องเที่ยว 11 แห่งในจังหวัดนครปฐม จะมีค่า $t_1, t_2, t_3, t_4, t_6, t_8, t_9, t_{10}$, และ t_{11} เนื่องจากสถานที่ 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, และ 11 อยู่ในเส้นทางรถท่องเที่ยว นอกจากนี้ ตัวแบบที่นำเสนอจะยังคงมีค่าของตัวแปร t_5 และ t_7 ด้วย แต่ทั้งสองค่านี้จะไม่มีความหมายในสถานการณ์จริง เพราะสถานที่ 5 และ 7 ไม่ได้อยู่ในเส้นทางรถท่องเที่ยว ดังนั้นค่าของ t_5 และ t_7 จึงไม่ถูกระบุค่าดังแสดงในตารางที่ 9 นอกจากนี้ สถานที่ 1 จะมีการไปถึง 2 ครั้ง เนื่องจากเป็นสถานที่เริ่มต้นของการเดินทางและเป็นสถานที่สิ้นสุดของการเดินทาง แต่ในตัวแบบที่นำเสนอ จะมีการเก็บค่าของเวลาที่ใช้เดินทางไปถึงสถานที่ 1 เพียงครั้งเดียว คือตอนเริ่มต้นของการเดินทางออกจากจุดเริ่มต้น ($t_1 = 0$) อย่างไรก็ตาม เราสามารถหาค่าเวลาที่เดินทางมาถึงสถานที่ 1 หลังจากสิ้นสุดการเดินทางและ

กลับมาถึงจุดเริ่มต้นอีกครั้งได้ โดยใช้ค่าของเวลาที่เดินทางไปถึงสถานที่ก่อนหน้า บวกกับเวลาที่ใช้เยี่ยมชมในสถานที่ก่อนหน้าและเวลาที่ใช้เดินทางจากสถานที่ก่อนหน้ามาถึงจุดเริ่มต้น เช่นจากในปัญหาที่ 2 เวลาที่ใช้เดินทางกลับมาถึงโรงแรมริเวอร์หาได้จาก $t_3 + a_3 + q_{31} = 565 + 40 + 3 = 608$ ซึ่งได้ว่า เวลาที่กลับมาถึงโรงแรมริเวอร์หลังเสร็จสิ้นการเดินทางคือ 19.08 น. ดังแสดงในแถวสุดท้ายของตารางที่ 10 ส่วนในปัญหาที่ 1 และ 3 ก็คำนวณเวลาที่กลับมาที่จุดเริ่มต้นอีกครั้งได้ในทำนองเดียวกัน

ตัวแบบที่นำเสนอนอกจากจะแก้ปัญหาแล้วได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นผลเฉลยเหมาะสมที่สุดซึ่งเป็นเส้นทางรถท่องเที่ยวแล้ว ตัวแบบที่นำเสนออาจจะให้ผลลัพธ์เป็นไม่มีผลเฉลย (infeasible) ได้เช่นกันซึ่งขึ้นอยู่กับข้อมูลของปัญหาวางอย่างเช่น ถ้าในปัญหาที่ 1 งบประมาณที่มีสำหรับท่องเที่ยวตลอดเส้นทางของนักท่องเที่ยว (f) ถูกเปลี่ยนค่าเป็น 75 บาท ซึ่งเป็นค่าน้อยกว่าค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในทุกสถานที่ท่องเที่ยวในปัญหาที่ 1 (ยกเว้นจุดเริ่มต้น) ในกรณีเช่นนี้เมื่อแก้ปัญหาออกมาจะได้ผลลัพธ์เป็นไม่มีผลเฉลยเนื่องจากตัวแบบไม่สามารถหาเส้นทางรถท่องเที่ยวภายใต้งบประมาณดังกล่าวได้

ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถเป็นประโยชน์ต่อนักท่องเที่ยวที่ต้องการวางแผนเส้นทางรถท่องเที่ยวด้วยตนเองได้ โดยเฉพาะนักท่องเที่ยวที่มีสถานที่ท่องเที่ยวหลายแห่งที่ต้องการไปเยี่ยมชม แต่อาจไม่สามารถไปเยี่ยมชมได้ทุกที่ เพราะมีเวลาและงบประมาณที่จำกัด ตัวแบบที่นำเสนอจะสามารถสร้างเส้นทางรถท่องเที่ยวที่ทำให้เกิดความพึงพอใจสูงสุดแก่นักท่องเที่ยวภายใต้เวลาและงบประมาณที่จำกัดได้สำหรับปัญหาที่ 1 – 3 ซึ่งเป็นปัญหาคัดสรรในงานวิจัยนี้เป็นตัวอย่างของการประยุกต์ใช้งานของตัวแบบที่นำเสนอในสถานการณ์จริงได้ เช่น ในปัญหาที่ 1 หากมีนักท่องเที่ยวกลุ่มหนึ่งนัดพบกันที่สถานีรถไฟหัวลำโพง แล้วต้องการเดินทางท่องเที่ยวตามสถานที่ต่าง ๆ ในปัญหาที่ 1 (ตามข้อมูลของปัญหาที่ 1) นักท่องเที่ยวกลุ่มนี้สามารถท่องเที่ยวไปในทุกสถานที่ได้ตามเส้นทางที่ได้จากผลเฉลยของปัญหาที่ 1 หรือในปัญหาที่ 2 หากมีนักท่องเที่ยวที่สนใจมาท่องเที่ยวสถานที่ต่าง ๆ (ตามข้อมูลของปัญหาที่ 2) ในจังหวัดนครปฐมโดยเข้า

พักที่โรงแรมริเวอร์ นักท่องเที่ยวกลุ่มนี้สามารถใช้เส้นทางท่องเที่ยวที่ได้จากผลเฉลยของปัญหาที่ 2 ซึ่งเส้นทางดังกล่าวเป็นเส้นทางที่ตอบสนองความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวได้สูงที่สุดและมีระยะทางในเส้นทางท่องเที่ยวรวมน้อยที่สุด โดยเส้นทางนี้จะไม่ได้ไปเยี่ยมชม 2 สถานที่ ได้แก่ วัดแลนด์เมืองไม้ และพิพิธภัณฑ์หุ่นขี้ผึ้ง เนื่องจากข้อจำกัดของงบประมาณและเวลาเยี่ยมชมสูงสุดของนักท่องเที่ยว หรือในปัญหาที่ 3 สมมติทางหน่วยงานอำเภอพระนครศรีอยุธยาต้องการจัดการท่องเที่ยวทำบุญที่วัดต่าง ๆ ในบริเวณรอบ ๆ ที่ว่าการอำเภอพระนครศรีอยุธยาให้กับบุคลากรของหน่วยงาน โดยทางหน่วยงานได้เลือกวัดที่สนใจจะเดินทางไปทำบุญมาทั้งหมด 15 วัด และผู้เข้าร่วมการเดินทางแต่ละคนต้องการใช้งบประมาณในการทำบุญตลอดการท่องเที่ยวไม่เกิน 500 บาท รวมถึงใช้เวลาเยี่ยมชมทุกวัดตลอดการเดินทางไม่เกิน 8 ชั่วโมง (ตามข้อมูลของปัญหาที่ 3) ทางหน่วยงานสามารถใช้เส้นทางท่องเที่ยวที่ได้จากผลเฉลยของปัญหาที่ 3 โดยผู้ร่วมเดินทางทำบุญในครั้งนี้จะสามารถแวะทำบุญในวัดต่าง ๆ ได้สูงสุด 12 วัด และลำดับการเดินทางจากจุดเริ่มต้นคือที่ว่าการอำเภอไปยังวัดต่าง ๆ จนกลับมาที่ว่าการอำเภออีกครั้งเป็นไปตามลำดับการเดินทางที่แสดงในรูปที่ 3 เป็นต้น

นอกจากนี้ ตัวแบบที่นำเสนอยังสามารถปรับให้เข้ากับสถานการณ์อื่น ๆ ได้ เช่น จากในปัญหาที่ 2 วัดแลนด์เมืองไม้ไม่ได้ถูกเลือกอยู่ในเส้นทางท่องเที่ยว ถ้าสมมติว่านักท่องเที่ยวต้องการหาเส้นทางท่องเที่ยวโดยต้องมีวัดแลนด์เมืองไม้เป็นสถานที่ที่ถูกเลือกด้วย เราสามารถเพิ่มข้อจำกัด $y_5 = 1$ เข้าไปในตัวแบบที่นำเสนอได้ หรือหากนักท่องเที่ยวมีเงื่อนไขเพิ่มเติมว่า ต้องการท่องเที่ยวเพียงจำนวน k สถานที่ตลอดเส้นทางท่องเที่ยวเท่านั้น เราสามารถเพิ่มข้อจำกัด $\sum_{i=1}^n y_i = k$ เข้าไปในตัวแบบที่นำเสนอได้ เป็นต้น

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้พิจารณาปัญหาการจัดเส้นทางท่องเที่ยวที่มีวัตถุประสงค์ของปัญหาคือ หาเส้นทางท่องเที่ยวที่มีจำนวนสถานที่มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อให้มีความพึงพอใจต่อสถานที่ท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวสูงที่สุด

และมีระยะทางรวมตลอดเส้นทางท่องเที่ยวต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดของงบประมาณและเวลารวมที่ใช้ในการท่องเที่ยวทุกสถานที่ต้องไม่เกินค่าที่กำหนด เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือ ต้องการนำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางท่องเที่ยวข้างต้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ของกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมในการแก้ปัญหาที่มาจากสถานการณ์จริง ตัวแบบที่นำเสนอได้ทดสอบกับปัญหาทดสอบ 3 ปัญหาที่ใช้ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวจำนวน 6, 11, และ 16 สถานที่ตามลำดับ พบว่าตัวแบบที่นำเสนอสามารถหาเส้นทางท่องเที่ยวที่เหมาะสมที่สุดได้ ตัวแบบที่นำเสนอถูกแก้ด้วยโปรแกรม ILOG OPL CPLEX 12.6 โดยทุกปัญหาใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า 2 วินาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแบบที่นำเสนอมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในสถานการณ์จริง ตัวแบบที่นำเสนอสามารถนำไปใช้จัดเส้นทางท่องเที่ยวด้วยจำนวนข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่มากขึ้น และตัวแบบที่นำเสนอสามารถเป็นทางเลือกให้กับนักท่องเที่ยวที่ต้องการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยวด้วยตนเอง หรือเป็นทางเลือกในการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยวให้กับหน่วยงานหรือบริษัทที่เกี่ยวข้องที่สนใจได้

สำหรับข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือ ตัวแบบที่นำเสนอไม่ได้พิจารณาถึงการจราจรในการเดินทางระหว่างสถานที่ เวลาเปิดปิดของแต่ละสถานที่ หรือสถานที่บางสถานที่มีความจำเป็นต้องแวะก่อนสถานที่อื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยว นอกจากนี้ ตัวแบบที่นำเสนอไม่สามารถนำไปใช้จัดเส้นทางท่องเที่ยวที่มากกว่า 1 วันได้ ซึ่งการพิจารณาการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยวที่มากกว่า 1 วันสามารถเป็นงานวิจัยในอนาคตได้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธัญญรัตน์ บุญเชิด, ฌณูดา การถาง, ชมพูนุช บัวรอด และเอื้ออารี บุญเพิ่ม, “ตัวแบบกำหนดการเป้าหมายเชิงจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยวภายใต้ปัจจัยของนักท่องเที่ยว,” *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 10, ฉบับที่ 1, น. 153-165, 2565.

- [2] P. Vansteenwegen, W. Souffriau, G. V. Berghe, and D. V. Oudheusden, "Iterated local search for the team orienteering problem with time windows," *Computers & Operations Research*, vol. 36, no. 12, pp. 3281-3290, 2009.
- [3] P. Vansteenwegen, W. Souffriau, and D. V. Oudheusden, "The orienteering problem: A survey," *European Journal of Operational Research*, vol. 209, no. 1, pp. 1-10, 2011.
- [4] C. Zhu, J. Hu, F. Wang, Y. Xu, and R. Cao, "On the tour planning problem," *Annals of Operations Research*, vol. 192, no. 1, pp. 67-86, 2012.
- [5] X. Wu, H. Guan, Y. Han and J. Ma, "A tour route planning model for tourism experience utility maximization," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 9, no. 10, 2017.
- [6] Z. Hashim and W. R. Ismail, "Self-drive tourism route in Terengganu: an application of goal programming model," *Sains Humanika*, vol. 9, no. 1-5, pp. 51-57, 2017.
- [7] A. Afriani, H. Saleh and M. D. H. Gamal, "An application of goal programming: The best route to discover a wonderful west sumatera," *International Journal of Management and Fuzzy Systems*, vol 5, no. 1, pp. 9-13, 2019.
- [8] G. Brandinu and N. Trautmann, "A mixed-integer linear programming approach to the optimization of event-bus schedules: a scheduling application in the tourism sector," *Journal of scheduling*, vol. 17, pp. 621-629, 2014.
- [9] W. Sirirak and R. Pitakaso, "Marketplace location decision making and tourism route planning," *Administrative Sciences*, vol. 8, no. 4, pp. 1-25. 2018.
- [10] T. Bektaş and S. Elmastaş, "Solving school bus routing problems through integer programming," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 58, no. 12, pp. 1599-1604, 2007.
- [11] A. Cheng, and A. Dumrongsiri, "A Memetic Algorithm for Tour Trip Design Problem," In *15th International Joint Symposium on Artificial Intelligence and Natural Language Processing (ISAI-NLP)*, Bangkok, 2020.
- [12] A. Baizal, K. M. Lhaksmana, A. A. Rohmawati, M. Kirom and Z. Mubarak, "Travel route scheduling based on user's preferences using simulated annealing," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 1275-1287. 2019.
- [13] V. F. Yu, N. Y. Salsabila, S. W. Lin, A. Gunawan, "Simulated annealing with reinforcement learning for the set team orienteering problem with time windows," *Expert Systems with Applications*, vol. 238, 2024.
- [14] X. Chou, L. M. Gambardella and R. Montemanni, "A tabu search algorithm for the probabilistic orienteering problem," *Computers & Operations Research*, vol. 126, 2021.
- [15] W. Zheng, H. Ji, C. Lin, W. Wang and B. Yu, "Using a heuristic approach to design personalized urban tourism itineraries with hotel selection," *Tourism Management*, vol. 76, 2020.