การพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่งตามวิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน เพื่อคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย

Developing a Transportation Model based on 4-Steps Sequential Decision Method for Passenger Demand Forecasting of Public Transportation in a University

เจษฎา โพธิ์จันทร์[1], วชิระ วิจิตรพงษา[2], ปรีดา พิชยาพันธ์[3], นัฐพร นวกิจรังสรรค์[4]
Jessada Pochan[1], Wachira Wichitphongsa[2], Preda Pichayapan[3], Nattaporn Nawakitrangsan[4]
Received : 17 April 2018 ; Accepted : 17 July 2018

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่งในการคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัย ตามหลักการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน โดยวิธีดำเนินการแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง 2) การพัฒนาแบบจำลองการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน 3) การปรับเทียบแบบจำลอง และ 4) การประยุกต์ใช้แบบจำลอง โดยการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าวกับมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม โดยผลการศึกษา พบว่า จะมีผู้โดยสารที่ใช้บริการรถขนส่งสาธารณะประมาณ 2,143 เที่ยวคน/วัน (9.41% ของการเดินทางทั้งหมดในมหาวิทยาลัย) จะส่งผลให้สภาพการจราจรภายในมหาวิทยาลัยมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น โดยระดับการให้บริการ (LOS) ในภาพรวมก่อนและหลังการมีรถขนส่งสาธารณะอยู่ในระดับ LOS B และ LOS A ตามลำดับ

คำสำคัญ: ขนส่งสาธารณะ วิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน ระดับการให้บริการ

Abstract

This research proposes an approach to developing the transportation model for passenger demand forecasting of public transportation in a university according to the 4-steps sequential decision principles. The method is divided into four steps: 1) studying travel behavior, 2) developing the 4-steps sequential model, 3) calibrating the model, and 4) applying the model. This research applied this approach to Pibulsongkram Rajabhat University. The result of the study shows that approximately 2,143 passenger trips using the public transportation per day (9.41% of total trips in university), which result in the improvement of traffic conditions in the University. The level of service (LOS) before and after the public transport is LOS B and LOS A respectively.

Keywords: Public Transport, 4-Steps Sequential Decision Method, Level of Service

---

[1] *อาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*
[2] *อาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*
[3] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*
[4] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*
[1] *Lecturer, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University*
[2] *Lecturer, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University*
[3] *Asst. Professor, Faculty of Engineering, Chiang Mai University*
[4] *Asst. Professor, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang*

บทนำ

ปัจจุบันคงปฏิเสธไม่ได้ว่าการขนส่งเป็นเรื่องหนึ่งที่อยู่ควบคู่กับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในแต่ละวัน นับวันจำนวนยานพาหนะส่วนบุคคลทั้งรถยนต์และจักรยานยนต์ได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะนี่เองก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆ ตามมา อาทิเช่น ปัญหาการจราจรติดขัด ปัญหามลภาวะทางอากาศและทางเสียง ปัญหาความไม่เพียงพอของพลังงาน เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของคนทั้งทางร่างกายและจิตใจ ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดการจัดการการขนส่งเพื่อให้เกิดระบบการขนส่งอย่างยั่งยืนขึ้น[1,2] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยส่งเสริมให้มีคุณภาพชีวิตของคนที่ดีขึ้น[3] ซึ่งระบบการขนส่งอย่างยั่งยืน คือ ระบบการขนส่งที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของพื้นที่อย่างยั่งยืน โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมทั้งในปัจจุบันและอนาคต ซึ่งมุ่งเน้นการใช้รูปแบบการเดินทางที่มีประสิทธิภาพสูงและก่อมลพิษต่ำ อาทิเช่น รถไฟ และรถขนส่งสาธารณะ เป็นต้น รวมไปถึงส่งเสริมให้มีการใช้รถยนต์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น การใช้รถยนต์ร่วมกัน การขับขี่อย่างประหยัด และการใช้เชื้อเพลิงสะอาด เป็นต้น

รถขนส่งสาธารณะเป็นรูปแบบการเดินทางที่ตอบสนองต่อนโยบายการขนส่งอย่างยั่งยืน ซึ่งเป็นรูปแบบการเดินทางที่เน้นการขนส่งคนในปริมาณมาก จึงมีการประหยัดพลังงานมากกว่ารูปแบบการขนส่งอื่นเมื่อขนย้ายคนในจำนวนที่เท่ากัน และมีความปลอดภัยมากกว่า โดยการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของคนเพื่อให้หันมาใช้รถขนส่งสาธารณะเป็นเรื่องที่ไม่ง่ายนัก เนื่องจากทัศนคติของแต่ละคนที่มีต่อรถขนส่งสาธารณะนั้นมีความแตกต่างกัน บางคนคิดว่าการเดินทางโดยรถขนส่งสาธารณะประหยัดทั้งเงินและพลังงาน แต่บางคนกลับมองว่าการเดินทางโดยรถขนส่งสาธารณะเสียเวลามากกว่า ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการรถขนส่งสาธารณะให้มีความถี่ที่เหมาะสมหรือปัจจัยด้านอื่นๆ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้คนเกิดทัศนคติในแง่บวกต่อการเดินทางโดยรถขนส่งสาธารณะ[4-8] เช่นเดียวกับการจัดการให้บริการรถขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย ซึ่งมีพื้นที่ขนาดใหญ่และมีนักศึกษาเป็นจำนวนมาก ดังนั้นทางมหาวิทยาลัยจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดหารถขนส่งสาธารณะให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพของมหาวิทยาลัย อาทิเช่น รถมินิบัส รถราง หรือ รถไฟฟ้า เป็นต้น เพื่อลดการใช้จักรยานยนต์ของนักศึกษา ซึ่งเป็นรูปแบบการเดินทางที่ได้รับความนิยมของนักศึกษาที่มาจากต่างจังหวัด

การพัฒนารถขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เพื่อแก้ไขปัญหาด้านการจราจร และเพื่ออำนวยความสะดวกแก่นักศึกษาและบุคลากรของตนเอง โดยการพัฒนาจำเป็นต้องใช้งบประมาณในการลงทุนเป็นจำนวนมาก แต่จะคุ้มค่าที่จะลงทุนหรือไม่นั้นจะขึ้นกับจำนวนผู้ที่จะมาใช้บริการนั้นเอง ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่งในการคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัย ตามวิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน (4-Steps Sequential Method) ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้เพื่อการวางแผนด้านการจราจรทั้งในประเทศ[9-12] และต่างประเทศ[13-14]

แต่เนื่องจากวิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอนที่ใช้ในปัจจุบัน[9-14] ไม่ใช่สูตรสำเร็จที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับสถานการณ์หรือพื้นที่ที่แตกต่างกันได้ อาทิเช่น การวิเคราะห์ในระดับมหาวิทยาลัย การวิเคราะห์ในระดับจังหวัด และ การวิเคราะห์ในระดับประเทศ ก็จะมีตัวแปรและรูปแบบการวิเคราะห์ที่ใช้ในแบบจำลองที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมีการพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่งให้มีตัวแปรและรูปแบบการวิเคราะห์ที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพบริบทของมหาวิทยาลัย โดยมีการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ได้กับมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ทั้งนี้เนื่องจากทางมหาวิทยาลัยฯ มีแนวคิดที่จะพัฒนารถขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยเพื่อช่วยลดการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลในการเดินทาง โดยผลจากการวิจัยนี้จะสามารถช่วยให้ผู้บริหารมีข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนและนำไปสู่การบริหารจัดการงบประมาณได้อย่างมีประสิทธิภาพได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อนำเสนอวิธีการพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่งในการคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัย
2. เพื่อวิเคราะห์คาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่งเพื่อการคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปใน

มหาวิทยาลัย ตามวิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน และประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ได้กับมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม โดยวิธีดำเนินการแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การการศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง 2) การพัฒนาแบบจำลอง และ 3) การประยุกต์ใช้แบบจำลอง ดังแสดงใน Figure 1

Figure 1 Developing Transportation Model Conceptual Framework for Passenger Demand Forecasting of Public Transportation in University

1) การศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการเดินทางของนักศึกษาและบุคลากรภายในมหาวิทยาลัย โดยการสำรวจในภาคสนาม 4 อย่าง ครอบคลุมพื้นที่ทั้งมหาวิทยาลัย[15] ได้แก่ 1) การสำรวจปริมาณจราจร เข้า-ออก พื้นที่ (In-Out Count) จำนวน 3 จุด และ 2) การสำรวจปริมาณจราจรบนช่วงถนน (Mid-Block Count) จำนวน 9 จุด โดยการนับปริมาณรถแบบแยกประเภท (7:00 น. – 19:00 น., 12 ชั่วโมง) ซึ่งครอบคลุมช่วงเวลาที่มีการเดินทางภายมหาวิทยาลัย โดยแบ่งประเภทรถออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ รถจักรยาน 2 ล้อ/3 ล้อ รถจักรยานยนต์/สามล้อเครื่อง รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถตู้/รถไฟฟ้า และ รถขนาดใหญ่ 3) การสำรวจจุดต้นทาง-ปลาย

ทางการเดินทาง (O-D Survey) ของนักศึกษาและบุคลากรภายในมหาวิทยาลัย จำนวน 3,000 ชุด หรือประมาณ 18 % ของประชากร (16,372 คน) ซึ่งมากกว่าการสุ่มตัวอย่างโดยใช้ความน่าจะเป็นแบบง่าย (Simple Random Sampling) ที่อ้างอิงตามคำแนะนำของ Taro Yamane (1973) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 97 % (1,041 ชุด หรือ 6 % ของประชากร) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ และ 4) การสำรวจความเร็วบนโครงข่าย (Traffic Speed Survey) จำนวน 9 จุด ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับการสำรวจปริมาณจราจรบนช่วงถนน โดยสำรวจจำนวน 100 ข้อมูล/จุด (จำนวนขั้นต่ำสำหรับหาความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นไทล์) ด้วยปืนตรวจจับความเร็ว เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) ให้มีความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัย

2) การพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่ง

ขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาพฤติกรรมการเดินทางมาพัฒนาเป็นแบบจำลองด้านการขนส่งตามวิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้เพื่อการวางแผนด้านการจราจรทั้งในประเทศ[9-12] และต่างประเทศ[13-14] โดยทำการปรับเทียบแบบจำลองให้มีความสอดคล้องกับสภาพการจราจรในพื้นที่ตามเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ Comsis Corporation[16] เพื่อได้แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์คาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัย[17] ซึ่งในการพัฒนาแบบจำลองแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 23 พื้นที่ย่อย ครอบคุมพื้นที่ทั้งมหาวิทยาลัย ประกอบด้วย พื้นที่ย่อยภายในพื้นที่ศึกษา และพื้นที่ย่อยภายนอกพื้นที่ศึกษา จำนวน 20 และ 3 พื้นที่ย่อย ตามลำดับ โดยแบบจำลองที่พัฒนาประกอบด้วย 4 แบบจำลองย่อยที่ต่อเนื่องกัน มีรายละเอียดดังนี้

1. แบบจำลองการเกิดการเดินทาง (Trip Generation Model) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณการเดินทางออกและเข้าพื้นที่ย่อย (Trip Production and Trip Attraction) ที่สัมพันธ์กับข้อมูลพื้นฐานของแต่ละพื้นที่ย่อย อาทิเช่น จำนวนหลังคาเรือน ปริมาณการรองรับผู้ใช้งาน (ที่นั่งนักเรียน) เป็นต้น โดยวิธีการคาดการณ์ปริมาณการเกิดการเดินทางนี้มีหลายวิธี อาทิเช่น วิธีวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) วิธีอัตราการเดินทาง (Trip Rate Analysis) และวิธีการจำแนกข้ามพวก (Cross Classification Analysis) เป็นต้น ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันคือวิธีสมการถดถอย เนื่องจากเป็นวิธีที่แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ทำให้เกิดและดึงดูดการเดินทาง[17] โดยในกรณีศึกษานี้ได้พัฒนาแบบจำลองการเกิดการเดินทางด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ดังสมการที่ (1) เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกในการปรับแก้ และสามารถตรวจสอบเปรียบเทียบอัตราการเดินทางที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรที่ใช้สร้างความสัมพันธ์ได้อย่างมีเหตุผลและน่าเชื่อถือ โดยระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการแบบจำลองประเมินได้จากค่า Coefficient of Determination (R^2) และมีการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ไม่เท่ากับศูนย์ (T-Test) ที่ช่วงความเชื่อมั่น (Level of Confident) ที่ 95 %

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n + C \quad (1)$$

โดยที่ Y = ตัวแปรตาม ในที่นี้คือ ปริมาณการเดินทางทั้งหมดของพื้นที่ย่อย (PCU/วัน)

$X_1, \dots, X_n$ = ตัวแปรอิสระ ในที่นี้คือ ข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ เช่น จำนวนหลังคาเรือน ที่นั่งนักเรียน

$a_1, \dots, a_n$ = สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ

2. แบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution Model) เป็นการวิเคราะห์ว่าปริมาณการเดินทางที่เกิดขึ้นต้องการจะเดินทางไปที่ไหนและเดินทางมาจากที่ใด โดยทั่วไปวิธีการสร้างแบบจำลองการกระจายการเดินทางมี 2 วิธี คือ วิธีตัวประกอบความเติบโต (Growth Factors) และ วิธีความโน้มถ่วง (Gravity Model) โดยวิธีความโน้มถ่วงเป็นเทคนิคการกระจายการเดินทางที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวางแผนการจราจร[17] โดยในกรณีศึกษานี้ได้พัฒนาแบบจำลองการกระจายการเดินทางด้วยวิธีความโน้มถ่วงแบบข้อจำกัด 2 ทาง (Doubly Constrained Gravity Model) ซึ่งเป็นเทคนิคการกระจายการเดินทางด้วยค่าความต้านทาน (Friction) คล้ายกับกฎความโน้มถ่วงของนิวตัน ได้แก่ เวลา และระยะทาง ในการเดินทางของคู่พื้นที่ย่อยใดๆ ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$T_{ij} = \alpha_i \cdot \beta_j \cdot P_i \cdot A_j \cdot F(c_{ij}) \quad (2)$$

$$F(c_{ij}) = c_{ij}^{a} \cdot \exp(b \cdot c_{ij}) \quad (3)$$

โดยที่ T_{ij} = ปริมาณการเดินทางจากพื้นที่ย่อย i ไปยังพื้นที่ย่อย j (PCU/วัน)

P_i = ปริมาณการเกิดการเดินทางทั้งหมดของพื้นที่ย่อย I (PCU/วัน)

A_j = ปริมาณการดึงดูดการเดินทางทั้งหมดของพื้นที่ย่อย j (PCU/วัน)

$F(c_{ij})$ = ฟังก์ชั่นค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย i และ พื้นที่ย่อย j (บาท)

α_i, β_j = ค่าเฉพาะการปรับคูณ (Balancing Factor) ของแถว i และ สดมภ์ j

c_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย i และพื้นที่ย่อย j (บาท/นาที)

a, b = ค่าปรับเทียบแบบจำลอง

3. แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Mode Choice Model) เป็นการวิเคราะห์หาสัดส่วนการเลือกรูปแบบ (Mode) การเดินทางต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย การเดินทางโดยรถยนต์ส่วนบุคคล (Private Transport) และรถขนส่งสาธารณะ (Public Transport) โดยทฤษฎีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทาง คือ วิธีการวิเคราะห์โลจิต (Logit Method) ซึ่งเป็นการพิจารณาอรรถประโยชน์หรือความพึงพอใจ (Utility) ของผู้เดินทางที่ได้รับจากแต่ละทางเลือก[18] โดยในการศึกษานี้ได้พัฒนาแบบการเลือกรูปแบบการเดินทางด้วยวิธีการวิเคราะห์โลจิต โดยมีรูปแบบการเดินทางประกอบด้วย เดิน จักรยาน จักรยานยนต์ รถยนต์ และ รถขนส่งสาธารณะ ดังสมการที่ (4) และ (5)

$$P_n(i) = \frac{e^{U_{in}}}{\sum_{j \in c_m} e^{U_{jn}}} \quad (4)$$

$$U = aT + bC + c \quad (5)$$

โดยที่ $P_n(i)$ = ความน่าจะเป็นของผู้ที่เลือกเดินทางลำดับที่ n ของทางเลือก i

U_{in} = อรรถประโยชน์ของทางเลือก i ของผู้เลือกคนที่ n

U_{jn} = อรรถประโยชน์ของทางเลือก j ของผู้เลือกคนที่ n

C_m = จำนวนของทางเลือกทั้งหมด

j = ทางเลือก j (เช่น เดิน จักรยาน รถยนต์ เป็นต้น)

T = ระยะเวลาในการเดินทางของทางเลือก (นาที)

C = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของทางเลือก (บาท)

a, b = ค่าสัมประสิทธิ์ (ค่าปรับเทียบแบบจำลอง)

c = ค่าคงที่

4. แบบจำลองการแจกแจงการเดินทาง (Trip Assignment Model) เป็นการวิเคราะห์เพื่อจัดแบ่ง (Assignment) ปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยใดๆ ที่เกิดขึ้นลงในโครงข่ายถนนและระบบขนส่งที่มีอยู่ โดยเทคนิควิธีการจัดแบ่งการเดินทางลงในโครงข่ายถนนในแบบจำลองที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ วิธี All-or-Nothing, Incremental, Capacity Restraint, User Equilibrium, Stochastic User Equilibrium และ System Optimum เป็นต้น[17] โดยในการศึกษานี้ได้พัฒนาแบบจำลองการแจกแจงการเดินทางด้วยวิธีสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) ซึ่งเป็นเทคนิควิธีที่ทำให้เวลาการเดินทาง (หรือ ค่าใช้จ่าย) บนเส้นทางต่างๆ ระหว่างคู่โซนเดียวกันให้อยู่ในสภาพสมดุล และจะให้ลักษณะคำตอบเป็นค่าที่แท้จริง (Exact Solution) ในขณะที่วิธีอื่นๆ เช่น วิธี Incremental จะให้ลักษณะคำตอบเป็นค่าประมาณที่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง (Approximate Solution) ดังสมการที่ (6)

$$Min \sum_{a \in A} \int_0^{V_a} C_a(\omega) d\omega \quad (6)$$

โดยที่ C_a = ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง บน Link a

3) การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

ขั้นตอนนี้เป็นการนำแบบจำลองที่ผ่านการปรับเทียบและตรวจสอบความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยแล้วมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์คาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะ (Ridership) และวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัย ได้แก่ ปริมาณจราจร (Volume), ระยะทางรวมในการเดินทางของระบบ (Vehicle-Kilometers of Travel: VKT), ระยะเวลารวมในการเดินทางของระบบ (Vehicle-Hours of Travel: VHT), และ ความเร็วเฉลี่ย (Average Speed) ทั้งในกรณีไม่มีโครงการ (Without Project: W/O) และ กรณีมีโครงการ (With Project: W) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับให้ผู้บริหารนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจในการลงทุนและนำไปสู่การบริหารจัดการงบประมาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในกรณีศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองกับสถานการณ์ที่มีโครงการพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย ประกอบด้วย การจัดเส้นทางเดินรถไฟฟ้าที่ได้จากการประยุกต์ตัวแบบปัญหาการเดินทางของเซลล์แมน หรือ Travel Salesman Problem[19] จำนวน 2 เส้นทาง เพื่อให้บริการรับ-ส่งบุคลากรในมหาวิทยาลัย ดังแสดงใน Figure 2 โดยเส้นทางวงรอบเล็ก (สายที่ 1) มีระยะทาง 2.3 กิโลเมตร ใช้รถไฟฟ้าจำนวน 2 คัน และ เส้นทางวงรอบใหญ่ (สายที่ 2) มีระยะทาง 6.0 กิโลเมตร ใช้รถไฟฟ้าจำนวน 6 คัน โดยมีระยะเวลารอคอยสูงสุดของผู้ใช้บริการ (Headway) 6 นาที รวมถึงการก่อสร้างสถานีจุดจอดรถและสถานีซ่อมบำรุง จำนวน 14 จุด และ 1 จุด ตามลำดับ

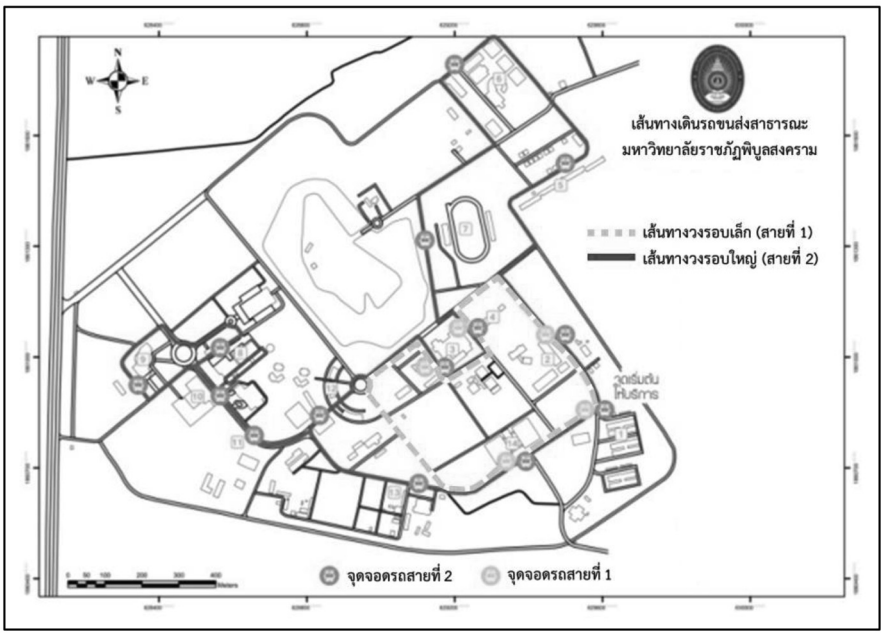


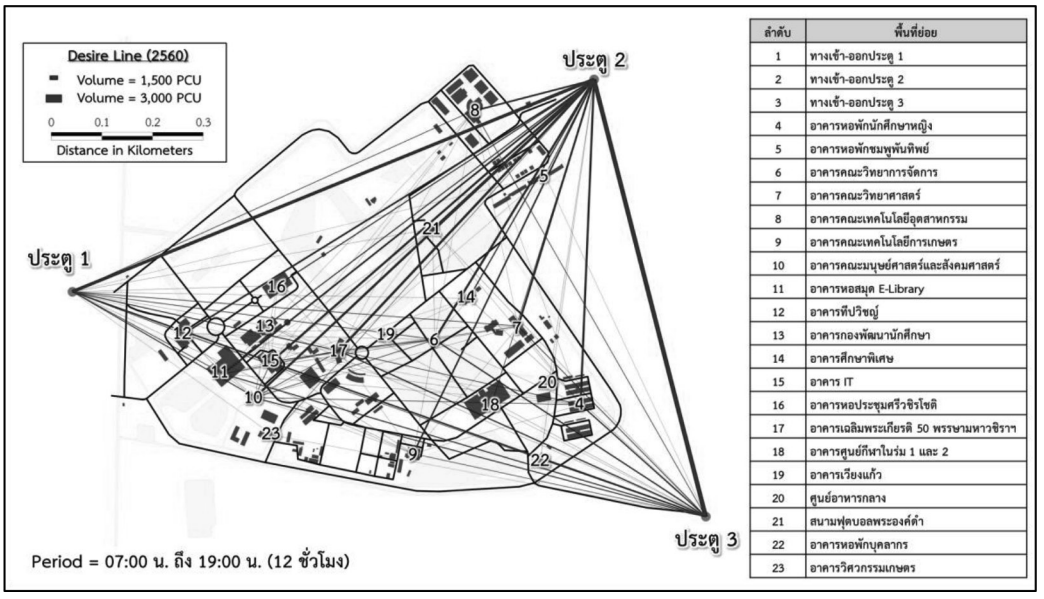
Figure 2 Routes and Stations of Public Transport in Pibulsongkram Rajabhat University

ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองด้านการขนส่งในกรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามมีรายละเอียดดังนี้

1) ผลการศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง

ปัจจุบันมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามมีปริมาณการเดินทางประมาณ 22,777 เที่ยวคน/วัน หรือ เมื่อคูณด้วยค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลของรถแต่ละประเภท (Passenger Car Equivalent Factor : PCE) ที่อ้างอิงจากกรมทางหลวง[10] จะมีปริมาณการเดินทาง เทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger Car Unit: PCU) ประมาณ 14,325 PCU/วัน ระยะทางรวมในการเดินทางของระบบ (VKT) เท่ากับ 17,432 PCU-กิโลเมตร/วัน ระยะเวลารวมในการเดินทางของระบบ (VHT) เท่ากับ 348 PCU-ชั่วโมง/วัน ความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 50.04 กิโลเมตร/ชั่วโมง และ มีสภาพการจราจรหรือระดับการให้บริการโดยรวมอยู่ในระดับ LOS B ซึ่งเป็นระดับที่กระแสจราจรมีสภาพอยู่ตัว ผู้ขับขี่สามารถเลือกใช้ความเร็วได้ตามสมควร โดยมีทิศทางการเดินทางและสภาพการจราจรดังแสดงใน Figure 3 และ Figure 4 ตามลำดับ



ลำดับ	พื้นที่ย่อย
1	ทางเข้า-ออกประตู 1
2	ทางเข้า-ออกประตู 2
3	ทางเข้า-ออกประตู 3
4	อาคารหอพักนักศึกษาหญิง
5	อาคารหอพักชมพูพันทิพย์
6	อาคารคณะวิทยาการจัดการ
7	อาคารคณะวิทยาศาสตร์
8	อาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
9	อาคารคณะเทคโนโลยีการเกษตร
10	อาคารคณะมนุษย์ศาสตร์และสังคมศาสตร์
11	อาคารหอสมุด E-Library
12	อาคารทีปวิทย์
13	อาคารกองพัฒนานักศึกษา
14	อาคารศึกษาพิเศษ
15	อาคาร IT
16	อาคารหอประชุมศรีวชิรโชติ
17	อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษามหาวชิราฯ
18	อาคารศูนย์กีฬาในร่ม 1 และ 2
19	อาคารเวียงแก้ว
20	ศูนย์อาหารกลาง
21	สนามฟุตบอลพระองค์ดำ
22	อาคารหอพักบุคลากร
23	อาคารวิศวกรรมเกษตร

Figure 3 Travel Direction (Desire Line) in Pibulsongkram Rajabhat University

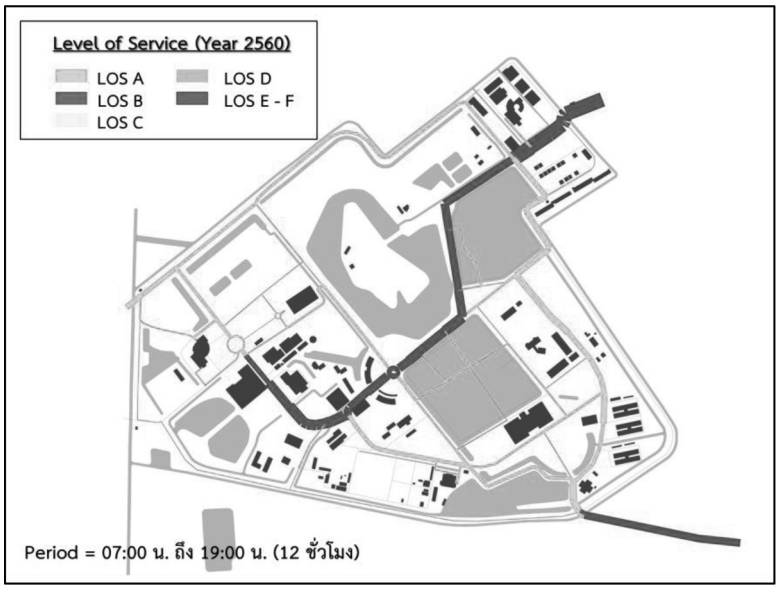


Figure 4 Traffic Condition in Pibulsongkram Rajabhat University

2) ผลการพัฒนาแบบจำลอง

เมื่อนำผลสำรวจในภาคสนามมาพัฒนาและปรับเทียบแบบจำลอง ได้แบบจำลองดังนี้

1. ผลการพัฒนาแบบจำลองการเกิดการเดินทาง (Trip Generation Model) พบว่า ปริมาณการเกิดการเดินทางและปริมาณการดึงดูดการเดินทางทั้งหมดของพื้นที่ย่อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณการรองรับผู้ใช้งาน (ที่นั่งเรียน) ซึ่งมีความสัมพันธ์ของตัวแปร (R^2) อยู่ในเกณฑ์ดี โดยมีค่า 0.8931 และ 0.7826 ตามลำดับ ส่วนผลการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ไม่เท่ากับศูนย์ (T-Test) พบว่า ผ่านเกณฑ์ โดยมีค่า 9.5812 และ 6.4568 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกิน 1.96 ที่ช่วงความเชื่อมั่น (Level of Confident) ที่ 95 % โดยผลการพัฒนาแบบจำลองแสดงใน Table 1

Table 1 Trip Generation Model

Model	Equation	R^2	T-Statistic
Trip Production	$P_i = 0.1965\ X_i + 265.7311$	0.8931	9.5812
Trip Attraction	$A_i = 0.3468\ X_i + 228.4750$	0.7826	6.4568

By P_i = Total trip production of zone i, (PCU/Day)
A_i = Total trip attraction of zone i, (PCU/Day)
X_i = Total student seat of zone i, (Seats)
T-Statistic = Coefficient of 95 % Confidence, 2-tails > $|t_{0.025}|$ (1.96)

Remark: *PCU = Passenger Car Unit*

2. ผลการพัฒนาแบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution Model) พบว่า แบบจำลองแบบ Doubly Constrained Gravity Model ที่ใช้เคราะห์หาปริมาณการเดินทางระหว่างคู่โซน และ ฟังก์ชั่นค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย (Exploit Form of Impedance Function) ที่ได้จากการปรับเทียบ (Calibrate) กับพฤติกรรมการเดินทางในปีปัจจุบัน มีรูปแบบสมการดังแสดงใน Table 2

Table 2 Trip Distribution Model

Model	Equation
Trip Distribution	$T_{ij} = \alpha_i \cdot \beta_j \cdot P_i \cdot A_j \cdot F(c_{ij})$
Load Impedance Function	$F(c_{ij}) = c_{ij}^{0.0002} \cdot \exp(-0.1513 \cdot c_{ij})$

By T_{ij} = Total trip from zone i to zone j, (PCU/Day)
P_i = Total trip production of zone i, (PCU/Day)
A_i = Total trip attraction of zone i, (PCU/Day)
$F(c_{ij})$ = Load impedance function between zone i and zone j
α_i, β_j = Balancing factor of row i and column j
c_{ij} = Travel cost between zone i and zone j, (Baht)

3. ผลการพัฒนาแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Mode Choice Model) พบว่า แบบจำลอง ให้ค่า Likelihood Ratio Index (ρ^2) ดีที่สุด ที่ระดับ 0.3065 และสามารถอธิบายพฤติกรรมการเดินทางได้เป็นอย่างดี ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Mode Choice Model

Model	Equation
Mode Choice	$P_n(i) = \frac{e^{U_{in}}}{\sum_{j \in c_m} e^{U_{jn}}}$
Utility function for walk	U_W = - 0.0007 T_w
Utility function for bike	U_B = 0.8903 - 0.0097 T_B
Utility function for motorcycle	U_M = 4.0222 - 0.0650 T_M - 0.0342 C_M
Utility function for car	U_C = 2.2768 - 0.1145 T_C - 0.0413 C_C
Utility function for public transport	U_P = 1.5770 - 0.0224 T_P - 1.5770 C_P

By $P_n(i)$ = Probability for traveller n by mode i
U_{in} = Utility function of alternative i for traveller n
C_m = Number of alternative
j = Alternative j (ex. walk, bike, car, etc.)
T = Travel time of alternative (Min)
C = Travel cost of alternative (Baht)

4. ผลการพัฒนาแบบจำลองการแจกแจงการเดินทาง (Trip Assignment Model) พบว่า แบบจำลอง จะแจงแจงปริมาณจราจรบนโครงข่ายระบบคมนาคมต่างๆ ด้วยวิธีการแจกแจงแบบ User Equilibrium โดยมีรูปแบบสมการดังแสดงใน Table 4

Table 4 Trip Assignment Model

Model	Equation
Trip Assignment	$Min \sum_{a \in A} \int_0^{V_a} C_a(\omega) d\omega$ $\sum_{\gamma \in R_{ij}} f_r^{ij} = q_{ij}, \forall_{ij} \in I,J$ $f_r^{ij} \geq 0, \forall_{ij} \in R_{ij}, ij \in I,J$

By C_a = Travel cost on link a
A = Set of a
f^{ij}_r = Volume between zone i and zone j on route r
q_{ij} = Trip between zone i and zone j

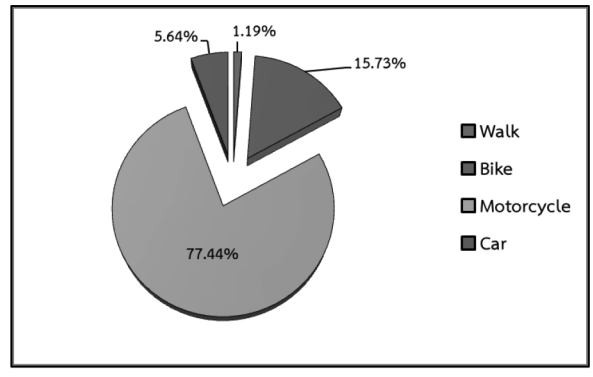
3) ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

เมื่อนำแบบจำลองที่ได้มาประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ที่มีโครงการพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พบว่า สภาพการจราจรภายในมหาวิทยาลัยมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยผลคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะ และผลคาดการณ์สภาพการจราจรของถนนและของระบบขนส่งสาธารณะในกรณีไม่มีโครงการและมีโครงการแสดงในTable 5 และ Figure 5 ถึง Figure 7 ตามลำดับ

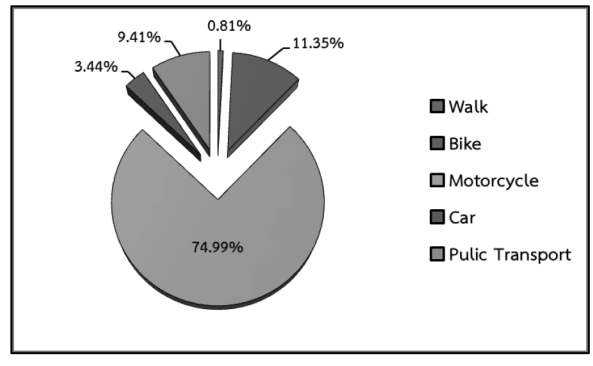
Table 5 Passenger Demand Forecasting of Public Transportation and Traffic Condition in Pibulsongkram Rajabhat University

Traffic Condition	Unit	Case		Comparison
		Without Project (W/O)	With Project (W)	
Ridership (PT)	Trip/Day	-	2,143	Up 2,143
Others Trips	Trip/Day	22,777	20,634	Down 2,143
Volume	PCU/Day	14,325	12,977	Down 1,348
- Motorcycle	PCU/Day	13,353	12,408	Down 945
- Car	PCU/Day	972	569	Down 403
VKT	PCU-Km./Day	17,432	15,792	Down 1,640
VHT	PCU-Hr./Day	348	314	Down 34
Average Speed	Km./Hr.	50.04	50.29	Up 0.25
LOS	-	LOS B	LOS A	Up 1 Level

หมายเหตุ: *PCU = Passenger Car Unit*
VKT = Vehicle Kilometer of Travelled
VHT = Vehicle Hour of Travelled
LOS = Level of Service



(a) Proportion of Travel Mode (Without Project)



(b) Proportion of Travel Mode (With Project)

Figure 5 Proportion of Mode Choice in Pibulsongkram Rajabhat University

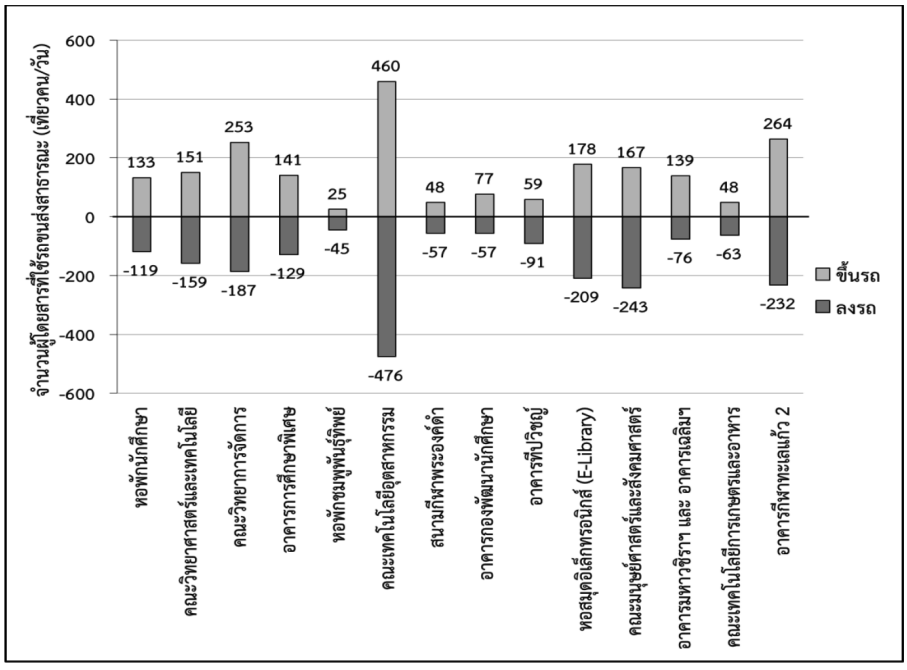
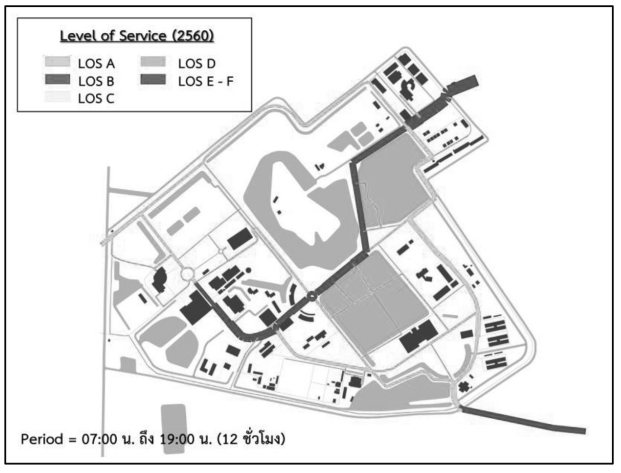
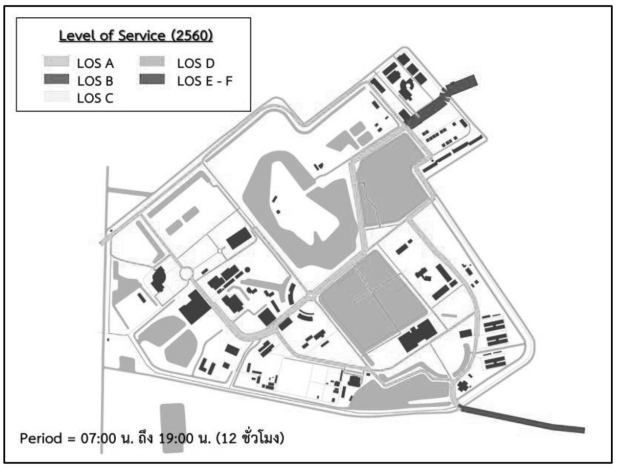


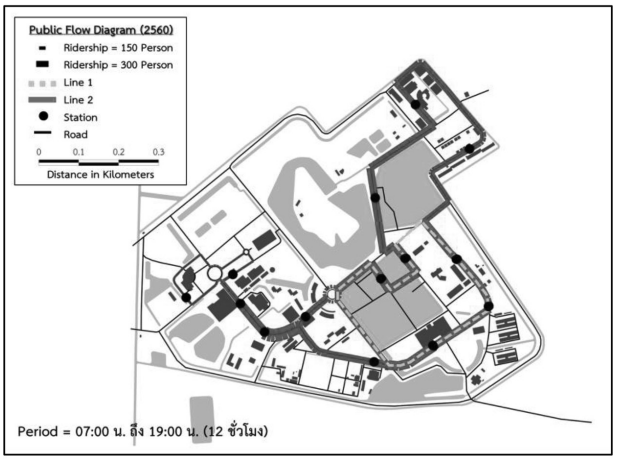
Figure 6 Passenger Demand Forecasting of Public Transportation in Pibulsongkram Rajabhat University



(a) Traffic Condition of Road Network (W/O)



(b) Traffic Condition of Road Network (W)



(c) Traffic Condition of Public Transportation

Figure 7 Traffic Condition in Pibulsongkram Rajabhat University

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย ตามวิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน สามารถวิเคราะห์คาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัยได้ และนำไปสู่ข้อมูลที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการลงทุนได้ โดยแบบจำลองที่พัฒนาในการวิจัยนี้มีความแตกต่างจากการศึกษาเดิม[9-14] อันเนื่องมาจากสภาพบริบทของมหาวิทยาลัย ดังนี้ 1) แบบจำลองการเกิดการเดินทางในการวิจัยนี้ใช้วิธีวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) โดยมีตัวแปรต้นเป็นจำนวนที่นั่งนักเรียน เนื่องจากสามารถจำลองการเกิดการเดินทางได้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมากที่สุด โดยดูได้จากค่า R^2 ที่ค่อนข้างสูง (0.8931 และ 0.7826) ซึ่งแตกต่างกับแบบจำลองการวิเคราะห์ระดับอื่นๆ ที่ส่วนใหญ่ใช้ตัวแปรต้นเป็น จำนวนประชากร และรายได้ 2) แบบจำลองการกระจายการเดินทางในการวิจัยนี้ใช้วิธีความโน้มถ่วงแบบข้อจำกัด 2 ทาง (Doubly Constrained Gravity Model) เนื่องจากสามารถจำลองพฤติกรรมการเดินทางได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจุดต้นทางและปลายทางที่ได้จากการสำรวจมากที่สุด ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาที่ผ่านมาที่นิยมใช้วิธีความโน้มถ่วงแบบข้อจำกัดทางเดียว (Singly Constrained Gravity Model) และ วิธีตัวประกอบความเติบโต (Growth Factors) ส่วน 3) แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางในการวิจัยนี้ใช้วิธีวิเคราะห์โลจิต (Logit Method) ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์เหมือนกับการศึกษาที่ผ่านมา แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ของสมการแตกต่างกัน และ 4) แบบจำลองการแจกแจงการเดินทางในการวิจัยนี้ใช้วิธีสมดุลของผู้เดินทางของผู้เดินทาง (User Equilibrium) ซึ่งเป็นเทคนิควิธีที่ทำให้เวลาการเดินทาง (หรือ ค่าใช้จ่าย) บนเส้นทางต่างๆ ระหว่างคู่โซนเดียวกันให้อยู่ในสภาพสมดุล และจะให้ลักษณะคำตอบเป็นค่าที่แท้จริง (Exact Solution) ในขณะที่การศึกษาที่ผ่านมานิยมใช้ วิธี Incremental ที่จะให้ลักษณะคำตอบเป็นค่าประมาณที่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง (Approximate Solution)

อย่างไรก็ตามเมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองกับสถานการณ์ที่มีการพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พบว่า จะมีผู้โดยสารที่ใช้บริการรถขนส่งสาธารณะประมาณ 2,143 เที่ยวคน/วัน หรือคิดเป็น 9.41% ของการเดินทางทั้งหมด ซึ่งจะช่วยลดการใช้รถส่วนบุคคลได้ประมาณ 2,143 เที่ยวคน/วัน หรือ 1,348 PCU/วัน โดยจะช่วยลดการใช้รถจักรยานยนต์ และ รถยนต์ประมาณ 945 PCU/วัน (2,863 คัน/วัน) และ 403 PCU/วัน (403 คัน/วัน) ตามลำดับ นอกจากนี้การพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะฯ ยังช่วยให้สภาพการจราจรภายในมหาวิทยาลัยดีขึ้น เนื่องจากระดับการให้บริการโดยรวมเปลี่ยนจากระดับ LOS B เป็น ระดับ LOS A ซึ่งเป็นระดับการให้บริการที่กระแสจราจรมีสภาพอิสระ มีความเร็วสูง ปริมาณการจราจรน้อย ผู้ขับขี่สามารถเลือกใช้ความเร็วได้อย่างอิสระ และไม่มีการจราจรติดขัด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านข้อมูลและองค์ความรู้ต่างๆ ตลอดจนข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อการทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Richardson, B. C. (2005). Sustainable Transport: Analysis Frameworks. Journal of Transport Geography, 13(1), 29-39.
2. Qureshi, I. A., & Lu, H. (2007). Urban Transport and Sustainable Transport Strategies: A Case Study of Karachi, Pakistan. Tsinghua Science & Technology, 12(3), 309-317.
3. Steg, L., & Gifford, R. (2005). Sustainable Transportation and Quality of Life. Journal of Transport Geography, 13(1), 59-69.
4. Wen, C.-H., Lan, L., & Cheng, H.-L. (2005). Structural Equation Modeling to Determine Passenger Loyalty Toward Intercity Bus Services. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1927(-1), 249-255.
5. Eboli, L., & Mazzulla, G. (2007). Service Quality Attributes Affecting Customer Satisfaction for Bus Transit. Journal of Public Transportation, 10(3), 21-34.
6. Stradling, S., Carreno, M., Rye, T., & Noble, A. (2007). Passenger Perceptions and the Ideal Urban Bus Journey Experience. Transport Policy, 14(4), 283-292.
7. dell'Olio, L., Ibeas, A., & Cecín, P. (2010). Modelling User Perception of Bus Transit Quality. Transport Policy, 17(6), 388-397.

8. González-Díaz, M., & Montoro-Sánchez, Á. (2011). Some Lessons from Incentive Theory: Promoting Quality in Bus Transport. Transport Policy, 18(2), 299-306.
9. กรมทางหลวง. (2545). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองสายเชียงใหม่-เชียงราย, กระทรวงคมนาคม.
10. กรมทางหลวง. (2550). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการทางหลวงแนวใหม่สายเชียงใหม่-ลำพูน, กระทรวงคมนาคม.
11. กรมทางหลวง. (2553). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองสายพัทยา-มาบตาพุด, กระทรวงคมนาคม.
12. กรมทางหลวง. (2555). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการเร่งรัดขยายทางหลวงสายประธานให้เป็น 4 ช่องจราจร โครงการทางหลวงเชื่อมโยงสายลำปาง-อ.เด่นชัย จ.แพร่, กระทรวงคมนาคม.
13. Brustlin, V.H. (2007). Transportation Demand Management Plan, Verginia: University of Verginia.
14. Steinhoff, M. and Harpring, J. (2008). Transportation and Sustainability on the Indiana University, Bloomington: Bloomington Campus, Indiana University.
15. Craig, S. (2009). A Survey of Transportation Demand Management at Colleges and Universities in British Columbia, Camosun.
16. Comsis Corporation. (1983). UTPS Highway Network Development Guide, Federal Highway Administration, US Department of Transportation.
17. Ortúzar, J.D. and Willumsen, L.G. (1990). Modeling Transport, New York: John Wiley & Sons.
18. McFadden, D. (2001). Economic Choices, American Economic Review, vol. 91, pp. 351-378.
19. เสกสรรค์ วินยางค์กูล และคณะ. (2557). การประยุกต์ตัวแบบปัญหาการเดินทางของเซลล์แมน กรณีศึกษาการจัดเส้นทางรถรางนำเที่ยวของเทศบาลนครเชียงราย. วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 7(2), 85-97.