การพัฒนาแบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอนจำแนกตามช่วงเวลา เพื่ออธิบายพฤติกรรมการเดินทางในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ระยะที่ 1 แบบจำลองการเกิดของการเดินทางและการกระจายการเดินทาง

The Development of Time-Specific 4 Steps Sequential Model explaining travel behavior in Nakhon Ratchasima Municipality First Phase: Trip Generation and Trip Distribution

พชร วัชราภรณ์[1] วงศ์วริศ ซูซูกิ[2] วัชรพงษ์ วงษ์แก้ว[3] และ พงษ์สันต์ บัณฑิตสกุลชัย[4]

[1,2,3,4] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร

บทคัดย่อ

แบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอนนั้นถูกพัฒนาขึ้นโดยมีเป้าหมายเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเดินทางที่มีต่อปัจจัยด้านเศรษฐกิจและสังคมของประชากรที่อาศัยอยู่ในแต่ละพื้นที่ผ่านการวิเคราะห์จราจร โดยจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการเดินทางและลักษณะการครอบครองยานพาหนะของครัวเรือน อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้ไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมการเดินทางที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของวันได้ ทำให้การออกแบบนโยบายด้านการขนส่งทำได้อย่างจำกัด เหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงเลือกที่จะพัฒนาแบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอนแบบจำแนกตามช่วงเวลาเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากข้อจำกัดนี้ โดยได้เลือกเทศบาลนครนครราชสีมาเป็นพื้นที่ศึกษา และได้ทำการแบ่งออกเป็น 28 พื้นที่วิเคราะห์จราจร ทำให้ได้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใหม่ 3 แบบจำลองย่อย คือ (1) แบบจำลองการเกิดการเดินทาง ซึ่งอธิบายถึงปริมาณการเดินทางที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ย่อย ผ่านการใช้ข้อมูลจำนวนประชากร โครงสร้างอายุของประชากร ขนาดครัวเรือน และปริมาณการครอบครองยานพาหนะเป็นตัวแปรต้นของแบบจำลอง (2) แบบจำลองการดึงดูด การเดินทาง ซึ่งอธิบายสัดส่วนของปริมาณการเดินทางมายังแต่ละพื้นที่ย่อย ผ่านการใช้ข้อมูลการใช้ ประโยชน์ที่ดิน โครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง และพื้นที่ใช้สอยในอาคารเป็นตัวแปรต้นของ แบบจำลอง และ (3) แบบจำลองการกระจายการเดินทาง ซึ่งอธิบายสัดส่วนการเดินทางระหว่างคู่พื้นที่วิเคราะห์ย่อย โดยอาศัยผลที่ได้จากทั้ง 2 แบบจำลอง โดยทั้งสามแบบจำลองย่อยสามารถจำแนกช่วงการวิเคราะห์ออกมาได้เป็น 4 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลาเร่งด่วน-เช้าวันธรรมดา ช่วงเวลาเร่งด่วน-เย็นวันธรรมดา นอกช่วงเวลาเร่งด่วน-วันธรรมดา และวันหยุดตลอดวัน

คำสำคัญ: แบบจำลองการเดินทางต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, การเกิดการเดินทาง, การดึงดูดการเดินทาง, การกระจายการเดินทาง

บทนำ

ในปัจจุบันระบบขนส่งสาธารณะได้มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการใช้บริการการเดินทางของผู้คน เช่น การสร้างรถไฟฟ้าหรือระบบขนส่งอื่น ๆ ดังนั้นการสำรวจและเข้าใจพฤติกรรมการเดินทางและรูปแบบของการเดินทางในปัจจุบันจึงเป็นขั้นตอนการดำเนินงานที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบระบบขนส่งสาธารณะในพื้นที่ต่าง ๆ เนื่องจากความเข้าใจเกี่ยวกับปริมาณการเดินทางและรูปแบบการเดินทางในปัจจุบัน อย่างเช่นในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่อาศัย eBUM (The extended Bangkok Urban Model) ของสำนักงานนโยบายจราจรและขนส่งโดยใช้วิธีการสำรวจพฤติกรรมการเดินทาง จุดต้นทาง และจุดปลายทาง อย่างไรก็ตาม การจำแนกแบบจำลองในลักษณะนี้ไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมการเดินทางที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของวันได้ ทำให้การออกแบบนโยบายด้านการขนส่งทำได้อย่างจำกัด ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาแบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอนจำแนกตามช่วงเวลา

ดังที่กล่าวข้างต้น การเลือกแบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอนจึงเป็นสิ่งพื้นฐานที่มีประโยชน์อย่างมาก ด้วยศักยภาพที่สามารถนำเอาไปปรับใช้ได้กับทุกรูปแบบการขนส่งผ่านแบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน ซึ่งประกอบไปด้วยแบบจำลองการเกิดการเดินทางและการดึงดูดการเดินทาง (Trip Production and Trip Attraction), แบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution), แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Modal Split) และแบบจำลองการแจกแจงการเดินทาง (Trip Assignment) ซึ่งทั้ง 4 ขั้นตอนนี้เป็นส่วนช่วยเหลือที่สำคัญต่อการวิเคราะห์ปริมาณการเดินทางและรูปแบบการเดินทาง

ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าการพัฒนาแบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอนแบบแยกช่วงเวลานั้นจะช่วยเพิ่ม

ประสิทธิภาพในการอธิบายรูปแบบการเดินทางในปัจจุบันและเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบจำนวนเส้นทาง รวมถึงจำนวนจุดจอดของระบบขนส่งสาธารณะในเขตเทศบาลนครนครราชสีมาให้สอดคล้องกับความต้องการการเดินทางของผู้ที่อาศัยในพื้นที่ได้มากยิ่งขึ้นอีกด้วย

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1 แบบจำลองการเดินทางชนิดต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน

แบบจำลองการเดินทางชนิดต่อเนื่องสี่ขั้นตอนนั้นเป็นหลักการที่มีความเป็นมายาวนานและเป็นที่รู้จักในด้านการคาดการณ์ความต้องการในการขนส่ง ซึ่งจุดเริ่มต้นนั้นสามารถย้อนกลับไปในทศวรรษที่ 1950 โดยเป็นหนึ่งในรูปแบบของแบบจำลองแรก ๆ ที่พยายามเชื่อมโยงการใช้ที่ดินและพฤติกรรมเพื่อการวางแผนการขนส่ง ซึ่งแต่เดิมได้นำไปใช้ในบริบทการวางแผนโครงข่ายถนนระหว่างเมืองต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกา กระทั่งต่อมาในช่วงทศวรรษที่ 1970 แบบจำลองนี้ได้มีการปรับปรุงเพื่อรวมการเดินทางต่อเนื่องหลายรูปแบบให้ทันสมัยมากขึ้น ซึ่งมีการพัฒนามาจนถึงปัจจุบัน โดยแบบจำลองการเดินทางชนิดต่อเนื่องสี่ขั้นตอนนั้น ทางคณะผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาผ่านกระบวนการสร้างแบบจำลองในระยะที่หนึ่ง แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ๆ ได้ ดังนี้

1.1 แบบจำลองการเกิดการเดินทาง (Trip Generation Model)

แบบจำลองการเกิดการเดินทางนั้นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อหาความสัมพันธ์การเกิดการเดินทางกับสภาพของสังคมในแต่ละพื้นที่ย่อย โดยก่อนที่จะทำการวิเคราะห์การเกิดการเดินทางนั้นจะต้องมีการแบ่งพื้นที่ย่อย หรือที่เรียกว่า Traffic Analyze Zone หรือ TAZ ซึ่งเป็นพื้นที่การจราจรย่อยในพื้นที่ศึกษา

แบบจำลองนี้เป็นการหาความต้องการที่จะเดินทางมาหรือไปจากตำแหน่งหนึ่ง โดยสามารถวิเคราะห์จากข้อมูลทางเศรษฐสังคมต่าง ๆ ว่าจะมีปริมาณการเกิดจำนวนการเดินทางมากแค่ไหน ซึ่งในแต่ละพื้นที่แต่ละแบบ ไม่ว่าจะเป็นพื้นที่อยู่อาศัยหรือพื้นที่ทำงานก็จะต้องมีการสำรวจข้อมูลเหล่านี้เกิดขึ้น ซึ่งขั้นตอนนี้จะนำมาสู่การเก็บข้อมูลหรือ Data Collection ซึ่งอาจทำได้โดยการสำรวจตามบ้านหรือการใช้ข้อมูลทุติยภูมิ

โดยแบบจำลองนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 องค์ประกอบหลักนั่นคือ

1. การเกิดการเดินทาง หรือ Trip production (Ti) ซึ่งมักจะประกอบไปด้วยการทำแบบสอบถาม สำรวจตามบ้าน รวมไปถึงนำข้อมูลจากสำมะโนประชากรมาใช้ เพื่อหาข้อมูลเศรษฐสังคมของแต่ละครอบครัวมาเพื่อใช้ต่อ

2. การดึงดูดการเดินทาง หรือ Trip attraction (Tj) โดยจะมีตั้งแต่การใช้ข้อมูลผังเมือง ข้อมูลการวางแผนต่าง ๆ ไปจนถึงใช้ข้อมูลจราจร ข้อมูลที่ดิน/อสังหาริมทรัพย์/พื้นที่ใช้สอยอาคาร หรือแม้แต่ข้อมูลการจ้างงานที่ทำให้รู้ถึงจำนวนการเดินทางคร่าว ๆ ได้

1.2 แบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution Model)

แบบจำลองการกระจายการเดินทางนั้นมีการพัฒนาโดยเริ่มจากข้อสันนิษฐานเกี่ยวกับการเดินทางอย่างเป็นหมู่คณะ โดยพิจารณาให้พฤติกรรมการเดินทางนั้นได้รับอิทธิพลจากปัจจัยภายนอก เช่น ระยะทางเดินทาง โดยแบบจำลองที่แพร่หลายมากที่สุดคือแบบจำลองแบบศักย์โน้มถ่วงซึ่งเดิมสร้างขึ้นจากการเปรียบกับกฎความโน้มถ่วงของนิวตัน

แบบจำลองแบบศักย์โน้มถ่วงนั้นใช้ในการคำนวณหาปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยในพื้นที่ศึกษาซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ โดยในกรณีนี้จะอาศัยแบบจำลองแบบศักย์โน้มถ่วง หรือ Gravity Model

ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้ทำการแยกช่วงเวลาของแบบจำลองออกเป็น 4 ช่วงโดยแต่ละช่วงจะมีสมการจำลองที่แตกต่างกัน และนอกเหนือจากทฤษฎีแบบจำลองการเดินทางชนิดต่อเนื่อง 4 ขั้นตอนแล้วนั้น ยังมีทฤษฎีอื่น ๆ เพิ่มเติมที่ใช้ร่วมกันในแบบจำลองนี้ ได้แก่

2. การจำแนกพื้นที่ในการวิเคราะห์จราจรออกเป็น TAZ

3. การใช้ประโยชน์ที่ดิน

4. การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

Metrics สำหรับปัญหา Regression โมเดล Regression ถูกสร้างขึ้นเพื่อทำนายตัวแปร y แบบ continuous (ตัวเลข) สามารถเขียนสมการคำนวณค่า error ได้ดังนี้

Error = prediction — actual

เรียก error function นี้ว่า “Loss function” และเป้าหมายของการ train โมเดลคือการ minimize หรือลดค่า loss ให้มีค่าต่ำที่สุด

โดยงานวิจัยนี้จะพิจารณาวิธี Mean Absolute Error และ Root Mean Square Error สำหรับการตรวจสอบ โดยค่าที่ได้จากการตรวจสอบยิ่งมีค่าน้อย ประสิทธิภาพในการทำนายยิ่งมีค่าสูง

2.1 Mean Absolute Error (MAE)

เป็นการหาผลรวมของค่า Absolute Error แล้วนำไปคูณกับ 1/n เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าเฉลี่ย โดยวิธีนี้จะไม่อ่อนไหวต่อ Outlier

2.2 Root Mean Square Error (RMSE)

เป็นการถอดรากที่สองของค่า MSE เพื่อให้ได้ค่า loss ที่มีหน่วยเดียวกับตัวแปร y เหตุผลที่ต้องถอดรากที่สอง เนื่องจากว่ามีการยกกำลังสองค่า error ก่อนหาค่าเฉลี่ยทำให้หน่วยเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

กระบวนการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการศึกษา

1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนา

1.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงกลุ่ม (Crosstabs)

1.3 การวิเคราะห์แผนภาพการกระจายตัวของทิศทางในการเดินทาง

1.4 การวิเคราะห์แบบจำลองการกระจายการเดินทาง

1.5 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ถดถอยเชิงเส้นแบบเป็นขั้นตอน Stepwise Regression Model

1.6 การวิเคราะห์แบ่งแยกช่วงเวลา

การวิเคราะห์แบบจำลอง 4 ขั้นตอนแบ่งแยกช่วงเวลาเป็น 4 ช่วงเวลา ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางการแสดงช่วงเวลา

วันในสัปดาห์	ช่วงเวลา	รหัส	ชื่อเรียก
วันธรรมดา	6.00 – 10.00 น.	MP	ช่วงเร่งด่วนเช้า
	15.00 – 20.00 น.	EP	ช่วงเร่งด่วนเย็น
	10.00-15.00 น. 20.00-6.00 น.	OP	นอกช่วงเร่งด่วน
วันหยุดสุดสัปดาห์	ทั้งวัน	WE	ช่วงสุดสัปดาห์

2 Trip Production

2.1 Data Cleaning and Data preparation

การอาศัยโปรแกรมไพธอนในการเตรียมข้อมูลจากแบบสอบถาม ซึ่งอาศัยการปรับข้อมูลตัวอักษรไปเป็นข้อมูลตัวเลข โดยเปลี่ยนประเภทข้อมูลให้วิเคราะห์ง่ายขึ้นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงการเตรียมข้อมูล

ข้อมูล	ประเภทข้อมูลเดิม	ประเภทข้อมูลใหม่
จุดประสงค์เดินทาง	ตัวอักษร	ข้อมูลลำดับ
เวลา	ประทับเวลา	ข้อมูลลำดับ
รายได้	ตัวเลข	ข้อมูลลำดับ
อายุ	ตัวเลข	ข้อมูลลำดับ

2.2 แบบจำลองการเกิดการเดินทาง

การเกิดการเดินทาง หรือ Trip production (P_i) ซึ่ง อาศัยข้อมูลเศรษฐสังคมของแต่ละครอบครัว นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผ่านสมการถดถอยเชิงเส้น ดังสมการที่ 1

$$P_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \ldots + \beta_n \cdot X_n \qquad (1)$$

โดย P_i คือ ปริมาณการเกิดการเดินทาง

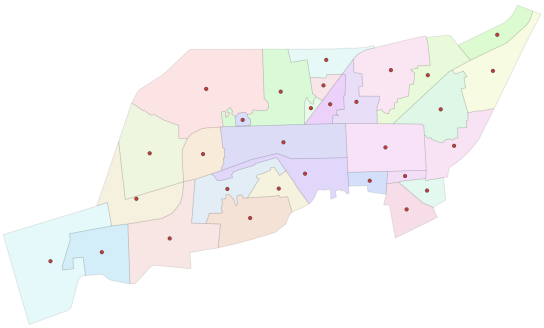
X_i คือ ตัวแปรข้อมูลทางเศรษฐกิจและสังคม

ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะสามารถนำไปใช้กับข้อมูลประชากรของเทศบาลนคร ซึ่งจะได้ผลออกมาเป็นข้อมูลปริมาณการเกิดการเดินทางในแต่ละช่วงเวลาจากพื้นที่ต่าง ๆ

3 Trip Attraction

3.1 Data Preparation

ทางคณะผู้วิจัยอาศัยโปรแกรม QGIS ในการสร้างและรวบรวมข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นพื้นที่ หรือจำนวนสิ่งปลูกสร้าง และการใช้ประโยชน์พื้นที่ตามผังเมือง ดังรูปที่ 1 ในการเตรียมข้อมูลการใช้ประโยชน์พื้นที่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองการดึงดูดการเดินทาง



รูปที่ 1 รูปข้อมูลเทศบาลนครนครราชสีมา

ในส่วนของ Trip attraction นั้น คณะผู้วิจัยได้นำผลการข้อมูลการเกิดการเดินทางของแต่ละช่วงเวลาจากแบบจำลองการเกิดการเดินทางมาทำการกระจายไปในแต่ละพื้นที่ตามอัตราส่วนจากการเก็บแบบสอบถามในแต่ละพื้นที่ และข้อมูลดิบใช้เป็นการนับจำนวนสถานที่ในแต่ละ TAZ โดยคณะผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มสถานที่ออกเป็น 3 ประเภทนั่นคือ

1. Institute ได้แก่ โรงพยาบาล, โรงเรียน, มหาวิทยาลัย และ สถานที่ราชการ

2. Commercial ได้แก่ ห้างสรรพสินค้า, ซูเปอร์มาร์เก็ต และ ตลาด

3. Other ได้แก่ วัด, สวนสาธารณะ และ ศูนย์กีฬา

โดยข้อมูลที่เป็น GrFins, GrCom และ GrOth นั้นจะเป็นข้อมูลพื้นที่ชั้นระดับพื้นดิน ส่วนที่เหลือจะเป็นจำนวน โดยจะมีตัวแปรบางส่วนที่มีข้อมูลแต่ไม่ถูกนำมาคิดด้วยในแบบจำลอง เช่น จำนวนครัวเรือน, ร้านอาหาร, ป้ายรถเมล์ เนื่องจากจำนวนและการกระจายเชิงพื้นที่ไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ

เมื่อได้ค่าตัวแปรมาแล้ว จะสามารถประมาณและสร้างแบบจำลองการดึงดูดการเดินทางผ่านสมการที่ 2 ได้

$$A_j = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \ldots + \beta_n \cdot X_n \qquad (2)$$

โดย A_j คือ ปริมาณการดึงดูดการเดินทาง

X_i คือ ตัวแปรข้อมูลการใช้ประโยชน์เชิงพื้นที่

4 Trip Distribution

4.1. การเตรียม และการรวบรวมข้อมูล

4.1.1 การหาตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์

การวิเคราะห์การกระจายการเดินทางจำเป็นต้องอ้างอิงตำแหน่งจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทางจากเซนทรอยด์ของโซนหนึ่งไปยังเซนทรอยด์ของอีกโซนหนึ่ง เพื่อใช้ในการส่งคำขอข้อมูลจาก Google Map API ซึ่งสามารถหาตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ได้จากฐานข้อมูลของโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ (QGIS) ที่ได้จัดทำไว้ ดังรูปที่ 1

หลังจากคำนวณพิกัดเซนทรอยด์ของแต่ละโซน ข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงผลในรูปของระบบพิกัดคาร์ทีเซียนสองมิติ เป็นคู่อันดับ (x, y) ซึ่งเป็นพิกัดที่อยู่ในรูปแบบ UTM ใน WGS 84 Projection จากนั้น จึงแปลงค่าพิกัดดังกล่าวให้อยู่ในรูปพิกัดละติจูดลองจิจูด เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้น (Origin) และจุดสิ้นสุด (Destination) ในการเดินทาง

4.1.2 การรวบรวมข้อมูลเส้นทางระหว่างโซน

ในการรวบรวมข้อมูลการเดินทางระหว่างคู่โซนนั้น สามารถรวบรวมข้อมูลจาก Google Map โดยป้อนพิกัดเซนทรอยด์ของจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดในการเดินทาง จากนั้นจึงเลือกเส้นทางการเดินทางของรถยนต์ที่ใช้เวลาน้อยที่สุด โดยกำหนดให้วันและเวลาที่ออกเดินทางเป็นไปตาม 4 ช่วงเวลาที่ได้กำหนดไว้

เนื่องจากข้อมูลในการเดินทางจากโซนหนึ่งไปอีกโซนหนึ่งมีคู่ O–D (Origin–Destination) จำนวนสูงมากกว่า 500 คู่ การกรอกข้อมูลผ่าน Google Map จึงใช้เวลานานในการรวบรวมข้อมูล ดังนั้นจึงใช้วิธีการขอผ่าน Route API โดยอาศัย Directions/ Route Requests ซึ่งสามารถระบุข้อมูล Input Term เพื่อนำเอาข้อมูลจาก Google Cloud API ดังตารางที่ 3 และได้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบไฟล์ JSON

Route Requests	Input Terms
Origin	Latitude/ Longitude
Destination	Latitude/ Longitude
Travel Mode	Drive
Routing Preferences	Traffic Aware
Departure Time	Date-Time
Route Modifiers	-
Compute Alternative Routes	-
Code	TH
Units	Metrics

ตารางที่ 3 ตาราง Input Terms

เมื่อได้ข้อมูลเส้นทางจาก Google Map API ครบทุกคู่ O–D ข้อมูลดังกล่าวจะถูกจัดให้อยู่ในรูปของ O–D Matrix เพื่อนำไปคำนวณและวิเคราะห์แบบจำลองการกระจายการเดินทางตามที่ได้กำหนดไว้ในสมการ

4.2. การสร้าง OD-Matrix อาศัยวิธี RAS Method

RAS หรือการปรับสมดุลแบบสองสัดส่วน เป็นกระบวนการวนซ้ำที่ปรับแถวและคอลัมน์ของเมทริกซ์ไปมาซ้ำเรื่อย ๆ โดยการปรับค่าในแถวเพื่อให้รวมกับค่าควบคุม (ผลรวมของแถว) ต่อมาปรับคอลัมน์จะต้องมีสมดุลตามวิธีการเดียวกัน แต่เมื่อเปลี่ยนค่าในคอลัมน์ค่าในแถวจะเปลี่ยนตาม ดำเนินการเช่นนี้จนกว่าแถวและคอลัมน์ทั้งหมดจะรวมกันเป็นค่าที่ต้องการ

ในกรณีนี้จะอาศัยข้อมูล ทั้งผลรวมการเกิดการเดินทางและผลรวมการดึงดูดการเดินทาง และอาศัยโปรแกรม MATLAB เพื่อให้สามารถใช้วิธี RAS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยโค้ด ซึ่งมีการตั้งให้ทำซ้ำไม่เกิน 1,000 ครั้ง และมีความแตกต่างของค่าที่ต้องการไม่เกิน 10^{-6} ทั้งนี้เมื่อทำครบแล้ว จะได้ผลเป็น OD-Matrix

4.3 การสร้างแบบจำลองการกระจายการเดินทาง

แบบจำลองแบบศักย์โน้มถ่วงนี้ เป็นแบบจำลองที่ใช้ในรูปแบบทั่วไป ดังซึ่งใช้ในการคำนวณหาปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยในพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้แบบจำลองนั้นมีอยู่หลายรูปแบบ โดยในกรณีนี้จะอาศัยแบบจำโดยพิจารณาให้พฤติกรรมการเดินทางนั้นได้รับอิทธิพลจากปัจจัยภายนอก เช่น ระยะทางเดินทาง เป็นต้น โดยแบบจำลองที่แพร่หลายมากดีที่สุดคือแบบจำลองแบบศักย์โน้มถ่วงซึ่งเดิมสร้างขึ้นจากการเปรียบกฎความโน้มถ่วงของนิวตัน โดยในที่นี้จะใช้เพียงระยะทางและเวลาในการเดินทางเท่านั้น ซึ่งมีรูปแบบเฉพาะที่ได้สร้างขึ้นมาของแบบจำลองตามสมการที่ 3

(3)

โดย T_{ij} = การเดินทางระหว่างโซน i ไปโซน j

P_i = การเกิดการเดินทางจากโซน i

A_j = การดึงดูดการเดินทางเข้าโซน j

D_{ij} = ระยะทางระหว่างโซน i และ j

t_{ij} = เวลาในการเดินทางระหว่างโซน i และ j

เมื่อจัดรูปอาศัยวิธีการลอกริทึม จะได้รูปแบบทั่วไปเชิงเส้นของแบบจำลองดังสมการที่ 4

5 การตรวจสอบสมการทำนายที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทำนาย

หลังจากได้สมการทำนายพฤติกรรมการเดินทางในแต่ละช่วงเวลาแล้ว คณะผู้วิจัยจะนำสมการทำนายนั้น ๆ ไปตรวจสอบค่าความผิดพลาดของสมการ โดยจะใช้วิธี Mean Absolute Error และ Root Mean Square Error สำหรับการตรวจสอบ

โดยกำหนดให้

1. $y_{prediction}$ คือ ผลการทำนายของแบบจำลอง

2. y_{actual} คือ ค่าจริงที่ได้จากการเก็บแบบสอบถาม

จะได้ว่า

1. วิธี Mean Absolute Error(MAE)

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$MAE = (1/n) * \sum ni(|y_{actual} - y_{prediction}|) \quad (2)$$

โดย n = 1 ถึง 26 และทำการหารค่าทั้งหมดด้วย mean (yactual) เพื่อปรับค่าให้เป็นเปอร์เซ็นต์

2 .วิธี Root Mean Square Error(RMSE)

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$RMSE = [(1/n) * \sum ni (y_{actual} - y_{prediction})^2]^{0.5} \quad (3)$$

โดย n = 1 ถึง 26 และทำการหารค่าทั้งหมดด้วย mean (yactual) เพื่อปรับค่าให้เป็นเปอร์เซ็นต์

ผลการดำเนินการวิจัย

ในส่วนของแบบจำลองการเกิดการเดินทางและการดึงดูดการเดินทาง เมื่อเปิดใช้ Stepwise model แล้วจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรและค่า R-squared ก่อนจะนำมาทำการสร้างแบบจำลองเพิ่มและเปิดใช้แต่ละตัวแปรเพื่อหาดูว่ามีตัวแปรใดที่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้กระบวนการเดียวกัน ทั้งในขั้นตอนการวิเคราะห์การเกิดการเดินทางและการดึงดูดการเดินทาง โดยผลที่ได้นั้นทำให้คณะผู้วิจัยได้แบ่งตัวแปรที่มีนัยสำคัญและมีความสัมพันธ์ต่อกันในแต่ละช่วงเวลา และบางตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญหรือความเกี่ยวข้องได้ดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองการเกิดการเดินทาง

สำหรับแบบจำลองการเกิดการเดินทางนั้น HH5 หรือครัวเรือนที่มีผู้อยู่อาศัย 5 คน และ Purpose 3 หรือ การเดินทางไปทำงาน (Home based work) นั้นมีส่วนในการกำหนดโครงสร้างแบบจำลองมากกว่าตัวแปรอื่น โดยเฉพาะในช่วงวันธรรมดาที่แต่ละ Trip purpose นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์ใกล้เคียงกัน ทำให้ในช่วงการวิเคราะห์วันสุดสัปดาห์นั้นไม่ได้มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับจุดประสงค์การเดินทางที่มีนัยสำคัญเป็นพิเศษ มีเพียง HH5 หรือครัวเรือนที่มีผู้อยู่อาศัย 5 คนเท่านั้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่าตัวอื่นเป็นพิเศษ ซึ่งข้อสรุปนี้เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับในช่วงเวลาเร่งด่วน-เช้าวันธรรมดา, ช่วงเวลาเร่งด่วน-เย็นวันธรรมดา และ ช่วงเวลาไม่เร่งด่วน-วันธรรมดา

โดยเมื่อแบ่งสมการออกมาตามแต่ละช่วงเวลาแล้วจะได้ผลของสมการดังนี้

ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าวันธรรมดา ได้สมการทำนายคือ

Trip Production(MP) = -0.5911*HH1 - 2.9206*HH2 + 1.1993*HH3 – 2.0269*HH4 + 3.2203*HH5 + 0.6406*Purpose3 + 0.4693*Purpose4 + 0.5305*Income0 – 0.4412*Income2 + 1.6223*Age2

ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นวันธรรมดา ได้สมการทำนายคือ

Trip Production(EP) = -0.4808*Pop + 1.2219*PC_TAZ – 3.4942*HH1 - 3.5883*HH2 + 1.4849*HH3 – 2.3217*HH4 - 1.7669*Income0 + 1.1698*Age0 + 2.5788*Purpose3 + 1.6871*Purpose4

ช่วงเวลาไม่เร่งด่วนวันธรรมดา ได้สมการทำนายคือ

Trip Production(OP) = 0.2932*Pop + 1.1281*PC_HH – 3.5592*MC_HH + 5.9652*HH5 - 1.1907*Purpose2 + 4.3283*Purpose3 + 1.6385*Purpose4 – 1.0622*Age1 + 1.5083*Age2

ช่วงสุดสัปดาห์ ได้สมการทำนายคือ

Trip Production(WE) = -2.4455*PC_HH – 4.2988*MC_HH + 1.2534*MC_TAZ + 3.7406*HH1 + 1.8591*HH2 + 1.7725*HH3 + 1.4163*HH4 + 9.2702*HH5 + 1.8846*Income1 + 2.7902*Income3

2. แบบจำลองการดึงดูดการเดินทาง

ในส่วนของแบบจำลองการดึงดูดการเดินทางนั้น หากแบ่งตาม 4 ช่วงเวลาแล้วจะได้สมการออกมาดังนี้

ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าวันธรรมดา ได้ผลสมการทำนายคือ

Trip Attraction(MP) = 7.747*GrFIns + 154.631*School + 413.148*Market + 410.578*University + 148.265* Hospital + 15.442*Bus + 206.777*Temple มีค่า R-Squared = 0.9871 และจากการตรวจสอบค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง ได้ว่ามีค่า MAE = 14.63%, RMSE = 19.09%

ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นวันธรรมดา ได้ผลสมการทำนายคือ

Trip Attraction(EP) = 4.549*Commercial - 10.760*Residential + 2.111*Log_GrFOth + 112.005*GovO + 373.911*Gym + 200.842*Market + 208.282*Supermarket + 10.809*House มีค่า R-Squared = 0.9577 และจากการตรวจสอบค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง ได้ว่ามีค่า MAE = 18.20%, RMSE = 23.89%

ช่วงเวลาไม่เร่งด่วนวันธรรมดา ได้ผลสมการทำนายคือ
Trip Attraction(OP) = -10.899*Residential + 6.619*Institution + 6.629*Other + 40.103*GrFCom + 230.897*Temple + 377.828*Supermarket + 227.688*Market + 232.698*University มีค่า R-Squared = 0.9637 และจากการตรวจสอบค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง ได้ว่ามีค่า MAE = 18.75%, RMSE = 22.91%
ช่วงสุดสัปดาห์ ได้ผลสมการทำนายคือ
Trip Attraction(WE) = 144.219*Transport + 38.068*GrFCom – 2.415*Log_GrFIns + 343.813*Gym + 220.426*School + 29.562*Bus + 229.163*Hospital มีค่า R-Squared = 0.9613 และจากการตรวจสอบค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง ได้ว่ามีค่า MAE = 16.85%, RMSE = 21.27%

3. แบบจำลองการกระจายการเดินทาง

ในส่วนของแบบจำลองการกระจายการเดินทาง ซึ่งนำข้อมูลจากการเกิดการเดินทางและการดึงดูดการเดินทางมาสร้าง OD-Matrix ทั้ง 4 ช่วงเวลา ผ่านวิธี RAS Bi-Proportional Method โดยสร้างแบบจำลองการกระจายการเดินทางผ่านแบบจำลองศักย์โน้มถ่วงร่วมกับข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเดินทางทั่วไปผ่าน Google API ซึ่งออกมาอยู่ในรูปเวลาและระยะทาง ทำให้ได้ผลว่า เมื่อสร้างแบบจำลองทั้ง 4 ช่วงเวลาออกมาแล้วพบว่าระยะทางนั้นไม่มีผลต่อการกระจายการเดินทางทั้ง 4 ช่วงเวลา ในขณะที่ R-Squared โดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ที่ 64.59% เท่านั้น และมีค่า MAE สูงถึง 75.03% และ RMSE สูงถึง 86.38%

จะพบว่าปริมาณการเกิดการเดินทางนั้นไม่ได้ส่งผลต่อรูปแบบการเดินทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตรงข้ามกับปริมาณการดึงดูดการเดินทาง และเวลาในการเดินทางที่มีผลมากต่อการกระจายการเดินทาง ทำให้สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่ได้นั้นยังไม่มีความครอบคลุมมากนัก ซึ่งทำให้การนำไปสร้างและทำนายผลการกระจายตัวของการเดินทางไม่สามารถทำได้ตามความคาดหวังของคณะผู้วิจัย

สรุปผลการวิจัย

1. Trip Production และ Trip Attraction

จากการวิเคราะห์และสร้างสมการทำนายการดึงดูดการเดินทาง แยก 4 ช่วงเวลาคือ ช่วงเวลาเร่งด่วน-เช้าวันธรรมดา, ช่วงเวลาเร่งด่วน-เย็นวันธรรมดา, ช่วงเวลาไม่เร่งด่วน-วันธรรมดา และช่วงสุดสัปดาห์ ได้ว่า

โดยจากสมการทำนาย กรณีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวก หมายความว่ามีการดึงดูดการเดินทางไปยังสถานที่นั้น ๆ หรือมีการเดินทางไปยังสถานที่นั้น ๆ มาก และกรณีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ หมายความว่าไม่มีการดึงดูดการเดินทางไปยังสถานที่นั้น ๆ หรือมีการเดินทางไปยังสถานที่นั้น ๆ น้อย

ซึ่งจากทั้ง 4 ช่วงเวลาจะพบว่าสัมประสิทธิ์ของ 2 ตัวแปรที่มีค่าเป็นลบ คือ Log_GrFIns และ Residential ในกรณี Residential มีค่าเป็นลบ สามารถแปลความได้ว่าเนื่องจากในบาง TAZ เป็นเขตที่อยู่อาศัย ทำให้ไม่มีการดึงดูดการเดินทางไปยังสถานที่นั้น ส่วนในกรณี Log_GrFIns มีค่าเป็นลบ สามารถแปลความได้ว่าเนื่องจาก Institute ประกอบไปด้วย โรงพยาบาล, โรงเรียน, มหาวิทยาลัย และสถานที่ราชการ จึงทำให้ในช่วงวันสุดสัปดาห์มีการเดินทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ เหล่านี้ลดลง

2. Trip Distribution

ผลจากแบบจำลองกระจายการเดินทางนั้นมีความแตกต่างจากแบบจำลองที่ได้ตั้งไว้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากข้อมูลของการเกิดและการดึงดูดการเดินทางที่มีความถูกต้องหรือการกระจายที่ดีไม่มากพอ ทำให้ผลของการกระจายนั้นไม่สามารถแสดงและทำนายออกมาได้ถูกต้องแม่นยำตามความคาดหวังของคณะผู้วิจัย

โดยผลที่ได้จากแบบจำลองส่วนใหญ่นั้นเป็นการกระจายการเดินทางที่ไม่ได้พิจารณาความสำคัญของระยะทางในการเดินทาง ซึ่งอาจเป็นเพราะข้อจำกัดด้านระยะทางและขนาดของพื้นที่ และเนื่องด้วยลักษณะของพื้นที่เทศบาลที่มีการกระจายเชิงพื้นที่อย่างครอบคลุม ทำให้ระยะทางนั้นอาจไม่ได้มีผลต่อการกระจายการเดินทางผ่านคู่โซนมากนัก

นอกจากนี้ข้อมูลการเดินทางนั้นอาจไม่ได้มีการกระจายอย่างทั่วถึง หรือไม่ได้มีการสมดุลให้ดีพอผ่านวิธี RAS จึงทำให้การกระจายการเดินทางในแต่ละคู่โซนนั้นไม่สมดุล ซึ่งแสดงออกมาในรูปแบบของผลที่มีสัมประสิทธิ์ของการเกิดการเดินทางและการดึงดูดการเดินทางต่างกันถึง 8 เท่า ซึ่งจากผลเหล่านี้อาจทำให้เห็นว่าข้อมูลการดึงดูดการเดินทางนั้นมีผลต่อโครงสร้างและสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองสูงกว่าข้อมูลการเกิดการเดินทาง

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขออนุญาตกล่าวขอบพระคุณ อ. ดร. พงษ์สันธ์ บัณฑิตสกุลชัย อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ดร. ภาธินันท์ ไทยทัตกุล ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันขนส่งแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาแบ่งปันความรู้คำปรึกษา คำแนะนำ และกำลังใจในการทำงานตั้งแต่แรกเริ่มตลอดจนถึงการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่เสมอมา

ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยยังขอกล่าวขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษา ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้มีเนื้อหาและรายละเอียดที่ครบถ้วนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งคณะผู้วิจัยทุกคนต่างล้วนซาบซึ้งในทุกความช่วยเหลือที่พวกท่านมอบให้เสมอมา และขอกล่าวขอบพระคุณมา ณ ที่นี้