

รายงานสรุปผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาความเปราะบางของโครงข่ายถนนจากอุทกภัย:

กรณีศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

A Study of Road Network Vulnerability due to Floods:

A Case Study of Hat Yai District, Songkhla Province

ผู้วิจัย

ดร.ปรเมศวร์ เหลือเทพ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประเภท ทุนตรงอาจารย์ ประจำปีงบประมาณ 2555

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	ก
รายการตาราง	จ
รายการรูปประกอบ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
รายการบทความที่ตีพิมพ์แล้ว	ญ
บทคัดย่อ	ฎ
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	บ-1
1. ที่มาและความสำคัญ.....	บ-1
2. ระยะเวลาวิจัย	บ-3
3. แหล่งทุนสนับสนุน.....	บ-3
4. การดำเนินการวิจัย	บ-5
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	บ-10
5.1 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติและการอพยพช่วงน้ำท่วม	บ-10
5.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนนในเขตอำเภอเมืองหาดใหญ่.....	บ-11
5.3 ผลการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในเขตเมืองหาดใหญ่.....	บ-13
5.4 ผลการศึกษาแนวเส้นทางอพยพช่วงน้ำท่วม	บ-16
5.5 ข้อเสนอแนะสำหรับการวางแผนรองรับภัยน้ำท่วมในอนาคต	บ-18
5.6 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	บ-20
1 บทนำ	1-1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1-6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	1-6
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	1-7

2	วรรณกรรมปริทัศน์	2-1
2.1	การวิเคราะห์ความต้องการเดินทาง	2-1
2.1.1	การวิเคราะห์การเกิดและสิ้นสุดการเดินทาง.....	2-3
2.1.2	การวิเคราะห์การกระจายการเดินทาง.....	2-5
2.1.3	การวิเคราะห์การเลือกรูปแบบการเดินทาง.....	2-6
2.1.4	การวิเคราะห์การแจกแจงการเดินทาง.....	2-7
2.2	การศึกษาพฤติกรรมการเดินทางและอพยพระหว่างเกิดภัยธรรมชาติ.....	2-8
2.3	โปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนน	2-9
2.4	การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนน.....	2-10
3	วิธีดำเนินการวิจัย	3-1
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	3-1
3.2	การรวบรวมและสำรวจข้อมูล	3-2
3.2.1	ข้อมูลประชากรและพื้นที่ศึกษา.....	3-2
3.2.2	ข้อมูลโครงข่ายถนนและการจราจร.....	3-2
3.2.3	ข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติและการอพยพช่วงน้ำท่วม	3-12
3.3	การพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา	3-13
3.4	การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา	3-15
3.5	การวิเคราะห์หาเส้นทางอพยพน้ำท่วมที่เหมาะสม	3-17
3.6	การเสนอข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย.....	3-18
4	การวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติและการอพยพช่วงน้ำท่วม	4-1
4.1	ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	4-1
4.1.1	เพศ.....	4-1
4.1.2	อายุ.....	4-2
4.1.3	อาชีพ.....	4-3
4.1.4	รายได้ส่วนตัว.....	4-3

4.1.5	จำนวนสมาชิกในครัวเรือน	4-4
4.1.6	การครอบครองยานพาหนะในครัวเรือน	4-5
4.2	การวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติ	4-6
4.2.1	จุดปลายทางของการเดินทาง	4-6
4.2.2	วัตถุประสงค์ของการเดินทาง	4-7
4.2.3	ประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการเดินทาง	4-8
4.2.4	ความถี่ของการเดินทาง	4-9
4.2.5	ระยะทางของการเดินทาง	4-9
4.3	การวิเคราะห์พฤติกรรมการอพยพช่วงน้ำท่วม	4-10
4.3.1	ช่วงก่อนเกิดเหตุน้ำท่วม	4-10
4.3.2	ช่วงขณะเกิดเหตุน้ำท่วม	4-11
4.3.3	ช่วงหลังเกิดเหตุน้ำท่วม	4-19
4.4	การสร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพช่วงน้ำท่วม	4-22
4.4.1	แบบจำลองการตัดสินใจอพยพช่วงน้ำท่วม	4-25
4.4.2	แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางสำหรับการอพยพน้ำท่วม	4-27
5	การพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา	5-1
5.1	การสร้างแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา	5-1
5.1.1	การจัดระบบพื้นที่ย่อยและสร้างแบบจำลองโครงข่ายถนนของพื้นที่ศึกษา	5-2
5.1.2	การสร้างตารางปริมาณการเดินทาง	5-2
5.1.3	การปรับเทียบแบบจำลอง	5-3
5.2	ผลการวิเคราะห์การเดินทางและสภาพการจราจรของโครงข่ายถนนในปี พ.ศ. 2555	5-4
6	การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา	6-1
6.1	ผลการวิเคราะห์ศักยภาพของการเข้าถึงพื้นที่	6-1
6.2	ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ	6-7
6.3	ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ	6-10

6.4 ผลการวิเคราะห์เส้นทางอพยพพืชน้ำท่วม.....	6-12
7 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	7-1
7.1 สรุปผลการศึกษา.....	7-1
7.1.1 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติและการอพยพช่วงน้ำท่วม	7-1
7.1.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนนในเขตอำเภอเมืองหาดใหญ่	7-3
7.1.3 ผลการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในเขตเมืองหาดใหญ่.....	7-4
7.1.4 แผนที่เส้นทางอพยพพืชน้ำท่วม	7-5
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	7-6
7.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการวางแผนรองรับภัยน้ำท่วมในอนาคต	7-6
7.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	7-8
7.2.2.1 การศึกษาพฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติและการอพยพช่วงน้ำท่วม	7-8
7.2.2.2 การพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา	7-9
7.2.2.3 การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนน	7-9
7.2.2.4 การวิเคราะห์แนวเส้นทางอพยพพืชน้ำท่วม	7-9
8 เอกสารอ้างอิง.....	8-1
ภาคผนวก ก1 ข้อมูลชุมชน ประชากร และผลการคาดการณ์จำนวนการเดินทางในพื้นที่ศึกษา	ก1-1
ภาคผนวก ก2 ผลการสำรวจปริมาณการจราจรที่ทางแยกและช่วงถนนในพื้นที่ศึกษา	ก2-1
ภาคผนวก ข1 บทความนานาชาติที่ตีพิมพ์แล้ว เรื่องที่ 1	ข1-1
ภาคผนวก ข2 บทความนานาชาติที่ตีพิมพ์แล้ว เรื่องที่ 2	ข2-1
ภาคผนวก ข3 Proceedings นานาชาติที่ตีพิมพ์แล้ว	ข3-1

รายการตาราง

ตารางที่ 2-1	การเปรียบเทียบโปรแกรมสำหรับสร้างแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนน	2-10
ตารางที่ 2-2	ดัชนีชี้วัดความเปราะบางของโครงข่ายถนน	2-12
ตารางที่ 3-1	รายชื่อเส้นทางและผลการสำรวจความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางบนถนนสายสำคัญ	3-11
ตารางที่ 4-1	ความถี่ของการเดินทาง (ครั้ง/วัน)	4-9
ตารางที่ 4-2	ระยะทางในการเดินทาง (กิโลเมตร/วัน)	4-9
ตารางที่ 4-3	เวลาที่ต้องการให้แจ้งเตือนภัย (หน่วย: ชั่วโมง)	4-10
ตารางที่ 4-4	จำนวนผู้อพยพต่อครัวเรือน (หน่วย: คน)	4-15
ตารางที่ 4-5	นิยามตัวแปรอิสระและข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพหนีน้ำท่วม	4-23
ตารางที่ 4-6	แบบจำลองการตัดสินใจอพยพหนีน้ำท่วมจำแนกตามอาชีพต่างๆ	4-26
ตารางที่ 4-7	แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางสำหรับการอพยพจำแนกตามช่วงเวลา	4-28
ตารางที่ 4-8	แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางสำหรับการอพยพจำแนกตามจุดปลายทาง	4-29

รายการรูปประกอบ

รูปที่ บ-1	ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา	บ-2
รูปที่ บ-2	แผนการดำเนินงานวิจัย	บ-4
รูปที่ บ-3	ขั้นตอนของการดำเนินการวิจัย	บ-5
รูปที่ บ-4	จุดสำรวจปริมาณการจราจร	บ-6
รูปที่ บ-5	กรอบแนวคิดในการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนน	บ-7
รูปที่ บ-6	ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนน	บ-9
รูปที่ บ-7	พื้นที่ย่อยและโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา	บ-12
รูปที่ บ-8	ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลอง	บ-12
รูปที่ บ-9	การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีศักยภาพการเข้าถึงศูนย์อพยพ	บ-13
รูปที่ บ-10	เวลาที่ใช้ในการเข้าถึงศูนย์อพยพในแต่ละเขตพื้นที่	บ-14
รูปที่ บ-11	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความต้องการในการอพยพกับเวลาการเดินทางรวมในโครงข่ายและค่าเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 85 ของเวลาการเดินทางระหว่างชุมชนและศูนย์อพยพ	บ-15
รูปที่ บ-12	แผนที่เส้นทางการอพยพจากพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม	บ-17
รูปที่ บ-13	แนวทางการวางแผนรองรับภัยน้ำท่วมในช่วงเวลาต่างๆ	บ-19
รูปที่ 1-1	จำนวนภัยพิบัติทางธรรมชาติทั่วโลกระหว่างปี ค.ศ. 1975-2011	1-1
รูปที่ 1-2	ความเสียหายทางเศรษฐกิจจากภัยพิบัติทางธรรมชาติระหว่างปี ค.ศ. 1975-2011	1-2
รูปที่ 1-3	ค่าเฉลี่ยจำนวนผู้ประสบอุทกภัยต่อปีในประเทศต่างๆ	1-3
รูปที่ 1-4	มูลค่าเฉลี่ย GDP ต่อปีที่สูญเสียจากอุทกภัยในแต่ละประเทศ	1-3
รูปที่ 1-5	สถิติจำนวนผู้ประสบเหตุและมูลค่าความเสียหายจากอุทกภัยในประเทศไทย	1-4
รูปที่ 1-6	สถิติจำนวนผู้ประสบเหตุและมูลค่าความเสียหายจากอุทกภัยที่เกิดในอำเภอหาดใหญ่	1-5
รูปที่ 1-7	ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา	1-7
รูปที่ 2-1	โครงสร้างของแบบจำลองความต้องการเดินทางแบบรวม	2-2
รูปที่ 3-1	ขั้นตอนของการดำเนินการวิจัย	3-1
รูปที่ 3-2	โครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา	3-3
รูปที่ 3-3	จุดสำรวจปริมาณการจราจร	3-5
รูปที่ 3-4	TM 1 แยกเกาะหมี	3-5
รูปที่ 3-5	TM 2 แยกบึงชี	3-5
รูปที่ 3-6	TM 3 แยกคอหงส์	3-6
รูปที่ 3-7	TM 4 แยกถนนเพชรเกษมตัดถนนราษฎร์ยินดี	3-6

รูปที่ 3-8	TM 5 แยกหน้าสยามนครินทร์	3-6
รูปที่ 3-9	TM 6 แยกหน้ามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	3-7
รูปที่ 3-10	TM 7 แยกวัดโคกนาว	3-7
รูปที่ 3-11	TM 8 แยกถนนกาญจนาภิเษกตัดถนนปทุมกันท์	3-7
รูปที่ 3-12	TM 9 แยกคลองเรียน	3-8
รูปที่ 3-13	TM 10 แยกถนนราษฎร์ยินดีตัดถนนศรีสุวรรณารถ	3-8
รูปที่ 3-14	TM 11 แยกถนนเพชรเกษมตัดถนนราษฎร์อุทิศ	3-8
รูปที่ 3-15	TM 12 แยกคลองหวัะ	3-9
รูปที่ 3-16	TM 13 แยกสนามบินใน	3-9
รูปที่ 3-17	TM 14 แยกควนลัง	3-9
รูปที่ 3-18	TM 15 แยกทางหลวงหมายเลข 43 ตัดถนนลพบุรีราเมศวร์	3-10
รูปที่ 3-19	MB 1-4 บริเวณรอบวงเวียนน้ำพุ	3-10
รูปที่ 3-20	MB 5 และ 6 ถนนนิพัทธ์อุทิศ 2 และ 3	3-10
รูปที่ 3-21	พื้นที่สำรวจข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางและการอพยพน้ำท่วม	3-12
รูปที่ 3-22	ตัวอย่างผู้ตอบแบบสอบถาม	3-13
รูปที่ 3-23	โครงสร้างของแบบจำลองการเดินทางแบบ 4 ขั้นตอน	3-14
รูปที่ 3-24	ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแปรปรวนของโครงข่ายถนน	3-17
รูปที่ 4-1	สัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามเพศ	4-1
รูปที่ 4-2	สัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามช่วงอายุ	4-2
รูปที่ 4-3	สัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามอาชีพ	4-3
รูปที่ 4-4	สัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามรายได้ส่วนตัวต่อเดือน	4-3
รูปที่ 4-5	จำนวนสมาชิกต่อครัวเรือน	4-4
รูปที่ 4-6	การครอบครองยานพาหนะต่อครัวเรือน	4-5
รูปที่ 4-7	ลักษณะการเดินทางแต่ละวันในช่วงสถานการณ์ปกติ	4-6
รูปที่ 4-8	จุดปลายทางของการเดินทางในแต่ละวัน	4-7
รูปที่ 4-9	วัตถุประสงค์ของการเดินทาง	4-7
รูปที่ 4-10	ประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการเดินทาง	4-8
รูปที่ 4-11	คุณสมบัติของข้อมูลเตือนภัย	4-10
รูปที่ 4-12	ช่องทางการแจ้งข้อมูลเตือนภัย	4-11
รูปที่ 4-13	การตัดสินใจอพยพและช่วงเวลาที่อยู่อพยพ	4-12

รูปที่ 4-14	สถานที่และลักษณะการอพยพ	4-14
รูปที่ 4-15	รูปแบบการเดินทางหลักในการอพยพ	4-16
รูปที่ 4-16	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกรูปแบบการเดินทางหลักในการอพยพ	4-17
รูปที่ 4-17	สิ่งที่จำเป็นต้องมีในศูนย์อพยพ	4-18
รูปที่ 4-18	การดูแลความปลอดภัยโดยทั่วไป	4-18
รูปที่ 4-19	การดูแลและช่วยเหลือผู้ที่ไม่อพยพ	4-19
รูปที่ 4-20	เวลาในการอพยพกลับสู่ที่พักอาศัย	4-19
รูปที่ 4-21	ระยะเวลาที่กลับสู่การดำเนินชีวิตตามปกติ	4-20
รูปที่ 4-22	ระบบสาธารณสุขที่ควรฟื้นฟูอย่างเร่งด่วน	4-20
รูปที่ 4-23	การช่วยเหลือด้านสินค้าอุปโภคและบริโภค	4-21
รูปที่ 5-1	กรอบแนวคิดในการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนน	5-1
รูปที่ 5-2	พื้นที่ย่อยและโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา	5-2
รูปที่ 5-3	ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลอง	5-3
รูปที่ 5-4	ปริมาณการเกิดและการตั้งจุดการเดินทางของพื้นที่ย่อย	5-4
รูปที่ 5-5	ตัวอย่างแนวเส้นทางความต้องการเดินทางเข้าสู่หอนาฬิกา	5-5
รูปที่ 5-6	ตัวอย่างเวลาการเดินทางเข้าสู่หอนาฬิกา	5-5
รูปที่ 5-7	ปริมาณการจราจรช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเข้าบนโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา	5-7
รูปที่ 5-8	ปริมาณการจราจรช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเข้าต่อความจุของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา	5-8
รูปที่ 5-9	ความเร็วของกระแสจราจรช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า	5-9
รูปที่ 6-1	ตำแหน่งถนนที่ถูกตัดขาดและจุดปลายทางที่พิจารณาในการประเมิน	6-2
รูปที่ 6-2	การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีศักยภาพการเข้าถึงศูนย์อพยพ	6-3
รูปที่ 6-3	เวลาที่ใช้ในการเข้าถึงศูนย์อพยพในแต่ละเขตพื้นที่	6-5
รูปที่ 6-4	พื้นที่การให้บริการที่ปลอดภัยของศูนย์อพยพที่กำหนดโดยเทศบาลนครหาดใหญ่	6-5
รูปที่ 6-5	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความต้องการในการอพยพกับเวลาการเดินทางรวมในโครงข่ายและค่าเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 85 ของเวลาการเดินทางระหว่างชุมชนและศูนย์อพยพ	6-6
รูปที่ 6-6	ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติบนโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา	6-7
รูปที่ 6-7	ความอ่อนไหวของตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ	6-11
รูปที่ 6-8	สภาพการจราจรและแนวโน้มการใช้เส้นทางเพื่อการอพยพ	6-12
รูปที่ 6-9	แผนที่เส้นทางอพยพจากพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม	6-14
รูปที่ 7-1	แนวทางการวางแผนรองรับภัยน้ำท่วมในช่วงเวลาต่างๆ	7-7

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ประเภท ทุนครูณจารย์ ประจำปีงบประมาณ 2555 ในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศ.ดร.พิชัย ธานีรณานนท์ อาจารย์ที่เลี้ยงที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย และข้อคิดในการดำเนินชีวิต ขอขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ยิ่งสำหรับการปรับปรุงงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้อง อาจารย์และบุคลากร ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสำนักวิจัยและพัฒนา ที่ให้คำแนะนำในการทำวิจัย อธิบายขั้นตอนต่างๆ และดำเนินการประสานงานให้การส่งรายงานแต่ละครั้งลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบใจ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาสาขาวิศวกรรมขนส่ง ชาว TRE Family ทุกคน รวมทั้งนักศึกษาปริญญาตรี ที่มีส่วนช่วยในการสำรวจภาคสนาม ถึงแม้บางวันอากาศไม่เอื้ออำนวยในการเก็บข้อมูล เช่น ฝนตก แดดร้อน แต่ทุกคนก็มุ่งมั่นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ที่สุด

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่านที่สละเวลาให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ ถึงแม้บางท่านอาจน้อยใจที่เวลาผ่านไปหลายปีแล้ว แต่การให้ความช่วยเหลือเกื้อหนุนน้ำท่วมยังไม่ทั่วถึงหรือไม่ตอบจดหมายที่ชาวบ้านต้องการ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยชิ้นนี้อาจช่วยสร้างคุณภาพการให้แก่สังคมเมืองหาดใหญ่ได้บ้างไม่มากก็น้อย

สุดท้าย ผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัวอันเป็นที่รักที่เข้าใจในภาระงานวิจัยอันนี้ ถึงแม้หลายครั้งต้องกลับบ้านล่าช้าก็ตาม

หากมีข้อผิดพลาดประการใดในงานวิจัย ผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย และยินดีน้อมรับข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางต่องานวิจัยในอนาคตต่อไป

ปรเมศวร์ เหลือเทพ

เมษายน 2557

รายการบทความที่ตีพิมพ์แล้ว

รายการบทความวิจัยที่เกิดขึ้นจากการงานวิจัยนี้และตีพิมพ์แล้ว มีดังนี้

- ประเมศวร์ เหลือเทพ, ปิยะพงศ์ สุวรรณโณ, พิชัย ธานีรณานนท์. 2556. การศึกษาความเปราะบางของโครงข่ายถนนจากภัยพิบัติ กรณีศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18, Volume 2, หน้า 114-121.
- ประเมศวร์ เหลือเทพ, อรุณ สุวรรณสุนทร, ศุภกร สุทธิพันธ์, พิชัย ธานีรณานนท์, 2556. พฤติกรรมและแบบจำลองการอพยพน้ำท่วม กรณีศึกษาเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18, Volume 2, หน้า 122-128.
- Luathep, P., Suwansunthon, A., Sutthiphan, S., Taneerananon, P., 2013. Flood Evacuation Behavior Analysis in Urban Areas, Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 10, pp. 178-195.
- Luathep, P., Jaensirisak, S., 2014. Evaluation of Accessibility to Evacuation Centers in Asian Developing City, Advanced Materials Research (AMR) Journal. Vol. 931-932, pp. 567-571.
- Luathep, P., Suwanno, P., Taneerananon, P., 2013. Identification of Critical Locations in Road Networks due to Disasters, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 9, paper ID 42.

บทคัดย่อ

จากการที่เมืองมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมในเมืองที่กำลังพัฒนาของภูมิภาคอาเซียนเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเมืองหาดใหญ่ซึ่งประสบเหตุการณ์น้ำท่วมในปี พ.ศ. 2543 และ 2553 หลังจากนั้นเป็นต้นมา หน่วยงานท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องได้พยายามบูรณาการวางแผนอพยพต่างๆ อย่างไรก็ตาม ยังคงมีช่องว่างของการวางแผนอพยพที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ด้านวิศวกรรมขนส่งเพื่อระบุตำแหน่งของช่วงถนนที่เปราะบางต่อภัยน้ำท่วม ซึ่งยังไม่มีการศึกษาในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่มาก่อน

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบความเปราะบางเนื่องจากน้ำท่วมของโครงข่ายถนนในเขตเมืองหาดใหญ่เป็นกรณีศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 4 ประการ คือ 1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมและรูปแบบการเดินทางก่อน ระหว่าง และหลังน้ำท่วม 2) เพื่อพัฒนาแบบจำลองการเดินทางและอพยพภายในพื้นที่ศึกษา 3) เพื่อวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในเขตเมืองหาดใหญ่จากภัยน้ำท่วม และ 4) เพื่อนำเสนอมาตรการและนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมพร้อมรับภัยน้ำท่วม

เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ข้างต้น ผู้วิจัยเริ่มจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองด้านการจราจรและขนส่งรวมทั้งคำนิยามและดัชนีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนน จากนั้น ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ศึกษา เช่น จำนวนประชากร โครงข่ายถนน และปริมาณการจราจร เป็นต้น รวมทั้งได้สำรวจข้อมูลปริมาณการจราจรบริเวณทางแยกหลัก 15 ทางแยก และบนช่วงถนน 6 ช่วงถนนภายในเขตเมืองหาดใหญ่ การสำรวจข้อมูลได้ดำเนินการในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเย็น นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้สำรวจแบบสอบถามพฤติกรรมการเดินทางในช่วงปกติและการอพยพหากน้ำท่วมโดยสุ่มสำรวจตัวแทนชาวบ้านที่เคยประสบภัยน้ำท่วมในอดีตจำนวน 1,600 ตัวอย่างภายในพื้นที่ศึกษา จากนั้น ข้อมูลปริมาณการจราจรและพฤติกรรมการเดินทางและอพยพได้ถูกนำมาสร้างแบบจำลองการเดินทางภายในพื้นที่ศึกษา แบบจำลองที่สร้างขึ้นได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนเพื่อระบุตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ เส้นทางอพยพที่เหมาะสมและมาตรการรวมทั้งนโยบายเพื่อการเตรียมพร้อมรองรับภัยน้ำท่วมได้ถูกนำเสนอในส่วนสุดท้าย

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลจากงานวิจัยนี้จะเป็แนวทางสำหรับการวางแผนอพยพที่เหมาะสมแนวทางหนึ่งแก่เมืองหาดใหญ่และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเป็นการนำเสนอแนวคิดเชิงนโยบายอย่างยั่งยืนในการวางแผนปรับปรุงและออกแบบโครงข่ายถนนในเขตเมืองหาดใหญ่เพื่อรองรับภัยพิบัติในรูปแบบต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ต่อไป

ABSTRACT

As a result of the rapid growth of urbanization, risk of flooding in Asian developing cities has been increasing. Following the 2000 and 2010 heavy floods in Hat Yai district, there have been some attempts to prepare evacuation plans. However, there is still a knowledge gap in regards to the optimum evacuation strategy. Application of transport knowledge to identify weak road sections or links in Hat Yai road network has never been done before.

This research aims to determine the vulnerability of Hat Yai road network, as a case study, due to flooding. The research consists of four main objectives, namely: 1) to study travel behavior and pattern of movements before, during, and after a major flooding; 2) to develop a travel demand forecasting model; 3) to analyze the vulnerability of Hat Yai road network; and 4) to propose flood-preparedness related measures and policies.

To achieve the objectives, the researcher firstly reviewed literatures on traffic and transport models of the study area and the definition and index of network vulnerability. Secondly, information about the study area, e.g., population, road network, and traffic data, were collected. Traffic survey was also conducted on fifteen major intersections and six important links. The survey collected traffic data during morning and afternoon peak periods. In addition, the study conducted questionnaire survey in order to investigate the travel and evacuation behavior of 1,600 samples in the study area. Householders were asked about their evacuation behavior before, during, and after the flooding. Then, the traffic and transport model of the study area was developed based on the information collected. Next, road network vulnerability was analyzed to provide the list of critical links. Finally, appropriate evacuation routes and flood-preparedness related policies were proposed.

The researcher expects that this research could provide an appropriate evacuation strategy for Hat Yai community and concerned authorities through proposed sustainable policy recommendations on road network improvement and design against future event.

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศต่างๆ กำลังเผชิญหน้ากับภัยพิบัติที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติและที่มนุษย์เกี่ยวข้องมากมาย สาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการเจริญเติบโตของเมืองอย่างรวดเร็ว อุทกภัยเป็นหนึ่งในภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในประเทศกำลังพัฒนาในภูมิภาคอาเซียนรวมทั้งประเทศไทย และมีแนวโน้มความเสี่ยงของการเกิดอุทกภัยเพิ่มมากยิ่งขึ้น สำหรับในประเทศไทย จากข้อมูลของ UN International Strategy for Disaster Reduction หรือ UNISDR (2009) พบว่า มีผู้ประสบเหตุอุทกภัยเฉลี่ย 819,822 คนต่อปี หรือเป็นอันดับที่ 7 ของโลก และมีมูลค่า GDP ที่สูญเสียจากอุทกภัยประมาณ 3.09 พันล้านเหรียญสหรัฐต่อปี ติดอันดับที่ 8 ของโลก

อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เมืองเศรษฐกิจและแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของภาคใต้ เป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากอุทกภัยบ่อยครั้ง โดยได้เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ในเขตเมืองหาดใหญ่ในปี พ.ศ. 2543 และ 2553 โดยเฉพาะเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ในปี พ.ศ. 2553 มีผู้เสียชีวิตมากถึง 187 ราย (ศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เขต 12 สงขลา, 2555) และสร้างความเสียหายให้แก่เศรษฐกิจภายในย่านการค้าที่สำคัญของเมืองเป็นจำนวนมาก

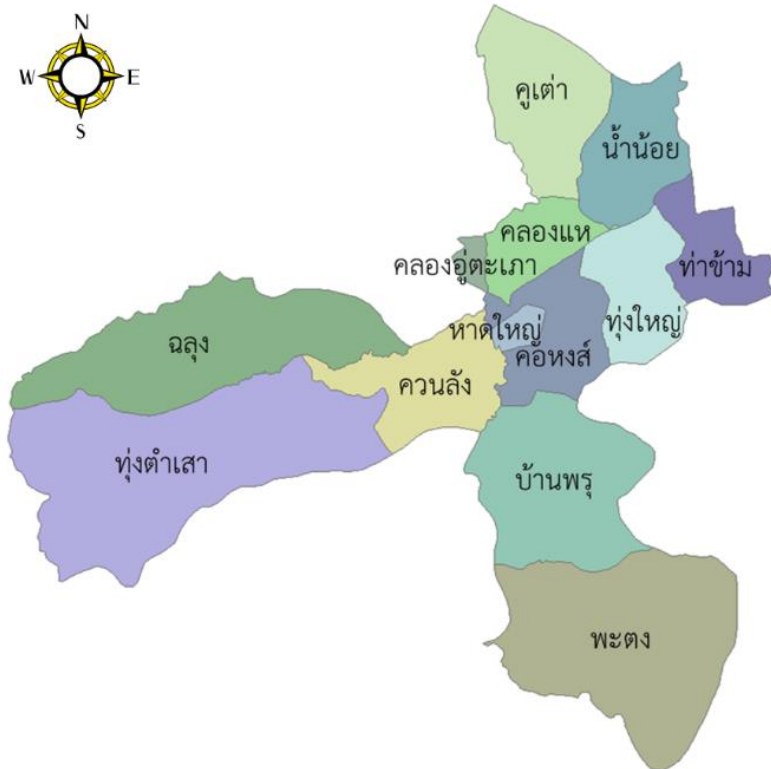
ถึงแม้ว่าหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้พยายามวางแผนและบูรณาการมาตรการต่างๆ เพื่อป้องกันเหตุน้ำท่วมไม่ให้เกิดขึ้นอีกในเขตอำเภอหาดใหญ่ก็ตาม เช่น การวางแผนด้านการชลประทานและระบายน้ำ รวมทั้งการวางระบบเขื่อนกั้นน้ำและเตือนภัยน้ำท่วมในคลองสายสำคัญและบริเวณพื้นที่เสี่ยง แต่จนถึงขณะนี้ดำเนินการศึกษาวิจัยนี้ ยังไม่ปรากฏว่าได้มีการนำศาสตร์ด้านวิศวกรรมการจราจรและขนส่ง และการวิเคราะห์ความเปราะบาง (Vulnerability analysis) มาประยุกต์ใช้กับงานด้านอุทกภัยโดยเฉพาะโครงข่ายถนนในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของอำเภอหาดใหญ่

การวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ความเปราะบางในการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยภายในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาเป็นกรณีศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ 4 ประการ ประกอบด้วย

- 1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเดินทางในช่วงปกติและพฤติกรรมการอพยพช่วงน้ำท่วมของตัวอย่างประชากรในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
- 2) เพื่อพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของผู้ใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลบนโครงข่ายถนนในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
- 3) เพื่อวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนที่ศึกษาจากสถานการณ์วิกฤติเมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมและเสนอเส้นทางอพยพที่เหมาะสม
- 4) เพื่อเสนอข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการรองรับภัยน้ำท่วมแก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ขอบเขตของการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

- 1) พื้นที่ศึกษา มีขอบเขตดังรูปที่ บ-1 ประกอบด้วย 1) เทศบาลนครหาดใหญ่ 2) ตำบลคอหงส์ 3) ตำบลควนลัง 4) ตำบลคลองแห 5) ตำบลบ้านพรุ 6) ตำบลคูเต่า 7) ตำบลน่าน้อย 8) ตำบลท่าข้าม 9) ตำบลทุ่งใหญ่ 10) ตำบลฉลุง 11) ตำบลคลองอู่ตะเภา 12) ตำบลทุ่งตำเสา และ 13) ตำบลพะตง โดยพื้นที่ศึกษามีประชากรตามทะเบียนราษฎร ณ ปี พ.ศ. 2555 ประมาณ 378,000 คน (สำนักงานอำเภอหาดใหญ่, 2555)
- 2) ในการศึกษาพฤติกรรมการเดินทางในช่วงปกติและพฤติกรรมการอพยพช่วงน้ำท่วมของตัวอย่างประชากรในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ผู้วิจัยได้ออกแบบสำรวจพฤติกรรมดังกล่าว โดยเน้นสุ่มสำรวจตัวอย่างประชากรในพื้นที่เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ที่ได้ประสบเหตุการณ์น้ำท่วมเมื่อปี พ.ศ. 2553 จำนวน 1,600 ตัวอย่าง
- 3) ในการพัฒนาแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนนในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ผู้วิจัยได้พิจารณาเฉพาะผู้ใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล ซึ่งประกอบด้วย รถจักรยานยนต์ รถยนต์เก๋ง และรถยนต์กระบะ เท่านั้น เนื่องจากผลจากการสำรวจปริมาณการจราจรโดยผู้วิจัย พบว่า ยานพาหนะดังกล่าวเป็นกลุ่มผู้ใช้ทางส่วนใหญ่ สำหรับโครงข่ายถนนผู้วิจัยพิจารณาเฉพาะถนนสายหลักและสายรองที่สำคัญ แต่ไม่พิจารณาโครงข่ายซอยที่มีปริมาณการจราจรต่ำ อย่างไรก็ตาม การพิจารณาดังกล่าวจะไม่ส่งผลต่อความถูกต้องของแบบจำลองการเดินทางที่สร้างขึ้นมากนัก เนื่องจากปริมาณการจราจรบนโครงข่ายซอยได้ถูกนำมารวมไว้บนถนนสายหลักและสายรองที่พิจารณาแล้ว



รูปที่ บ-1 ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา

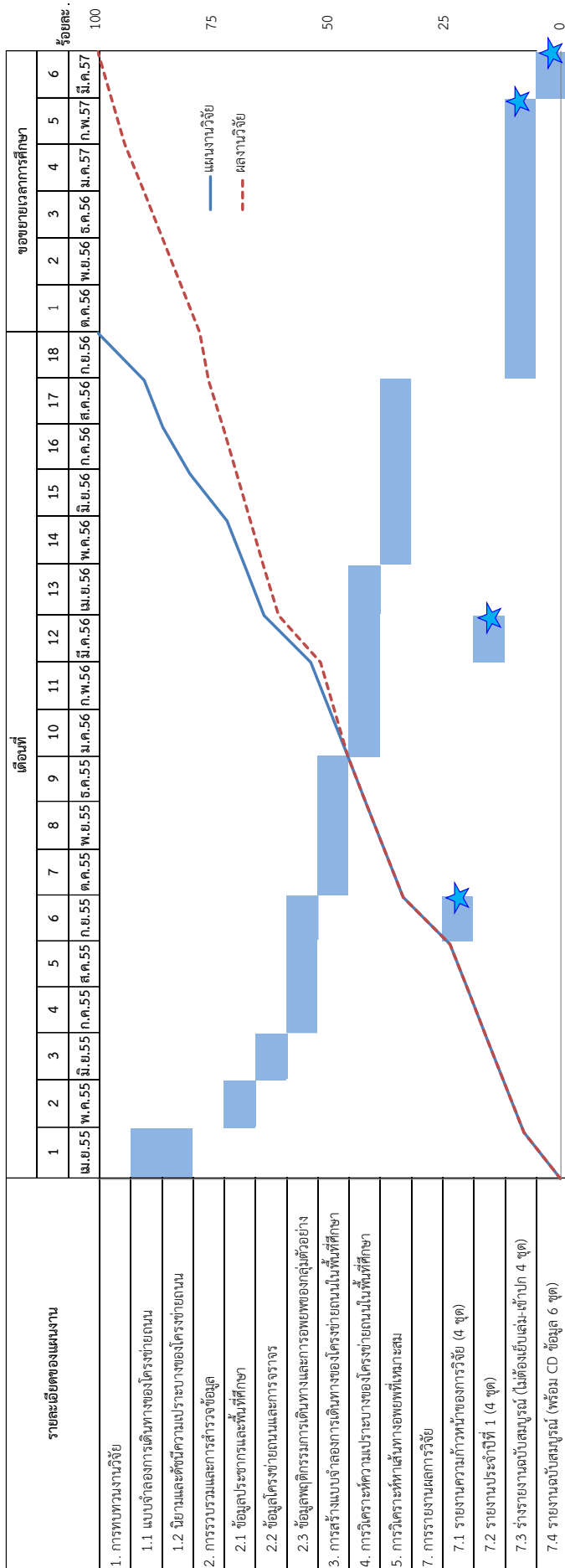
2. ระยะเวลาวิจัย

ผู้วิจัยได้วางแผนการดำเนินงานตลอดโครงการระยะเวลา 18 เดือน โดยได้ลงนามในสัญญาเลขที่ ENG5501485 ลงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 ซึ่งระบุระยะเวลาวิจัย 1 ปี 6 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2556 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมีการปรับปรุงรายละเอียดของงานวิจัย จึงทำให้ไม่สามารถดำเนินการได้ให้แล้วเสร็จในระยะดังกล่าว และผู้วิจัยได้ทำหนังสือเพื่อขอขยายเวลาการวิจัย เพื่อให้งานครบถ้วนสมบูรณ์ โดยสามารถสรุปรายละเอียดของงานวิจัยและช่วงเวลาที่ดำเนินงานวิจัยได้ ดังรูปที่ บ-2

3. แหล่งทุนสนับสนุน

ผู้วิจัยได้รับเงินทุนสนับสนุนจาก เงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัย) ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวน 379,465 บาท (สามแสนเจ็ดหมื่นเก้าพันสี่ร้อยหกสิบห้าบาทถ้วน) โดยแบ่งออกเป็น

● หมวดค่าตอบแทน	198,000	บาท
○ ค่าตอบแทนอาจารย์ใหม่	126,000	บาท
○ ค่าตอบแทนอาจารย์พี่เลี้ยง	72,000	บาท
● หมวดค่าใช้จ่าย	103,880	บาท
○ ค่าใช้จ่ายในการสำรวจข้อมูลภาคสนาม	90,480	บาท
○ ค่าจัดทำรายงานการวิจัย	3,400	บาท
○ อื่นๆ (ค่าเดินทางเข้าร่วมประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย)	10,000	บาท
● หมวดค่าวัสดุสำนักงาน	4,500	บาท
● หมวดครุภัณฑ์ โปรแกรม EMME3 (academic license)	73,085	บาท
รวมทั้งสิ้น	379,465	บาท



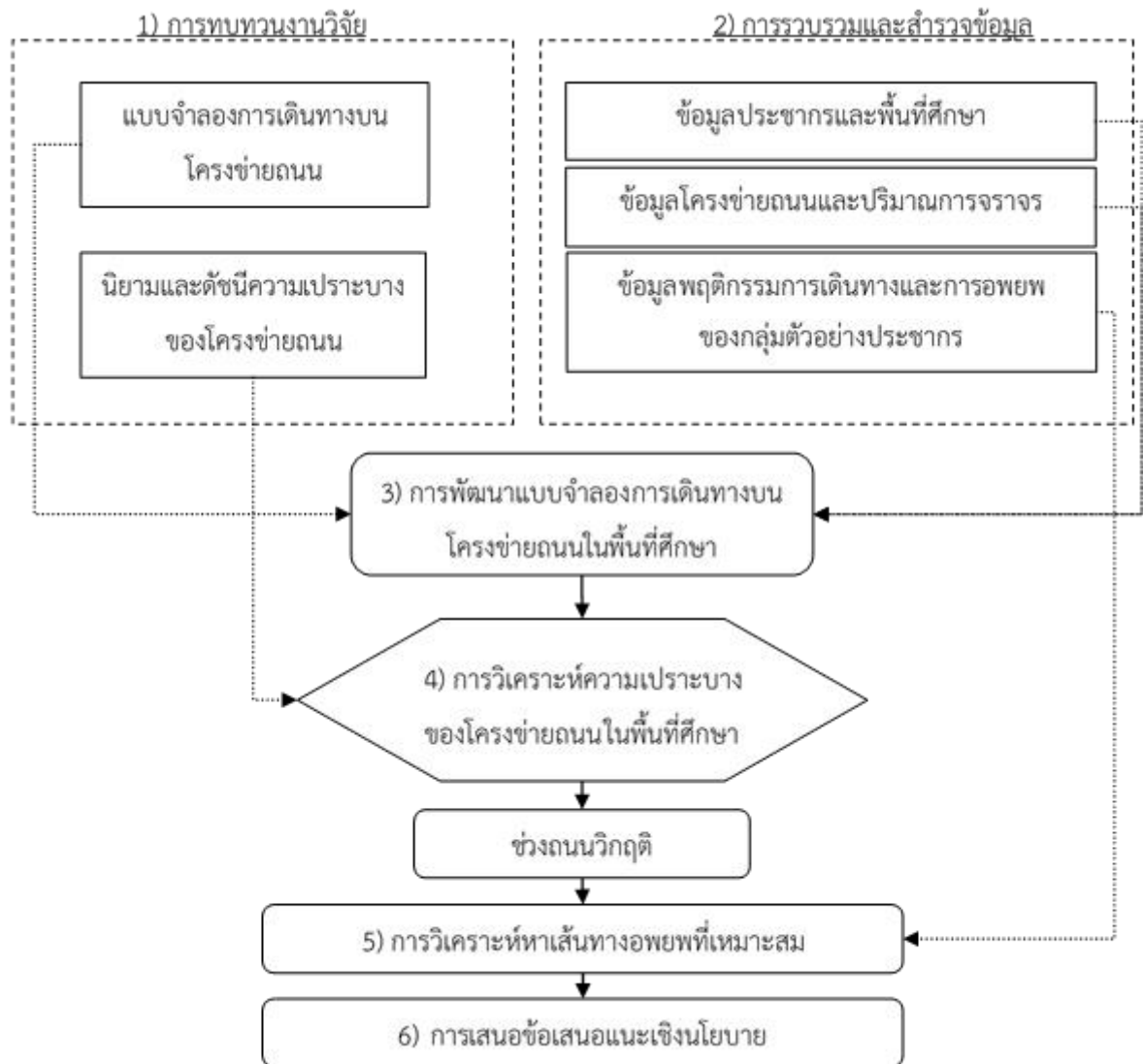
หมายเหตุ

- หมายถึง ช่วงเวลาที่ดำเนินการวิจัย
- หมายถึง เวลาที่ต้องส่งรายงาน

รูปที่ บ-2 แผนการดำเนินงานวิจัย

4. การดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบของการดำเนินการวิจัยออกเป็น 6 ขั้นตอนดังแสดงรูปที่ บ-3

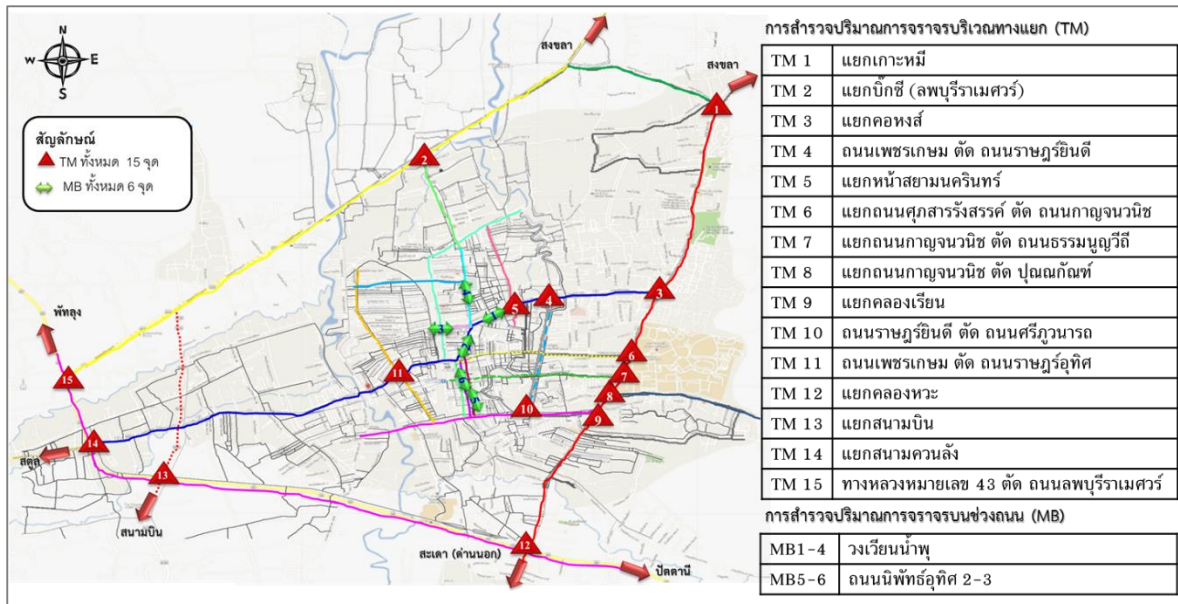


รูปที่ บ-3 ขั้นตอนของการดำเนินการวิจัย

ในส่วนแรก ผู้วิจัยได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความต้องการเดินทางซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญสำหรับการวางแผนการจราจรและขนส่ง โดยผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองคาดการณ์ความต้องการเดินทางแบบ 4 ขั้นตอน (Four-step travel demand forecasting model) ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย ในการคาดการณ์ปริมาณการเดินทางในช่วงปกติและความต้องการอพยพในช่วงน้ำท่วมของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทบทวนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายพฤติกรรมการเดินทางและการอพยพหนีภัยธรรมชาติต่างๆ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทบทวนนิยามและดัชนีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของถนน โดยมีทั้งที่พิจารณาใช้ข้อมูลเชิงกายภาพซึ่งพิจารณาจากระยะทางของจุดที่สนใจในโครงข่าย ข้อมูลเชิงระยะทางและเวลาซึ่งพิจารณาพฤติกรรมการเดินทางจากข้อจำกัดของเวลากักระยะทาง ข้อมูลเชิงศักยภาพ

การเข้าถึงพื้นที่ซึ่งพิจารณาจากช่องทางในการเข้าถึงทั้งหมดโดยถ่วงน้ำหนักด้วยฟังก์ชันค่าใช้จ่าย ข้อมูลเชิงเชิงอรรถประโยชน์ของพฤติกรรมการเดินทางซึ่งพิจารณาจากประโยชน์ที่แต่ละคนได้รับจากทางเลือกต่างๆ ของการเดินทาง และข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ซึ่งพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ส่วนเกินซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระบบ เป็นต้น

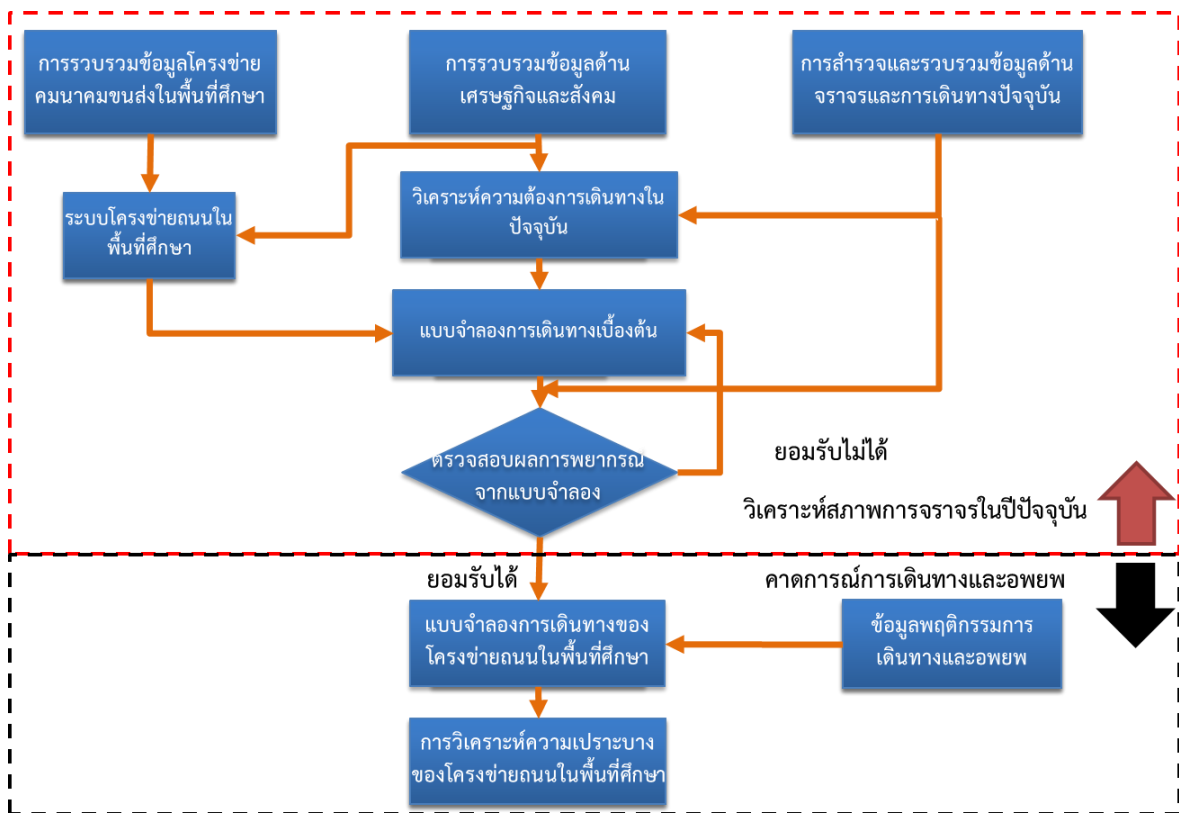
ขั้นตอนต่อมา ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลประชากรและพื้นที่ศึกษาจากแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานอำเภอหาดใหญ่ เทศบาลนครหาดใหญ่ เป็นต้น โดยผู้วิจัยได้พิจารณาแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 211 พื้นที่ย่อย (Zones) ซึ่งประกอบด้วย 194 พื้นที่ย่อยที่เป็นชุมชนหรือหมู่บ้าน และ 17 พื้นที่ย่อยที่เป็นพื้นที่กิจกรรมหลัก เช่น ห้างสรรพสินค้า สถานศึกษา สถานีขนส่ง เป็นต้น นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้รวบรวมทั้งข้อมูลโครงข่ายถนนภายในพื้นที่ศึกษา เช่น ข้อมูลประเภทของถนน ความกว้างและจำนวนช่องจราจร และความยาวของแต่ละช่วงถนน เป็นต้น รวมทั้งข้อมูลปริมาณการจราจรบนถนนสายหลักที่อยู่นอกเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ซึ่งผู้วิจัยได้รวบรวมจากข้อมูลปริมาณการจราจรบนทางหลวงเฉลี่ยรายวัน (Average Annual Daily Traffic หรือ AADT) จากรายงานปริมาณการจราจรบนทางหลวง (กรมทางหลวง, 2555) ส่วนข้อมูลปริมาณการจราจรบนถนนสายหลักภายในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ซึ่งผู้วิจัยได้สำรวจข้อมูลดังกล่าวไปเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2555 ใน 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเช้าระหว่าง 7:15-9:15 น. และช่วงเย็นระหว่าง 15:15-18:15 น. โดยแบ่งการสำรวจออกเป็นการสำรวจปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก (Intersection Turning Movement Count หรือ TM) จำนวน 15 ทางแยก และการสำรวจปริมาณการจราจรบนช่วงถนน (Mid-Block Classified Traffic Count หรือ MB) จำนวน 6 ช่วงถนน จุดสำรวจทั้ง 21 จุดดังแสดงในรูปที่ บ-4



รูปที่ บ-4 จุดสำรวจปริมาณการจราจร

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้สำรวจข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางในช่วงเวลาปกติและพฤติกรรมการอพยพในช่วงที่มีน้ำท่วมโดยสุ่มสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างประชากรที่มีประสบการณ์ผ่านเหตุการณ์น้ำท่วมมาในอดีตในพื้นที่ศึกษาจำนวน 1,600 ตัวอย่าง คำถามในแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้นนั้นประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลทั่วไปของผู้ถูกสัมภาษณ์ ส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางในช่วงปกติ และส่วนที่ 3 เป็นข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางและอพยพตั้งแต่ก่อนเกิด ระหว่างเกิด และหลังเกิดเหตุน้ำท่วม รวมทั้งข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการอพยพภัยน้ำท่วม

จากนั้น ผู้วิจัยได้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพฤติกรรมการอพยพมาสร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพน้ำท่วมโดยพิจารณาประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Logistic regression analysis) เพื่อสร้างแบบจำลองดังกล่าว ซึ่งเป็นแบบจำลองอย่างง่ายไม่ซับซ้อน เนื่องจากหากแบบจำลองมีความซับซ้อนมากขึ้นเพียงใด ก็จะทำให้การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองมีความยุ่งยากมากขึ้นตามรวมทั้งเป้าหมายของการสร้างแบบจำลองนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนคาดการณ์จำนวนผู้อพยพในระยะยาว (long term planning) ไม่ใช่การวางแผนในระยะสั้นที่จำเป็นต้องมีห้วงเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้นำข้อมูลประชากรและพื้นที่ศึกษา ข้อมูลปริมาณการจราจร และข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางที่ได้มาพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาโดยมีกรอบแนวคิดในการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นดังรูปที่ บ-5



รูปที่ บ-5 กรอบแนวคิดในการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนน

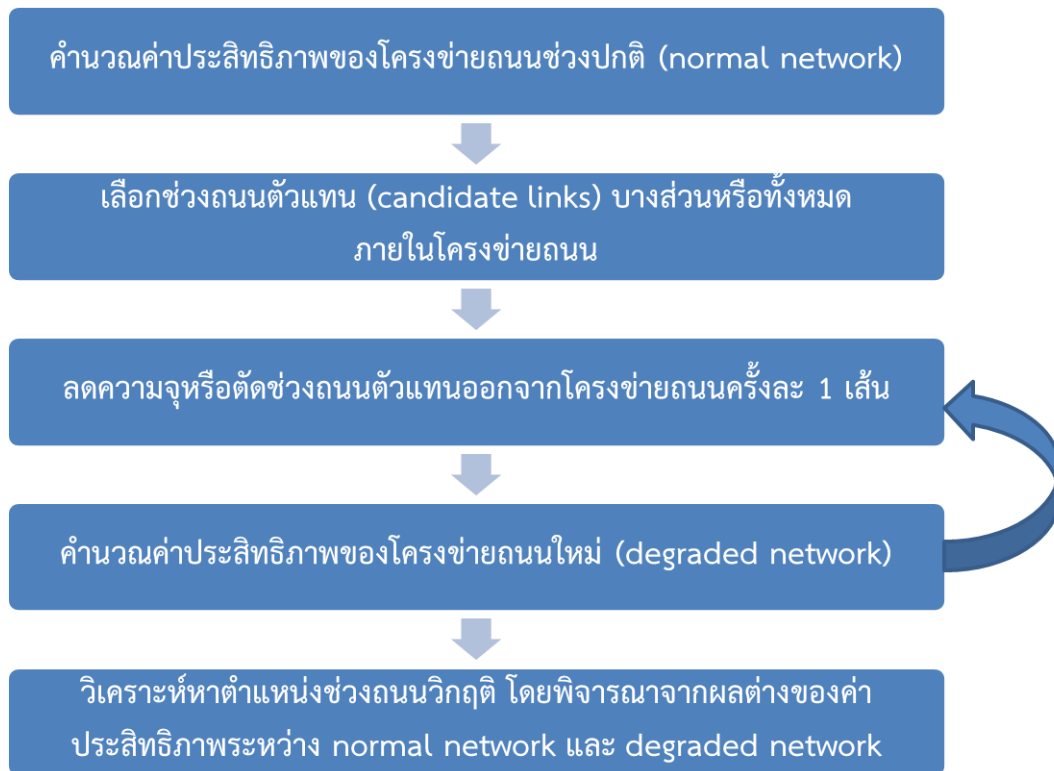
เมื่อได้แบบจำลองข้างต้นแล้ว ผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกดัชนีศักยภาพการเข้าถึง (Potential accessibility) ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดความเปราะบางที่นิยมใช้ในพื้นที่เขตเมือง (D'Este and Taylor, 2003; Taylor *et al.*, 2006) มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ และนำเสนอดัชนีการเข้าถึงพื้นที่ปลายทาง (Destination accessibility index) ซึ่งสามารถใช้ประเมินความสามารถในการเดินทางจากพื้นที่ i ไปยังพื้นที่จุดรวมพลหรือศูนย์อพยพ j ได้ดังสมการ บ-1

$$AI_j = \frac{\sum_i q_{ij} f(c_{ij})}{\sum_i q_{ij}} = \frac{\sum_i q_{ij} / \sum_{k \in K_{ij}} f_{ij}^k c_{ij}^k}{\sum_i q_{ij}} \quad \text{สมการ บ-1}$$

โดย AI_j คือ ดัชนีการเข้าถึงพื้นที่ปลายทาง j
 q_{ij} คือ ปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ i และ j
 f_{ij}^k, c_{ij}^k คือ ปริมาณการเดินทางและค่าใช้จ่าย (หรือเวลา) บนเส้นทาง k ในเขตของเส้นทาง K_{ij} ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ i และ j

ในสมการ บ-1 เมื่อพิจารณาพจน์ $q_{ij} / \sum_{k \in K_{ij}} f_{ij}^k c_{ij}^k$ ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่าย (หรือเวลา) ในการเดินทางระหว่าง 2 พื้นที่ i และ j สามารถบอกเป็นนัยได้ว่า หากค่าใช้จ่าย (หรือเวลา) ในการเดินทางระหว่าง 2 พื้นที่ใดๆ เพิ่มขึ้น จะทำให้ความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ลดลง (ค่า AI_j มีค่าลดลง) ดังนั้นการกำหนดตัวแปรต่างๆ ในสมการ บ-1 จึงสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ได้

สำหรับการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาใช้วิธีการแบบดั้งเดิมดังแสดงในรูปที่ บ-6 โดยมีสมมติฐาน คือ ถนนมีโอกาสได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมเท่าๆ กันทุกช่วงถนน ซึ่งผลกระทบอาจอยู่ในรูปของความจุถนนที่ลดลง หรือ ถนนติดขัดจนทำให้ไม่สามารถเดินทางผ่านได้ (เสมือนถนนถูกตัดขาด) อย่างไรก็ตาม สมมติฐานดังกล่าวสามารถปรับปรุงได้หากการวิจัยในอนาคตศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมในเรื่องความน่าจะเป็นของการเกิดน้ำท่วมบนถนนแต่ละสาย และผลกระทบที่มีต่อความสามารถของช่วงถนนในแต่ละพื้นที่ของพื้นที่ศึกษา



รูปที่ บ-6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนน

จากนั้น ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นในขั้นตอนของการวิเคราะห์หาเส้นทางอพยพที่เหมาะสม ซึ่งควรเป็นเส้นทางที่สั้น สามารถอพยพและเข้าถึงศูนย์อพยพได้อย่างรวดเร็ว ปลอดภัย และไม่มีอุปสรรค รวมทั้งควรหลีกเลี่ยงช่วงถนนวิกฤติที่วิเคราะห์ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ ซึ่งข้อมูลที่ตั้งของศูนย์อพยพภัยพิบัติผู้วิจัยได้อ้างอิงจากข้อมูลของเทศบาลนครหาดใหญ่เป็นหลัก นอกจากนี้ เส้นทางอพยพควรเป็นเส้นทางที่ไม่เสี่ยงต่อการถูกน้ำท่วม อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยไม่มีแบบจำลองน้ำท่วมพื้นที่ศึกษาในขณะที่ดำเนินการวิจัยนี้ จึงไม่สามารถพิจารณาประเด็นดังกล่าวได้ การเลือกเส้นทางอพยพที่เหมาะสมจึงพิจารณาจากปัจจัยความรวดเร็วของการเดินทางและอพยพเป็นหลัก

ในส่วนสุดท้าย เป็นการนำเสนอข้อเสนอแนะเชิงนโยบายเพื่อรองรับเหตุการณ์ภัยน้ำท่วมในอนาคต

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลงานที่ได้จากการศึกษานี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางและอพยพ 2) ผลการพัฒนาแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนนในเขตอำเภอเมืองหาดใหญ่ 3) ผลการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในเขตเมืองหาดใหญ่ โดยสามารถสรุปผลในประเด็นที่สำคัญของแต่ละงานได้ดังนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติและการอพยพช่วงน้ำท่วม

ก. พฤติกรรมการเดินทางในช่วงเวลาปกติ จากผลการศึกษา พบว่า

- จำนวนการเดินทางโดยเฉลี่ย 1.05 ครั้งต่อวัน ระยะทางเดินทางเฉลี่ย 2.08 กิโลเมตรต่อวัน
- วัตถุประสงค์ของการเดินทางครั้งที่ 1 ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 51.12) เดินทางไปที่ทำงาน ส่วนการเดินทางครั้งที่ 2 คือ เดินทางไป ตลาด (ร้อยละ 23.69) และห้างสรรพสินค้า (ร้อยละ 22.13) โดยวัตถุประสงค์ของการเดินทางสอดคล้องกับสถานที่ที่ต้องการเดินทางไป
- ยานพาหนะที่ใช้ในการเดินทาง ส่วนใหญ่ร้อยละ 84.19 ใช้รถส่วนตัว (จักรยานยนต์ รถมอเตอร์ไซด์ส่วนบุคคล รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล) รองลงมา คือ รถสองแถว (ร้อยละ 6.38) รถจักรยานยนต์รับจ้าง (ร้อยละ 4.69) รถตุ๊กๆ (ร้อยละ 2.13) รถโดยสารประจำทาง (ร้อยละ 1.25) รถมินิบัส (ร้อยละ 0.75) และรถตู้ (ร้อยละ 0.61)
- เหตุผลในการเลือกใช้รถส่วนบุคคล ร้อยละ 38.54 เลือกใช้เพราะความสะดวก รองลงมา ได้แก่ ค่าใช้จ่ายถูก (ร้อยละ 19.04) ความรวดเร็ว (ร้อยละ 16.39) ความปลอดภัย (ร้อยละ 16.11) และ ความสบาย (ร้อยละ 9.92) ตามลำดับ
- เหตุผลที่เลือกใช้รถสาธารณะ ร้อยละ 33.27 เลือกใช้เพราะความสะดวก รองลงมา ได้แก่ ค่าใช้จ่ายถูก (ร้อยละ 30.70) ความรวดเร็ว (ร้อยละ 12.19) ความปลอดภัย (ร้อยละ 11.66) ความสบาย (ร้อยละ 7.38) และร้อยละ 4.80 เพราะไม่มีรถส่วนตัว

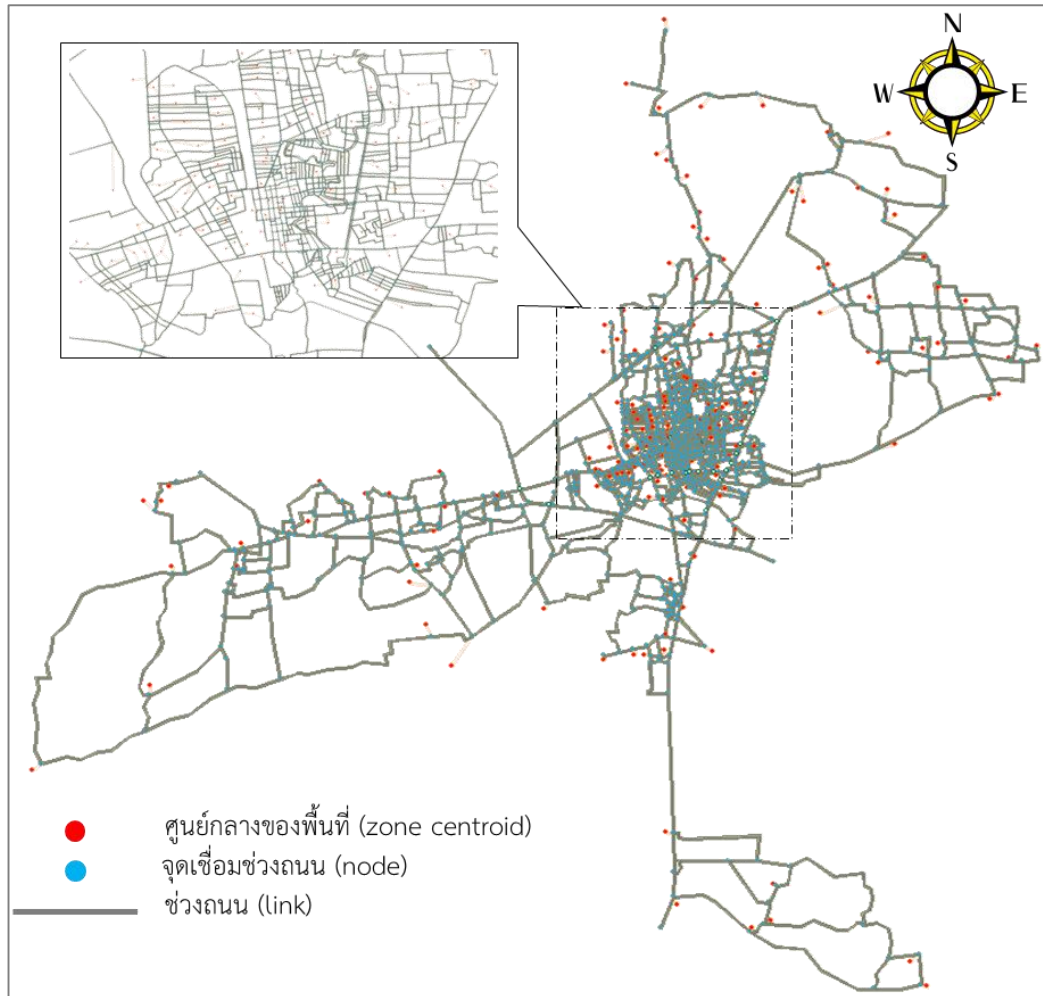
ข. พฤติกรรมการเดินทางและอพยพช่วงขณะน้ำท่วม จากผลการศึกษา พบว่า

- มีผู้อพยพร้อยละ 63.32 และผู้ไม่อพยพร้อยละ 36.68
- กลุ่มผู้อพยพ ร้อยละ 42.22 อพยพทันทีเมื่อมีประกาศเตือนภัย ร้อยละ 13.37 อพยพเมื่อระดับน้ำท่วมหัวเข่า (ประมาณ 50 เซนติเมตร) และ ร้อยละ 7.74 อพยพเมื่อระดับน้ำท่วมเอว (ประมาณ 1 เมตร) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอพยพ พบว่า ร้อยละ 32.11 พิจารณาความปลอดภัยเป็นหลัก รองลงมา ความรวดเร็ว (ร้อยละ 28.11) ความเป็นระเบียบ (ร้อยละ 12.41) ความพร้อม (ร้อยละ 10.48) มีการให้บริการของศูนย์อพยพที่มีอย่างทั่วถึง (ร้อยละ 8.93) และ ความเป็นระบบของศูนย์อพยพ (ร้อยละ 7.96)
- กลุ่มผู้ไม่อพยพ เนื่องจาก ห่วงทรัพย์สิน (ร้อยละ 40.64) ที่อื่นๆ ไม่สบายเหมือนบ้าน (ร้อยละ 31.75) เป็นห่วงคนชรา/ผู้พิการ/ผู้ป่วย (ร้อยละ 27.61)

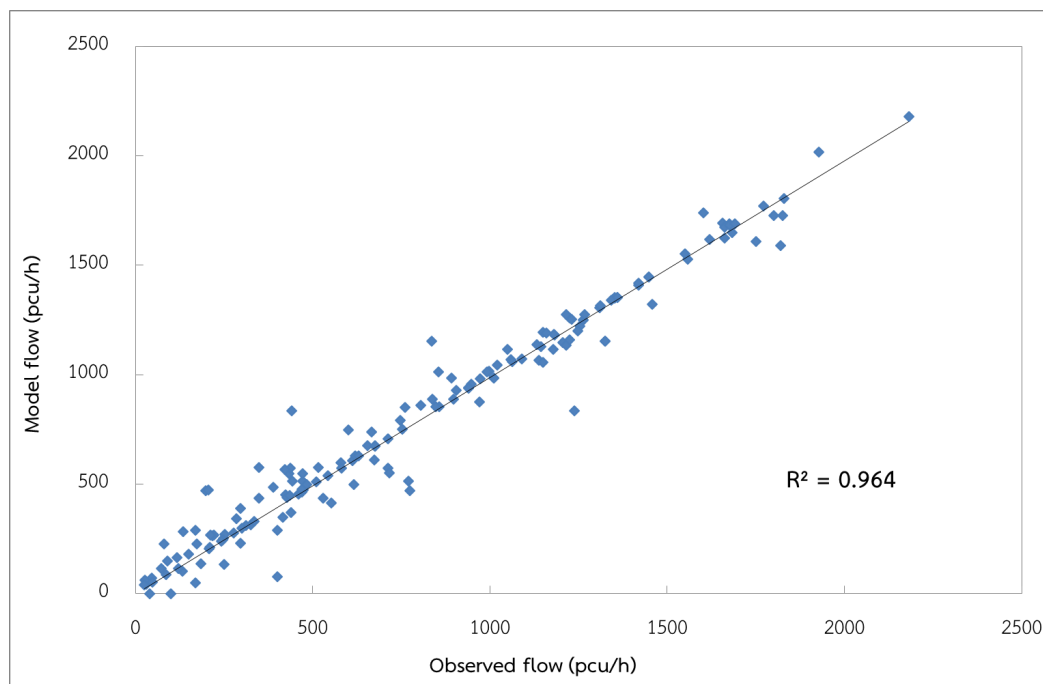
- ลักษณะการอพยพ อพยพตรงสู่ศูนย์อพยพ (ร้อยละ 37.56) รวมทั้งจุดรวมพลก่อนไปศูนย์อพยพ (ร้อยละ 25.45) แวะบ้านญาติแล้วไปจุดรวมพลก่อนไปศูนย์อพยพ (ร้อยละ 3.35) แวะตลาด/ร้านค้าแล้วไปจุดรวมพลก่อนไปศูนย์อพยพ (ร้อยละ 2.27) และ แวะที่ทำงานแล้วไปจุดรวมพลก่อนไปศูนย์อพยพ (ร้อยละ 2.11) ส่วนที่เหลือ ร้อยละ 29.26 อพยพไปบ้านญาติ ตามลำดับ
 - จำนวนผู้อพยพเฉลี่ยและสูงสุด มีค่าเท่ากับ 3.17 และ 11.94 คนต่อครัวเรือน ตามลำดับ
 - รูปแบบการเดินทางหลักในการอพยพ ส่วนใหญ่นิยมใช้รถส่วนตัวในการอพยพ (ร้อยละ 78.88) รองลงมา คือ รถสาธารณะ (รถจักรยานยนต์รับจ้าง รถตุ๊กๆ รถสองแถว รถตู้ และรถมินิบัส/รถบัสประจำทาง) คิดเป็นร้อยละ 11.13 ส่วนที่เหลือร้อยละ 9.99 อพยพด้วยการเดินเท้าเป็นหลัก
 - สาเหตุที่เลือกเดินเท้าในการอพยพ 3 อันดับแรก คือ ความสบาย (ร้อยละ 29.14) ความสะดวก (ร้อยละ 25.59) และ ความรวดเร็ว (ร้อยละ 15.27) ตามลำดับ ส่วนสาเหตุที่เลือกใช้รถส่วนตัว 3 อันดับแรก คือ ความสะดวก (ร้อยละ 30.14) ความสบาย (ร้อยละ 24.11) และ ความรวดเร็ว (ร้อยละ 18.62) ตามลำดับ สำหรับสาเหตุที่เลือกใช้รถสาธารณะ 3 อันดับแรก คือ ความสะดวก (ร้อยละ 27.84) ความสบาย (ร้อยละ 24.18) และ ความรวดเร็ว (ร้อยละ 13.20) ตามลำดับ
- ค. พฤติกรรมการเดินทางและอพยพช่วงหลังน้ำท่วม จากผลการศึกษา พบว่า
- ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 69.86) กลับที่พักอาศัยทันทีที่น้ำเริ่มลดถึงแม้ระดับน้ำจะยังไม่กลับสู่สภาวะปกติก็ตาม รองลงมา คือ กลับหลังจากน้ำลดและระดับน้ำกลับสู่สภาวะปกติแล้ว (ร้อยละ 21.33) กลับหลังจากระดับน้ำกลับสู่สภาวะปกติ 3 วัน (ร้อยละ 3.71) รอจนมั่นใจว่าน้ำไม่ท่วมอีก (ร้อยละ 3.04) และ กลับหลังระดับน้ำกลับสู่สภาวะปกติ 1 วัน (ร้อยละ 2.06) ตามลำดับ
 - ระยะเวลาฟื้นฟูกลับสู่การใช้ชีวิตปกติ ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 40.08) ใช้เวลา 1-2 สัปดาห์ รองลงมา คือ น้อยกว่า 1 สัปดาห์ (ร้อยละ 28.03) 3-4 สัปดาห์ (ร้อยละ 12.57) 1-2 เดือน (ร้อยละ 10.82) ส่วนที่ใช้เวลา 3-6 เดือน และมากกว่า 6 เดือน มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 3.97 และ 4.53 ตามลำดับ

5.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนนในเขตอำเภอเมืองหาดใหญ่

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่อำเภอเมืองหาดใหญ่บนพื้นฐานของแบบจำลองการคาดการณ์ปริมาณการเดินทางแบบ 4 ขั้นตอน โดยแบ่งพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ออกเป็น 211 พื้นที่ย่อย (Zones) ครอบคลุม 4,659 ช่วงถนน (Links) ดังรูปที่ บ-7 สำหรับผลการเปรียบเทียบแบบจำลองที่สร้างขึ้นดังรูปที่ บ-8 พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.964 ซึ่งถือว่ามีความสูง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้คาดการณ์ปริมาณการเดินทางในสถานการณ์ต่างๆ ได้ โดยผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์การเดินทางและสภาพการจราจรของโครงข่ายถนนในปฏิฐาน (พ.ศ. 2555) ซึ่งพบว่า มีสภาพใกล้เคียงกับความเป็นจริง



รูปที่ บ-7 พื้นที่ย่อยและโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา

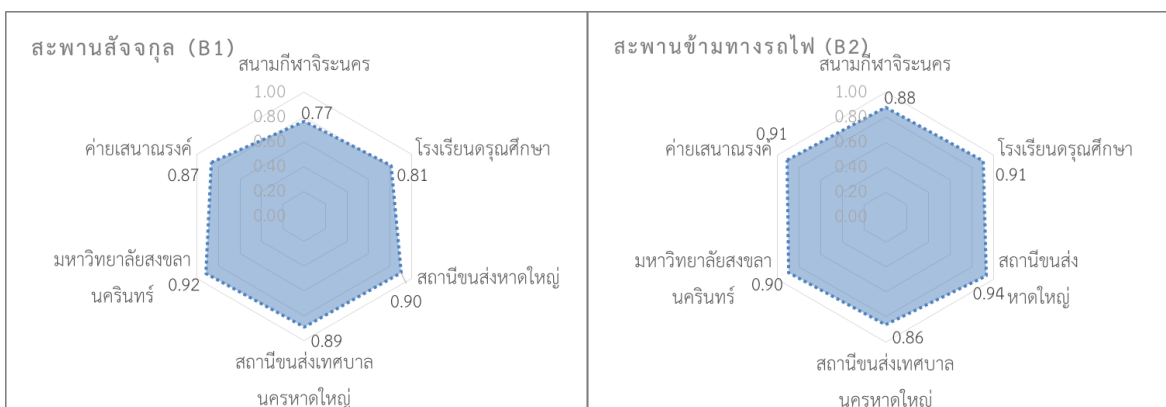


รูปที่ บ-8 ผลจากการปรับเทียบแบบจำลอง

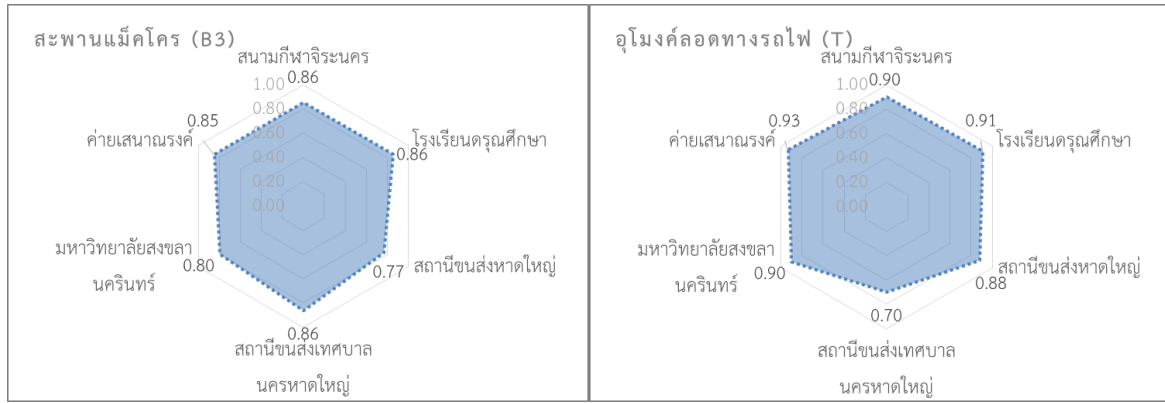
5.3 ผลการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในเขตเมืองหาดใหญ่

เนื่องจากการวิเคราะห์ความเปราะบางในงานวิจัยนี้เน้นผลกระทบที่มาจากภัยน้ำท่วม ซึ่งพื้นที่เสี่ยงภัยส่วนใหญ่อยู่ในเขตเมืองหาดใหญ่ ดังนั้น การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนจึงเน้นวิเคราะห์ในเขตเมืองหาดใหญ่เป็นหลัก โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ

1) ผลการประเมินศักยภาพในการเข้าถึงพื้นที่ โดยใช้ดัชนีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ความสามารถในการเข้าถึงศูนย์อพยพหากถนนสายสำคัญภายในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ถูกตัดขาด ดังรูปที่ บ-9 ซึ่งพบว่า ตำแหน่งของสะพาน อุโมงค์ และทางแยก ส่งผลต่อความยากง่ายในการเข้าถึงศูนย์อพยพอย่างมีนัยสำคัญ โดยหากจุดที่ถูกตัดขาดอยู่ใกล้กับศูนย์อพยพจะทำให้ผู้อพยพเดินทางมายังศูนย์อพยพได้ยากมากยิ่งขึ้น (ค่าดัชนีการเข้าถึงศูนย์อพยพลดลงเมื่อเทียบกับกรณีโครงข่ายถนนปกติ) ผู้วิจัยยังได้วิเคราะห์เวลาในการเข้าถึงศูนย์อพยพในแต่ละเขตพื้นที่ (ดังรูปที่ บ-10) และวิเคราะห์หาพื้นที่การให้บริการที่ปลอดภัย (สามารถเข้าถึงได้ภายในเวลา 15 นาที) ของศูนย์อพยพที่กำหนดโดยเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยพบว่า ศูนย์อพยพทั้ง 13 จุดครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของเขตเมืองหาดใหญ่ที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ใช้หลักการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) เพื่อคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 85 ของเวลาการเดินทางระหว่างจุดต้นทาง (ชุมชน) ไปยัง จุดปลายทาง (ศูนย์อพยพ) และ ค่าเวลาการเดินทางรวมในโครงข่ายถนน (Total travel time in the network) เมื่อระดับความต้องการอพยพมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 100% พบว่า เมื่อระดับความต้องการอพยพสูงขึ้น ค่าเวลาการเดินทางระหว่างชุมชนไปยังศูนย์อพยพและค่าเวลาการเดินทางรวมในโครงข่ายถนนมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (ดังรูปที่ บ-11) ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้คาดการณ์สถานการณ์ของโครงข่ายถนนหากทราบร้อยละความต้องการอพยพที่แน่นอน

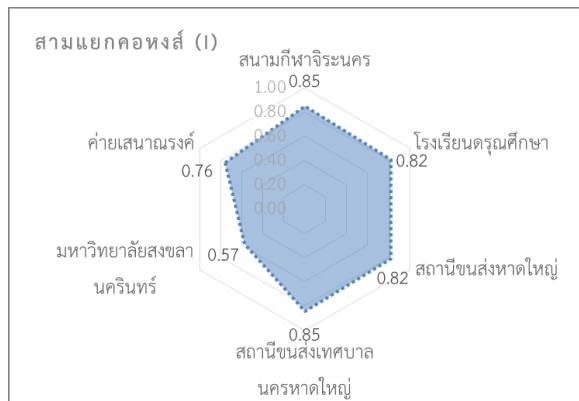


รูปที่ บ-9 การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีศักยภาพการเข้าถึงศูนย์อพยพ



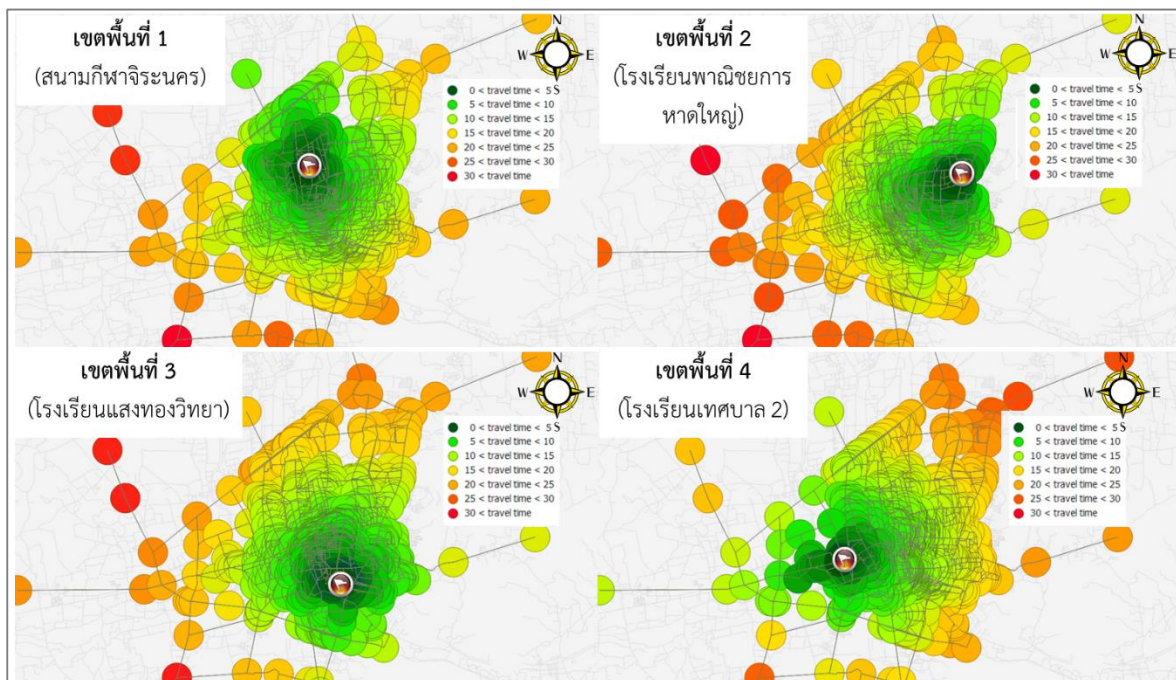
ค) หากสะพานแม่โคโรถูกตัดขาด

ง) หากอุโมงค์ลอดทางรถไฟถูกตัดขาด

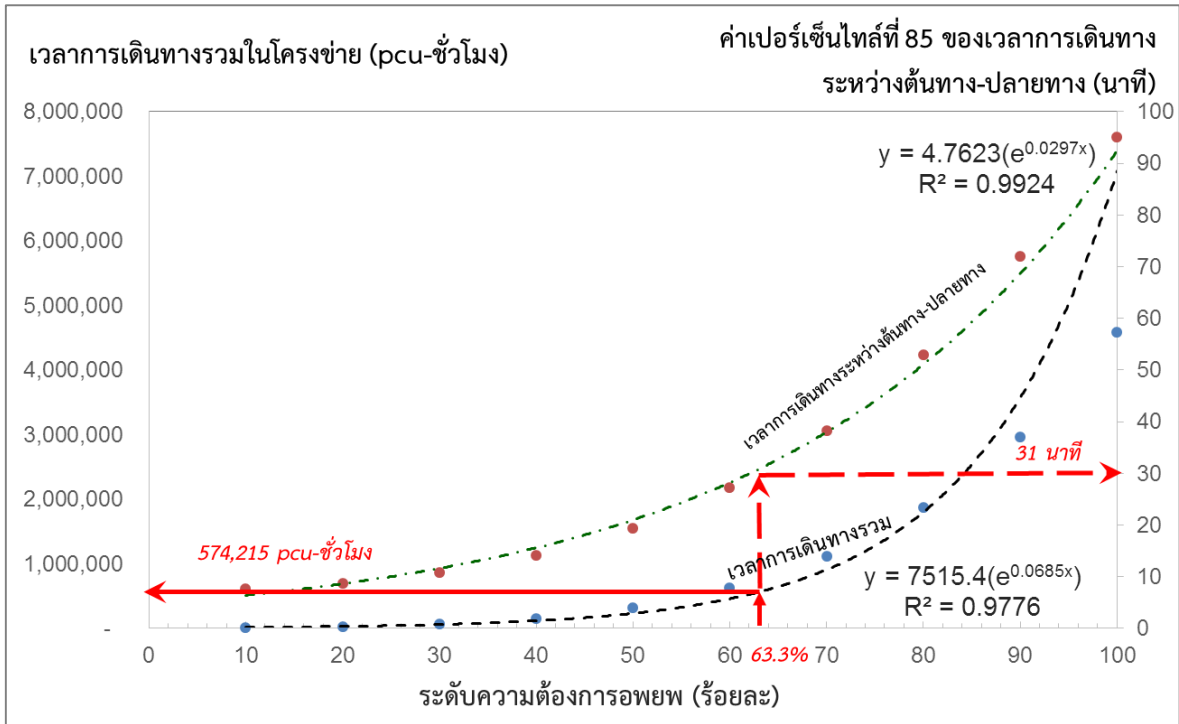


จ) หากสามแยกคอหงส์ถูกตัดขาด

รูปที่ บ-9 การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีศักยภาพการเข้าถึงศูนย์อพยพ (ต่อ)



รูปที่ บ-10 เวลาที่ใช้ในการเข้าถึงศูนย์อพยพในแต่ละเขตพื้นที่



รูปที่ บ-11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความต้องการในการอพยพกับเวลาการเดินทางรวมในโครงข่ายและค่าเปอร์เซ็นต์ที่ 85 ของเวลาการเดินทางระหว่างชุมชนและศูนย์อพยพ

2) ผลการวิเคราะห์หาค่าตำแหน่งของช่วงถนนวิกฤติในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ พบว่า ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติโดยเฉพาะอันดับต้นๆ เป็นช่วงถนนที่รองรับปริมาณการจราจรที่หนาแน่นและมีความจุสำรองเหลือน้อย เช่น ถนนนิพัทธ์สงเคราะห์ที่ 1 ช่วงวงเวียนน้ำพุถึงแยกโรงปูน ถนนกาญจนาภิเษกช่วงแยกคอกหงส์ถึงบริเวณค่ายทหารเสนารรงค์ และ ถนนเพชรเกษมช่วงหน้าอำเภอหาดใหญ่จนถึงสะพานข้ามทางรถไฟ เป็นต้น

3) ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ พบว่า ระดับความรุนแรงของภัยพิบัติและปริมาณความต้องการในการอพยพมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ ดังนั้น ในการประเมินตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติควรระมัดระวังในการคาดการณ์ปริมาณความต้องการอพยพและระดับความรุนแรงของภัยพิบัติเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ความเปราะบางมีความใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นมากที่สุด

5.4 ผลการศึกษาแนวเส้นทางอพยพช่วงน้ำท่วม

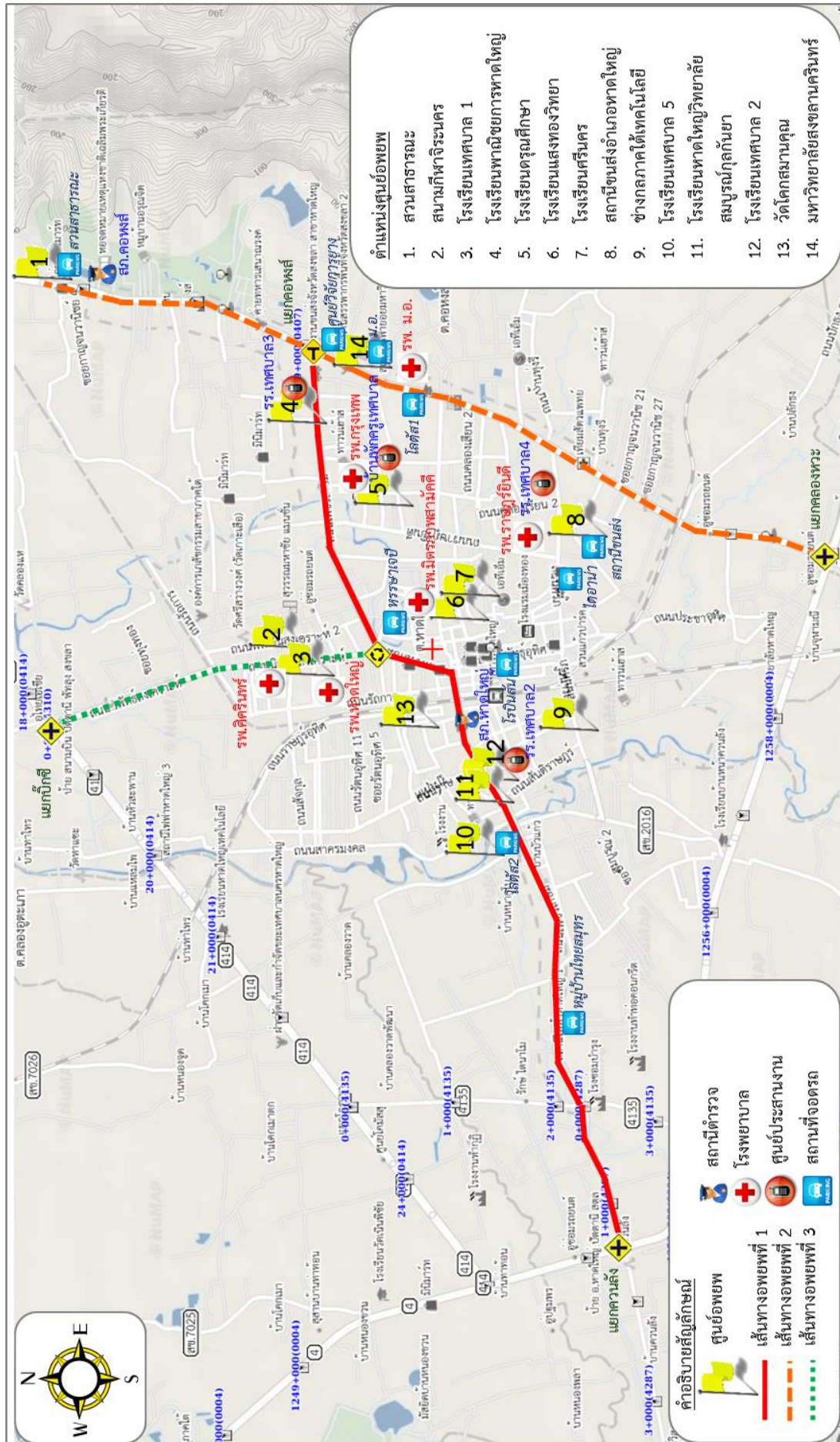
ผู้วิจัยได้เสนอแผนที่เส้นทางการอพยพจากพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมโดยอ้างอิงตำแหน่งศูนย์อพยพ ศูนย์ประสานงาน และสถานที่จอดรถจากคู่มือพร้อมรับสถานการณ์อุทกภัยของเทศบาลนครหาดใหญ่ พ.ศ. 2554 ดังแสดงในรูปที่ บ-12 ซึ่งประกอบด้วยเส้นทางอพยพ 3 สาย ดังนี้

1) เส้นทางที่ 1 (ถนนเพชรเกษม) เริ่มจากแยกควนลัง – แยกสนามบินนอก – แยกตัดถนนราษฎร์อุทิศ – แยกโรงแรมวีแอล – วงเวียนน้ำพุ – แยกธนาคารแห่งประเทศไทย – แยกตัดถนนราษฎร์ยินดี จนถึงแยกคองส์ ระยะทางประมาณ 9.6 กิโลเมตร

2) เส้นทางที่ 2 (ถนนนิพัทธ์สงเคราะห์ที่ 1) เริ่มจากวงเวียนน้ำพุ สิ้นสุดที่แยกบึกซี ระยะทางประมาณ 3.2 กิโลเมตร

3) เส้นทางที่ 3 (ถนนกาญจนวนิช) เริ่มจากแยกคลองหวัะ – แยกสถานีขนส่งอำเภอหาดใหญ่ – แยกคลองเรียน – แยกมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ – แยกคองส์ สิ้นสุดที่สวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่ ระยะทางประมาณ 9.0 กิโลเมตร

อย่างไรก็ตาม แผนที่ดังรูปที่ บ-12 เป็นการนำเสนอในเบื้องต้น งานวิจัยในอนาคตควรพิจารณารายละเอียดของพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม ประเมินโอกาสที่ถนนหรือศูนย์อพยพในเขตเมืองหาดใหญ่จะถูกน้ำท่วม รวมทั้งเพิ่มเติมรายละเอียดอื่นๆ ที่จำเป็น เช่น เบอร์โทรศัพท์หน่วยงานต่างๆ เพื่อให้แผนที่เส้นทางการอพยพจากพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของเขตเมืองหาดใหญ่มีความถูกต้อง ใช้งานได้ง่าย และมีข้อมูลครบถ้วน



รูปที่ บ-12 แผนที่เส้นทางอพยพจากพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม

5.5 ข้อเสนอแนะสำหรับการวางแผนรองรับน้ำท่วมในอนาคต

จากผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางและอพยพของนักเรียนสามารถสรุปประเด็นได้ดังนี้
การเตรียมพร้อมก่อนน้ำท่วม

- ประชาชนต้องการให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องแจ้งเตือนภัยก่อนเกิดเหตุประมาณ 16 ชั่วโมง (ประมาณครึ่งวัน)
- ข้อมูลเตือนภัยที่ต้องการจากหน่วยงานควรมาจากแหล่งที่มีความน่าเชื่อถือ (ร้อยละ 29.02) ทันต่อสถานการณ์ (ร้อยละ 27.36) มีความแม่นยำในการคาดการณ์ (ร้อยละ 24.04) และ มีความถูกต้องของการรายงานผล (ร้อยละ 19.58)
- ช่องทางการแจ้งข้อมูลเตือนภัยที่ต้องการมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ ชักธงแดง (ร้อยละ 20.48) จุดพลุ (ร้อยละ 18.24) และ วิทยุกระจายเสียง (ร้อยละ 15.79) ตามลำดับ
- หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรดูแลระดับการให้บริการของช่วงถนนที่เป็นเส้นทางอพยพ
 - ให้กระแสรถสามารถไหลได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ
 - ห้ามการจอดที่ผิดกฎหมาย เช่น จอดในที่ห้ามจอด จอดซ้อนคัน
 - ป้องกันอุบัติเหตุจราจรที่อาจเกิดขึ้นบนช่วงถนนและบริเวณทางแยก

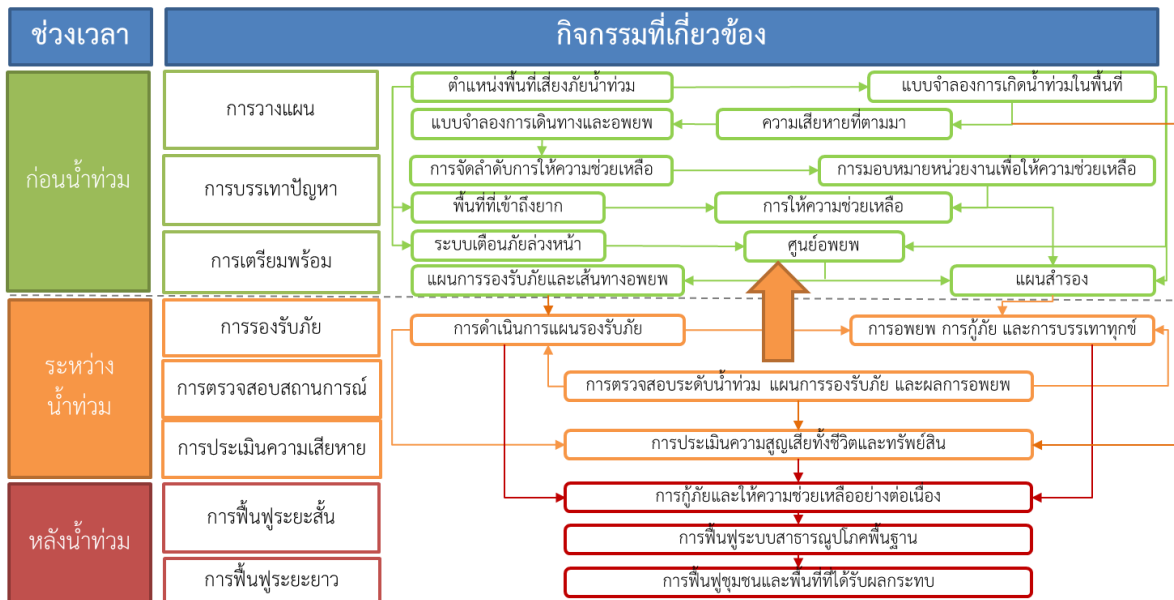
การรับภัยขณะน้ำท่วม

- สิ่งที่เป็นและต้องการให้มีในศูนย์อพยพ 3 อันดับแรก คือ อาหาร/เครื่องดื่ม (ร้อยละ 30.02) เสื้อผ้า/เครื่องนุ่งห่ม (ร้อยละ 20.77) และ ยารักษาโรค/แพทย์ประจำ (ร้อยละ 18.58) ตามลำดับ
- ความปลอดภัยโดยทั่วไปที่ต้องการให้มี 4 อันดับแรก ได้แก่ เจ้าหน้าที่เข้าเวรยามประจำ (ร้อยละ 30.02) เจ้าหน้าที่สายตรวจวันละ 1 ครั้ง (ร้อยละ 20.77) เจ้าหน้าที่ดูแลสัตว์เลี้ยง (ร้อยละ 18.58) และ เจ้าหน้าที่คอยเฝ้าระวังน้ำท่วม (ร้อยละ 9.68) ตามลำดับ
- สำหรับผู้ที่ไม่อพยพ ต้องให้ทางราชการดูแลและช่วยเหลือใน 3 ประเด็นแรก ได้แก่ การรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า (ร้อยละ 29.02) ภัยจากมิถุนาชีพ (ร้อยละ 16.88) และ ภัยจากสัตว์มีพิษ (ร้อยละ 16.32) ตามลำดับ

การฟื้นฟูหลังน้ำท่วม

- ระบบไฟฟ้า ประปา และถนน เป็นระบบโครงสร้างพื้นฐานที่ต้องการให้หน่วยงานที่รับผิดชอบฟื้นฟูอย่างเร่งด่วน 3 อันดับแรก
- การขอความช่วยเหลือด้านสินค้าอุปโภคและบริโภคเพื่อการดำรงชีวิต พบว่า ควรควบคุมราคาสินค้า (ร้อยละ 35.51) ควรมีการแจกสิ่งของที่จำเป็นต่อการยังชีพ (ร้อยละ 30.55) ควรมีการตั้งศูนย์จำหน่ายสินค้าราคาถูก (ร้อยละ 17.93) และ ควรมีแผนป้องกันไม่ให้สินค้าขาดแคลน (ร้อยละ 16.01)

สำหรับการวางแผนในภาพรวม ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางการวางแผนรองรับน้ำท่วมในช่วงเวลาต่างๆ โดยปรับปรุงมาจากผลการศึกษาก่อนหน้านี้ของ El-sergany และ Alam (2012) ซึ่งได้จำแนกกิจกรรมต่างๆ ตามช่วงเวลาของน้ำท่วม ตั้งแต่ก่อนน้ำท่วม ระหว่างน้ำท่วม และหลังน้ำท่วม ดังรูปที่ บ-13



รูปที่ บ-13 แนวทางการวางแผนรองรับภัยน้ำท่วมในช่วงเวลาต่างๆ

ที่มา: ปรับปรุงจาก El-sergany และ Alam (2012)

5.6 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ในงานวิจัยนี้อาจมีข้อจำกัดหลายประการ งานวิจัยในอนาคตควรเพิ่มเติมประเด็นต่างๆ ดังนี้

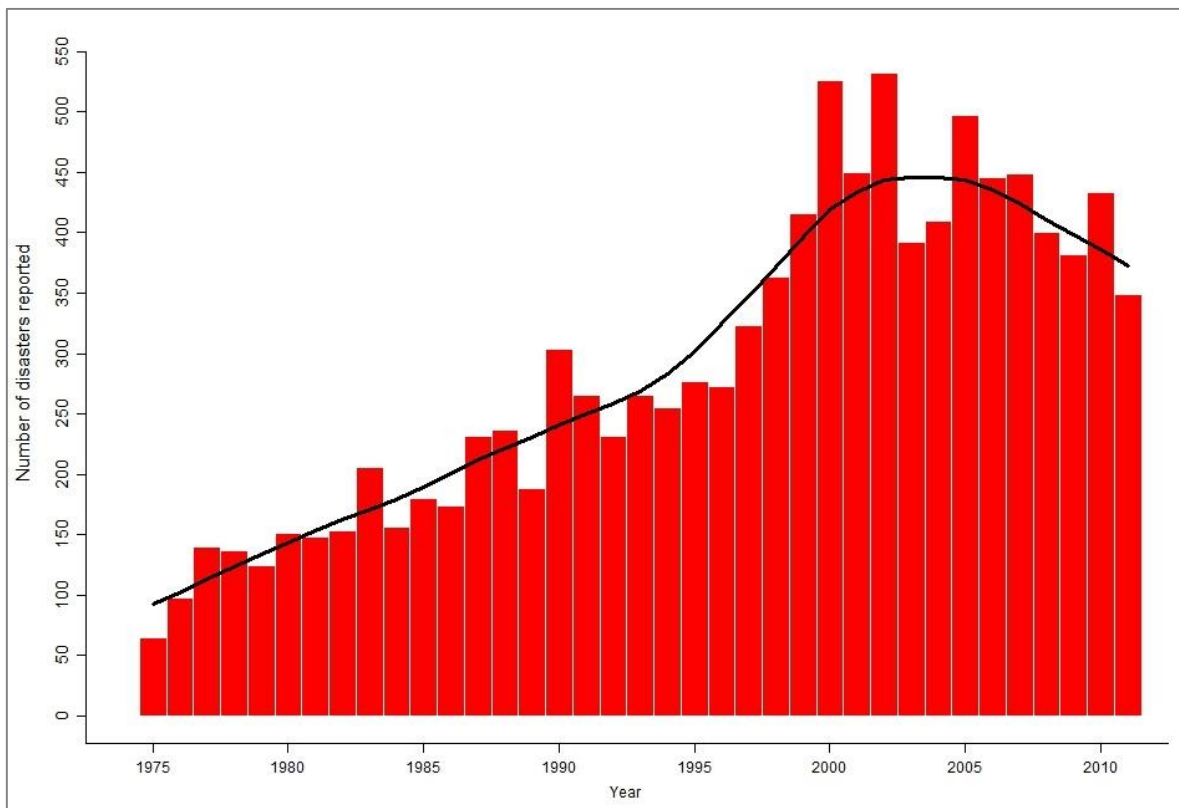
- ควรมีการสำรวจพฤติกรรมเดินทางและอพยพน้ำท่วมให้ครอบคลุมกลุ่มตัวอย่างนอกเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ทั้งถึงทุกอาชีพ และมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างในแต่ละอาชีพที่มากพอ
- ควรมีการพิจารณามิติของเวลาเข้ามาในแบบจำลองการตัดสินใจอพยพเพื่อให้สามารถนำแบบจำลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้วางแผนอพยพแบบ real time ต่อไป
- ควรพิจารณารถโดยสารสาธารณะเข้ามาในแบบจำลองการเดินทาง เพื่อให้แบบจำลองที่ได้ครอบคลุมการใช้ยานพาหนะทุกรูปแบบ สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลระหว่างการเดินทางด้วยรถส่วนตัวและรถสาธารณะได้ และสามารถนำแบบจำลองที่ได้มาวางแผนจัดการระบบการขนส่งสาธารณะสำหรับผู้อพยพให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด
- ควรศึกษาความน่าจะเป็นของการเกิดน้ำท่วมบนถนนแต่ละสาย และศึกษาผลกระทบที่มีต่อความสามารถของช่วงถนนในแต่ละพื้นที่ รวมทั้งการศึกษความสัมพันธ์ระหว่างระดับความรุนแรงของภัยน้ำท่วมต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความจุถนน
- ควรมีการศึกษาพัฒนากระบวนการเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติที่รวดเร็วกว่าการวิเคราะห์แบบดั้งเดิมที่ใช้ในงานวิจัยนี้
- ควรมีการพิจารณาแบบจำลองน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษา รวมทั้งการศึกษาค้นคว้าหาเส้นทางอพยพที่เหมาะสมที่เป็นปัญหาแบบมีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective optimization problem) เพื่อให้การวิเคราะห์หาเส้นทางอพยพที่เหมาะสมครอบคลุมในทุกบริบท

1 บทนำ

- ❖ ที่มาและความสำคัญ
- ❖ วัตถุประสงค์ของการวิจัย
- ❖ ขอบเขตของการวิจัย
- ❖ ประโยชน์ที่ได้รับ

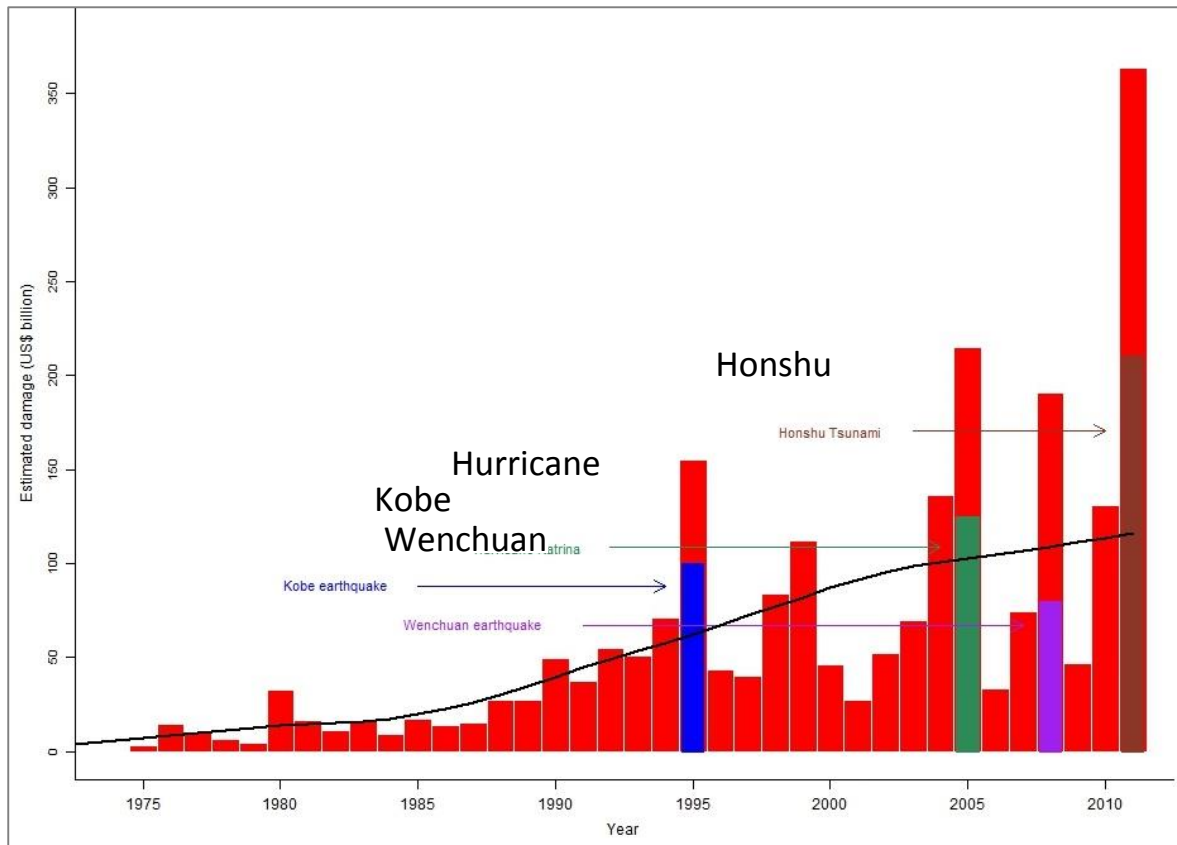
1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศต่างๆ กำลังเผชิญกับภัยพิบัติมากมายที่เป็นภัยคุกคามต่อการดำรงชีวิตประจำวันของประชาชน โดยทั่วไปภัยพิบัติสามารถจำแนกได้ 2 กลุ่ม คือ ภัยพิบัติทางธรรมชาติ (Natural disasters) เช่น อุทกภัย แผ่นดินไหว สึนามิ เป็นต้น และภัยพิบัติที่เกิดจากมนุษย์หรือที่มนุษย์เกี่ยวข้อง (Man-made or Human-related disasters) เช่น อุบัติเหตุจลาจล การประท้วง การก่อการร้าย เป็นต้น จากข้อมูลสถิติของ CRED (2012) พบว่า จำนวนและความเสียหายทางเศรษฐกิจจากภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วโลกระหว่างปี ค.ศ. 1975 ถึง 2011 (ดังรูปที่ 1-1 และรูปที่ 1-2 ตามลำดับ) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามลำดับ



รูปที่ 1-1 จำนวนภัยพิบัติทางธรรมชาติทั่วโลกระหว่างปี ค.ศ. 1975-2011

ที่มา: CRED (2012)



รูปที่ 1-2 ความเสียหายทางเศรษฐกิจจากภัยพิบัติทางธรรมชาติระหว่างปี ค.ศ. 1975-2011

ที่มา: CRED (2012)

สำหรับประเทศไทย เหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติได้เกิดขึ้นหลายรูปแบบ แต่อุทกภัยเป็นภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งและสร้างความเสียหายให้แก่ประชาชนส่วนใหญ่ของประเทศ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของ UNISDR (2009) ดังแสดงในรูปที่ 1-3 และรูปที่ 1-4 ที่ระบุว่า ประเทศไทยมีผู้ประสบเหตุอุทกภัยสูงเป็นอันดับที่ 7 ของโลก จาก 162 ประเทศ โดยมีจำนวนผู้ประสบภัยโดยเฉลี่ย 819,822 คนต่อปี ส่วนมูลค่า GDP ที่สูญเสียจากอุทกภัย พบว่า มีค่ามากถึง 3.09 พันล้านเหรียญสหรัฐต่อปี หรือเป็นอันดับที่ 8 ของโลก

	Average people exposed per year	Country
1	19,279,960	Bangladesh
2	15,859,640	India
3	3,972,502	China
4	3,403,041	Viet Nam
5	1,765,674	Cambodia
6	1,101,507	Indonesia
7	819,822	Thailand
8	788,572	Philippines
9	579,732	Pakistan
10	444,450	Myanmar
11	390,594	United States of America
12	333,224	Nepal
13	265,260	Brazil
14	233,320	Russian Federation
15	226,622	Nigeria

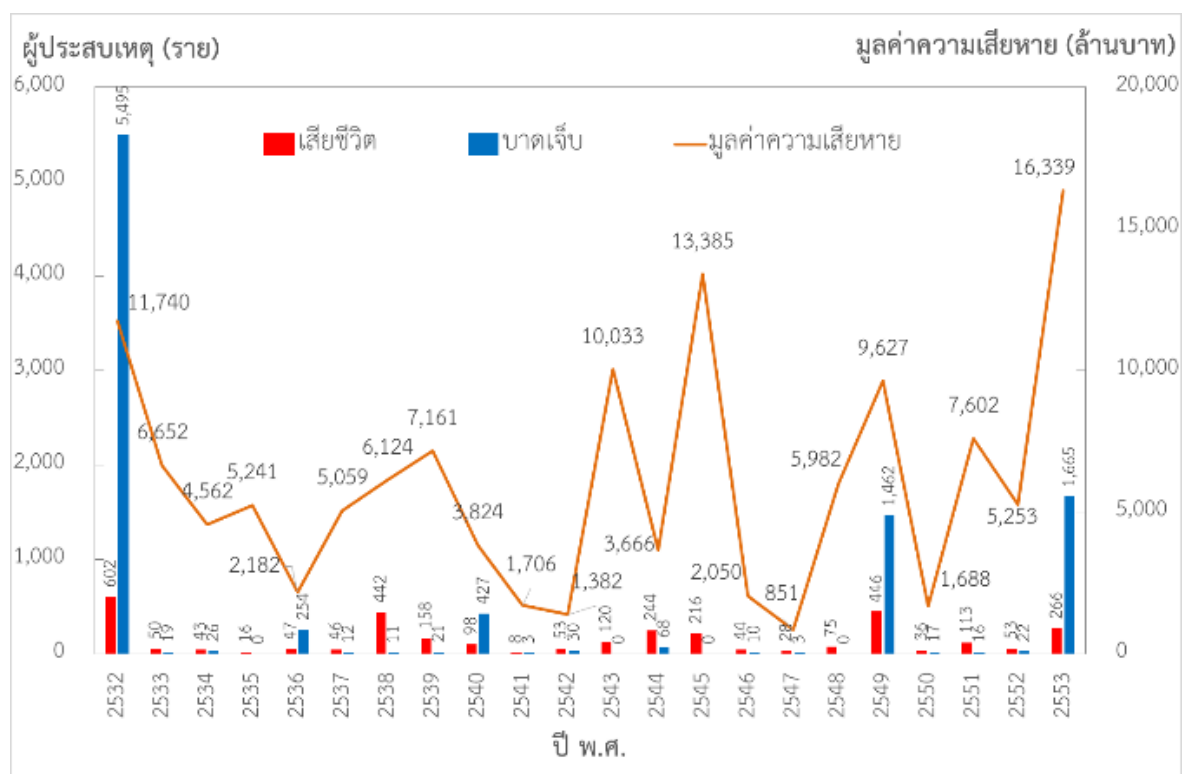
รูปที่ 1-3 ค่าเฉลี่ยจำนวนผู้ประสบอุทกภัยต่อปีในประเทศต่างๆ
ที่มา: UNISDR (2009)

	Average GDP ¹ exposed per year	Country
1	21.86	United States of America
2	12.58	China
3	9.74	Bangladesh
4	9.39	India
5	4.72	Germany
6	4.56	Japan
7	4.17	France
8	3.09	Thailand
9	2.57	Philippines
10	2.21	Viet Nam
11	2.18	Argentina
12	1.98	United Kingdom
13	1.84	Spain
14	1.82	Netherlands
15	1.76	Canada

¹: In billions US\$

รูปที่ 1-4 มูลค่าเฉลี่ย GDP ต่อปีที่สูญเสียจากอุทกภัยในแต่ละประเทศ
ที่มา: UNISDR (2009)

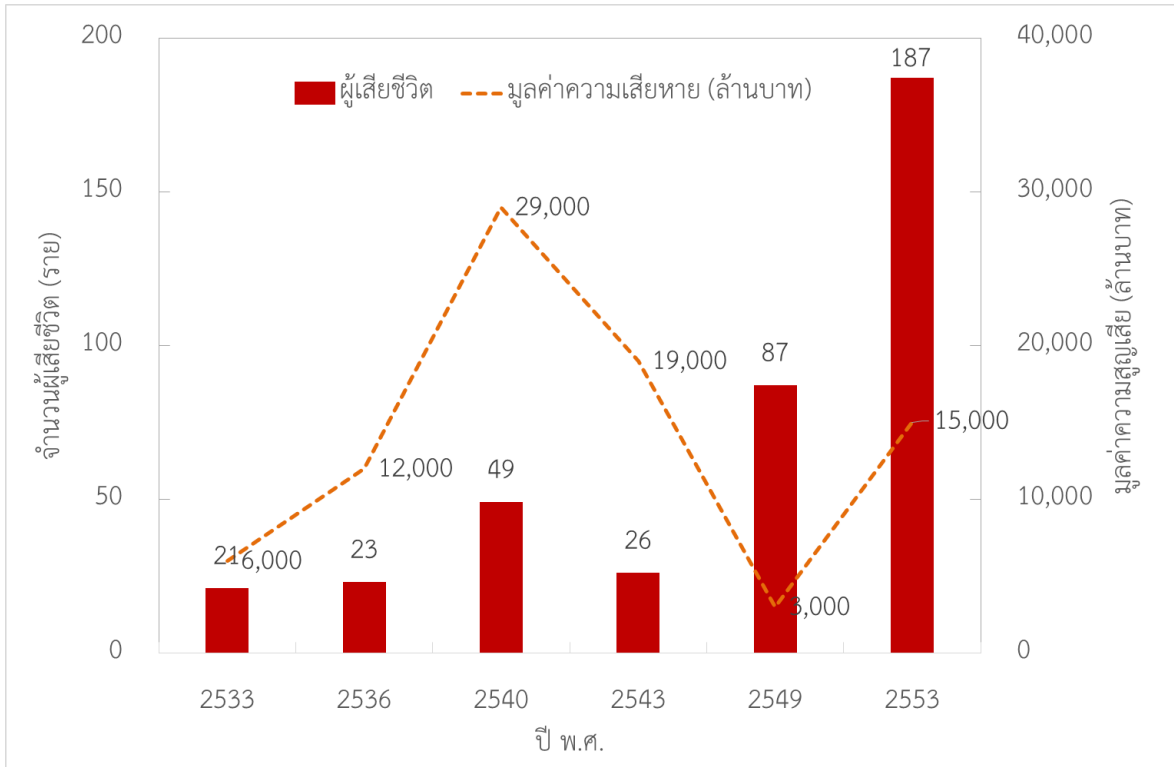
นอกจากข้อมูลข้างต้นแล้ว จากสถิติจำนวนผู้ประสบเหตุและมูลค่าความเสียหายจากอุทกภัยที่เกิดขึ้นในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2532-2553 ของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (2555) ดังแสดงในรูปที่ 1-5 พบว่า จำนวนผู้เสียชีวิต ผู้บาดเจ็บ และมูลค่าความเสียหายมีความแตกต่างกันในแต่ละปี ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนการเกิดและความรุนแรงของอุทกภัยในแต่ละปีมีแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม มูลค่าความเสียหายในช่วง 4 ปีหลังสุด (พ.ศ. 2550-2553) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีมูลค่าสูงสุด 16,339 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2553



รูปที่ 1-5 สถิติจำนวนผู้ประสบเหตุและมูลค่าความเสียหายจากอุทกภัยในประเทศไทย ระหว่าง พ.ศ. 2532-2553

ที่มาข้อมูล: กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (2555)

สำหรับอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นเมืองเศรษฐกิจและแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของภาคใต้ และเป็นพื้นที่หนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากอุทกภัยบ่อยครั้ง จากสถิติจำนวนผู้เสียชีวิตและมูลค่าความเสียหายจากอุทกภัยที่เกิดในอำเภอหาดใหญ่ระหว่างปี พ.ศ. 2533 ถึง 2553 ของศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เขต 12 สงขลา (2555) ดังแสดงในรูปที่ 1-6 พบว่า แนวโน้มของจำนวนผู้เสียชีวิตและมูลค่าความเสียหายเพิ่มขึ้นจากอุทกภัยที่เกิดขึ้นในช่วง 2 ครั้งล่าสุด (พ.ศ. 2549 และ 2553) โดยเฉพาะอย่างยิ่งจำนวนผู้เสียชีวิตโดยเพิ่มขึ้นจาก 87 ราย เป็น 187 ราย ตามลำดับ



รูปที่ 1-6 สถิติจำนวนผู้ประสบเหตุและมูลค่าความเสียหายจากอุทกภัยที่เกิดขึ้นในอำเภอหาดใหญ่ ระหว่าง พ.ศ. 2533-2553

ที่มาข้อมูล: ศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เขต 12 สงขลา (2555)

ถึงแม้ว่าหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้พยายามวางแผนและบูรณาการมาตรการต่างๆ เพื่อป้องกันเหตุนี้ท่วมไม่ให้เกิดขึ้นอีกในเขตอำเภอหาดใหญ่ก็ตาม เช่น การวางแผนด้านการชลประทานและระบายน้ำ รวมทั้งการวางระบบฝาระวังและเตือนภัยน้ำท่วมในคลองสายสำคัญและบริเวณพื้นที่เสี่ยง แต่จนถึงปัจจุบันยังไม่ปรากฏว่าได้มีการนำศาสตร์ด้านวิศวกรรมการจราจรและขนส่งมาวิเคราะห์ความเปราะบาง (Vulnerability analysis) ของโครงข่ายการจราจรและขนส่ง โดยเฉพาะโครงข่ายถนนในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของอำเภอหาดใหญ่

โดยทั่วไปการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งของช่วงถนนวิกฤติ (Critical links) ซึ่งเป็นตำแหน่งช่วงถนนที่มีความสำคัญและจะลดประสิทธิภาพของโครงข่ายถนน (Network performance) ลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อช่วงถนนดังกล่าวถูกตัดขาดหรือความจุลดลงอันเนื่องมาจากผลกระทบของภัยพิบัติ ผลจากการวิเคราะห์ดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษาหาเส้นทางและรูปแบบทางเลือกของการเดินทางและอพยพที่เหมาะสมในช่วงสถานการณ์วิกฤติ ตลอดจนเป็นแนวทางในการวางแผนปรับปรุงโครงข่ายถนนในระยะยาวเพื่อรองรับภัยพิบัติที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

จากเหตุผลข้างต้น การวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ความเปราะบางในการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยภายในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาเป็นกรณีศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ ประกอบด้วย

- 1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมและรูปแบบการเดินทางในช่วงปกติและการอพยพน้ำท่วมของตัวอย่างประชากรในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
- 2) เพื่อพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของผู้ใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลบนโครงข่ายถนนในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
- 3) เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของโครงข่ายถนนที่ศึกษาจากสถานการณ์วิกฤติเมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมและเสนอเส้นทางอพยพที่เหมาะสม
- 4) เพื่อเสนอข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการรองรับภัยน้ำท่วมแก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

- 1) พื้นที่ศึกษา มีขอบเขตดังแสดงในรูปที่ 1-7 ซึ่งประกอบด้วย 1) เทศบาลนครหาดใหญ่ 2) ตำบลคอหงส์ 3) ตำบลควนลัง 4) ตำบลคลองแห 5) ตำบลบ้านพรุ 6) ตำบลคูเต่า 7) ตำบลน้ำน้อย 8) ตำบลท่าข้าม 9) ตำบลทุ่งใหญ่ 10) ตำบลฉลุง 11) ตำบลคลองอู่ตะเภา 12) ตำบลทุ่งตำเสา และ 13) ตำบลพะตง โดยพื้นที่ศึกษามีประชากรตามทะเบียนราษฎร ณ ปี พ.ศ. 2555 ประมาณ 378,000 คน (สำนักงานอำเภอหาดใหญ่, 2555)
- 2) ในการศึกษาพฤติกรรมการเดินทางในช่วงปกติและพฤติกรรมการอพยพน้ำท่วมของตัวอย่างประชากรในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ผู้วิจัยได้ออกแบบสำรวจพฤติกรรมดังกล่าว โดยเน้นสำรวจตัวอย่างประชากรในพื้นที่เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ที่ได้ประสบเหตุการณ์น้ำท่วมเมื่อปี พ.ศ. 2553 จำนวน 1,600 ตัวอย่าง
- 3) ในการพัฒนาแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนนในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ผู้วิจัยได้พิจารณาเฉพาะผู้ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล ซึ่งประกอบด้วย รถจักรยานยนต์ รถยนต์เก๋ง และรถยนต์กระบะ เท่านั้น เนื่องจากผลจากการสำรวจปริมาณการจราจรโดยผู้วิจัย พบว่า ยานพาหนะดังกล่าวเป็นกลุ่มผู้ใช้ทางส่วนใหญ่ สำหรับโครงข่ายถนนผู้วิจัยพิจารณาเฉพาะถนนสายหลักและสายรองที่สำคัญ แต่ไม่พิจารณาโครงข่ายซอยที่มีปริมาณการจราจรต่ำ อย่างไรก็ตาม การพิจารณาดังกล่าวจะไม่ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของแบบจำลองการเดินทางที่สร้างขึ้นมากนัก เนื่องจากปริมาณการจราจรบนโครงข่ายซอยได้ถูกนำมารวมไว้บนถนนสายหลักและสายรองที่พิจารณาแล้ว



รูปที่ 1-7 ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

- 1) ทราบพฤติกรรมในการเดินทางทั้งในช่วงปกติและพฤติกรรมการอพยพน้ำท่วม รวมทั้งความต้องการความช่วยเหลือภัยน้ำท่วมของตัวอย่างประชากรในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
- 2) ได้แบบจำลองการเดินทางและอพยพของผู้คนภายในเขตพื้นที่ศึกษา
- 3) ทราบตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติและเส้นทางอพยพของโครงข่ายถนนในเขตพื้นที่ศึกษา
- 4) ได้ข้อเสนอแนะในการวางแผนรองรับสถานการณ์วิกฤติจากอุทกภัยที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

ในบทนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอที่มาและความสำคัญของการวิจัย ได้กล่าวถึงเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย อธิบายขอบเขตของการศึกษาตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย ในบทต่อไปของรายงานการวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้ทบทวนและสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไว้ในบทที่ 2 และวิธีการดำเนินการวิจัยกล่าวในบทที่ 3 ส่วนบทที่ 4 เป็นการนำเสนอผลจากการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางและอพยพของตัวอย่างประชากรในพื้นที่ศึกษาทั้งในช่วงเวลาปกติและช่วงเหตุการณ์น้ำท่วม จากนั้น ในบทที่ 5 ผู้วิจัยนำเสนอผลการพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของผู้ใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลในพื้นที่ศึกษาและผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรในพื้นที่ศึกษา ส่วนการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนได้นำเสนอไว้ในบทที่ 6 สุดท้ายบทที่ 7 เป็นการสรุปผลและนำเสนอข้อเสนอแนะด้านนโยบายเพื่อรองรับภัยน้ำท่วม ตลอดจนกล่าวถึงข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

2 วรรณกรรมปริทัศน์

- ❖ การวิเคราะห์ความต้องการเดินทาง
- ❖ การศึกษาพฤติกรรมการเดินทางและอพยพภัยธรรมชาติ
- ❖ โปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนน
- ❖ การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนน

2.1 การวิเคราะห์ความต้องการเดินทาง

การวิเคราะห์ความต้องการเดินทาง เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญสำหรับการวางแผนการจราจรและขนส่ง การวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นการคาดการณ์ปริมาณความต้องการเดินทางของผู้คนหรือยานพาหนะบนโครงข่ายการจราจรและขนส่ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายพฤติกรรมและคาดการณ์ปริมาณความต้องการของการเดินทาง ซึ่งแบบจำลองนี้นอกจากจะสามารถใช้ในการคาดการณ์ปริมาณความต้องการเดินทางในปัจจุบันได้แล้ว ยังสามารถใช้ในการพยากรณ์ปริมาณความต้องการเดินทางในอนาคตได้เช่นกัน

Boyce (1998) ได้แบ่งแบบจำลองสำหรับการคาดการณ์และพยากรณ์ปริมาณความต้องการเดินทางในเมือง (Urban travel demand forecasting models) ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

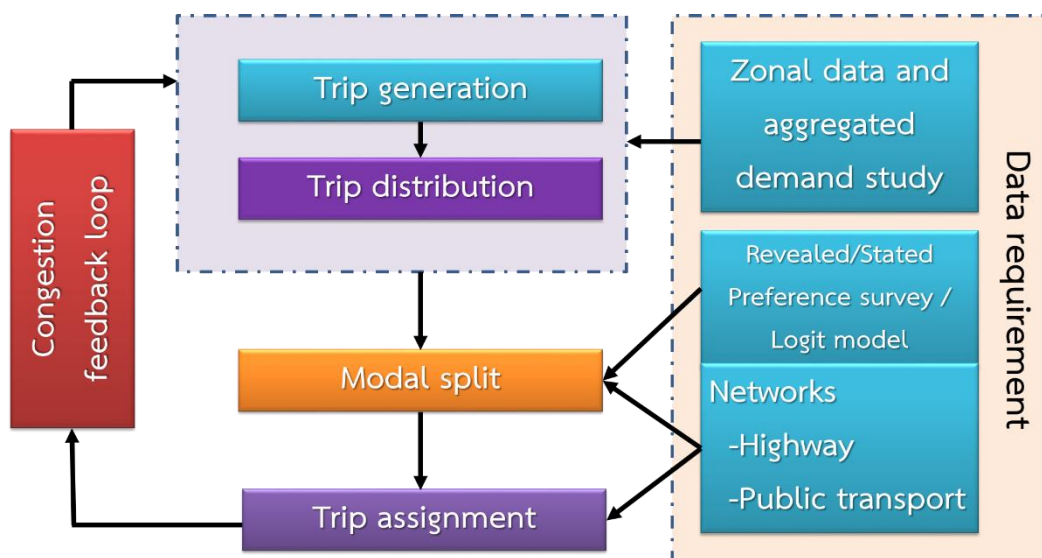
- Trip-based models เป็นแบบจำลองที่อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีการเลือกของผู้บริโภค (Consumer choice theory) ซึ่งพัฒนามาจากแนวคิดด้านเศรษฐศาสตร์และจิตวิทยา โดยพิจารณาปริมาณการเดินทาง (Trips) ของแต่ละคน และจะพิจารณาข้อจำกัดในการเลือกเดินทางจากพฤติกรรมของตนเองและจากผู้อื่นที่ร่วมเดินทางในระบบด้วย
- Activity-based models เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจากแนวคิดด้านภูมิศาสตร์มนุษย์ โดยเน้นพิจารณากิจกรรมของการเดินทางเป็นหลัก ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวมีอิทธิพลมาจากปัจจัยด้านครัวเรือน เช่น จำนวน พฤติกรรม และปฏิสัมพันธ์ของสมาชิกในครัวเรือน
- Equilibrium-based models เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจากแนวคิดด้านการวิจัยดำเนินงาน โดยพิจารณาความสมดุลของการเลือกการเดินทางของแต่ละคนซึ่งมีผลกระทบหรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันภายในระบบหรือโครงข่ายการจราจรและขนส่ง

ถึงแม้แบบจำลองพยากรณ์ความต้องการเดินทางจะมีหลายแนวทาง Boyce (1998) ได้แนะนำว่าการเลือกใช้แบบจำลองควรพิจารณาให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาเป็นสำคัญ เนื่องจากงานส่วนหนึ่งของการวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองการเดินทางภายในโครงข่ายถนน ซึ่งสามารถพิจารณาปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกเดินทางของแต่ละคน เช่น เวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ในภาพรวมของโครงข่ายได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกแนวทางของ Equilibrium-based models มาสร้างแบบจำลองการเดินทางของการวิจัยนี้ ซึ่งการวิเคราะห์ความต้องการเดินทางโดยทั่วไปมี 4 ขั้นตอน หรือ

เรียกว่า แบบจำลองคาดการณ์ความต้องการเดินทางแบบ 4 ขั้นตอน (Four-step travel demand forecasting model) ประกอบด้วย

- การวิเคราะห์การเกิดการเดินทาง (Trip generation analysis) เป็นการคาดการณ์จำนวนการเดินทางที่เกิดขึ้น (Production trips) ในแต่ละพื้นที่ย่อย (Zone) และจำนวนการเดินทางที่ดึงดูดเข้าสู่แต่ละพื้นที่ย่อย (Attraction trips) ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด
- การวิเคราะห์การกระจายการเดินทาง (Trip distribution analysis) เป็นการคำนวณเพื่อหาจำนวนการเดินทางระหว่างแต่ละพื้นที่ย่อยภายในพื้นที่ศึกษา
- การวิเคราะห์การเลือกรูปแบบการเดินทาง (Modal split analysis) เป็นการคำนวณเพื่อหาสัดส่วนของการเลือกใช้รูปแบบหรือทางเลือกในการเดินทาง (Mode) ระหว่างแต่ละพื้นที่ย่อยภายในพื้นที่ศึกษา
- การวิเคราะห์การแจกแจงการเดินทาง (Trip Assignment Analysis) เป็นการคำนวณเพื่อหาจำนวนการเดินทางของแต่ละรูปแบบการเดินทางที่สัญจรบนแต่ละเส้นทางที่เชื่อมต่อระหว่างจุดต้นทางปลายทาง (Origin-Destination หรือ OD) ภายในพื้นที่ศึกษา

อย่างไรก็ตาม ในแบบจำลองความต้องการเดินทางแบบ 4 ขั้นตอนข้างต้น นั้น ขั้นตอนของ Trip generation analysis และ Trip distribution analysis สามารถรวมเข้ากันได้ และเรียกแบบจำลองที่รวมกันนี้ว่า แบบจำลองความต้องการเดินทางแบบรวม (Combined travel demand model) ดังแสดงในรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 โครงสร้างของแบบจำลองความต้องการเดินทางแบบรวม

ที่มา: สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (2553)

รูปที่ 2-1 แสดงข้อมูลที่จำเป็นในขั้นตอนต่างๆ ของแบบจำลองความต้องการเดินทางแบบรวม และ ยังแสดงขั้นตอนของการปรับเทียบแบบจำลองในลักษณะของ Congestion feedback loop ซึ่งจะนำผล ปริมาณการจราจร (หรือจำนวนผู้เดินทาง) ที่ได้จากแบบจำลองในขั้นตอน Trip assignment analysis หรือเรียกปริมาณการจราจรดังกล่าวว่า Model flow ย้อนกลับไปคำนวณหาค่าปริมาณการเดินทางใน ตารางการเดินทาง (OD trip matrix) และเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณการจราจร (หรือจำนวนผู้เดินทาง) ที่ได้จากการสำรวจ (Observed flow) เพื่อให้ได้แบบจำลองความต้องการเดินทางที่สามารถวิเคราะห์ สภาพการเดินทางได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

2.1.1 การวิเคราะห์การเกิดและสิ้นสุดการเดินทาง

การวิเคราะห์การเกิดและสิ้นสุดการเดินทาง เป็นการวิเคราะห์หาจำนวนการเกิดและสิ้นสุด ของการเดินทางที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ย่อยซึ่งตั้งอยู่ภายในพื้นที่ศึกษา โดยทั่วไปปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวน ดังกล่าว ได้แก่ ตัวแปรด้านเศรษฐกิจและสังคม เช่น จำนวนประชากร รายได้ของประชากร จำนวน ยานพาหนะ เป็นต้น และลักษณะการใช้ที่ดิน เช่น รูปแบบการใช้พื้นที่ มูลค่าที่ดิน ความสามารถในการ เข้าถึงพื้นที่ เป็นต้น

การเกิดและสิ้นสุดการเดินทางสามารถจำแนกได้ตามวัตถุประสงค์ของการเดินทางซึ่งขึ้นอยู่กับ พฤติกรรมการเดินทางของผู้เดินทาง เช่น การเดินทางไปโรงเรียน การเดินทางไปทำงาน การเดินทางไป ซื้อสินค้า การเดินทางเพื่อพบญาติ/เพื่อน การเดินทางเพื่อกิจกรรมสันทนาการ เป็นต้น (วิโรจน์, 2544)

นอกจากนี้ การเกิดและสิ้นสุดการเดินทางยังสามารถจำแนกตามสถานที่เกิดและสิ้นสุดการ เดินทางได้เป็น 2 กลุ่ม (เกษม, 2555) ได้แก่

- 1) การเดินทางที่สัมพันธ์กับที่พักอาศัย (Home-Based trip, HB) คือ การเดินทางที่มี จุดเริ่มต้นหรือจุดสิ้นสุดเป็นที่พักอาศัย
- 2) การเดินทางที่ไม่สัมพันธ์กับที่พักอาศัย (Non-Home-Based trip, NHB) คือ การเดินทาง ที่ไม่มีจุดเริ่มต้นหรือจุดสิ้นสุดเป็นที่พักอาศัย

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองความต้องการเดินทางส่วนใหญ่ที่พัฒนาขึ้นในประเทศไทย เช่น แบบจำลอง Extended Bangkok Urban Model หรือ eBUM ที่พัฒนาขึ้นโดยสำนักงานนโยบายและ แผนการขนส่งและจราจร (สนข.) ได้พิจารณาประเภทของการเดินทางออกเป็น 4 ประเภท (เกษม, 2555) ได้แก่

- 1) การเดินทางที่สัมพันธ์กับที่พักอาศัยและที่ทำงาน (Home-Based-Work, HBW)
- 2) การเดินทางที่สัมพันธ์กับที่พักอาศัยและสถานศึกษา (Home-Based-Education, HBE)
- 3) การเดินทางที่สัมพันธ์กับที่พักอาศัยและที่อื่นๆ ที่ไม่ใช่ที่ทำงานและสถานศึกษา (Home-Based-Other, HBO)
- 4) การเดินทางที่ไม่สัมพันธ์กับที่พักอาศัย (Non-Home-Based, NHB)

วิโรจน์ (2544) และ เกษม (2555) ได้อธิบายวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์การเกิดและสิ้นสุดการเดินทางไว้ดังนี้

- 1) วิธีวิเคราะห์โดยใช้อัตราการเดินทาง (Trip rate analysis) ซึ่งอัตราดังกล่าวสามารถหาได้จากการคำนวณหาอัตราการเดินทางจากหน่วยของกิจกรรม (Activity units) เช่น ที่ทำงาน โรงเรียน ศูนย์การค้า โดยหน่วยของกิจกรรมต่างๆ อาจอยู่ในรูปของจำนวนพนักงาน หรือพื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร) เป็นต้น ข้อมูลอัตราการเดินทางของแต่ละหน่วยของกิจกรรมสามารถนำไปประยุกต์ใช้คาดการณ์จำนวนการเกิดและสิ้นสุดการเดินทางของพื้นที่ย่อยที่มีกิจกรรมในลักษณะเดียวกันได้
- 2) วิธีแยกประเภทแบบจำแนก (Cross classification) เป็นวิธีที่จำแนกการเดินทางให้เป็นฟังก์ชันของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะทางสังคมและเศรษฐกิจของผู้เดินทาง เช่น จำนวนผู้อาศัยในครัวเรือน รายได้ อัตราการครอบครองยานพาหนะ เป็นต้น โดยแต่ละตัวแปรจะถูกแบ่งค่าออกเป็นระดับต่างๆ ตามความเหมาะสม ซึ่งจะอาศัยความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรดังกล่าวในการคาดการณ์จำนวนการเดินทางในแต่ละพื้นที่ย่อย
- 3) วิธีแบบจำลองความถดถอย (Regression models) เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองความถดถอย ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้แบบจำลองความถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Linear multiple regression model) มาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (จำนวนการเกิดหรือการสิ้นสุดการเดินทาง) กับตัวแปรอิสระ (เช่น จำนวนประชากร จำนวนยานพาหนะ จำนวนการจ้างงาน) โดยต้องอาศัยข้อมูลสภาพปัจจุบันของผู้เดินทางในพื้นที่ศึกษามาวิเคราะห์หาแบบจำลองความถดถอย แล้วนำแบบจำลองที่ได้ไปคาดการณ์จำนวนการเดินทางต่อไป

การวิเคราะห์การเกิดและสิ้นสุดการเดินทางแต่ละวิธีข้างต้นมีข้อเด่นและข้อด้อยตลอดจนการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน กล่าวคือ วิธีวิเคราะห์โดยใช้อัตราการเดินทางมีความง่ายและนิยมใช้ในการคาดการณ์จำนวนการตั้งจุดการเดินทางของพื้นที่ย่อยที่ไม่ใช่ที่พักอาศัย เช่น ศูนย์การค้า ที่ทำงาน โรงเรียน โรงพยาบาล ฯลฯ แต่ข้อมูลอัตราการเดินทางของแต่ละหน่วยกิจกรรมยังไม่มีทุกจังหวัดของประเทศไทย

ส่วนวิธีแยกประเภทแบบจำแนกมีความละเอียดมากกว่าวิธีแรก และเน้นพิจารณาจำนวนการเดินทางที่เกิดขึ้นสำหรับการเดินทางที่เป็นที่พักอาศัยเป็นหลัก แต่จุดด้อยก็คือมีความยุ่งยากในการหาความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรและการได้มาซึ่งข้อมูลคุณลักษณะของครัวเรือนทุกประเภทภายในพื้นที่ศึกษา

สำหรับวิธีแบบจำลองความถดถอยเป็นวิธีที่รวดเร็ว แต่ยุ่งยากในการคัดเลือกตัวแปรอิสระซึ่งมักมีหลายตัว และบางครั้งการนำข้อมูลที่ได้จากการสุ่มสำรวจจากพื้นที่ย่อยส่วนหนึ่งแล้วนำมาปรับเทียบแบบจำลองเพื่อประยุกต์กับพื้นที่ย่อยที่เหลือในพื้นที่ศึกษาอาจไม่สามารถสะท้อนความสัมพันธ์ที่แท้จริงได้

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีวิเคราะห์โดยใช้อัตราการเดินทางในการคาดการณ์ปริมาณการเกิดและสิ้นสุดการเดินทางเนื่องจากเป็นวิธีที่ผู้วิจัยสามารถสำรวจข้อมูลเพื่อหาอัตราดังกล่าวได้ง่ายและสามารถประยุกต์ใช้งานได้สะดวก

2.1.2 การวิเคราะห์การกระจายการเดินทาง

การวิเคราะห์การกระจายการเดินทาง เป็นการคาดการณ์จำนวนการเดินทางที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นที่ย่อยทั้งหมดภายในพื้นที่ศึกษา โดยการกระจายการเดินทางดังกล่าวจะแปรผกผันกับระยะทาง (หรือค่าใช้จ่าย) ระหว่างคู่ของพื้นที่ย่อย (จุดต้นทางกับปลายทาง) ค่าของการกระจายการเดินทางสามารถนำเสนอได้ในรูปของตารางเมตริกซ์ที่ประกอบด้วยค่าคาดการณ์จำนวนการเดินทางที่เกิดขึ้นระหว่างจุดต้นทางกับปลายทาง หรือเรียกตารางดังกล่าวว่า OD trip matrix

ในการสร้าง OD trip matrix ให้ใกล้เคียงกับการกระจายตัวของการเดินทางจริงในพื้นที่ศึกษา หรือมีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการเดินทางใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยจริงในพื้นที่ศึกษานั้น วิโรจน์ (2544) และ เกษม (2555) ได้อธิบายวิธีที่นิยมใช้โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) วิธีแบบจำลองตัวประกอบความเติบโต (Growth factor model) เป็นวิธีคำนวณหาปริมาณการกระจายตัวของการเดินทางจากอัตราการเติบโตที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจการเดินทางระหว่างจุดต้นทางกับปลายทางของพื้นที่ศึกษาในปัจจุบันหรือปีฐานมาคาดการณ์จำนวนการเดินทางที่จะเกิดขึ้นในอนาคต การวิเคราะห์เริ่มจากการหาอัตราการขยายตัวโดยเฉลี่ยของการเดินทางซึ่งคำนวณได้จากสัดส่วนจำนวนการเดินทางในปีเป้าหมายกับจำนวนการเดินทางปัจจุบัน จากนั้นนำอัตราการขยายตัวที่ได้มาคูณกับจำนวนการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและปลายทางทุกคู่ในปีปัจจุบันจนได้จำนวนการเดินทางที่คาดว่าจะเกิดขึ้น
- 2) วิธีแบบจำลองแรงโน้มถ่วง (Gravity model) เป็นวิธีหา OD trip matrix โดยประยุกต์ใช้กฎแรงโน้มถ่วงของนิวตัน ซึ่งพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการเดินทางและระยะทางในการเดินทางที่มีการดึงดูดระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทางแต่ละคู่ วิธีการประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 เป็นการคำนวณหาจำนวนการเกิดการเดินทางและการสิ้นสุดการเดินทางของแต่ละพื้นที่ย่อย ขั้นตอนที่ 2 เป็นการคำนวณหาต้นทุนในการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย (จุดต้นทางและจุดปลายทาง) โดยใช้กระบวนการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest path algorithm) หรือเวลาในการเดินทางระหว่างแต่ละพื้นที่ย่อยที่น้อยที่สุด แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาตารางความไม่ดึงดูดการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยจาก Deterrence function ซึ่งแสดงความอ่อนไหวของต้นทุนการเดินทางต่อจำนวนการเดินทาง และขั้นตอนที่ 3 เป็นการนำจำนวนการเกิดและสิ้นสุดการเดินทางของแต่ละพื้นที่ย่อยที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 และตารางความดึงดูดการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยจากขั้นตอนที่ 2 มากระจายใน OD trip matrix โดยใช้ Furness

method ในการปรับค่าจากตารางกระจายการเดินทางให้สอดคล้องกับจำนวนการเกิด และการตั้งจุดการเดินทางของแต่ละพื้นที่ย่อย เพื่อให้ผลรวมของจำนวนการเดินทางไปยังทุกจุดปลายทาง มีค่าเท่ากับ ผลรวมของจำนวนการเดินทางไปยังทุกจุดปลายทาง

จากวิธีทั้งสองข้างต้น วิธีแบบจำลองตัวประกอบความเติบโตมีข้อด้อย คือ อาจไม่สามารถสะท้อนความดึงดูดระหว่างพื้นที่ย่อยอย่างชัดเจนเนื่องจากไม่ได้พิจารณาปัจจัยที่ตั้งจุดการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยดังที่พิจารณาในวิธีแรงโน้มถ่วง แต่พิจารณาการขยายตัวจากข้อมูลการเดินทางในปัจจุบัน ซึ่งหากข้อมูลบางส่วนของตารางการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยที่มีอยู่ (Prior OD trip matrix) มีค่าเป็นศูนย์ การใช้แบบจำลองตัวประกอบความเติบโตไม่สามารถคาดการณ์จำนวนการเดินทางที่จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากจะยังคงให้ค่าเท่ากับศูนย์ สำหรับวิธีแรงโน้มถ่วงถึงแม้อาจมีความยุ่งยากบ้างในขั้นตอนการหาตารางความดึงดูดระหว่างพื้นที่ แต่วิธีดังกล่าวก็พิจารณาปัจจัยความเหมาะสมของพื้นที่ซึ่งมีผลต่อจำนวนการกระจายตัวของการเดินทาง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีแรงโน้มถ่วงในการวิจัยนี้

2.1.3 การวิเคราะห์การเลือกรูปแบบการเดินทาง

การวิเคราะห์การเลือกรูปแบบการเดินทาง เป็นการศึกษาเพื่อหาสัดส่วนของรูปแบบหรือทางเลือกของการขนส่งประเภทต่างๆ เช่น รถยนต์ส่วนบุคคล หรือ รถโดยสารสาธารณะ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพฤติกรรมการเลือกรูปแบบการเดินทาง ซึ่งสามารถสอบถามการตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทางที่มีอยู่ในปัจจุบันโดยใช้แบบสอบถามแบบ Revealed Preference (RP) หรือสอบถามการตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทางที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยใช้แบบสอบถามแบบ Stated Preference (SP) หรืออาจผสมผสานเทคนิคในการออกแบบสอบถามทั้งสองประเภทเข้าด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจข้างต้นจะนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Mode choice model) ซึ่งมีเทคนิคในการพัฒนาแบบจำลองอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย คือ แบบจำลองแบบ Logit โดยหากแบบจำลองดังกล่าวมีรูปแบบการเดินทาง 2 ทางเลือก (เช่น รถยนต์ส่วนบุคคล รถโดยสารสาธารณะ) เรียกแบบจำลองประเภทนี้ว่า Binary Logit Model (BNL) แต่ถ้ารูปแบบการเดินทางมีมากกว่า 2 ทางเลือก (เช่น รถยนต์ส่วนบุคคล รถโดยสารสาธารณะ หรือ รถไฟฟ้า) เรียกแบบจำลองประเภทนี้ว่า Multinomial Logit Model (MNL)

การเลือกรูปแบบการเดินทางมีความสัมพันธ์กับความดึงดูดของแต่ละรูปแบบการเดินทาง โดยความดึงดูดของรูปแบบการเดินทางนั้นๆ สามารถวัดได้ในรูปของอรรถประโยชน์หรืออรรถประโยชน์ในรูปของต้นทุนการเดินทางรวม ซึ่งประกอบด้วยต้นทุน 2 ส่วน คือ ต้นทุนค่าใช้จ่าย เช่น ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษา ค่าโดยสาร เป็นต้น และ ต้นทุนด้านเวลา เช่น เวลาในการเดินทาง เวลารอยานพาหนะ เป็นต้น

จากผลการสำรวจยานพาหนะหลักที่ใช้ในการอพยพก่อนน้ำท่วมของงานวิจัยนี้ พบว่า ส่วนใหญ่ร้อยละ 78.45 นิยมเดินทางด้วยรถส่วนตัว (รถกระบะ 33.7%, รถจักรยานยนต์ 26.52%, และรถเก๋ง 18.23%) มีเพียงร้อยละ 11.05 เท่านั้นที่ใช้รถโดยสารสาธารณะ (ตุ๊กๆ สองแถว และรถตู้) และร้อยละ

10.50 ใช้การเดินทาง ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวหากมีผู้ใช้รถส่วนตัวในการอพยพเป็นจำนวนมากอาจส่งผลให้เกิดปัญหาการจราจรตามมา เช่น การจราจรติดขัด หรืออุบัติเหตุจราจร จนทำให้ไม่สามารถอพยพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงพิจารณาสร้างแบบจำลองการเดินทางสำหรับรถส่วนตัวเท่านั้น เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากผู้โดยสารส่วนตัวเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม การวิจัยในอนาคตควรพิจารณาโดยพิจารณาด้วย เพื่อให้แบบจำลองการเดินทางครอบคลุมการใช้นานพาหนะทุกรูปแบบ

2.1.4 การวิเคราะห์การแจกแจงการเดินทาง

การวิเคราะห์การแจกแจงการเดินทาง เป็นการพิจารณาทางเลือกของเส้นทางระหว่างคู่ของพื้นที่ย่อยในพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาจากข้อมูลด้านอุปสงค์ (Demand) และด้านอุปทาน (Supply) ของโครงข่ายการเดินทาง การกระจายตัวของปริมาณการเดินทางในแต่ละทิศทางระหว่างคู่ของพื้นที่ย่อยนั้นจะพิจารณาตามรูปแบบการเดินทางที่อยู่ในรูปของต้นทุนการเดินทาง เช่น เวลาในการเดินทาง ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง หรือความสะดวกสบาย เป็นต้น รวมทั้งพิจารณาข้อมูลถนนในแต่ละช่วงถนน (Link) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับฟังก์ชันต้นทุนการเดินทางที่อยู่ในรูปของ ระยะทาง ปริมาณการจราจร และความจุถนน (เกษม, 2555)

การแจกแจงการเดินทาง จะวิเคราะห์เส้นทางเลือกในการเดินทาง เพื่อหาเส้นทางที่มีต้นทุนในการเดินทางต่ำที่สุด ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยการหาจุดสมดุล (Equilibrium) ของต้นทุนในการเดินทางของแต่ละช่วงถนนในโครงข่ายถนน โดยต้นทุนในการเดินทางส่วนหนึ่งอยู่ในรูปของเวลาที่ใช้ในการเดินทาง วิโรจน์ (2544) ได้อธิบายวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์การแจกแจงการเดินทาง ดังนี้

- 1) วิธี All or nothing เป็นวิธีแจกแจงปริมาณการเดินทางบนโครงข่ายถนนโดยเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดซึ่งไม่พิจารณาสภาพการติดขัดของการจราจร หมายความว่าผู้เดินทางจะยังคงพิจารณาเส้นทางเดิมที่สั้นที่สุด หรือเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ไม่ว่าการจราจรจะติดขัดมากน้อยก็ตาม วิธีนี้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง คือ โครงข่ายถนนที่มีปริมาณการจราจรที่สูง จะส่งผลให้ระยะเวลาการเดินทางเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้เวลาในการเดินทางเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งผู้เดินทางจะตัดสินใจเปลี่ยนเส้นทางใหม่เมื่อเห็นว่าสภาพจราจรหนาแน่นขึ้น ดังนั้น วิธี All or nothing จึงเหมาะกับโครงข่ายถนนที่มีสภาพการจราจรไม่ติดขัด
- 2) วิธี Wardrop's equilibrium เป็นวิธีที่มีการพิจารณาสภาพการจราจรที่เป็นจริง โดยจะพยายามหาจุดสมดุลของปริมาณการจราจรบนโครงข่ายถนน และแนวความคิดที่ว่า ภายใต้สภาพการจราจรที่อยู่ในสภาวะสมดุลซึ่งอยู่บนโครงข่ายถนนที่มีความแออัด จะไม่มีผู้ใดที่สามารถลดต้นทุนในการเดินทางได้โดยการเปลี่ยนเส้นทาง ซึ่งวิธีนี้อาศัยหลักการที่ทำให้โครงข่ายถนนเกิดความสมดุลโดยให้ผู้เดินทางพยายามเลือกเส้นทางที่มีต้นทุนในการเดินทางต่ำที่สุด จนไม่มีผู้ใดสามารถลดต้นทุนการเดินทางได้อีกตามแนวความคิดข้างต้น

- 3) วิธี Probit Stochastic User Equilibrium (Probit SUE) เป็นวิธีที่พัฒนาต่อยอดมาจากวิธี Wardrop's equilibrium เพื่อลดข้อจำกัดในเรื่องการรับรู้ต้นทุนการเลือกเส้นทางของผู้เดินทาง เนื่องจากแต่ละคนไม่สามารถรับทราบข้อมูลการเดินทางที่สมบูรณ์เพื่อตัดสินใจเลือกเส้นทางได้ ทำให้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในการตัดสินใจเลือกเส้นทางวิธี Probit SUE จึงนำหลักการของความน่าจะเป็นมาประยุกต์ใช้โดยมีสมมติฐานว่า ผู้เดินทางสามารถรับรู้ข้อมูลเวลาของเส้นทางของการเดินทางของทุกเส้นทางที่เชื่อมโยงระหว่างจุดต้นทาง-ปลายทางนั้น โดยทุกเส้นทางมีโอกาสที่จะถูกเลือกอย่างเท่าเทียมกัน ซึ่งจะพิจารณาความไม่แน่นอนของการรับรู้ข้อมูลการเดินทางในรูปของความน่าจะเป็นโดยใช้แบบจำลอง Probit

โดยสรุปการวิเคราะห์การแจกแจงการเดินทาง เป็นวิธีที่ทำให้ทราบสภาพการจราจรบนโครงข่ายการจราจรและขนส่ง ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีความสัมพันธ์กับความจุถนน ปริมาณการเดินทาง และต้นทุนในการเดินทาง จากวิธีการที่ได้อธิบายข้างต้น ผู้วิจัยเลือกใช้วิธี Probit SUE ในขั้นตอนการวิเคราะห์การแจกแจงการเดินทาง เนื่องจากในปัจจุบันผู้เดินทางในพื้นที่ศึกษายังคงมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้นในการรับรู้ข่าวสารหรือข้อมูลการเดินทางในโครงข่ายถนนของพื้นที่ศึกษา ไม่ว่าจะเป็นช่วงเวลาปกติซึ่งอาจมีอุบัติเหตุที่ทำให้การจราจรติดขัดหรือเกิดความล่าช้าในการเดินทาง หรือแม้แต่ในช่วงสถานการณ์วิกฤติที่ต้องมีการอพยพภัยน้ำท่วม การรับรู้ข้อมูลการเดินทางในขณะที่มีการวิจัยนี้ยังไม่ชัดเจนเท่าควร รวมทั้งประสบการณ์ในการอพยพหรือตัดสินใจอพยพของแต่ละคนก็ยังคงมีความแตกต่างกัน

2.2 การศึกษาพฤติกรรมการเดินทางและอพยพระหว่างเกิดภัยธรรมชาติ

การทำความเข้าใจพฤติกรรมและความต้องการในการเดินทางของประชาชน รวมทั้งระบบการคมนาคมและขนส่งในพื้นที่ เป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่งที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรนำมาพิจารณาในการวางแผนสำหรับการอพยพภัยพิบัติ (Clarke and Habib, 2010) อย่างไรก็ตาม กระบวนการวางแผนการขนส่งในพื้นที่ศึกษาปัจจุบันยังไม่ได้พิจารณาประเด็นดังกล่าวเท่าที่ควร ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้สร้างแบบจำลองการอพยพภัยน้ำท่วมของประชาชนในพื้นที่ศึกษาเทศบาลนครหาดใหญ่ เพื่อเป็นข้อมูลให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสำหรับวางแผนการอพยพภัยน้ำท่วมต่อไป โดยมีการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการอพยพภัยพิบัติดังนี้

Murray-Tuite and Wolshon (2013) ได้ทบทวนและสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองการอพยพ ทั้งแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้อพยพ การกระจายตัวของผู้อพยพด้วยการเดินทางรูปแบบต่างๆ และการแจกแจงการเดินทางของผู้อพยพบนโครงข่ายขนส่งเพื่อเดินทางไปสู่ที่หมาย รวมทั้งงานวิจัยด้านการประเมินนโยบายในการจัดการอพยพ ซึ่งทำให้เห็นภาพรวมของงานวิจัยที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนเตรียมพร้อมและรองรับการอพยพภัยพิบัติได้อย่างชัดเจน

Hasan *et al.* (2011) ได้พัฒนาแบบจำลองที่เรียกว่า Random-parameter hazard-based model ซึ่งพัฒนาเพิ่มเติมจากแบบจำลอง Hazard-based model ของ Bhat (1996) เพื่อใช้อธิบายเวลาในการตัดสินใจอพยพภัยจากพายุเฮอริเคน โดยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นได้พิจารณาปัจจัยการรับรู้ความเสี่ยง (Risk perception) ในแบบจำลองด้วย ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลองเวลาการอพยพ (Evacuation timing models) ที่พัฒนาก่อนหน้านี้ (Sorensen, 1991; Fu *et al.*, 2006) ที่พิจารณาเพียงปัจจัยด้านประชากร สังคม และสิ่งแวดล้อม เท่านั้น อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการตอบสนองของประชาชนในการอพยพหนีภัยน้ำท่วมของ de Jong and Helsloot (2010) พบว่า นอกจากปัจจัยด้านสังคมและเศรษฐกิจแล้ว การสื่อสารและข้อมูลข่าวสาร ยังเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างยิ่งต่อการตอบสนองการอพยพของประชาชน

สำหรับประเทศไทย Charnkol and Tanaboriboon (2006) และ Charnkol *et al.* (2007) ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการเตรียมการและอพยพภัยสึนามิจากข้อมูลของตัวอย่างประชากรทั้งผู้อาศัยถาวรและชั่วคราวในเขตจังหวัดภูเก็ตและพังงา โดยใช้การวิเคราะห์ Binary logistic regression ในการพัฒนาแบบจำลองดังกล่าว

จากการทบทวนงานวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่า มีงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ศึกษาพฤติกรรมการเดินทางและสร้างแบบจำลองการอพยพทั้งที่เป็นรูปแบบอย่างง่ายและที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม ยิ่งแบบจำลองมีความซับซ้อนมากขึ้นเพียงใด จะยิ่งทำให้การทดสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลองมีความยุ่งยากมากขึ้นเช่นกัน (Murray-Tuite and Wolshon, 2013) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการอย่างง่ายโดยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ Logistic regression โดยไม่มีการพิจารณามิติของเวลาในแบบจำลอง เนื่องจากแบบจำลองที่ได้จะนำไปใช้คาดการณ์จำนวนผู้ต้องการอพยพและเตรียมการอพยพล่วงหน้าในระยะยาวมากกว่าการนำไปใช้แบบ real time ซึ่งจะมีมิติเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

2.3 โปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนน

ในการสร้างแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนน มีข้อมูลที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์จำนวนมาก ได้แก่ ข้อมูลโครงข่ายถนน เช่น จำนวนช่องจราจร ปริมาณการจราจร ความเร็ว เป็นต้น ข้อมูลพฤติกรรมการเดินทาง เช่น อัตราการเดินทาง รูปแบบการเดินทาง เป็นต้น ประกอบกับการวิเคราะห์ในแบบจำลองนั้นค่อนข้างมีความยุ่งยากและต้องใช้เวลาในการประมวลผล ดังนั้น จำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาเพื่อช่วยลดความยุ่งยากและเวลาในการวิเคราะห์ จากการศึกษางานวิจัยด้านการจราจรและขนส่งที่ผ่านมา มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้หลายโปรแกรมด้วยกัน ได้แก่ EMME, Tranplan, Trips เป็นต้น โดยแต่ละโปรแกรมมีคุณสมบัติทั้งข้อเด่นและข้อด้อยที่แตกต่างกันไป ดังสรุปได้ในตารางที่ 2-1

จากตารางที่ 2-1 พบว่า โปรแกรม EMME เป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการวิเคราะห์แบบจำลองได้หลายรูปแบบ ทั้งแบบจำลองความแออัดของโครงข่ายถนน การวิเคราะห์โครงข่ายขนส่งสาธารณะ มีการแสดงผลกราฟิกที่ดี และมีความยืดหยุ่นสูงสามารถพยากรณ์จำนวนการเดินทางได้

นอกจากนี้ปัจจัยด้านราคาของโปรแกรม EMME ที่ไม่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมอื่นๆ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้โปรแกรม EMME ในการสร้างแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาของการวิจัยนี้

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบโปรแกรมสำหรับสร้างแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนน

ประเด็นต่างๆ	EMME	Tranplan	Trips
แบบจำลองการวิเคราะห์โครงข่ายขนส่งสาธารณะ	การวิเคราะห์โครงข่ายและตารางการเดินทาง ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่าย	สามารถวิเคราะห์ได้รวมทั้งสามารถใช้แบบจำลอง Logit ได้	สามารถวิเคราะห์ได้และสามารถจำลองโครงสร้างค่าโดยสารในแบบจำลอง
แบบจำลองความแออัด	สามารถวิเคราะห์ได้	ไม่มีเครื่องมือโดยตรงในการวิเคราะห์	มีการพัฒนาจากขบวนการวิเคราะห์บริเวณทางแยก
แบบจำลองการประมาณตารางการเดินทาง	สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งยานพาหนะส่วนบุคคลและระบบขนส่งสาธารณะ	สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งยานพาหนะส่วนบุคคลและระบบขนส่งสาธารณะ	สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งยานพาหนะส่วนบุคคลและระบบขนส่งสาธารณะ
ขอบเขตของการวิเคราะห์	สามารถวิเคราะห์แบบจำลองได้ทุกประเภท ยกเว้นแบบจำลองระดับทางแยก	สามารถวิเคราะห์แบบจำลองได้ทุกประเภท ยกเว้นแบบจำลองระดับทางแยก	สามารถวิเคราะห์แบบจำลองได้ทุกประเภท
การแสดงผลกราฟิก	ดีมาก	ดี	ดีมาก
การเชื่อมโยงกับ GIS	เชื่อมโยงจาก ASCII ไฟล์	เชื่อมโยงจาก Database	เชื่อมโยงจาก ASCII ไฟล์

ที่มา: MVA Asia *et al.* (1998)

2.4 การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนน

โดยทั่วไปการวิเคราะห์ความเปราะบางเป็นกระบวนการที่ประกอบด้วย การระบุตำแหน่ง คำนวณประสิทธิภาพของระบบ และจัดลำดับความเปราะบางขององค์ประกอบในระบบที่ศึกษา ซึ่งอาจมีความเปราะบางจากปัจจัยภายในหรือภายนอก (U.S. Department of Energy, 2002) โดยผลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) ของระบบ เพื่อตอบคำถามในประเด็นต่างๆ เช่น จุดเปราะบางที่พบจะทำให้ระบบล้มเหลวหรือไม่ หรือหากระบบล้มเหลวจะมีความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินอย่างไรและสามารถยอมรับได้หรือไม่ เป็นต้น (Baker, 2005)

การวิเคราะห์ความเปราะบางได้ถูกนำมาใช้ในงานต่างๆ เช่น โครงสร้างพื้นฐานของโรงงานไฟฟ้า (U.S. Department of Energy, 2002) ระบบประปา (KDHE, 2003) ระบบการติดต่อสื่อสาร (Danfeng and Fangchun, 2009) รวมทั้งโครงข่ายการจราจรและขนส่ง (Berdica, 2002; Berdica and Mattsson, 2007; D'Este and Taylor, 2003; Jenelius, 2010; Taylor, 2008; Taylor and D'Este, 2007; Taylor *et al.*, 2006)

Berdica (2002) ได้ให้นิยามของ Road network vulnerability ไว้ว่าเป็นความเปราะบางของโครงข่ายถนนจากอุบัติเหตุ (Incidents) ที่ส่งผลให้ระดับการให้บริการบนโครงข่ายถนนลดลง ต่อมา Taylor (2008) ได้อธิบายการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนไว้ว่าเป็นการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการหาผลกระทบจากการล้มเหลว (Failure) หรือการเสื่อมสภาพ (Degradation) ขององค์ประกอบภายในโครงข่ายถนน เช่น ช่วงถนน หรือ ทางแยก ที่มีต่อประสิทธิภาพของโครงข่าย (Network performance)

สาเหตุที่ทำให้องค์ประกอบภายในโครงข่ายถนนล้มเหลวหรือเสื่อมสภาพนั้นมีหลายประการ ในช่วงเวลาปกติช่วงถนนอาจมีความจุลดลงหรืออาจถูกตัดขาดจากความแออัดของสภาพการจราจร อุบัติเหตุจราจร หรือการซ่อมบำรุงทาง เป็นต้น ส่วนในช่วงสถานการณ์ไม่ปกติอาจมีสาเหตุมาจากภัยพิบัติทางธรรมชาติหรือที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น น้ำท่วม แผ่นดินไหว การประท้วง การจลาจล เป็นต้น

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า งานวิจัยในต่างประเทศหลายฉบับได้มีการให้คำนิยามและดัชนีชี้วัดความเปราะบางของโครงข่ายถนน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-2

จากตารางที่ 2-2 พบว่า ดัชนีชี้วัดความเปราะบางของโครงข่ายถนนมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเน้นการประยุกต์ใช้ดัชนีชี้วัดความเปราะบางของโครงข่ายถนนที่มีอยู่ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติหากเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมจากดัชนีที่นำเสนอในตารางที่ 2-2 ผู้วิจัยได้เลือกดัชนีเชิงศักยภาพการเข้าถึงพื้นที่ (Potential accessibility) ซึ่งเป็นการพิจารณาจากช่องทาง (ช่วงถนน) ในการเข้าถึงพื้นที่ (เช่น ศูนย์อพยพ) ทั้งหมดโดยทำการถ่วงน้ำหนักด้วยฟังก์ชันค่าใช้จ่าย มาประยุกต์ใช้ในการวิจัยนี้ รายละเอียดของวิธีดำเนินการวิจัยกล่าวในบทต่อไป

ตารางที่ 2-2 ดัชนีชี้วัดความเปราะบางของโครงข่ายถนน

ดัชนี	คำอธิบาย	สมการทั่วไป
เชิงกายภาพ (Topology)	พิจารณาจากระยะทางของจุดที่สนใจ ในโครงข่าย	$A_{ij} = \min_a \sum_a \delta_{aij} c_a$ โดย c_a คือ ระยะเวลาเดินทาง หรือ ค่าใช้จ่ายบนช่วงถนน a , $\delta_{aij} = 1$ ถ้า a อยู่บนเส้นทางที่สั้นที่สุดจาก i ไป j , นอกจากนั้น $\delta_{aij} = 0$
เชิงระยะทาง-เวลา (Space-time)	พิจารณาพฤติกรรมการเดินทางจาก ข้อจำกัดของเวลากับระยะทาง	$A'_{ij} = A_{ij}$ ถ้า $T \geq t_{ij} + t_j$ มิฉะนั้น $A'_{ij} = 0$ โดย d_{ij} คือระยะทาง จาก i ไป j , v_{ij} คือ ความเร็วเฉลี่ยของ การเดินทาง, $t_{ij} = d_{ij}/v_{ij}$ คือ เวลาของ การเดินทาง, T คือ เวลาทั้งหมดที่มี, t_j คือ เวลาที่ต้องการที่ปลายทาง
เชิงศักยภาพการเข้าถึงพื้นที่ (Potential accessibility)	พิจารณาจากช่องทางในการเข้าถึง ทั้งหมดโดยถ่วงน้ำหนักด้วยฟังก์ชัน ค่าใช้จ่าย	$A_{ij} = O_j f(C_{ij})$ โดย O_j คือ จำนวนช่องทางในการ เข้าถึงจุด j , C_{ij} คือ เวลาหรือค่าใช้จ่าย ในการเดินทางระหว่าง i และ j
เชิงอรรถประโยชน์ของ พฤติกรรม (Behavioral utility)	พิจารณาจากประโยชน์ที่แต่ละคน ได้รับจากทางเลือกต่างๆ	$I_n = \ln \sum_{r \in R_n} e^{V_m}$ โดย I_n คือ ค่าของสมการ อรรถประโยชน์, V_m ค่าตัวแปร deterministic ของทางเลือก r ในเซต ของทางเลือก R_n
เชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic)	พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของ อุปสงค์ส่วนเกินซึ่งเกิดจากการ เปลี่ยนแปลงของระบบ	$(\Delta E(CS)) = \frac{1}{\alpha} \left[\ln \left(\sum_{j=1}^J e^{E_j} \right) - \ln \left(\sum_{j=1}^J e^{E_j^0} \right) \right]$ โดย $\Delta E(CS)$ คือ ค่าความคาดหวังการ เปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ส่วนเกิน ระหว่าง 2 กรณี (1 และ 0), logsums แต่ละพจน์ เป็นค่ารวมของ อรรถประโยชน์แต่ละคนภายใต้แต่ละ กรณี, α คือ ค่าติดลบของสัมประสิทธิ์ ของเวลาการเดินทางหรือค่าใช้จ่ายใน สมการอรรถประโยชน์

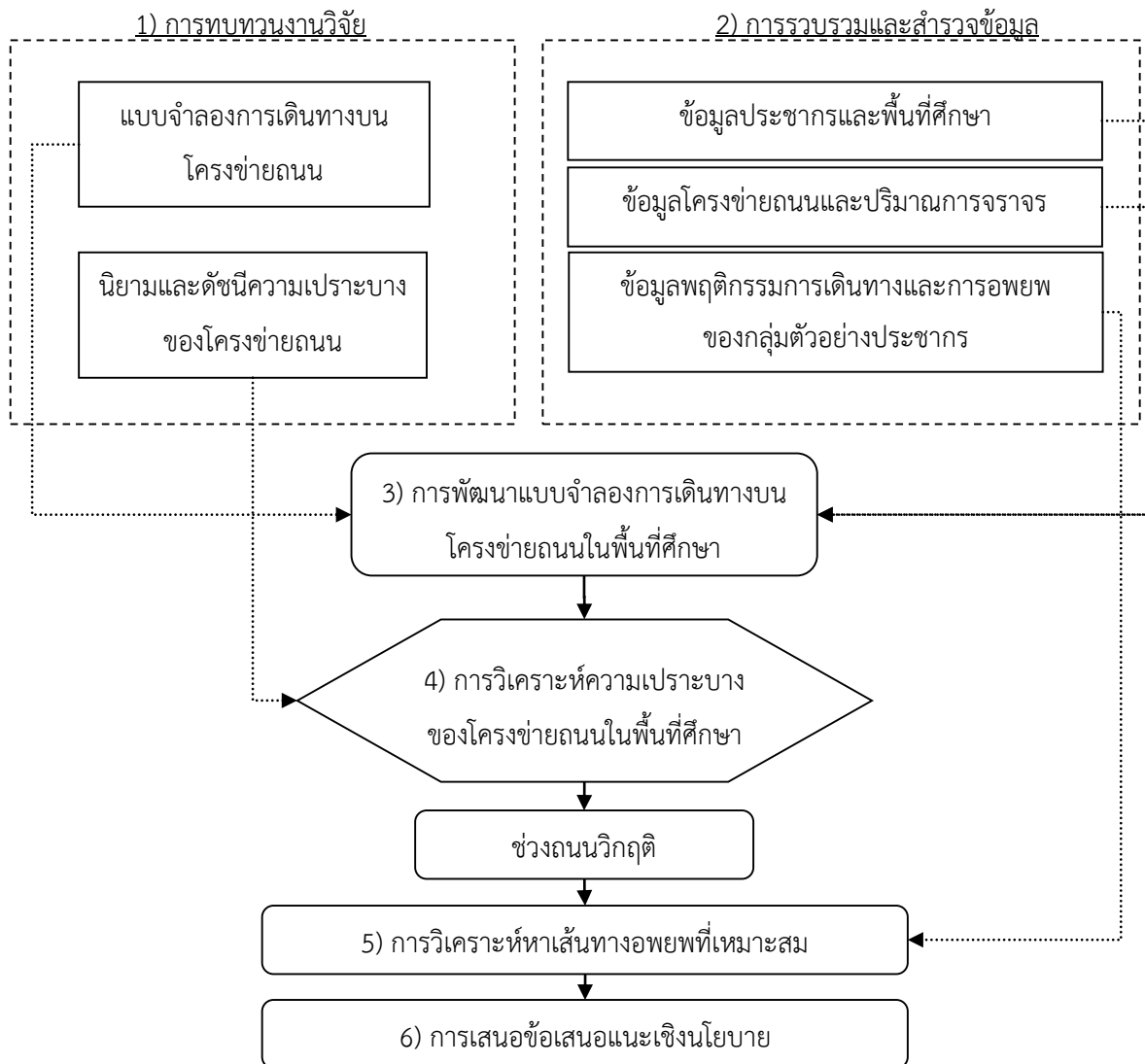
ที่มา: ดัดแปลงจาก Taylor (2008)

3 วิธีดำเนินการวิจัย

- ❖ ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
- ❖ การรวบรวมและสำรวจข้อมูล
- ❖ การพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา
 - ❖ การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา
 - ❖ การวิเคราะห์หาเส้นทางอพยพที่เหมาะสม
 - ❖ การเสนอข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบของการดำเนินการวิจัยออกเป็น 6 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 ขั้นตอนของการดำเนินการวิจัย

จากรูปที่ 3-1 ขั้นตอนที่ 1 เป็นการทบทวนงานวิจัยและการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนน และ นิยามและดัชนีความเปราะบางของโครงข่ายถนน ซึ่งรายละเอียดในส่วนนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอไว้แล้วในบทที่ 2 ส่วนรายละเอียดของขั้นตอนอื่นๆ มีดังนี้

3.2 การรวบรวมและสำรวจข้อมูล

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลที่มีอยู่และสำรวจข้อมูลใหม่เพิ่มเติมในประเด็นต่างๆ ดังนี้

3.2.1 ข้อมูลประชากรและพื้นที่ศึกษา

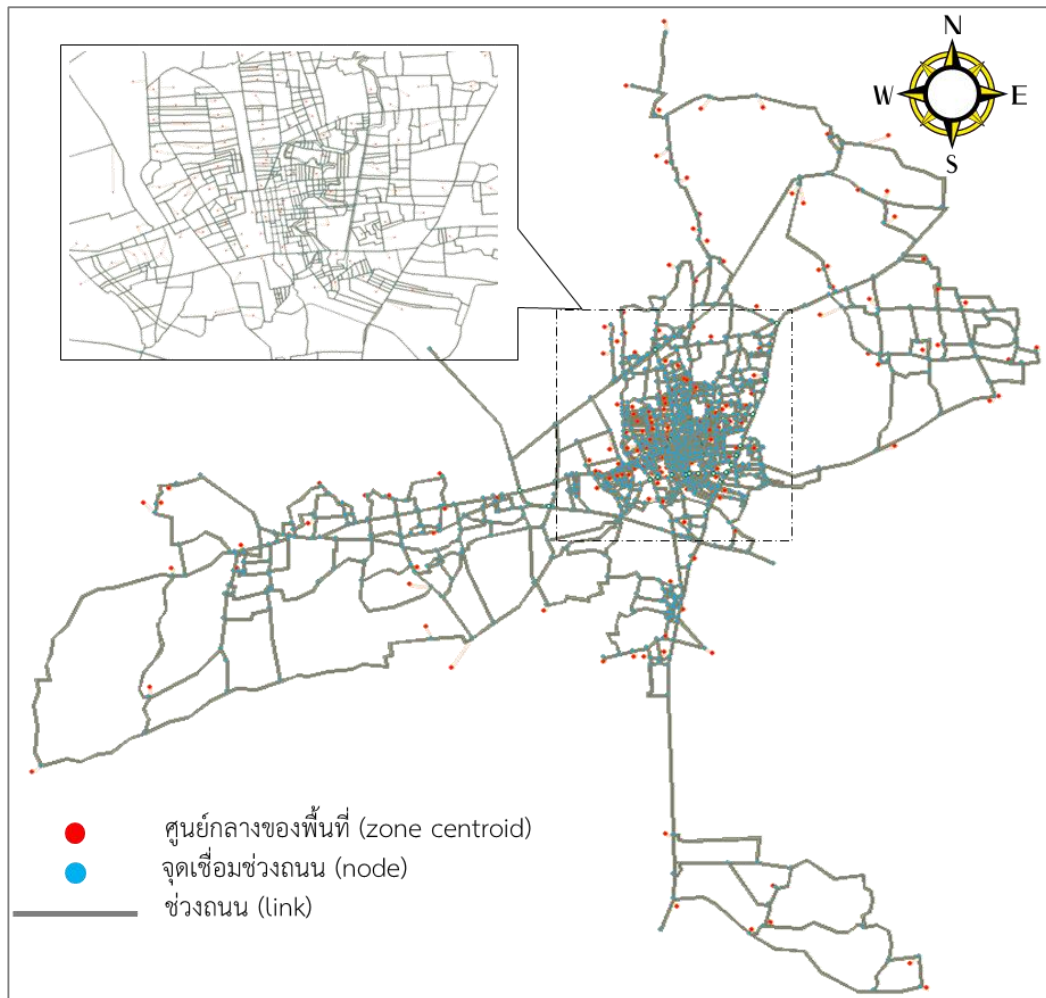
ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลประชากรและพื้นที่ศึกษาจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีพื้นที่ประมาณ 852.79 ตารางกิโลเมตร แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 13 ตำบล 93 หมู่บ้าน (ดังรูปที่ 1-7) มีประชากรในทะเบียนราษฎร ณ ปี พ.ศ. 2555 ประมาณ 378,000 คน (สำนักงานอำเภอหาดใหญ่, 2555)

ผู้วิจัยได้แบ่งพื้นที่ศึกษาทั้งหมดออกเป็น 211 พื้นที่ย่อย (Zones) ซึ่งประกอบด้วย 194 พื้นที่ย่อยที่เป็นชุมชนหรือหมู่บ้าน และ 17 พื้นที่ย่อยที่เป็นพื้นที่กิจกรรมหลัก เช่น ห้างสรรพสินค้า สถานศึกษา สถานีขนส่ง เป็นต้น โดยในแต่ละพื้นที่ย่อยผู้วิจัยประมาณการจำนวนการเกิดการเดินทางที่ออกจากพื้นที่ย่อย (Production trips) และจำนวนการดึงดูดการเดินทางมายังพื้นที่ย่อย (Attraction trips) จากข้อมูลประชากรและลักษณะการใช้พื้นที่ของพื้นที่ย่อยนั้นๆ โดยใช้อัตราการเดินทางที่ได้จากการสำรวจข้อมูลของ ผู้วิจัย สำหรับข้อมูลชุมชน ประชากร และผลการคาดการณ์จำนวนการเดินทางในพื้นที่ศึกษาแสดงในภาคผนวก ก1

3.2.2 ข้อมูลโครงข่ายถนนและการจราจร

ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลโครงข่ายถนนจากข้อมูล GIS ของกระทรวงคมนาคม (2550) ซึ่งเป็นโครงข่ายถนนทั้งประเทศ มีมาตราส่วนและพิกัดที่ถูกต้อง พร้อมทั้งมีข้อมูลประเภทของถนน ความกว้าง และจำนวนช่องจราจร และความยาวของแต่ละช่วงถนน ข้อมูลโครงข่ายดังกล่าวถูกนำไปตัดเพื่อเลือกเฉพาะถนนสายหลักและสายรองที่สำคัญในพื้นที่ศึกษาโดยใช้โปรแกรม ArcMap อย่างไรก็ตาม การไม่พิจารณาโครงข่ายถนนซอยที่มีปริมาณการจราจรต่ำจะไม่ส่งผลต่อความถูกต้องของแบบจำลองการเดินทางที่จะพัฒนาขึ้นมากนัก เนื่องจากปริมาณการจราจรบนโครงข่ายถนนซอยถูกนำมารวมไว้บนถนนสายหลักและสายรองที่พิจารณาแล้ว

จากนั้นผู้วิจัยจึงนำโครงข่ายถนนที่ตัดเรียบร้อยแล้วมาใส่ในโปรแกรม EMME (ดังรูปที่ 3-2) เพื่อสร้างแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนนในปัจจุบัน จากรูปที่ 3-2 ซึ่งแสดงข้อมูลโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วย 1,482 จุดเชื่อมต่อโครงข่ายถนน (Nodes), 211 พื้นที่ย่อย (Zone centroid), และ 4,659 ช่วงถนน (Links)



รูปที่ 3-2 โครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลส่วนหนึ่งที่สำคัญสำหรับการพัฒนาแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา คือ ปริมาณการจราจรบนถนน ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลปริมาณการจราจรออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นข้อมูลปริมาณการจราจรบนถนนสายหลักที่อยู่นอกเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ซึ่งผู้วิจัยได้รวบรวมจากข้อมูลปริมาณการจราจรบนทางหลวงเฉลี่ยรายวัน (Average Annual Daily Traffic หรือ AADT) จากรายงานปริมาณการจราจรบนทางหลวง (กรมทางหลวง, 2555) และ ส่วนที่สองเป็นข้อมูลปริมาณการจราจรบนสายหลักบริเวณเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ซึ่งผู้วิจัยได้สำรวจข้อมูลดังกล่าวไปเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2555 ใน 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเช้าระหว่าง 7:15-9:15 น. และ ช่วงเย็นระหว่าง 15:15-18:15 น. โดยแบ่งการสำรวจออกเป็น การสำรวจปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก (Intersection Turning Movement Count หรือ TM) จำนวน 15 ทางแยก และการสำรวจปริมาณการจราจรบนช่วงถนน (Mid-Block Classified Traffic Count หรือ MB) จำนวน 6 ช่วงถนน (จุดสำรวจดังแสดงในรูปที่ 3-3) โดยจำแนกประเภทของยานพาหนะออกเป็น 11 ประเภท ดังนี้

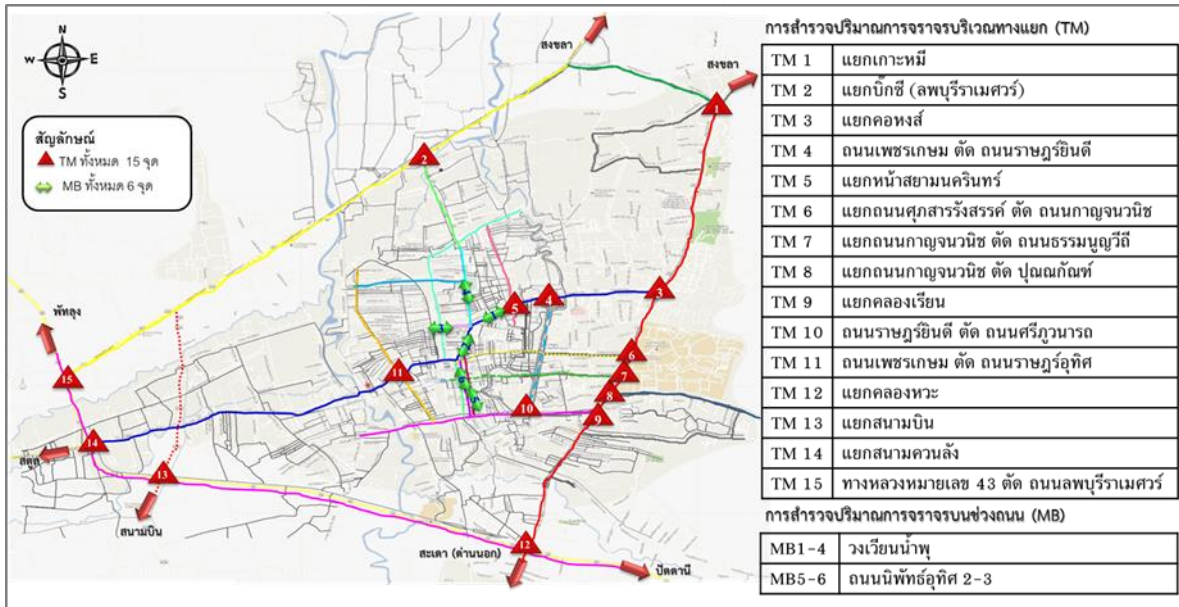
- | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| 1) รถจักรยานยนต์ | 2) รถยนต์นั่ง 4 ล้อ ไม่เกิน 7 คน |
| 3) รถยนต์นั่ง 4 ล้อ เกิน 7 คน | 4) รถโดยสารขนาดเล็ก/รถสองแถว (4 ล้อ) |
| 5) รถโดยสารขนาดกลาง (6 ล้อ) | 6) รถโดยสารขนาดใหญ่ (รถบัส) |
| 7) รถบรรทุกขนาด 4 ล้อ (รถกระบะ) | 8) รถบรรทุกขนาด 6 ล้อ |
| 9) รถบรรทุกขนาด 10 ล้อ | 10) รถบรรทุกพ่วง |
| 11) รถกึ่งพ่วงและรถเทรลเลอร์ | |

เนื่องจากยานพาหนะแต่ละประเภทข้างต้นมีขนาดและลักษณะการครอบครองผิวจราจรที่แตกต่างกัน ประเภทของยานพาหนะจึงส่งผลต่อการติดขัดของสภาพการจราจรที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นในการพิจารณาภาพรวมของปริมาณการจราจรบนโครงข่ายถนนซึ่งคำนึงถึงยานพาหนะทุกประเภท จำเป็นต้องมีการแปลงยานพาหนะแต่ละประเภทให้อยู่ในหน่วยเดียวกันก่อน คือ หน่วยเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Unit หรือ PCU) แล้วจึงรวมปริมาณการจราจรหน่วย PCU จากยานพาหนะทุกประเภทเข้าด้วยกัน ทั้งนี้เพื่อใช้บ่งบอกและเปรียบเทียบสภาพการจราจรของแต่ละช่วงถนนได้

ผู้วิจัยได้คำนวณปริมาณการจราจร โดยหน่วยเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (PCU) ของยานพาหนะแต่ละประเภท เป็นดังนี้ (ที่มา: กรมทางหลวง, 2555)

- | | |
|--------------------------------------|------------|
| 1) รถจักรยานยนต์ | = 0.25 PCU |
| 2) รถยนต์นั่ง 4 ล้อ ไม่เกิน 7 คน | = 1.00 PCU |
| 3) รถยนต์นั่ง 4 ล้อ เกิน 7 คน | = 1.00 PCU |
| 4) รถโดยสารขนาดเล็ก/รถสองแถว (4 ล้อ) | = 1.00 PCU |
| 5) รถโดยสารขนาดกลาง (6 ล้อ) | = 1.75 PCU |
| 6) รถโดยสารขนาดใหญ่ (รถบัส) | = 2.00 PCU |
| 7) รถบรรทุกขนาด 4 ล้อ (รถกระบะ) | = 1.00 PCU |
| 8) รถบรรทุกขนาด 6 ล้อ | = 2.00 PCU |
| 9) รถบรรทุกขนาด 10 ล้อ | = 2.50 PCU |
| 10) รถบรรทุกพ่วง | = 2.50 PCU |
| 11) รถกึ่งพ่วงและรถเทรลเลอร์ | = 2.50 PCU |

จากผลการสำรวจข้อมูลปริมาณการจราจร ผู้วิจัยได้คำนวณปริมาณการจราจรในหน่วย PCU ของทุกจุดสำรวจและหาปริมาณการจราจรช่วงชั่วโมงเร่งด่วน (หน่วยเป็น PCU/ชั่วโมง) ดังแสดงในรูปที่ 3-4 ถึง รูปที่ 3-20 โดยข้อมูลนอกวงเล็บเป็นปริมาณการจราจรช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า ส่วนข้อมูลในวงเล็บเป็นปริมาณการจราจรช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น สำหรับข้อมูลดิบที่ได้จากการสำรวจปริมาณการจราจรของแต่ละจุดสำรวจผู้วิจัยได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก2



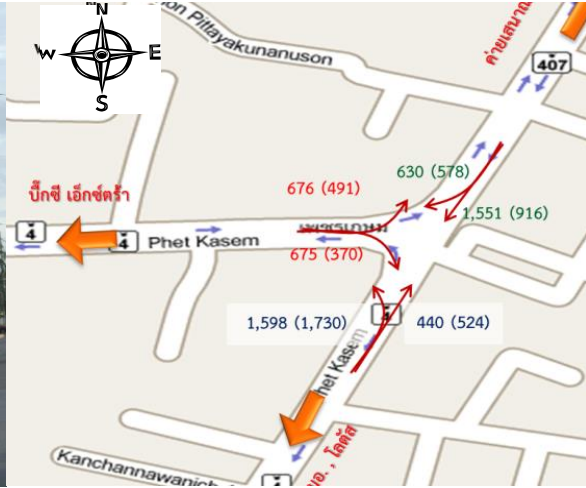
รูปที่ 3-3 จุดสำรวจปริมาณการจราจร



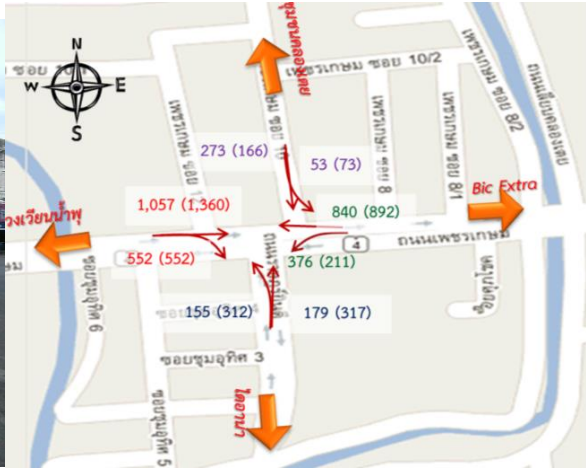
รูปที่ 3-4 TM 1 แยกเกาะหมี่



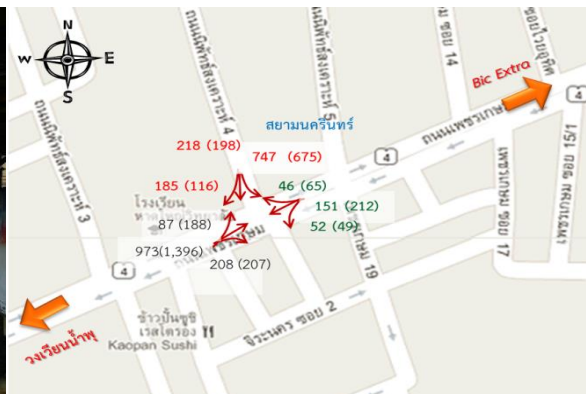
รูปที่ 3-5 TM 2 แยกบักซี



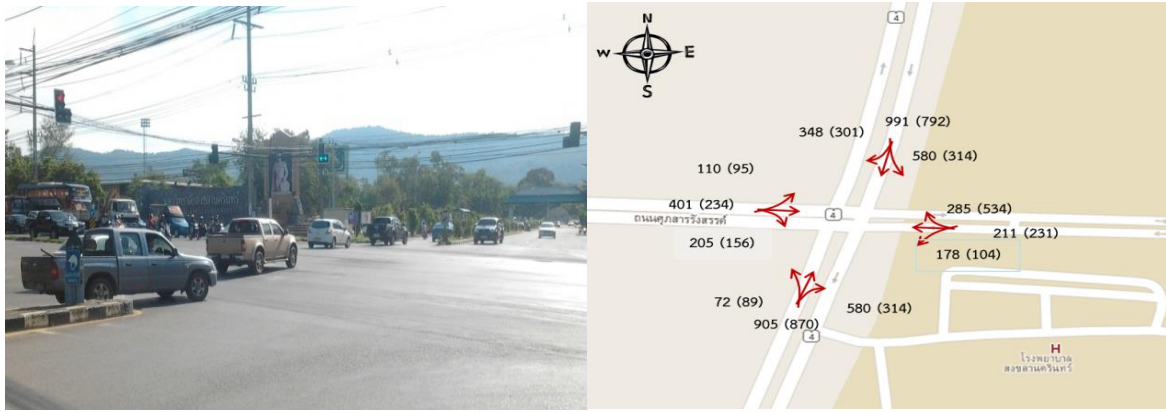
รูปที่ 3-6 TM 3 แยกคอหงส์



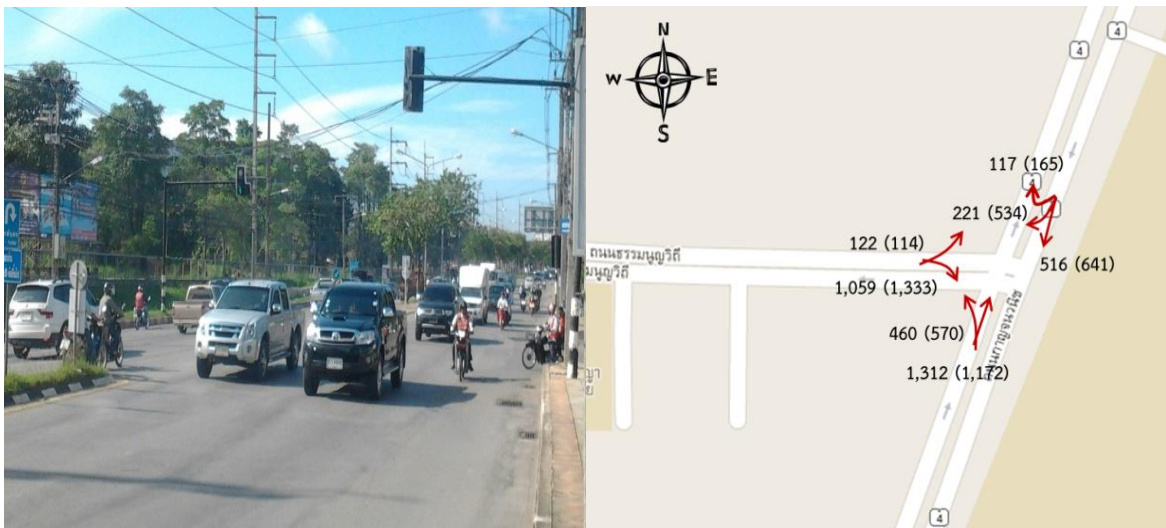
รูปที่ 3-7 TM 4 แยกถนนเพชรเกษมตัดถนนราชฎร์ยีนดี



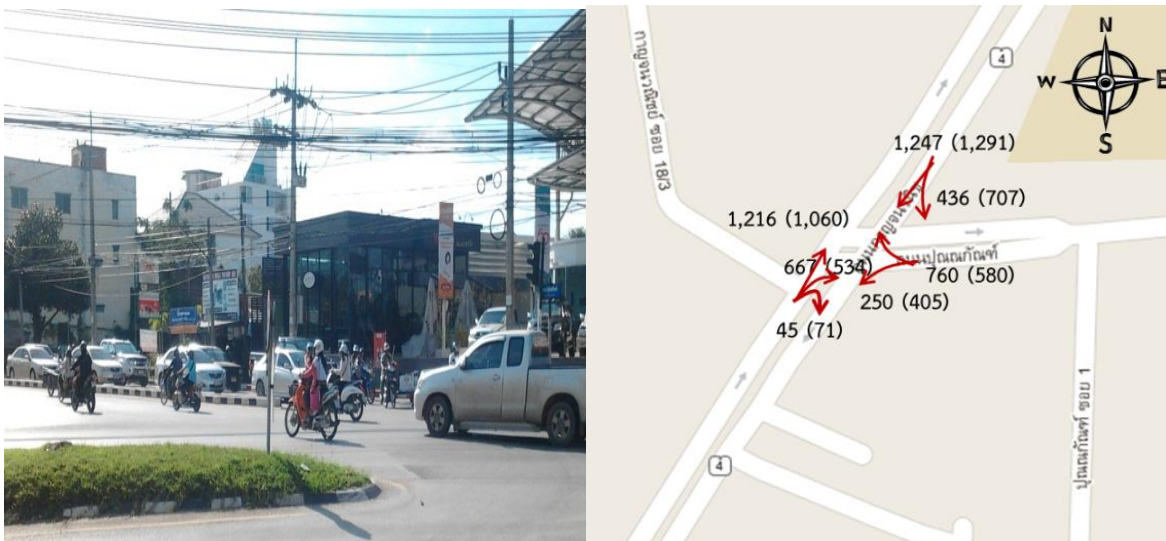
รูปที่ 3-8 TM 5 แยกหน้าสยามนครินทร์



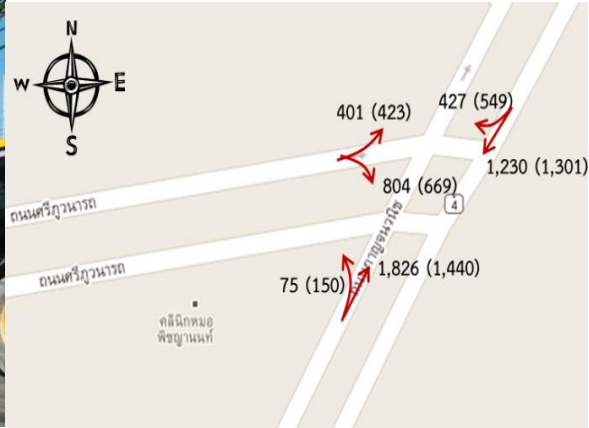
รูปที่ 3-9 TM 6 แยกหน้ามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



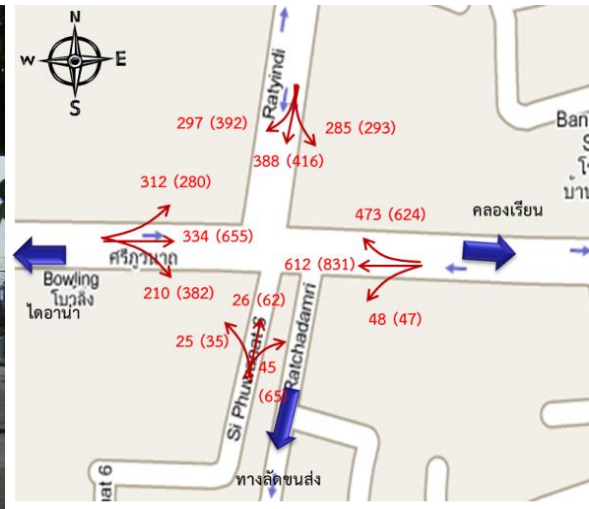
รูปที่ 3-10 TM 7 แยกวัดโคกนาว



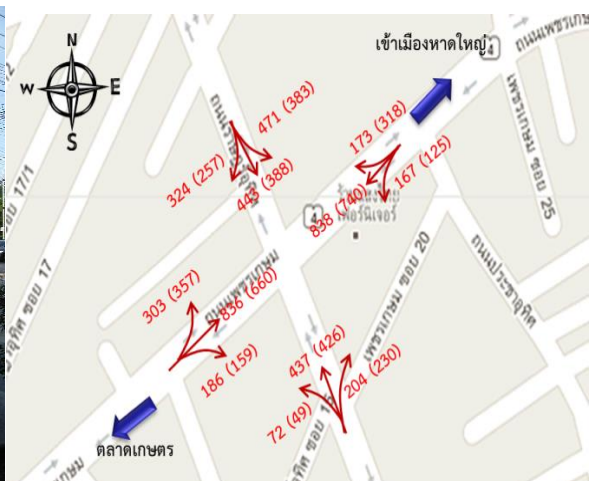
รูปที่ 3-11 TM 8 แยกถนนกาญจนวนิชตัดถนนปูลณกัณฑ์



รูปที่ 3-12 TM 9 แยกคลองเรียน



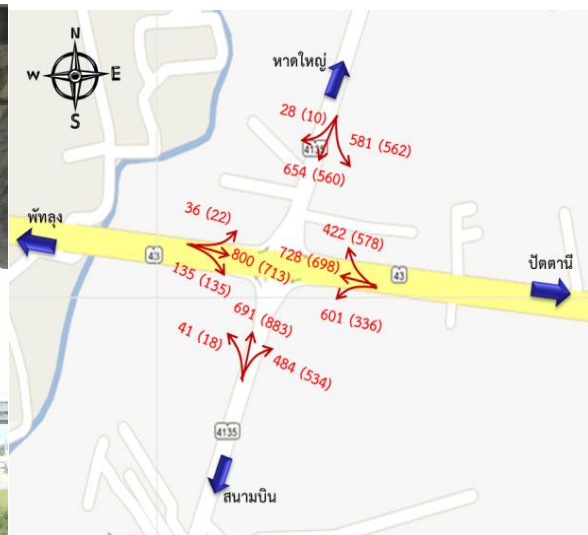
รูปที่ 3-13 TM 10 แยกถนนราษฎร์ยินดีตัดถนนศรีสุวรรณารถ



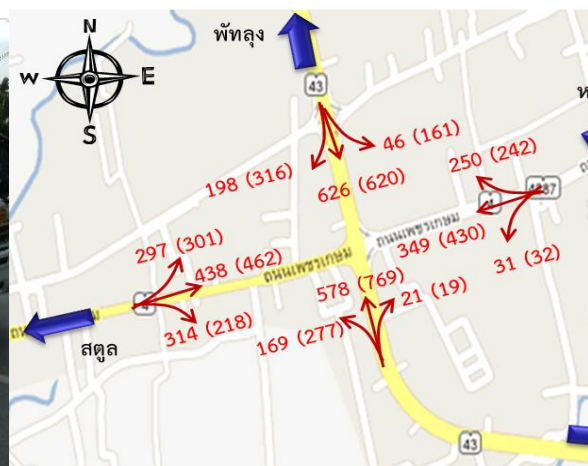
รูปที่ 3-14 TM 11 แยกถนนเพชรเกษมตัดถนนราษฎร์อุทิศ



รูปที่ 3-15 TM 12 แยกคลองหว่า



รูปที่ 3-16 TM 13 แยกสนามบินใน



รูปที่ 3-17 TM 14 แยกควนล้ง



รูปที่ 3-18 TM 15 แยกทางหลวงหมายเลข 43 ตัดถนนลพบุรีราเมศวร์



รูปที่ 3-19 MB 1-4 บริเวณรอบวงเวียนน้ำพุ



รูปที่ 3-20 MB 5 และ 6 ถนนนิพัทธ์อุทิศ 2 และ 3

นอกจากข้อมูลปริมาณการจราจรแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจความเร็วในการเดินทางบนช่วงถนนสายสำคัญ โดยใช้วิธี Floating car ซึ่งเป็นวิธีสำรวจที่สามารถหาความเร็วเฉลี่ยของการเดินทางได้ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุดวิธีหนึ่ง โดยขับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไปบนเส้นทางสายสำคัญที่กำหนดไว้แล้ว บันทึกระยะทางและเวลาเมื่อผ่านจุดต่างๆ ที่กำหนดไว้ โดยทำซ้ำกันในเส้นทางเดิมอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจดังกล่าวในระหว่างวันที่ 17-18 กรกฎาคม พ.ศ.2555 ใน 2 ช่วงเวลา คือ 7:15-9:15 น. และ 15:15-18:15 น. ผลการสำรวจดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 รายชื่อเส้นทางและผลการสำรวจความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางบนถนนสายสำคัญ

ลำดับ	รายชื่อถนน	จาก	ถึง	ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)	
				ขาไป	ขากลับ
1	ถนนเพชรเกษม (ช่วงที่ 1)	สี่แยกควนลัง	หน้าที่ว่าการอำเภอ	55.0	60.0
2	ถนนเพชรเกษม (ช่วงที่ 2)	หน้าที่ว่าการอำเภอ	วงเวียนน้ำพุ	11.2	12.1
3	ถนนเพชรเกษม (ช่วงที่ 3)	วงเวียนน้ำพุ	แยกคอหงส์	19.5	20.4
4	ถนนเพชรเกษม (ช่วงที่ 4)	แยกคอหงส์	แยกคลองเรียน	25.0	32.0
5	ถนนเพชรเกษม (ช่วงที่ 5)	แยกคลองเรียน	แยกสถานีขนส่ง	36.5	37.7
6	ถนนเพชรเกษม (ช่วงที่ 6)	แยกสถานีขนส่ง	แยกคลองหะ	33.5	48.2
7	ถนนศรีภูวนารถ (ช่วงที่ 1)	ตัดถนนราษฎร์อุทิศ	ตัดถนนราษฎร์ยินดี	25.0	26.0
8	ถนนศรีภูวนารถ (ช่วงที่ 2)	ตัดถนนราษฎร์ยินดี	แยกคลองเรียน	16.0	20.0
9	ถนนสุขสารรังสรรค์	แยก 30 เมตร	ม.อ.	19.2	20.3
10	ถนนธรรมบุญวิถี	แยก รพ. ราษฎร์ยินดี	ม.อ.	19.0	20.2
11	ถนนกาญจนวนิช	แยกคอหงส์	แยกตลาดเกาะหมี่	58.1	56.2

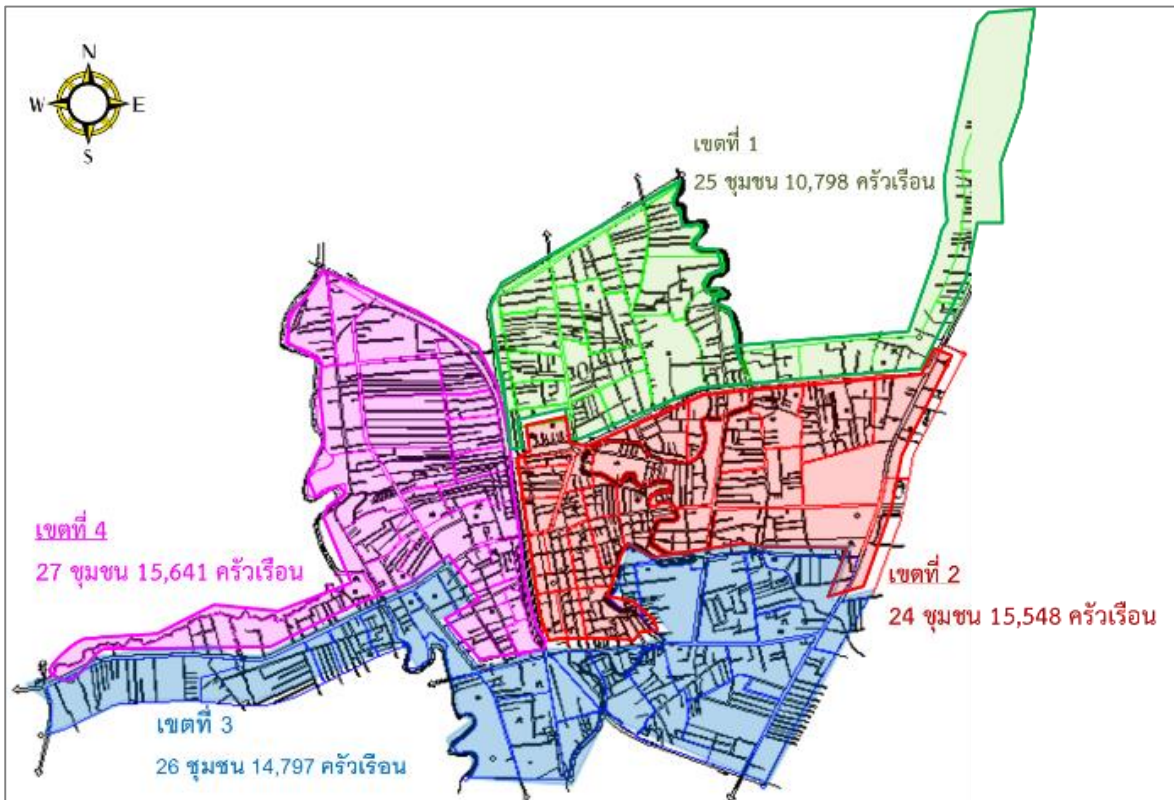
ผลที่ได้จากการสำรวจความเร็วข้างต้น เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาความถูกต้องของแบบจำลองการเดินทางที่สร้างขึ้นโดยเปรียบเทียบความเร็วที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับความเร็วที่สำรวจได้จริง ทั้งนี้ผู้วิจัยได้พยายามปรับเทียบแบบจำลองเพื่อให้มีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

3.2.3 ข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติและการอพยพช่วงน้ำท่วม

ผู้วิจัยได้ออกแบบสอบถามเพื่อสุ่มสำรวจข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางในช่วงเวลาปกติและพฤติกรรมการอพยพในช่วงที่มีน้ำท่วม โดยแบบสอบถามถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

- ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลทั่วไปของผู้ถูกสัมภาษณ์ ประกอบด้วย เพศ อายุ อาชีพ รายได้ จำนวนสมาชิกในครัวเรือน จำนวนยานพาหนะในครัวเรือน ที่พักอาศัย สถานที่ทำงาน สถานศึกษา
- ส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางในช่วงปกติ ประกอบด้วย ลักษณะการเดินทางแต่ละวัน ความถี่ของการเดินทาง เหตุผลของการเลือกรูปแบบการเดินทาง
- ส่วนที่ 3 เป็นข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางหรืออพยพใน 3 ช่วงเวลา ตั้งแต่ ก่อนเกิด ระหว่างเกิด และหลังเกิดเหตุน้ำท่วม รวมทั้งข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการอพยพภัยน้ำท่วม

ผู้วิจัยได้ใช้แบบสอบถามที่พัฒนาขึ้นสุ่มสัมภาษณ์ตัวแทนของแต่ละครัวเรือนที่ได้ประสบภัยน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมุ่งเน้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของกลุ่มตัวอย่างในเขตพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่เพื่อเป็นพื้นที่ตัวอย่าง ซึ่งประสบเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่เมื่อปี พ.ศ. 2543 และ 2553 และมีความลำบากในการอพยพเข้าออกพื้นที่ โดยผู้วิจัยอ้างอิงขอบเขตพื้นที่ทั้งสิ้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่ได้มีการวางแผนเพื่อรองรับสถานการณ์อุทกภัยไว้ (เทศบาลนครหาดใหญ่, 2554) ดังรูปที่ 3-21



รูปที่ 3-21 พื้นที่สำรวจข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางและการอพยพน้ำท่วม

จากรูปที่ 3-21 พื้นที่สำรวจข้อมูลเขตที่ 1 ประกอบด้วย 25 ชุมชน รวม 10,798 ครัวเรือน เขตที่ 2 ประกอบด้วย 24 ชุมชน รวม 15,548 ครัวเรือน เขตที่ 3 ประกอบด้วย 26 ชุมชน รวม 14,797 ครัวเรือน และเขตที่ 4 ประกอบด้วย 27 ชุมชน รวม 15,641 ครัวเรือน ผู้วิจัยได้คำนวณจำนวนตัวอย่างในแต่ละเขตโดยใช้สูตรของทาโรยามานะ (1967) และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ที่ 5% ซึ่งได้จำนวนตัวอย่างเขตละ 400 ตัวอย่าง ผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจแบบสอบถามทั้งสิ้น 1,600 ตัวอย่างไประหว่างเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม พ.ศ. 2555 รูปตัวอย่างผู้ตอบแบบสอบถามดังรูปที่ 3-22 ส่วนผลการสำรวจข้อมูลกล่าวไว้ในบทที่ 4

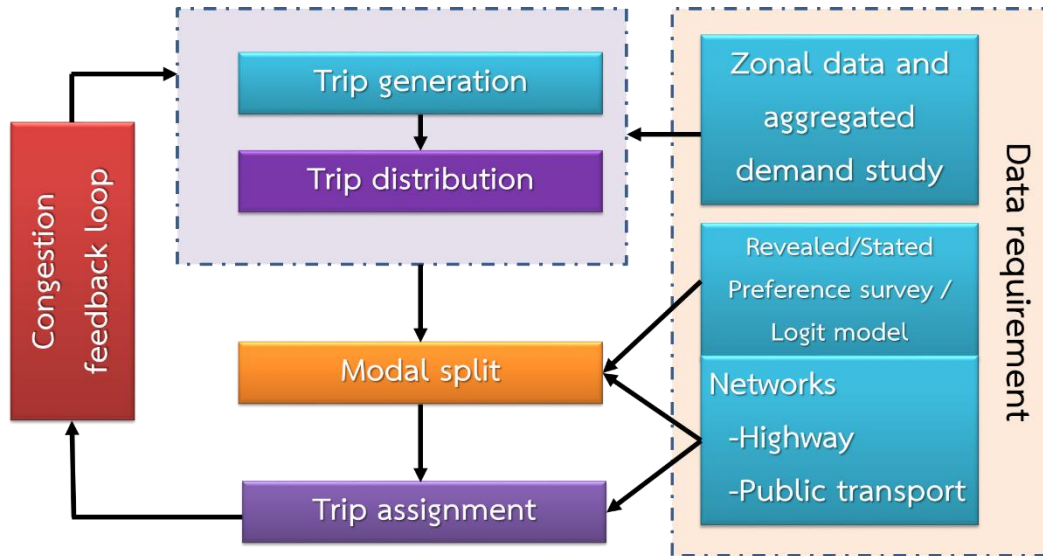


รูปที่ 3-22 ตัวอย่างผู้ตอบแบบสอบถาม

อนึ่ง ในการวิจัยครั้งนี้ การสำรวจพฤติกรรมของกลุ่มตัวอย่างได้ดำเนินการในเขตพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่เป็นพื้นที่ตัวอย่างเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของเวลาการวิจัยและความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยจากกลุ่มตัวอย่างที่ได้ในการอธิบายพฤติกรรมการเดินทางของผู้ที่อาศัยนอกเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนบ้าง ดังนั้น ในการศึกษาในอนาคตควรมีการสำรวจพฤติกรรมดังกล่าวของกลุ่มตัวอย่างนอกเขตเทศบาลนครหาดใหญ่อย่างครอบคลุมและทั่วถึง

3.3 การพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา

เมื่อได้ข้อมูลโครงข่ายถนน ปริมาณการจราจร และข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางและการอพยพอุทกภัย ผู้วิจัยพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการเดินทางแบบ 4 ขั้นตอน ซึ่งถูกใช้อย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับในโครงการศึกษาและวางแผนระบบการจราจรและขนส่งทั้งในและต่างประเทศ โดยขั้นตอนประกอบด้วย การวิเคราะห์การเกิดการเดินทาง (Trip generation analysis) การวิเคราะห์การกระจายการเดินทาง (Trip distribution analysis) การวิเคราะห์การเลือกรูปแบบการเดินทาง (Modal split analysis) และ การวิเคราะห์การแจกแจงการเดินทาง (Trip assignment analysis) ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.1 แล้ว โดยสามารถเขียนแผนผังโครงสร้างของแบบจำลองการเดินทางแบบ 4 ขั้นตอนได้ดังรูปที่ 3-23



รูปที่ 3-23 โครงสร้างของแบบจำลองการเดินทางแบบ 4 ขั้นตอน

รูปที่ 3-23 แสดงโครงสร้างของแบบจำลองการเดินทางแบบ 4 ขั้นตอน โดยขั้นตอน Trip generation analysis และ Trip distribution analysis สามารถรวมกันเป็นแบบจำลองอุปสงค์การเดินทางแบบรวม (Combined demand model) ได้ นอกจากนี้ รูปที่ 3-23 ยังแสดงข้อมูลที่จำเป็นในขั้นตอนต่างๆ ของแบบจำลองและแสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองในลักษณะของ Congestion feedback loop ซึ่งนำผลของปริมาณการจราจรรวมทั้งเวลา (หรือค่าใช้จ่าย) ในการเดินทางที่วิเคราะห์ได้จากขั้นตอน Trip assignment analysis (ได้ model flow) ย้อนกลับไปคำนวณหาค่าปริมาณการเดินทางในตารางการเดินทาง (OD trip matrix) และเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณการจราจรที่ได้จากการสำรวจ (observed flow) จุดประสงค์ในการปรับเทียบค่าในตารางการเดินทางก็เพื่อทำให้ผลต่างระหว่าง model flow กับ observed flow มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ 3-1 รายละเอียดของการพัฒนาแบบจำลองการเดินทางจะกล่าวในบทที่ 5

$$Z = \min \sum_a v_a^{\text{observed}} - v_a^{\text{model}}{}^2 \quad \text{สมการ 3-1}$$

3.4 การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา

เนื่องจากผู้วิจัยมุ่งเน้นนำเสนอการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนและหาตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติหากเกิดน้ำท่วม โดยประเมินความเปราะบางของโครงข่ายถนนจากความสามารถในการรองรับปริมาณการเดินทางเพื่อเข้าถึงพื้นที่จุดรวมพลหรือศูนย์อพยพที่เทศบาลนครหาดใหญ่กำหนดไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกดัชนีศักยภาพการเข้าถึง (Potential accessibility) จากตารางที่ 2-2 ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดความเปราะบางที่นิยมใช้ในพื้นที่เขตเมือง (D’Este and Taylor, 2003; Taylor *et al.*, 2006) มาประยุกต์ใช้ในการวิจัยนี้

อย่างไรก็ตาม ดัชนีดังกล่าวเป็นสมการทั่วไปที่ใช้ประเมินความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่าง 2 พื้นที่ i และ j เท่านั้น ส่วนการประเมินศักยภาพในการเข้าถึงระหว่างพื้นที่ต้นทาง i จากทุกพื้นที่ปลายทาง $j \in J$ โดยที่ J คือ เซตของทุกพื้นที่ปลายทาง j ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา สามารถคำนวณได้จากดัชนีการเข้าถึงแบบรวม หรือ Integral accessibility (Taylor, 2008) ซึ่งเป็นผลรวมของดัชนีศักยภาพการเข้าถึงพื้นที่โดยมีสมการดังนี้

$$AI_i = \frac{\sum_j o_j f(c_{ij})}{\sum_j o_j} \quad \text{สมการ 3-2}$$

ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้สมการที่ 3-2 เพื่อเสนอดัชนีการเข้าถึงพื้นที่ปลายทาง (Destination accessibility index) ซึ่งสามารถใช้ประเมินความสามารถในการเดินทางจากพื้นที่ i ไปยังพื้นที่จุดรวมพลหรือศูนย์อพยพ j ได้ดังสมการ 3-3

$$\begin{aligned} AI_j &= \frac{\sum_i q_{ij} f(c_{ij})}{\sum_i q_{ij}} \\ &= \frac{\sum_i q_{ij} / \sum_{k \in K_{ij}} f_{ij}^k c_{ij}^k}{\sum_i q_{ij}} \end{aligned} \quad \text{สมการ 3-3}$$

โดย AI_j คือ ดัชนีการเข้าถึงพื้นที่ปลายทาง j
 q_{ij} คือ ปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ i และ j
 f_{ij}^k, c_{ij}^k คือ ปริมาณการเดินทางและค่าใช้จ่าย (หรือเวลา) บนเส้นทาง k ในเซตของเส้นทาง K_{ij} ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ i และ j

ในสมการ 3-3 ผู้วิจัยได้พิจารณาการเลือกเส้นทางของผู้เดินทางโดยใช้ผลคูณระหว่างค่า f_{ij}^k และ c_{ij}^k แทนฟังก์ชัน $f(C_{ij})$ ในสมการ 3-2 นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาใช้ค่าปริมาณการเดินทาง (q_{ij})

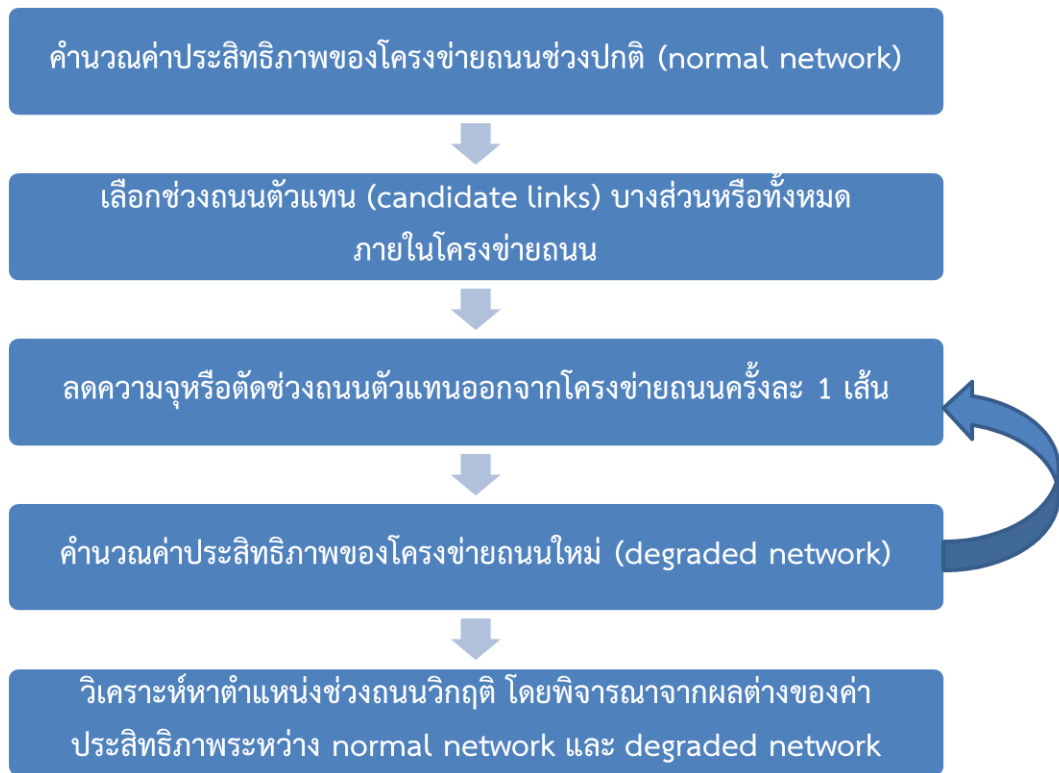
แทนค่าจำนวนช่องทางในการเข้าถึงพื้นที่ (O_j) ในสมการ 3-2 เพื่อพิจารณาปริมาณการเดินทางซึ่งมีผลต่อศักยภาพในการเข้าถึงพื้นที่ และเมื่อพิจารณาพจน์ $q_{ij} / \sum_{k \in K_{ij}} f_{ij}^k c_{ij}^k$ ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่าย (หรือเวลา) ในการเดินทางระหว่าง 2 พื้นที่ i และ j สามารถบอกเป็นนัยได้ว่า หากค่าใช้จ่าย (หรือเวลา) ในการเดินทางระหว่าง 2 พื้นที่ใดๆ เพิ่มขึ้น จะทำให้ความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ลดลง (ค่า AI_j มีค่าลดลง) ดังนั้นการกำหนดตัวแปรต่างๆ ในสมการ 3-3 ของการวิจัยนี้จึงสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ได้

สำหรับการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาใช้วิธีการแบบดั้งเดิม (Traditional approach) ซึ่งมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3-24 โดยมีสมมติฐาน คือ ถนนมีโอกาสได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมเท่าๆ กันทุกช่วงถนน ซึ่งผลกระทบอาจอยู่ในรูปของความจุถนนที่ลดลง หรือถนนติดขัดจนทำให้ไม่สามารถเดินทางผ่านได้ (เสมือนถนนถูกตัดขาด) อย่างไรก็ตาม สมมติฐานดังกล่าวสามารถปรับปรุงได้หากการวิจัยในอนาคตศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมในเรื่องความน่าจะเป็นของการเกิดน้ำท่วมบนถนนแต่ละสาย และผลกระทบที่มีต่อความสามารถของช่วงถนนในแต่ละพื้นที่ของพื้นที่ศึกษา

รูปที่ 3-24 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนน โดยเริ่มจากการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของโครงข่ายถนนในช่วงปกติ (เรียกโครงข่ายถนนช่วงนี้ว่า Normal network) โดยคำนวณค่าดัชนีการเข้าถึงพื้นที่ปลายทาง (AI_j) จากสมการ 3-3 ซึ่งค่า f_{ij}^k และ c_{ij}^k เป็นผลที่ได้มาจากการวิเคราะห์การแจกแจงการเดินทาง จากนั้น จึงเลือกช่วงถนนตัวแทน (Candidate links) ภายในโครงข่ายบางช่วงถนนหรือเลือกทุกช่วงทั้งหมด แล้วทำการลดความจุ (หรือตัด) ช่วงถนนตัวแทน $o \in A'$ (A' คือ เซตของช่วงถนนตัวแทนทั้งหมด) ออกจาก Normal network ครั้งละ 1 เส้น (เรียกโครงข่ายถนนใหม่ที่มีประสิทธิภาพลดลงว่า Degraded network) ต่อมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของ Degraded network โดยใช้สมการ 3-3 เช่นกัน แต่กำหนดสัญลักษณ์ของค่าดัชนีการเข้าถึงพื้นที่ปลายทางใหม่เป็น AI_j^a ดำเนินขั้นตอนดังกล่าวจนครบทุกช่วงถนนตัวแทนที่เลือกไว้ ขั้นตอนสุดท้าย คือ การวิเคราะห์หาตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ โดยพิจารณาจากผลต่างสัมพัทธ์ (Relative difference) ซึ่งแนะนำโดย Taylor (2008) และมีรูปแบบสมการคือ

$$\Delta RAI = 1 - AI_j^1 / AI_j^0 \quad \text{สมการ 3-4}$$

โดยที่ AI_j^1 และ AI_j^0 คือ ดัชนีการเข้าถึงพื้นที่ปลายทางของ Degraded network และ Normal network ตามลำดับ ช่วงถนนจะถูกพิจารณาว่ามีความวิกฤติเมื่อค่าที่ได้จากสมการ 3-4 มีความแตกต่างกันมากอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 3-24 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนน

3.5 การวิเคราะห์หาเส้นทางอพยพน้ำท่วมที่เหมาะสม

เส้นทางอพยพน้ำท่วมที่เหมาะสม ควรเป็นเส้นทางที่สั้น สามารถอพยพและเข้าถึงศูนย์อพยพได้อย่างรวดเร็ว ปลอดภัย และไม่มีอุปสรรค รวมทั้งควรหลีกเลี่ยงช่วงถนนวิกฤติที่วิเคราะห์ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ ซึ่งข้อมูลที่ตั้งของศูนย์อพยพภัยพิบัติผู้วิจัยได้อ้างอิงจากข้อมูลของเทศบาลนครหาดใหญ่เป็นหลัก นอกจากนี้ เส้นทางอพยพควรเป็นเส้นทางที่ไม่เสี่ยงต่อการถูกน้ำท่วม อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยไม่มีแบบจำลองน้ำท่วมพื้นที่ศึกษาในขณะที่ดำเนินการวิจัยนี้ จึงไม่สามารถพิจารณาประเด็นดังกล่าวได้ การเลือกเส้นทางอพยพที่เหมาะสมจึงพิจารณาจากปัจจัยความเร็วของการเดินทางและอพยพเป็นหลัก ประกอบกับความรู้ที่มีอยู่เกี่ยวกับพื้นที่ศึกษา

การวิเคราะห์หาเส้นทางอพยพที่เหมาะสมโดยทั่วไปสามารถอธิบายได้ในรูปแบบของปัญหา optimization ที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective optimization problem) ซึ่งเป็นปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ยาก (NP-hard problem) แต่สามารถใช้วิธีการทางพันธุกรรมคอมพิวเตอร์ (Genetic algorithm หรือ GA) ในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ซึ่งวิธีการดังกล่าวก็ไม่ซับซ้อนจนเกินไป อย่างไรก็ตาม ปัญหา optimization ในโครงข่ายถนนของพื้นที่ศึกษาซึ่งมีขนาดใหญ่ ทำให้ห้วงปัญหา (problem space) มีขนาดใหญ่ตามด้วย จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการแก้ปัญหา

อีกแนวทางหนึ่งคือการหาวิธีการที่มีประสิทธิภาพกว่าวิธี GA เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวซึ่งเป็นความท้าทายของการวิจัยในอนาคต ดังนั้น ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้ Shortest path algorithm ซึ่งเป็นโมดูลหนึ่งในโปรแกรม EMME ในการวิเคราะห์หาเส้นทางอพยพที่เหมาะสมซึ่งพิจารณาปัจจัยความเร็วของการเดินทางและอพยพเป็นหลัก

3.6 การเสนอข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

จากข้อมูลช่วงถนนวิกฤติและเส้นทางอพยพที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ได้แล้ว ผู้วิจัยใช้แบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนที่พัฒนาขึ้นเพื่อประกอบการอธิบายแนวทาง/นโยบายในการจัดการเส้นทางอพยพให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และการชี้ประเด็นด้านการจราจรที่อาจส่งผลกระทบต่อเส้นทางอพยพ เช่น การจอดรถข้างทาง เป็นต้น โดยดำเนินการวิเคราะห์ในรูปแบบของสถานการณ์จำลอง (scenarios) ซึ่งผลที่ได้จะนำไปสรุปเป็นข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการวางแผนปรับปรุงและออกแบบโครงข่ายถนนเพื่อรองรับอุทกภัยที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต (กล่าวในหัวข้อที่ 7.2.1)

ในบทนี้ผู้วิจัยได้อธิบายรายละเอียดของวิธีดำเนินการวิจัย ผลของการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางและอพยพของตัวอย่างประชากรจะกล่าวในบทที่ 4 รายละเอียดของการพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาจะกล่าวในบทที่ 5 ส่วนการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาจะกล่าวในบทที่ 6

4 การวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติและการอพยพช่วงน้ำท่วม

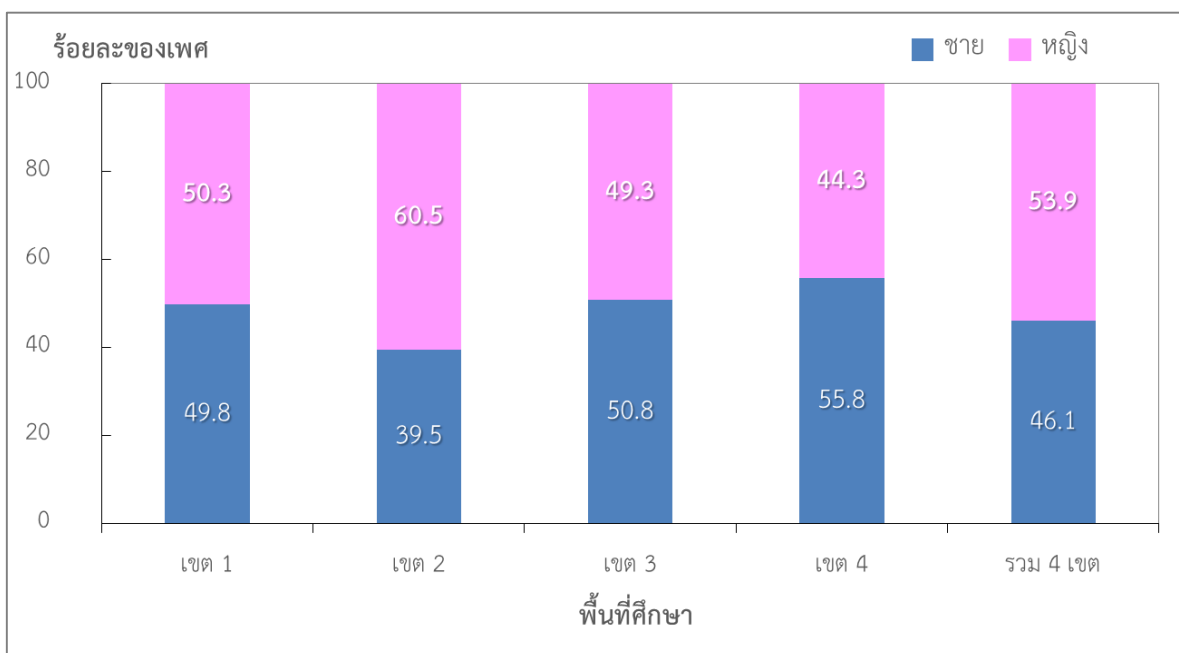
❖ ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

- ❖ การวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติ
- ❖ การวิเคราะห์พฤติกรรมการอพยพช่วงน้ำท่วม
- ❖ การสร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพช่วงน้ำท่วม

4.1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

4.1.1 เพศ

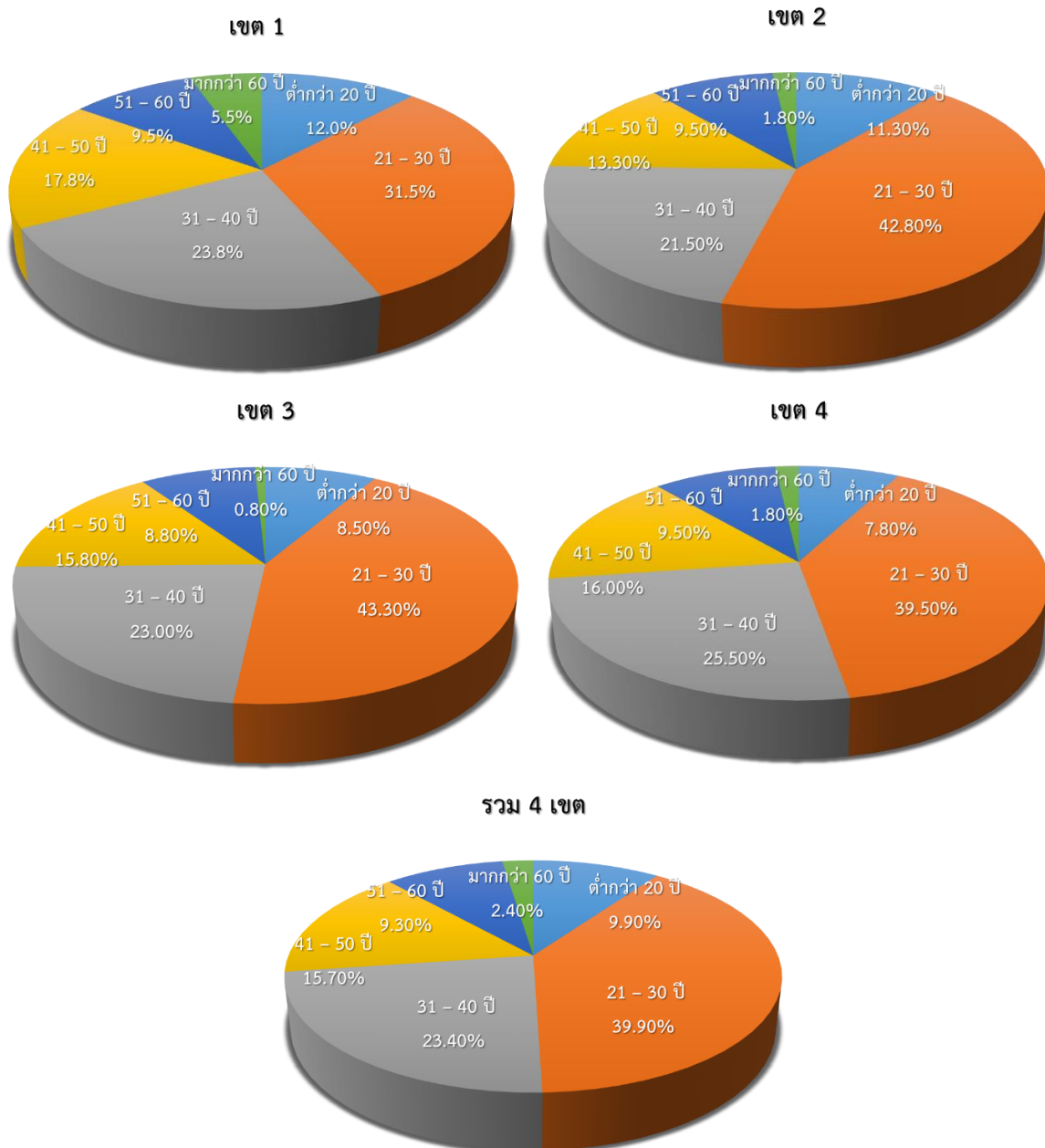
รูปที่ 4-1 แสดงเพศของกลุ่มตัวอย่างที่สุ่มสัมภาษณ์ ซึ่งผู้วิจัยได้กระจายสุ่มสัมภาษณ์ให้ครอบคลุมทั้งเพศชายและหญิงแต่อาจมีความแตกต่างกันบ้างในบางเขตพื้นที่ โดยเฉพาะจากทั้งสิ้นเขต ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นเพศชายร้อยละ 46.1 และเพศหญิงร้อยละ 53.9



รูปที่ 4-1 สัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามเพศ

4.1.2 อายุ

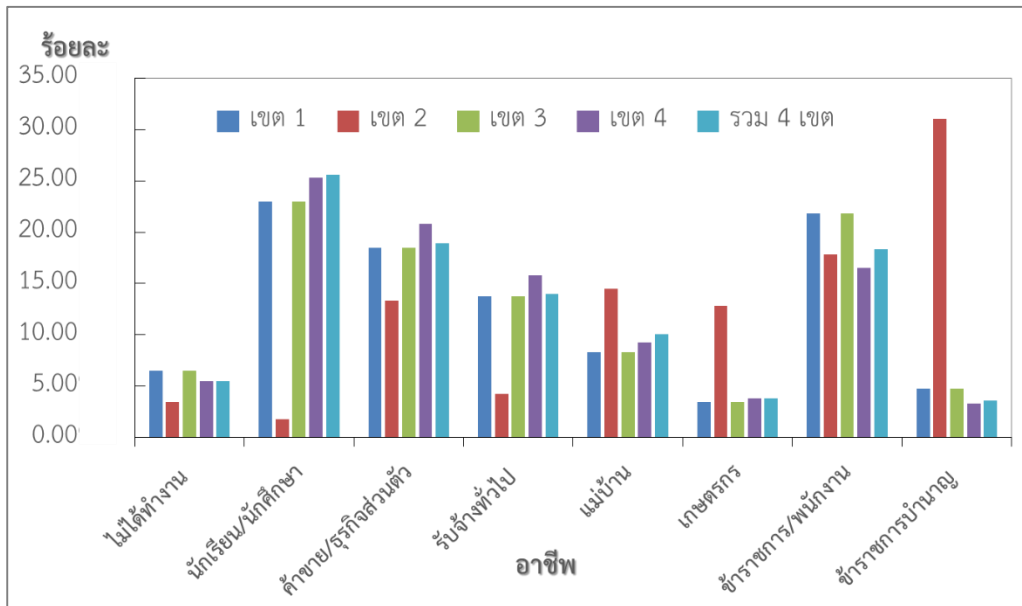
รูปที่ 4-2 แสดงสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามช่วงอายุ ซึ่งผู้วิจัยได้กระจายสุ่มสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างตามช่วงอายุแต่ก็ขึ้นอยู่กับจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในแต่ละเขตพื้นที่ด้วย จากการสำรวจพบว่า โดยรวม 4 เขต ผู้ถูกสัมภาษณ์ที่มีสัดส่วนสูงสุด คือ กลุ่มอายุ 21-30 ปี (ร้อยละ 39.9) รองลงมา คือ กลุ่มอายุ 31-40 ปี (ร้อยละ 25.5) กลุ่มอายุ 31-40 ปี (ร้อยละ 23.4) กลุ่มอายุ 41-50 ปี (ร้อยละ 15.7) กลุ่มอายุต่ำกว่า 20 ปี (ร้อยละ 9.9) กลุ่มอายุ 51-60 ปี (ร้อยละ 9.3) และกลุ่มอายุมากกว่า 60 ปี (ร้อยละ 2.4) ตามลำดับ



รูปที่ 4-2 สัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามช่วงอายุ

4.1.3 อาชีพ

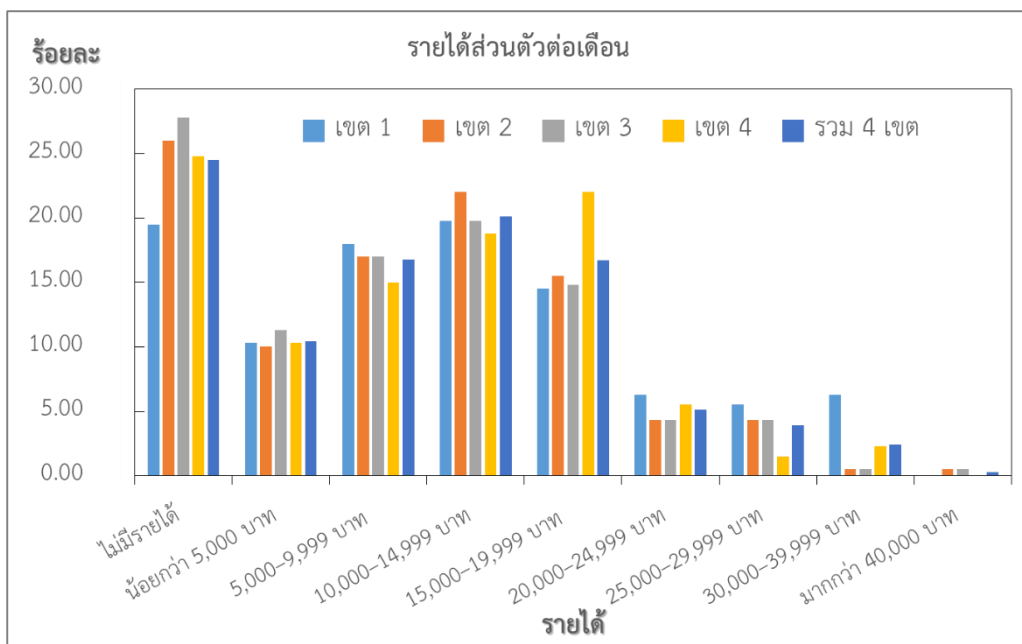
รูปที่ 4-3 แสดงสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามอาชีพของผู้ถูกสัมภาษณ์ ซึ่งมีความหลากหลายและแตกต่างกันไปในแต่ละเขตพื้นที่



รูปที่ 4-3 สัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามอาชีพ

4.1.4 รายได้ส่วนตัว

รูปที่ 4-4 แสดงสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามรายได้ส่วนตัวต่อเดือน ซึ่งมีทั้งกลุ่มที่ไม่มีรายได้และมีรายได้ ในส่วนของกลุ่มที่ไม่มีรายได้เมื่อดูรายละเอียดของข้อมูล พบว่า ส่วนใหญ่เป็นนักเรียน/นักศึกษา ส่วนกลุ่มที่มีรายได้ พบว่า ส่วนใหญ่มีรายได้ส่วนตัวประมาณ 10,000-14,999 บาทต่อเดือน

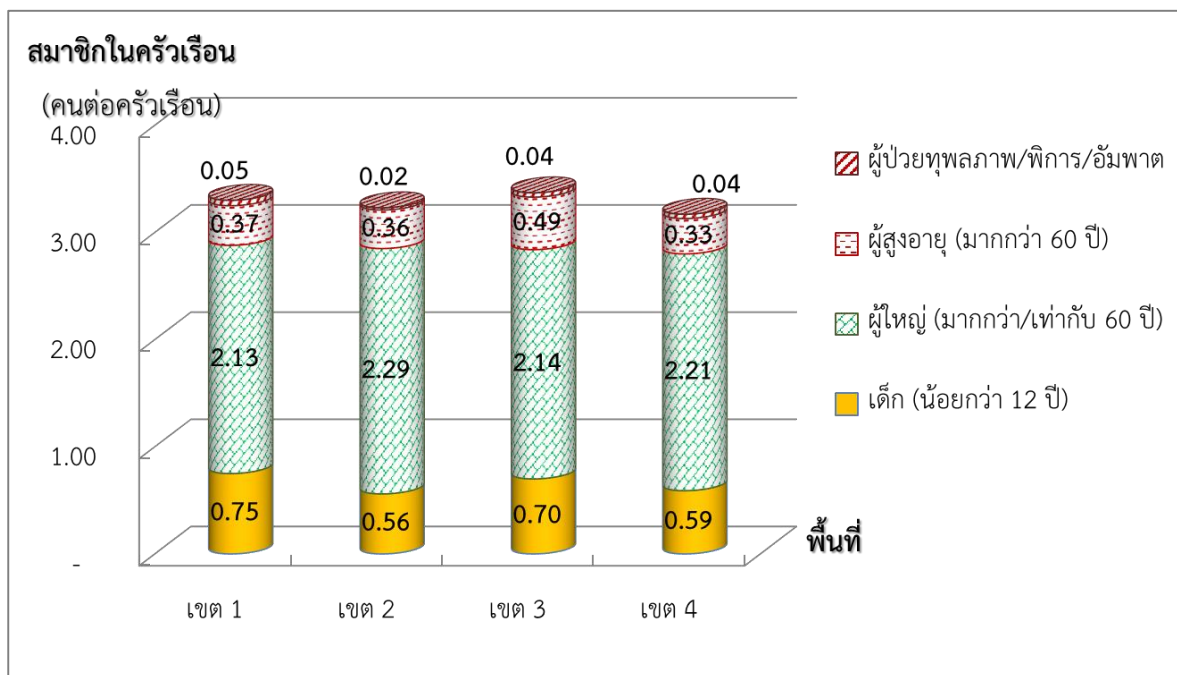


รูปที่ 4-4 สัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามรายได้ส่วนตัวต่อเดือน

4.1.5 จำนวนสมาชิกในครัวเรือน

ผู้วิจัยได้จำแนกสมาชิกในครัวเรือนออกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย เด็ก (อายุน้อยกว่า 12 ปี) ผู้ใหญ่ (อายุน้อยกว่า 60 ปี) ผู้สูงอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป) และ ผู้ทุพพลภาพ/ผู้พิการ/อัมพาต โดยพิจารณาจากความสามารถในการช่วยเหลือตัวเองหากจำเป็นต้องมีการอพยพ ซึ่งผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 13 ปี จนถึง 60 ปี มีความสามารถช่วยเหลือตัวเองได้ อย่างไรก็ตาม การวิจัยในอนาคตสามารถแยกย่อยกลุ่มสมาชิกช่วงอายุดังกล่าวเพิ่มเติมได้หากต้องการศึกษารายละเอียดมากยิ่งขึ้น

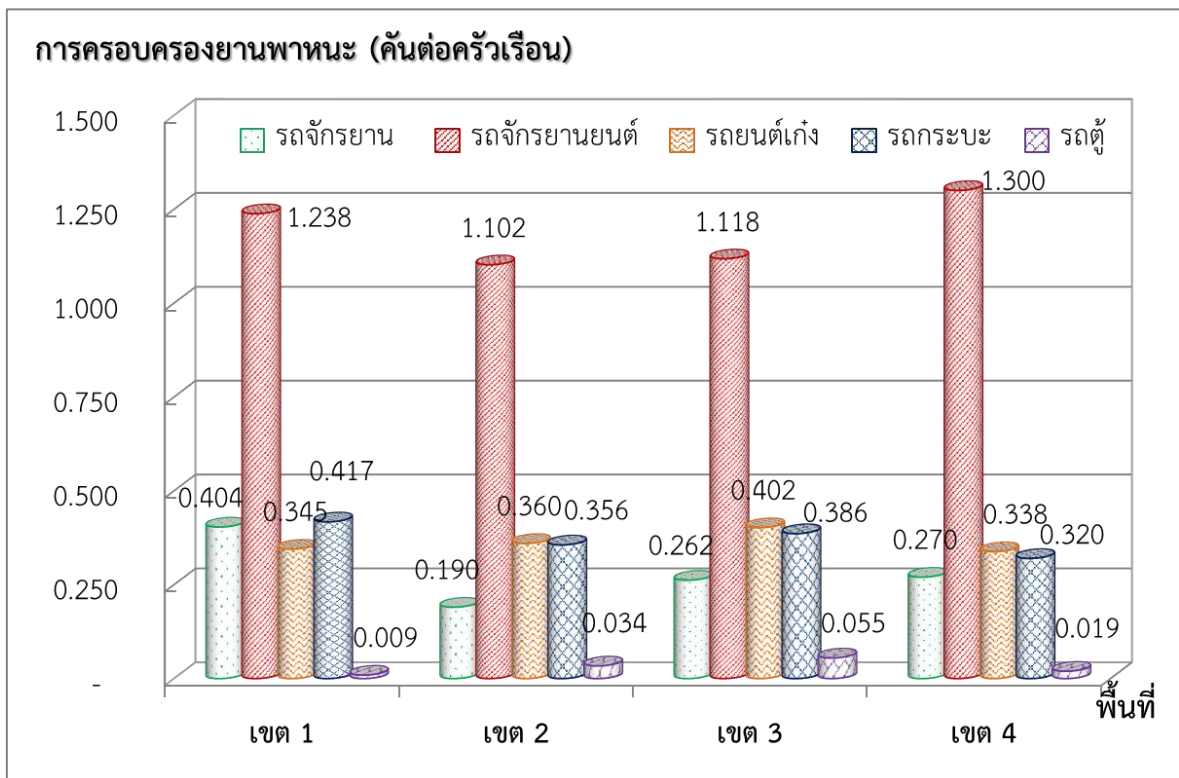
จากผลการศึกษาจำนวนสมาชิกต่อครัวเรือนของการวิจัยนี้ (ดังรูปที่ 4-5) พบว่า การกระจายตัวของสมาชิกแต่ละกลุ่มใน 4 เขตพื้นที่ที่มีความใกล้เคียงกัน โดยมีจำนวนเด็ก 0.59-0.75 คน/ครัวเรือน ผู้ใหญ่ 2.13-2.29 คน/ครัวเรือน ผู้สูงอายุ 0.33-0.49 คน/ครัวเรือน และ ผู้ทุพพลภาพ/ผู้พิการ/อัมพาต 0.01-0.05 คน/ครัวเรือน และพบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนสมาชิกต่อครัวเรือนในเขตพื้นที่ 1 ถึง 4 มีค่าเท่ากับ 3.30, 3.23, 3.37 และ 3.17 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยจำนวนสมาชิกต่อครัวเรือนจากทุกเขตพื้นที่ มีค่าเท่ากับ 3.29



รูปที่ 4-5 จำนวนสมาชิกต่อครัวเรือน

4.1.6 การครอบครองยานพาหนะในครัวเรือน

เมื่อพิจารณาจำนวนการครอบครองยานพาหนะเฉลี่ยต่อครัวเรือน โดยจำแนกตามประเภทของยานพาหนะ ได้แก่ รถจักรยาน รถจักรยานยนต์ รถยนต์เก๋ง รถกระบะ และ รถตู้ (ดังรูปที่ 4-6) พบว่ารถจักรยานยนต์เป็นยานพาหนะที่มีการครอบครองสูงสุดจากทั้ง 4 เขตพื้นที่ คือ 1.24 คัน/ครัวเรือน (เขตที่ 1) 1.10 คัน/ครัวเรือน (เขตที่ 2) 1.12 คัน/ครัวเรือน (เขตที่ 3) และ 1.30 คัน/ครัวเรือน (เขตที่ 4) ตามลำดับ อันดับที่ 2 คือ รถยนต์เก๋ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.36 คัน/ครัวเรือน (เขตที่ 2) 0.40 คัน/ครัวเรือน (เขตที่ 3) และ 0.34 คัน/ครัวเรือน (เขตที่ 4) ส่วนในเขตที่ 1 พบว่า รถกระบะ เป็นยานพาหนะที่นิยมเป็นอันดับที่ 2 โดยมีจำนวน 0.42 คัน/ครัวเรือน

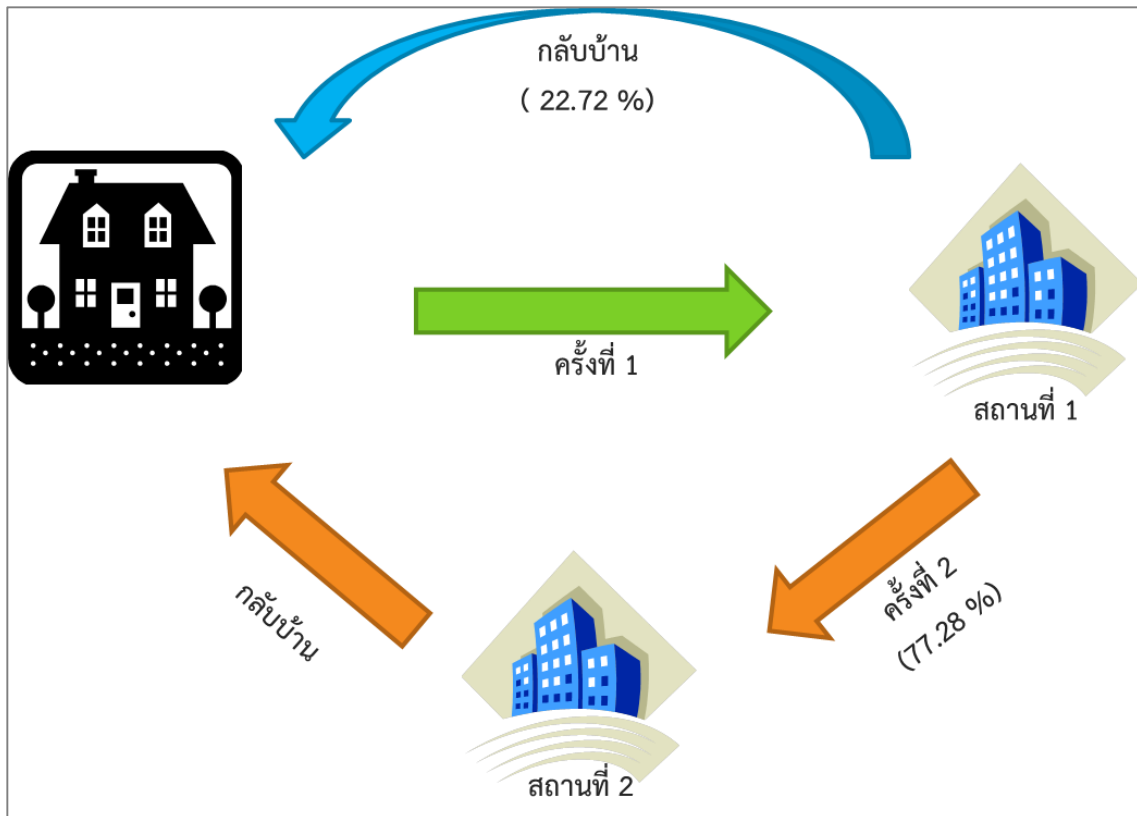


รูปที่ 4-6 การครอบครองยานพาหนะต่อครัวเรือน

ข้อมูลในส่วนนี้เป็นประโยชน์ต่อการคำนวณหาจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ศึกษา ซึ่งอาจแตกต่างจากข้อมูลประชากรที่รายงานตามทะเบียนราษฎร และเป็นประโยชน์ประกอบการสร้างแบบจำลองการเดินทางในส่วนของการเลือกรูปแบบการเดินทาง รวมทั้งเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการวางแผนการเดินทางและอพยพให้สอดคล้องกับสมาชิกแต่ละกลุ่มในครัวเรือนต่อไป

4.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติ

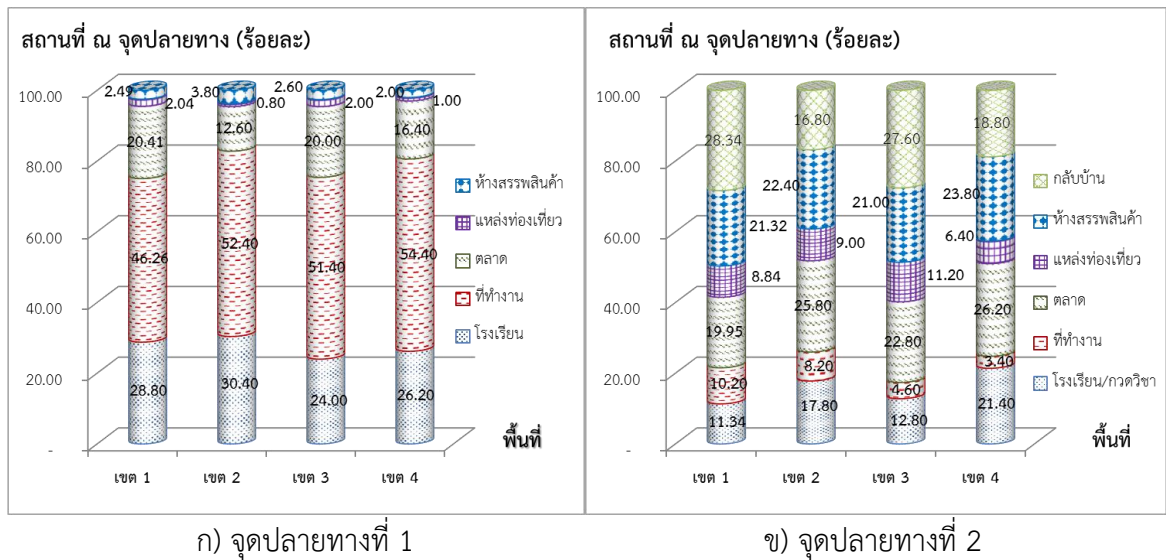
ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบสอบถามพฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติบนสมมติฐานที่ว่า คนทั่วไปเดินทางออกจากบ้านเพื่อไปทำกิจกรรมต่างๆ ในแต่ละวันเฉลี่ย 2 ครั้ง (trips) แล้วจึงกลับบ้าน (ดังรูปที่ 4-7) จากผลการสำรวจกลุ่มตัวอย่างในภาพรวม พบว่า ผู้คนส่วนใหญ่ร้อยละ 77.28 เดินทาง 2 ครั้งต่อวัน คือ เดินทางออกจากบ้านเพื่อไปทำกิจกรรมในสถานที่ 1 แล้วเดินทางต่อไปยังสถานที่ 2 ก่อนกลับบ้าน ส่วนผู้คนร้อยละ 22.72 เดินทางเพียง 1 ครั้งต่อวัน คือ เดินทางออกจากบ้านเพื่อไปทำกิจกรรมในสถานที่ 1 แล้วจึงเดินทางกลับบ้าน ผู้วิจัยได้วิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติในประเด็นต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 4-7 ลักษณะการเดินทางแต่ละวันในช่วงสถานการณ์ปกติ

4.2.1 จุดปลายทางของการเดินทาง

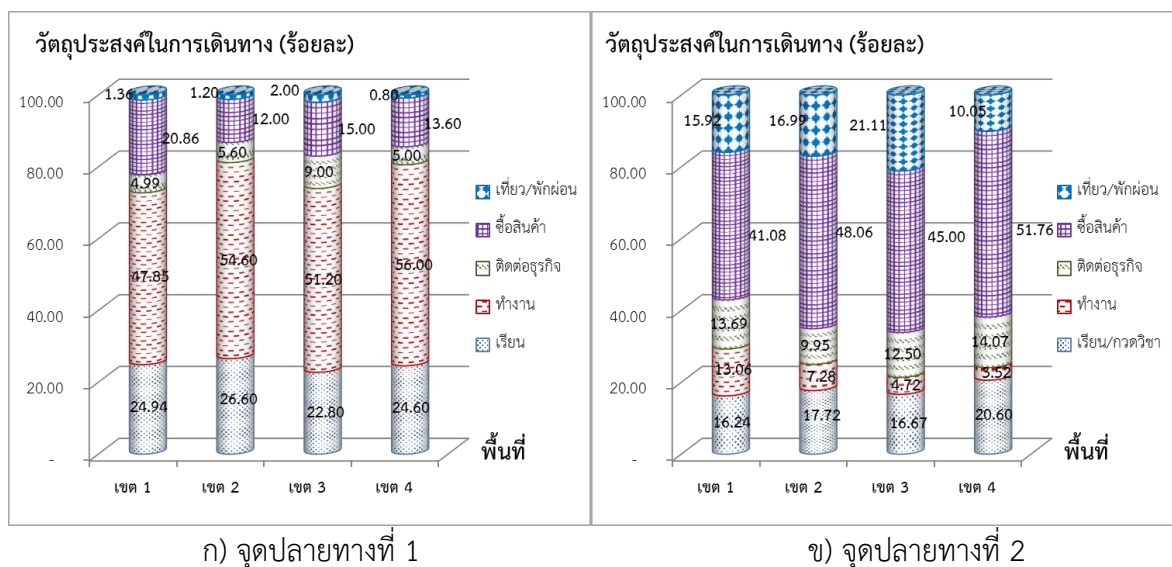
จากรูปที่ 4-8 พบว่า จุดปลายทางของการเดินทางครั้งที่ 1 (สถานที่ 1 ใน รูปที่ 4-7) ผู้เดินทางส่วนใหญ่ในทุกเขต ร้อยละ 46.26-54.40 เดินทางไปที่ทำงาน รองลงมา คือ โรงเรียน ตลาด ห้างสรรพสินค้า และ แหล่งท่องเที่ยว ตามลำดับ ส่วนจุดสิ้นสุดของการเดินทางครั้งที่ 2 (สถานที่ 2) พบว่า ส่วนใหญ่เดินทางไป ตลาด และห้างสรรพสินค้า จากผลดังกล่าวเห็นได้ว่าจุดสิ้นสุดของการเดินทางทั้งสองครั้งมีความแตกต่างกัน



รูปที่ 4-8 จุดปลายทางของการเดินทางในแต่ละวัน

4.2.2 วัตถุประสงค์ของการเดินทาง

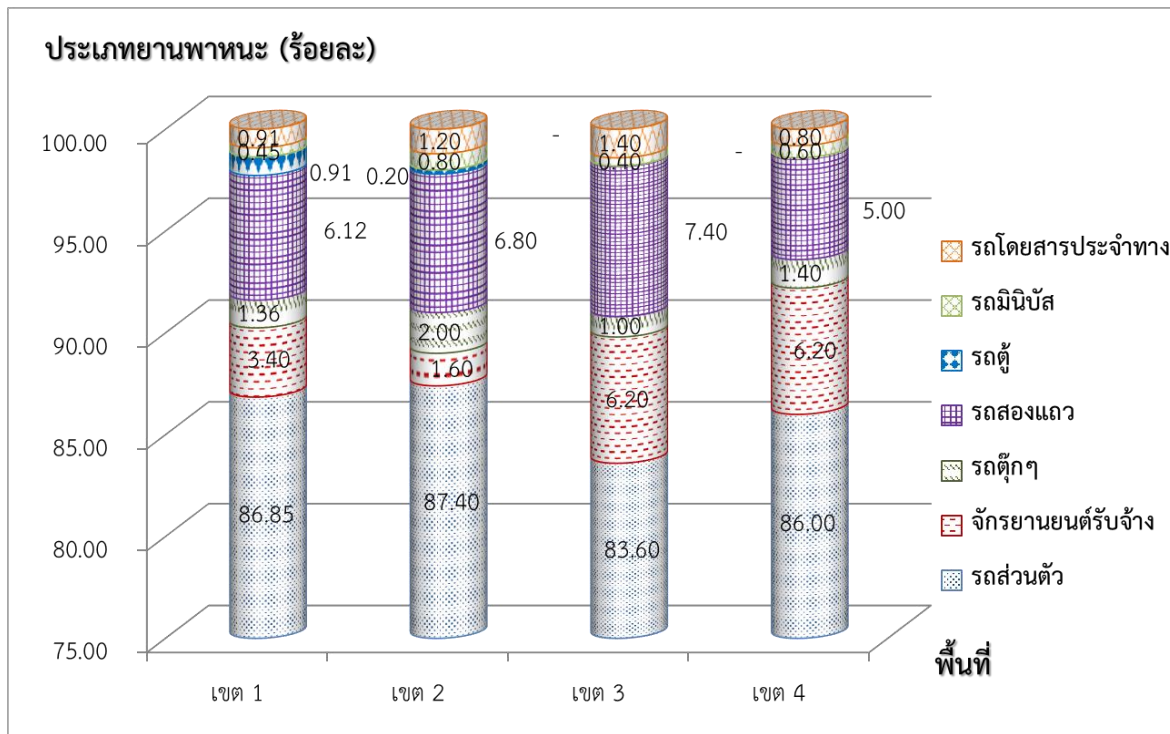
จากรูปที่ 4-9 พบว่า ผู้เดินทางส่วนใหญ่ร้อยละ 47.85-56.00 มีวัตถุประสงค์ในการเดินทางไปจุดปลายทางที่ 1 เพื่อไปทำงาน รองลงมา คือ เพื่อเรียนหนังสือ (ร้อยละ 22.80-26.60) ซื้อสินค้า (ร้อยละ 12.00-20.86) ติดต่อธุรกิจ (ร้อยละ 4.99-9.00) และ ท่องเที่ยว/พักผ่อน (ร้อยละ 0.80-2.00) ตามลำดับ ในทางกลับกัน วัตถุประสงค์ในการเดินทางไปจุดปลายทางที่ 2 ส่วนใหญ่ร้อยละ 41.08-51.76 ไปเพื่อซื้อสินค้า รองลงมา คือ เรียน/กวดวิชา (ร้อยละ 16.24-20.60) ติดต่อธุรกิจ (ร้อยละ 9.95-14.07) เที่ยว/พักผ่อน (ร้อยละ 10.05-21.11) และ ทำงาน (ร้อยละ 3.52-13.06) ตามลำดับ ซึ่งวัตถุประสงค์ในการเดินทางทั้งสองสถานที่ดังกล่าวสอดคล้องกับจุดสิ้นสุดของการเดินทางในแต่ละครั้งดังได้นำเสนอในหัวข้อ 4.2.1



รูปที่ 4-9 วัตถุประสงค์ของการเดินทาง

4.2.3 ประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการเดินทาง

จากผลการสำรวจดังรูปที่ 4-10 พบว่า ผู้เดินทางส่วนใหญ่ร้อยละ 83.60-87.40 ใช้รถส่วนตัว รองลงมา คือ รถสองแถว (ร้อยละ 5.00-7.40) รถจักรยานยนต์รับจ้าง (ร้อยละ 1.60-6.20) รถตุ๊กๆ (ร้อยละ 1.00-2.00) รถโดยสารประจำทาง (ร้อยละ 0.80-1.40) รถมินิบัส (ร้อยละ 0.40-0.80) และมีส่วนน้อยในเขตที่ 1 และ 2 ที่ใช้รถตู้ (ร้อยละ 0.91 และ 0.20 ตามลำดับ) นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้สอบถามเหตุผลในการเลือกใช้นยานพาหนะดังกล่าว โดยพบว่า สำหรับผู้ใช้รถส่วนบุคคล ส่วนใหญ่ร้อยละ 38.54 เลือกใช้เพราะความสะดวกเป็นหลัก รองลงมา ได้แก่ ค่าใช้จ่ายถูก (ร้อยละ 19.04) ความรวดเร็ว (ร้อยละ 16.39) ความปลอดภัย (ร้อยละ 16.11) และ ความสบาย (ร้อยละ 9.92) ตามลำดับ สำหรับผู้ใช้รถสาธารณะ ส่วนใหญ่ร้อยละ 33.27 เลือกใช้เพราะความสะดวกเป็นหลัก รองลงมา ได้แก่ ค่าใช้จ่ายถูก (ร้อยละ 30.70) ความรวดเร็ว (ร้อยละ 12.19) ความปลอดภัย (ร้อยละ 11.66) ความสบาย (ร้อยละ 7.38) และมีเพียงร้อยละ 4.80 ที่ใช้เพราะไม่มีรถส่วนตัว



รูปที่ 4-10 ประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการเดินทาง

4.2.4 ความถี่ของการเดินทาง

ตารางที่ 4-1 แสดงความถี่ในการเดินทางของบุคคลในแต่ละวัน ซึ่งพบว่า โดยเฉลี่ยมีค่าระหว่าง 0.77-1.21 ครั้ง/วัน และมีค่าสูงสุดอยู่ระหว่าง 2.89-3.43 ครั้ง/วัน

ตารางที่ 4-1 ความถี่ของการเดินทาง (ครั้ง/วัน)

ความถี่ของการเดินทาง (ครั้ง/วัน)	เขต 1	เขต 2	เขต 3	เขต 4	เฉลี่ย
ค่าสูงสุด	2.86	3.43	2.86	3.00	3.04
ค่าเฉลี่ย	1.14	1.21	1.07	0.77	1.05

4.2.5 ระยะทางของการเดินทาง

ตารางที่ 4-2 แสดงระยะทางของการเดินทางของบุคคลในแต่ละวัน ซึ่งพบว่า โดยเฉลี่ยมีค่าระหว่าง 1.37-2.36 กิโลเมตร/วัน และมีค่าสูงสุดอยู่ระหว่าง 8.29-10.29 กิโลเมตร/วัน

ตารางที่ 4-2 ระยะทางในการเดินทาง (กิโลเมตร/วัน)

ระยะทางในการเดินทาง (กิโลเมตร/วัน)	เขต 1	เขต 2	เขต 3	เขต 4	เฉลี่ย
ค่าสูงสุด	10.29	8.57	8.29	9.29	9.11
ค่าเฉลี่ย	2.36	2.21	2.36	1.37	2.08

ข้อมูลที่ได้ในส่วนนี้ เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับคาดการณ์จำนวนการเดินทางและรูปแบบยานพาหนะที่ใช้เดินทางในแต่ละเขตของพื้นที่ศึกษาเพื่อประกอบการสร้างแบบจำลองการเดินทางในช่วงปกติต่อไป

4.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมการอพยพช่วงน้ำท่วม

การวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมการอพยพช่วงน้ำท่วมของกลุ่มตัวอย่างประชากร ผู้วิจัยได้แบ่งเป็น 3 ช่วงเวลา คือ ก่อนเกิด ขณะเกิด และหลังเกิดเหตุน้ำท่วม โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 ช่วงก่อนเกิดเหตุน้ำท่วม

- เวลาที่ต้องการให้แจ้งเตือนภัย

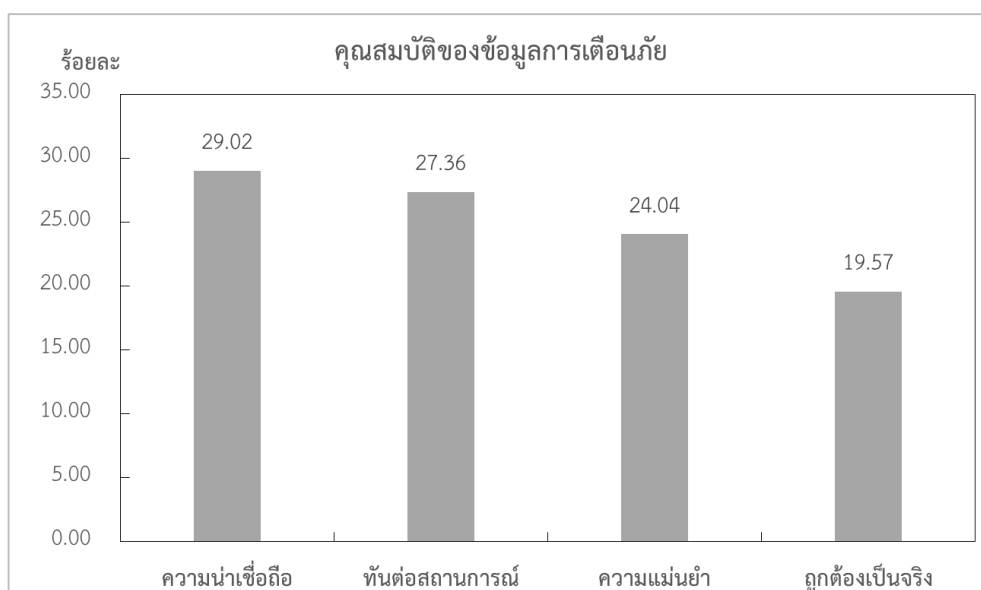
การเตรียมพร้อมช่วงก่อนเกิดเหตุน้ำท่วม จากตารางที่ 4-3 พบว่า ประชาชนในแต่ละเขต ต้องการให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องแจ้งเตือนภัยก่อนเกิดเหตุโดยเฉลี่ยประมาณ 14-17.5 ชั่วโมง (หรือประมาณครึ่งวัน) โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาการแจ้งเตือนที่ใกล้เคียงกัน (3.30-3.76 ชั่วโมง)

ตารางที่ 4-3 เวลาที่ต้องการให้แจ้งเตือนภัย (หน่วย: ชั่วโมง)

เวลาที่ต้องการให้แจ้งเตือนภัย	เขต 1	เขต 2	เขต 3	เขต 4	รวม 4 เขต
ค่าเฉลี่ย	14.27	16.83	14.63	17.56	15.82
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.30	3.68	3.31	3.76	3.54

- คุณสมบัติของข้อมูลการเตือนภัย

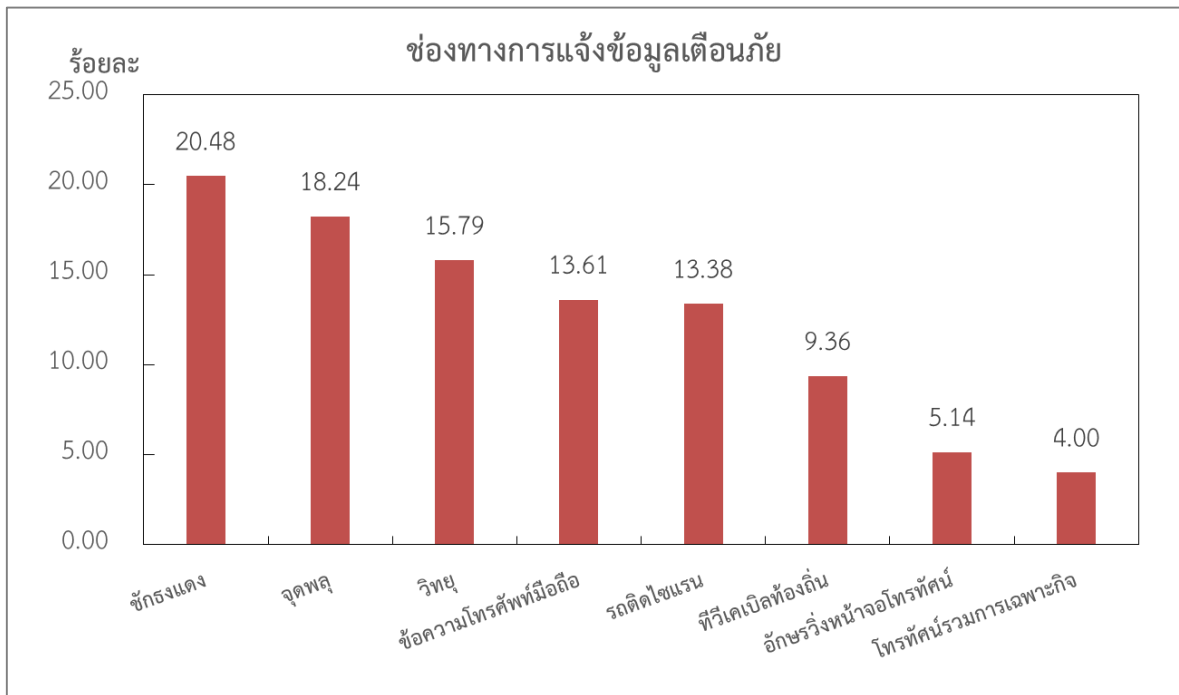
ผู้วิจัยได้สอบถามถึงคุณสมบัติของข้อมูลเตือนภัยที่ต้องการจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดังแสดงในรูปที่ 4-11 โดยพบว่า ผู้คนต้องการข้อมูลการเตือนภัยที่มาจากแหล่งที่มีความน่าเชื่อถือ (ร้อยละ 29.02) รองลงมา คือ ทันต่อสถานการณ์ (ร้อยละ 27.36) มีความแม่นยำในการคาดการณ์ (ร้อยละ 24.04) และ มีความถูกต้องของการรายงานผล (ร้อยละ 19.57) ตามลำดับ



รูปที่ 4-11 คุณสมบัติของข้อมูลเตือนภัย

- ช่องทางแจ้งข้อมูลเตือนภัย

รูปที่ 4-12 แสดงช่องทางที่กลุ่มตัวอย่างต้องการให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องแจ้งข้อมูลเตือนภัย ซึ่งพบว่า ช่องทางที่ต้องการมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ ชักธงแดง (ร้อยละ 20.48) จุดพลุ (ร้อยละ 18.24) และ วิทยูกระจายเสียง (ร้อยละ 15.79) ตามลำดับ



รูปที่ 4-12 ช่องทางการแจ้งข้อมูลเตือนภัย

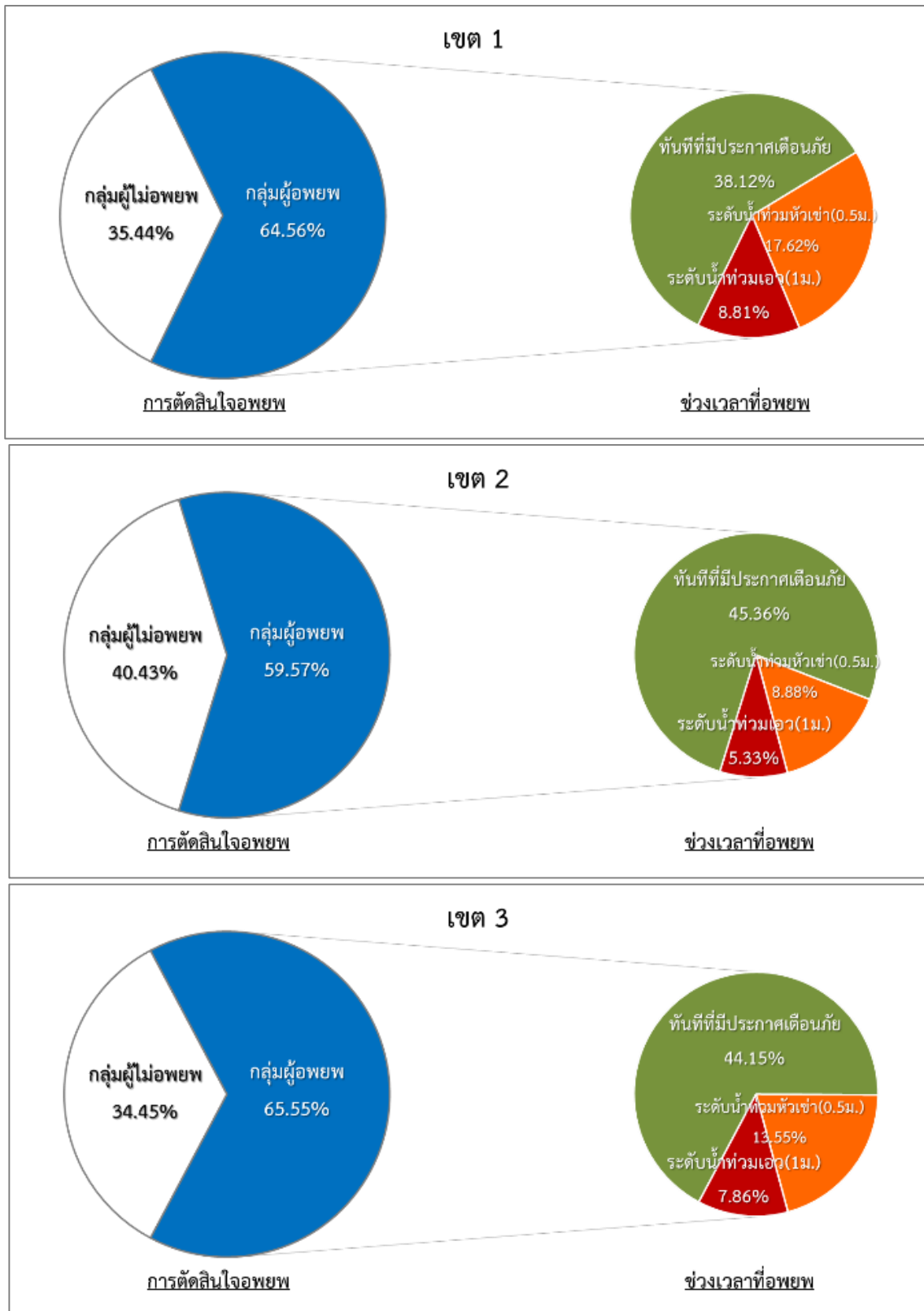
4.3.2 ช่วงขณะเกิดเหตุน้ำท่วม

- การตัดสินใจอพยพและช่วงเวลาที่ยอพยพ

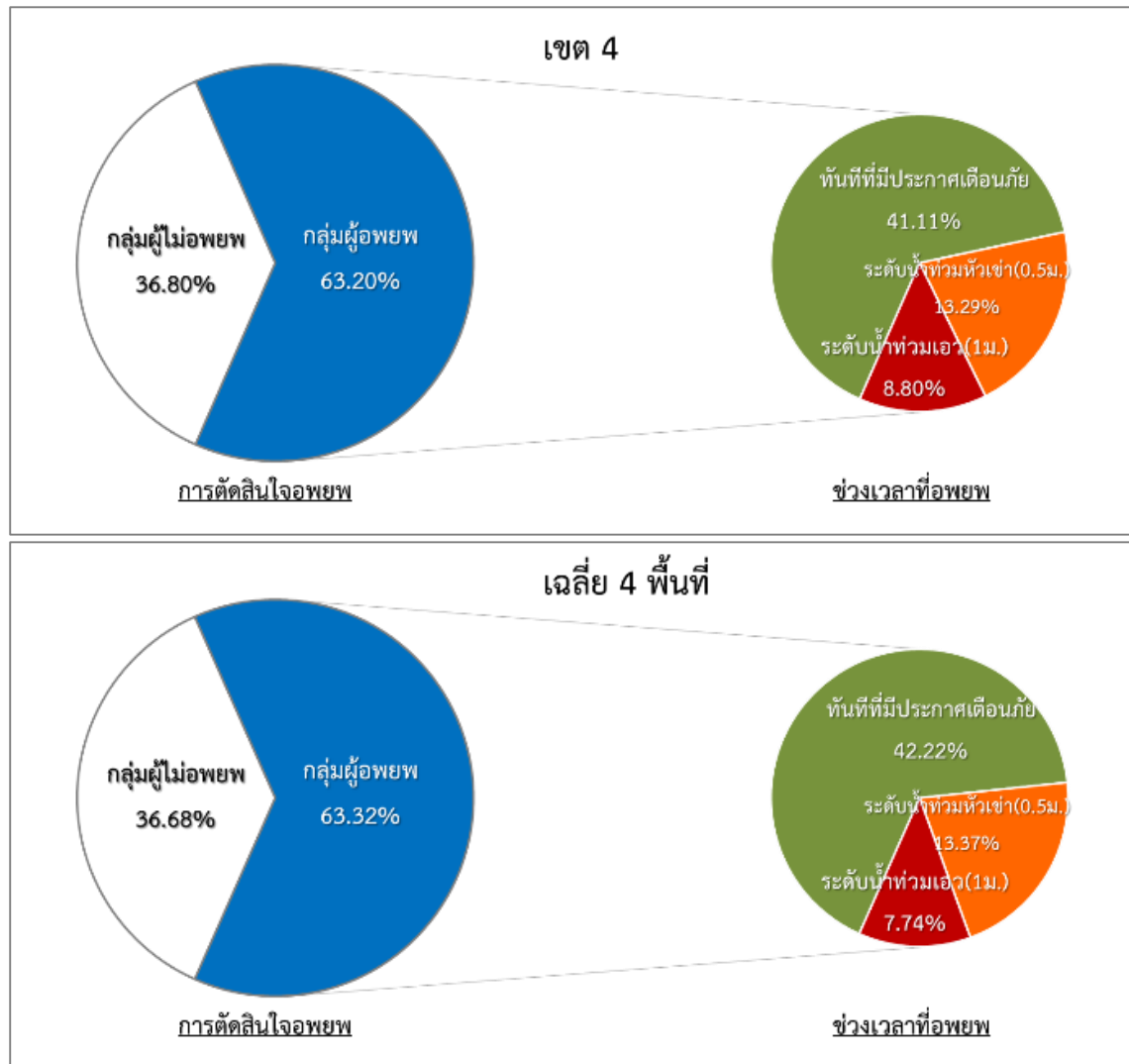
ในการตัดสินใจอพยพขณะเกิดเหตุน้ำท่วม จากรูปที่ 4-13 พบว่า ประชาชนในแต่ละเขตมีกลุ่มผู้ตัดสินใจอพยพมากกว่าไม่อพยพ อย่างไรก็ตาม การอพยพในแต่ละช่วงเวลาอาจแตกต่างกันไปในแต่ละเขต โดยภาพรวมพบว่า มีผู้อพยพถึงร้อยละ 63.32 และผู้ไม่อพยพร้อยละ 36.68

สำหรับกลุ่มผู้อพยพ ร้อยละ 42.22 อพยพทันทีเมื่อมีประกาศเตือนภัย รองลงมา คือ ร้อยละ 13.37 อพยพเมื่อระดับน้ำท่วมหัวเข่า (ประมาณ 50 เซนติเมตร) และ ร้อยละ 7.74 อพยพเมื่อระดับน้ำท่วมเอว (ประมาณ 1 เมตร) โดยเมื่อสอบถามถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกอพยพ พบว่า ร้อยละ 32.11 พิจารณาความปลอดภัย เป็นหลัก รองลงมา ความรวดเร็ว (ร้อยละ 28.11) ความเป็นระเบียบ (ร้อยละ 12.41) ความพร้อม (ร้อยละ 10.48) มีการให้บริการของศูนย์อพยพที่มีอย่างทั่วถึง (ร้อยละ 8.93) และ ความเป็นระบบของศูนย์อพยพ (ร้อยละ 7.96)

สำหรับกลุ่มผู้ไม่อพยพ จากการสอบถามสาเหตุของการไม่อพยพ พบว่า ส่วนใหญ่ ร้อยละ 40.64 เป็นห่วงทรัพย์สิน รองลงมา คือ ร้อยละ 31.75 พิจารณาแล้วเห็นว่าที่อื่นๆ ไม่สบายเหมือนบ้าน และ ร้อยละ 27.61 เป็นห่วงคนชรา/ผู้พิการ/ผู้ป่วย



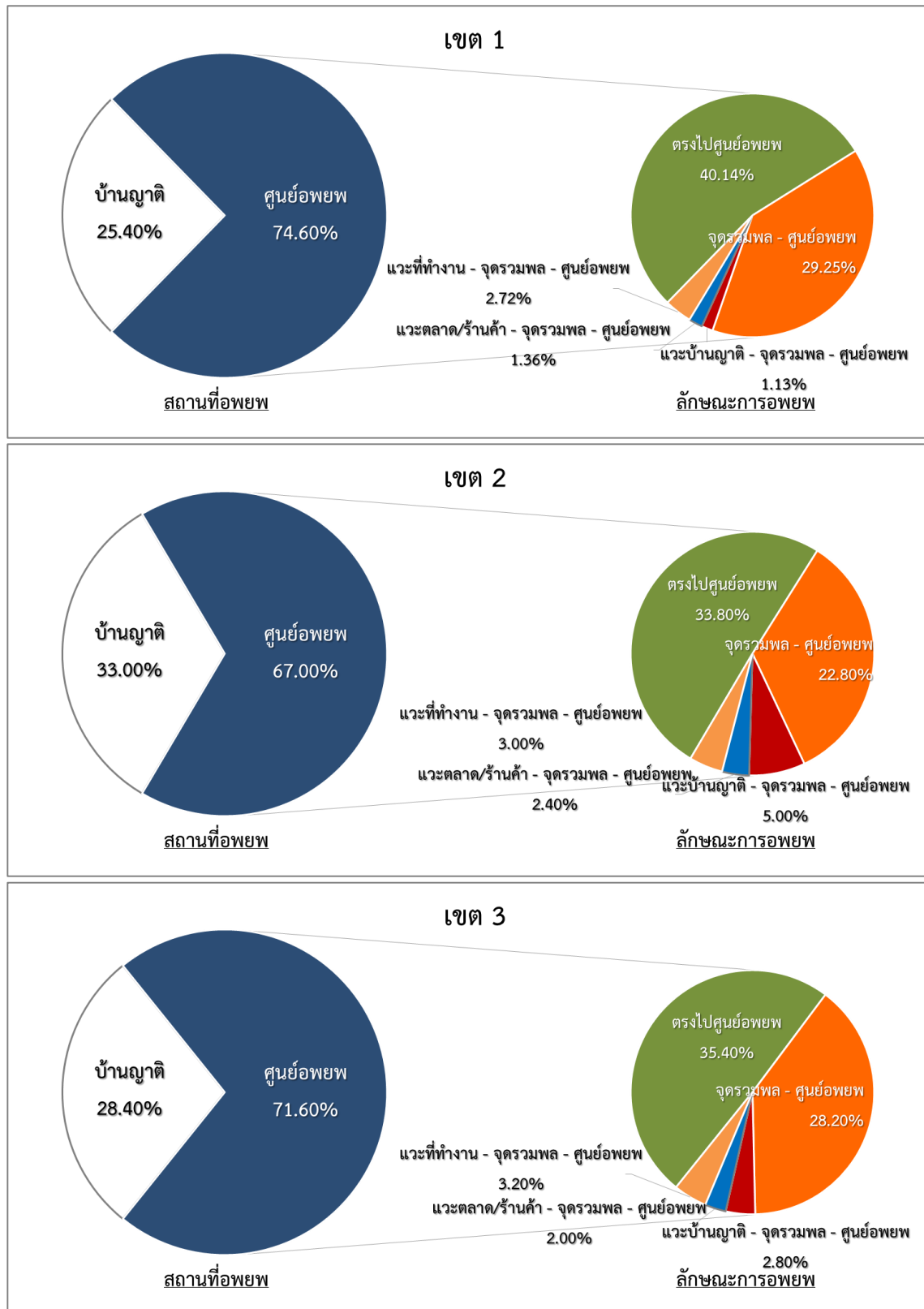
รูปที่ 4-13 การตัดสินใจอพยพและช่วงเวลาที่อยู่พพ



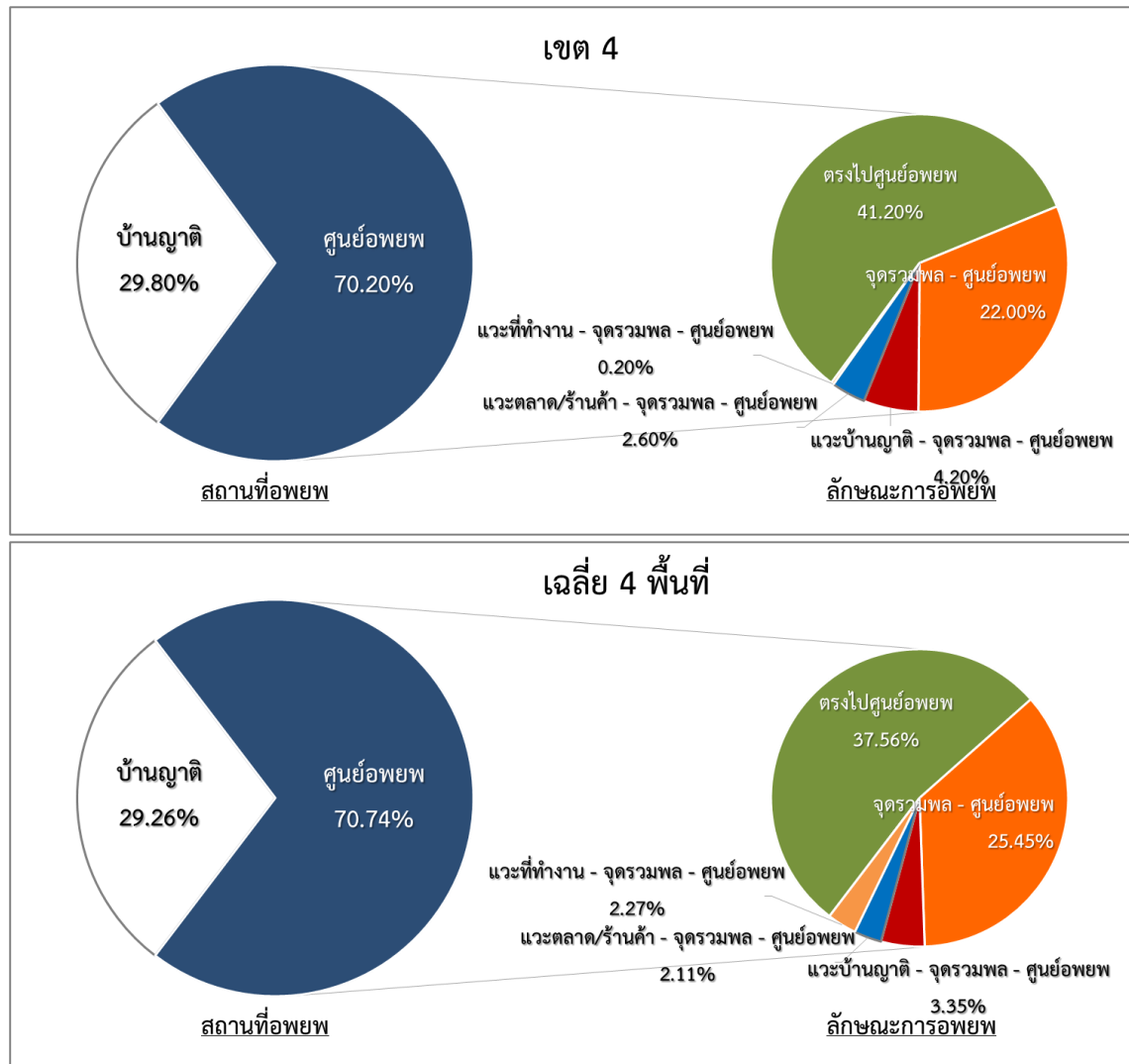
รูปที่ 4-13 การตัดสินใจอพยพและช่วงเวลาที่อพยพ (ต่อ)

- สถานที่และลักษณะการอพยพ

จากรูปที่ 4-14 พบว่า ผู้คนในแต่ละเขตมีส่วนร่วมการอพยพไปยังศูนย์อพยพที่อยู่ใกล้บ้านมากกว่าบ้านญาติที่อยู่นอกพื้นที่น้ำท่วม โดยเฉลี่ยมีผู้อพยพไปยังศูนย์อพยพร้อยละ 70.74 ซึ่งประกอบด้วยอพยพตรงไปยังศูนย์อพยพ (ร้อยละ 37.56) ไปรวมที่จุดรวมพลก่อนไปศูนย์อพยพ (ร้อยละ 25.45) และบ้านญาติแล้วไปจุดรวมพลก่อนไปศูนย์อพยพ (ร้อยละ 3.35) แวะตลาด/ร้านค้าแล้วไปจุดรวมพลก่อนไปศูนย์อพยพ (ร้อยละ 2.27) และ แวะที่ทำงานแล้วไปจุดรวมพลก่อนไปศูนย์อพยพ (ร้อยละ 2.11) ตามลำดับ



รูปที่ 4-14 สถานที่และลักษณะการอพยพ



รูปที่ 4-14 สถานที่และลักษณะการอพยพ (ต่อ)

- จำนวนผู้อพยพ

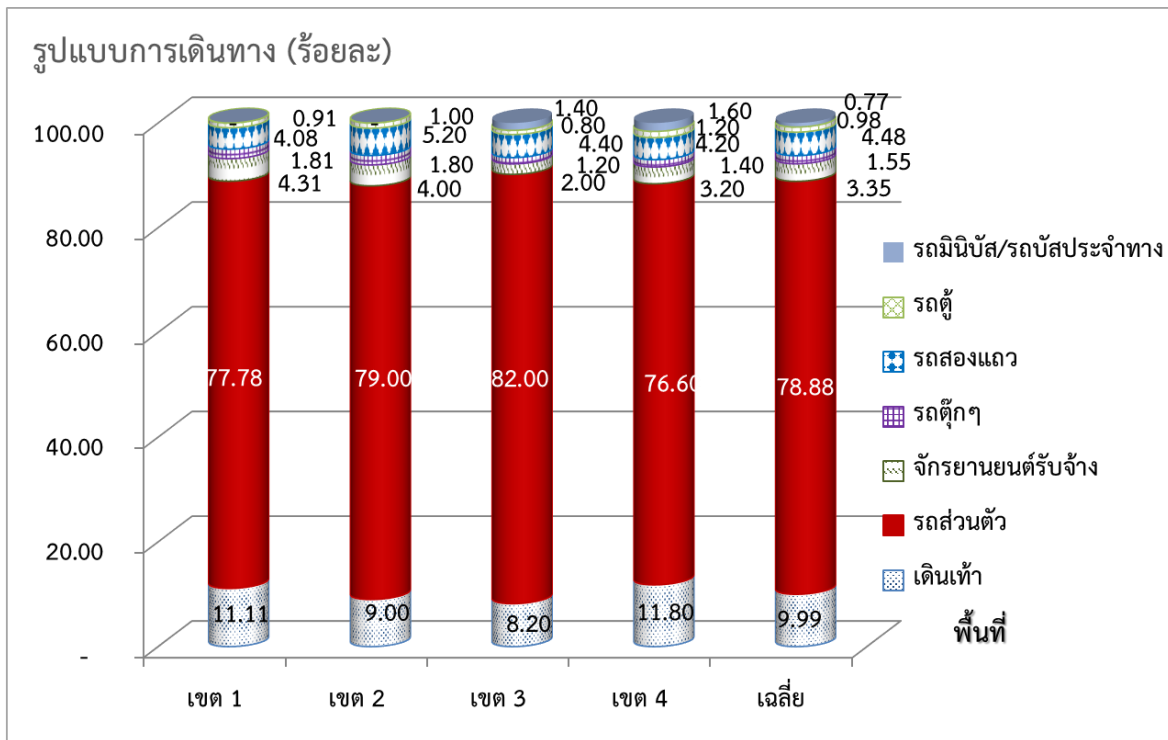
สำหรับจำนวนผู้อพยพต่อครัวเรือนดังแสดงในตารางที่ 4-4 พบว่า จำนวนผู้อพยพเฉลี่ยในแต่ละเขตอยู่ระหว่าง 2.95-3.57 คนต่อครัวเรือน ส่วนจำนวนผู้อพยพสูงสุดของแต่ละเขตอยู่ระหว่าง 8.30-14.37 คนต่อครัวเรือน โดยภาพรวมจากทั้งสี่เขต พบว่า จำนวนผู้อพยพเฉลี่ยและสูงสุด มีค่าเท่ากับ 3.17 และ 11.94 คนต่อครัวเรือน ตามลำดับ

ตารางที่ 4-4 จำนวนผู้อพยพต่อครัวเรือน (หน่วย: คน)

จำนวนผู้อพยพต่อครัวเรือน	เขต 1	เขต 2	เขต 3	เขต 4	เฉลี่ย
ค่าสูงสุด	8.30	10.82	14.28	14.37	11.94
ค่าเฉลี่ย	2.95	3.12	3.57	3.04	3.17

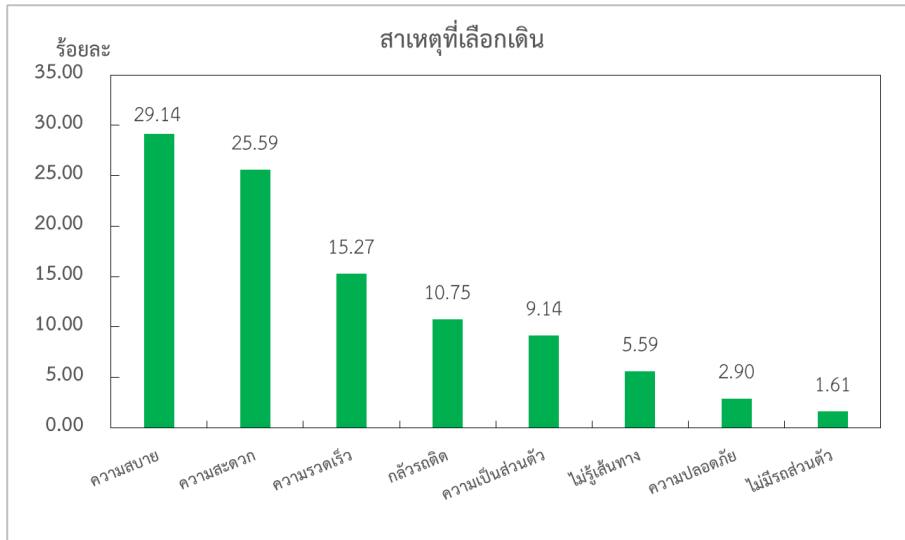
- รูปแบบการอพยพ

ส่วนรูปแบบการเดินทางหลักในการอพยพดังแสดงในรูปที่ 4-15 พบว่า ประชาชนส่วนใหญ่ยังคงนิยมใช้รถส่วนตัวในการอพยพ (ร้อยละ 78.88) รองลงมา คือ รถสาธารณะ (รถจักรยานยนต์รับจ้าง รถตุ๊กๆ รถสองแถว รถตู้ และรถมินิบัส/รถบัสประจำทาง) คิดเป็นร้อยละ 11.13 ส่วนที่เหลือร้อยละ 9.99 อพยพด้วยการเดินเท้าเป็นหลัก

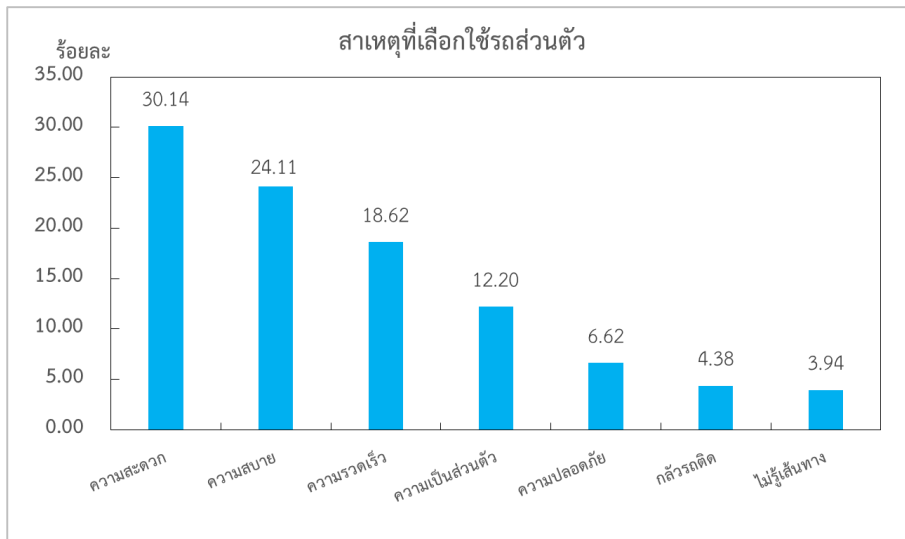


รูปที่ 4-15 รูปแบบการเดินทางหลักในการอพยพ

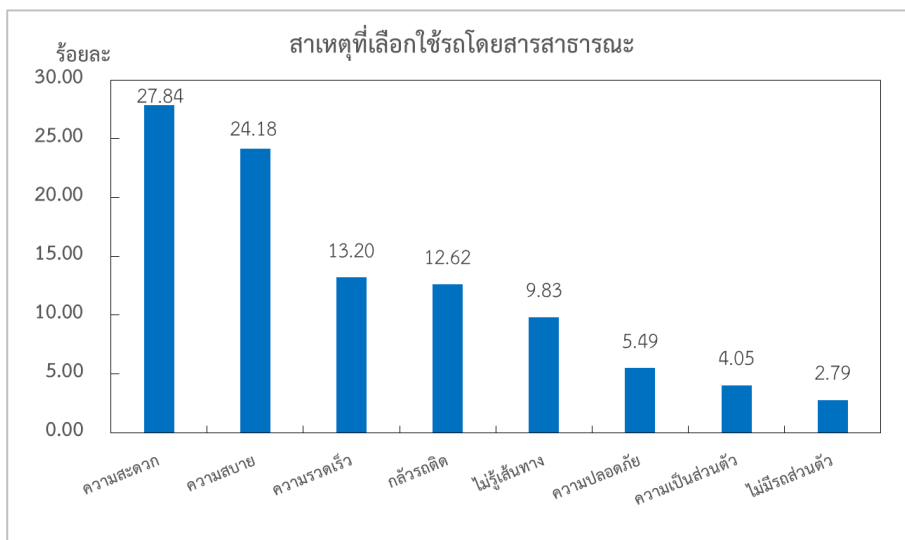
ผู้วิจัยได้สอบถามปัจจัยที่ส่งผลการเลือกรูปแบบการเดินทางหลักในการอพยพข้างต้น ดังรูปที่ 4-16 พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกรูปแบบการเดินทางของกลุ่มผู้เดินเท้าในการอพยพ ได้แก่ ความสบาย (ร้อยละ 29.14) ความสะดวก (ร้อยละ 25.59) ความรวดเร็ว (ร้อยละ 15.27) กลัวรถติด (ร้อยละ 10.75) ความเป็นส่วนตัว (ร้อยละ 9.14) ไม่รู้เส้นทาง (ร้อยละ 5.59) ความปลอดภัย (ร้อยละ 2.90) และ ไม่มีรถส่วนตัว (ร้อยละ 1.61) ตามลำดับ ส่วนกลุ่มผู้ใช้รถส่วนตัว พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกรูปแบบการเดินทาง ได้แก่ ความสะดวก (ร้อยละ 30.14) ความสบาย (ร้อยละ 24.11) ความรวดเร็ว (ร้อยละ 18.62) ความเป็นส่วนตัว (ร้อยละ 12.20) ความปลอดภัย (ร้อยละ 6.62) กลัวรถติด (ร้อยละ 4.38) และ ไม่รู้เส้นทาง (ร้อยละ 3.94) ตามลำดับ สำหรับกลุ่มผู้ใช้รถสาธารณะ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกรูปแบบการเดินทาง ได้แก่ ความสะดวก (ร้อยละ 27.84) ความสบาย (ร้อยละ 24.18) ความรวดเร็ว (ร้อยละ 13.20) กลัวรถติด (ร้อยละ 12.62) ไม่รู้เส้นทาง (ร้อยละ 9.83) ความปลอดภัย (ร้อยละ 5.49) ความเป็นส่วนตัว (ร้อยละ 4.05) และ ไม่มีรถส่วนตัว (ร้อยละ 2.79) ตามลำดับ



ก) กลุ่มผู้เดินเท้า



ข) กลุ่มผู้ใช้รถส่วนตัว

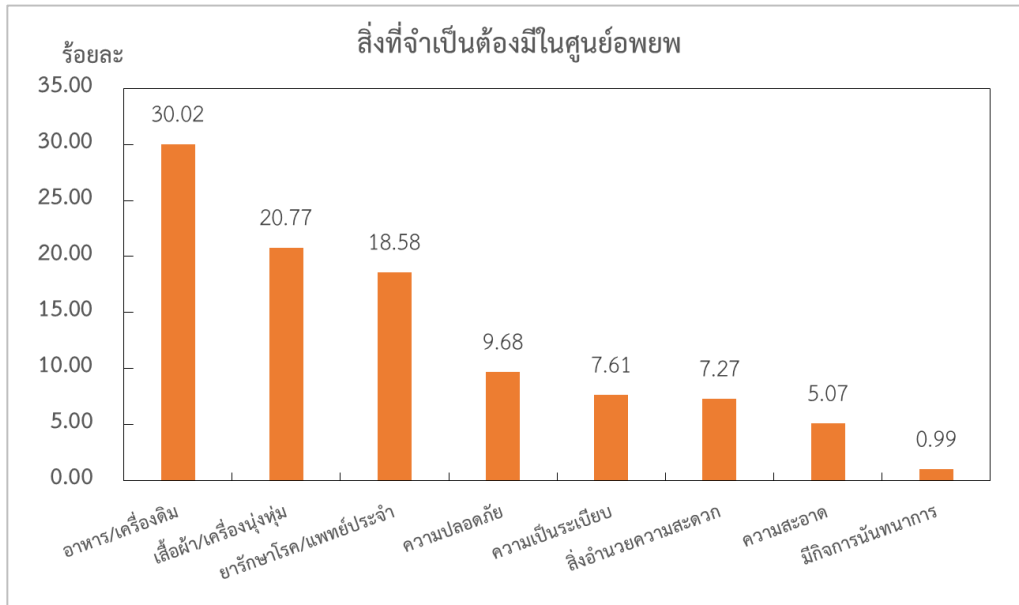


ค) กลุ่มผู้ใช้รถสาธารณะ

รูปที่ 4-16 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกรูปแบบการเดินทางหลักในการอพยพ

- สิ่งที่จำเป็นต้องมีในศูนย์อพยพ

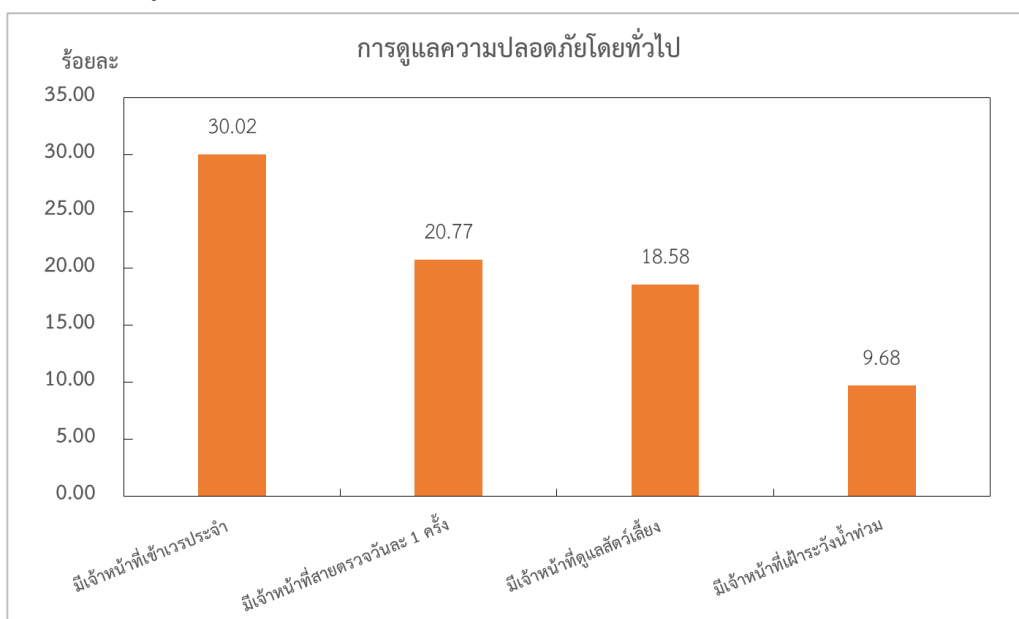
ผู้วิจัยได้สอบถามสิ่งจำเป็นที่ต้องการให้มีในศูนย์อพยพ ดังรูปที่ 4-17 พบว่า สิ่งที่เป็น และต้องการให้มีในศูนย์อพยพ 3 อันดับแรก คือ อาหาร/เครื่องดื่ม (ร้อยละ 30.02) เสื้อผ้า/เครื่องนุ่งห่ม (ร้อยละ 20.77) และ ยารักษาโรค/แพทย์ประจำ (ร้อยละ 18.58) ตามลำดับ



รูปที่ 4-17 สิ่งที่ต้องการจำเป็นต้องมีในศูนย์อพยพ

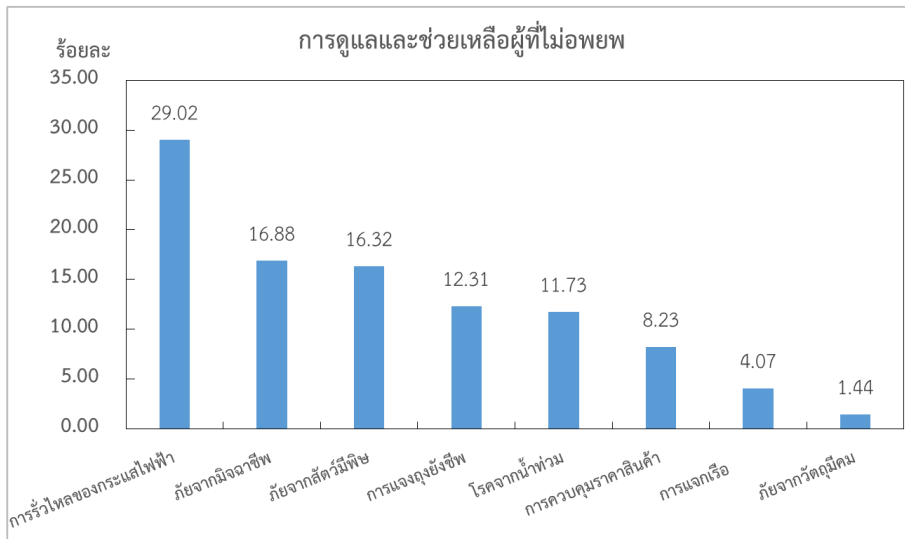
- การดูแลความปลอดภัยโดยทั่วไป

กลุ่มตัวอย่างมีความเห็นเกี่ยวกับความปลอดภัยโดยทั่วไป 4 อันดับแรก ดังรูปที่ 4-18 พบว่า ต้องการให้มีเจ้าหน้าที่เข้าเวรยามประจำ (ร้อยละ 30.02) มีเจ้าหน้าที่สายตรวจวันละ 1 ครั้ง (ร้อยละ 20.77) มีเจ้าหน้าที่ดูแลสัตว์เลี้ยง (ร้อยละ 18.58) และ มีเจ้าหน้าที่คอยเฝ้าระวังน้ำท่วม (ร้อยละ 9.68)



รูปที่ 4-18 การดูแลความปลอดภัยโดยทั่วไป

สำหรับผู้ที่ไม่พวยมีความต้องการให้ทางราชการดูแลและช่วยเหลือใน 3 ประเด็นแรก ดังรูปที่ 4-19 ได้แก่ การรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า (ร้อยละ 29.02) ภัยจากมัจฉาชีพ (ร้อยละ 16.88) และ ภัยจากสัตว์มีพิษ (ร้อยละ 16.32) ตามลำดับ

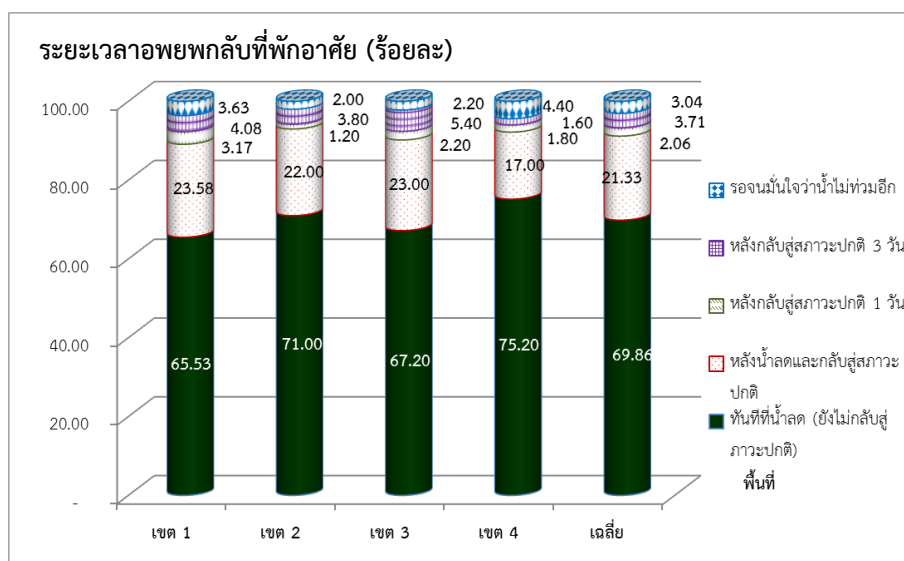


รูปที่ 4-19 การดูแลและช่วยเหลือผู้ที่ไม่พวย

4.3.3 ช่วงหลังเกิดเหตุน้ำท่วม

- เวลาในการอพยพกลับที่พักอาศัย

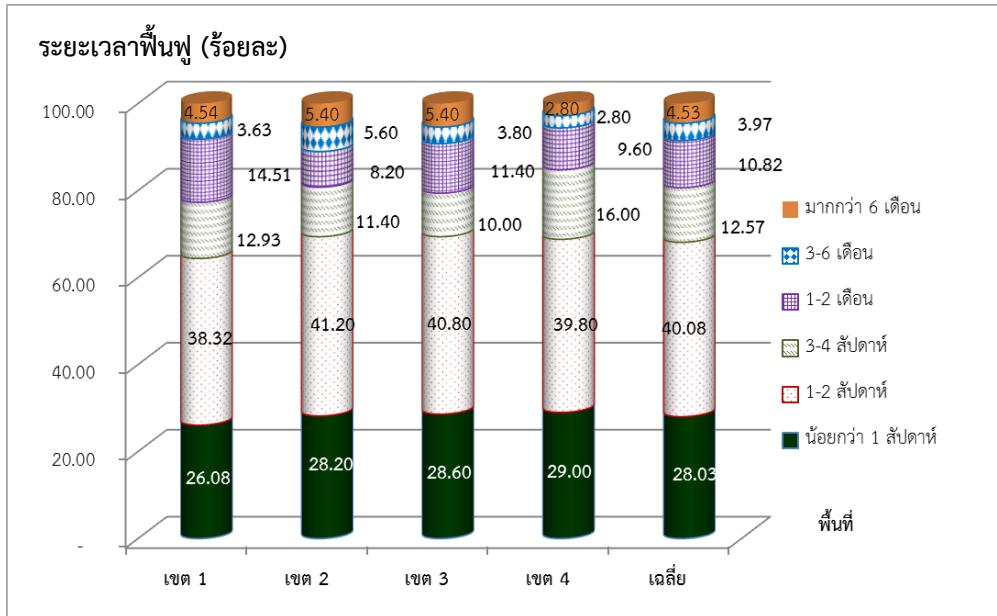
หลังจากเหตุน้ำท่วม จากข้อมูลเฉลี่ยของทั้งสี่เขตในรูปที่ 4-20 พบว่า ประชาชนส่วนใหญ่ ร้อยละ 69.86 กลับที่พักอาศัยทันทีที่น้ำเริ่มลดถึงแม้ระดับน้ำจะยังไม่กลับสู่สภาวะปกติก็ตาม รองลงมา คือ กลับหลังจากน้ำลดและระดับน้ำกลับสู่สภาวะปกติแล้ว (ร้อยละ 21.33) กลับหลังจากระดับน้ำกลับสู่สภาวะปกติ 3 วัน (ร้อยละ 3.71) รองจนมั่นใจว่าน้ำไม่ท่วมอีก (ร้อยละ 3.04) และ กลับหลังระดับน้ำกลับสู่สภาวะปกติ 1 วัน (ร้อยละ 2.06) ตามลำดับ



รูปที่ 4-20 เวลาในการอพยพกลับสู่ที่พักอาศัย

- ระยะเวลาฟื้นฟูการใช้ชีวิตปกติ

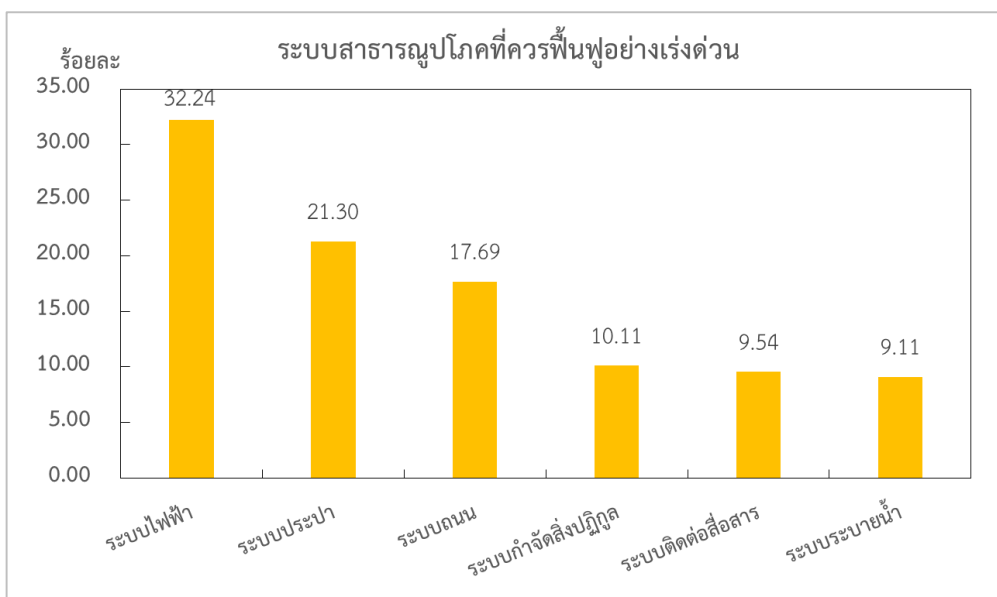
จากการสอบถามระยะเวลาฟื้นฟูเพื่อกลับสู่การใช้ชีวิตปกติของประชากรทั้งสี่เขตในรูปแบบที่ 4-21 พบว่า ส่วนใหญ่ร้อยละ 40.08 ใช้เวลา 1-2 สัปดาห์ รองลงมา คือ น้อยกว่า 1 สัปดาห์ (ร้อยละ 28.03) 3-4 สัปดาห์ (ร้อยละ 12.57) 1-2 เดือน (ร้อยละ 10.82) ส่วนที่ใช้เวลา 3-6 เดือน และมากกว่า 6 เดือน มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 3.97 และ 4.53 ตามลำดับ



รูปที่ 4-21 ระยะเวลาที่กลับสู่การดำเนินชีวิตตามปกติ

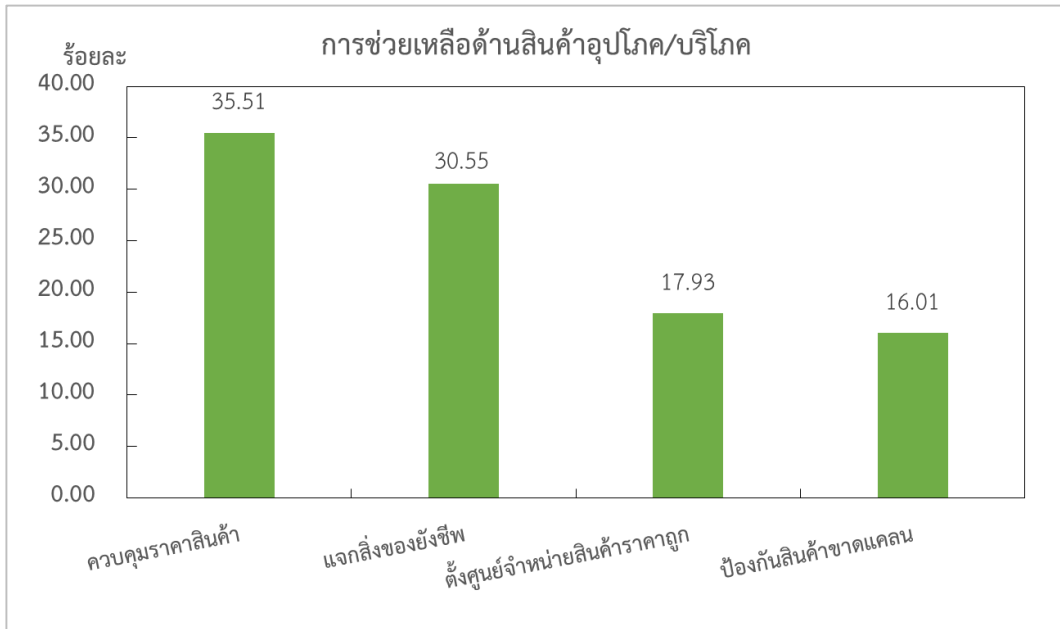
- ประเด็นการให้ความช่วยเหลือหลังน้ำลด

กลุ่มตัวอย่างมีความเห็นต่อการฟื้นฟูระบบสาธารณูปโภค ดังรูปที่ 4-22 โดยเห็นว่า ระบบไฟฟ้า ประปา และถนน เป็นระบบสาธารณูปโภคที่ทางการควรฟื้นฟูอย่างเร่งด่วน 3 อันดับแรก



รูปที่ 4-22 ระบบสาธารณูปโภคที่ควรฟื้นฟูอย่างเร่งด่วน

สำหรับการขอความช่วยเหลือด้านสินค้าอุปโภคและบริโภคเพื่อการดำรงชีวิต ดังรูปที่ 4-23 พบว่า กลุ่มตัวอย่าง ร้อยละ 35.51 เห็นว่า ควรควบคุมราคาสินค้า ร้อยละ 30.55 เห็นว่า ควรมีการแจกสิ่งของที่จำเป็นต่อการยังชีพ ร้อยละ 17.93 เห็นว่า ควรมีการตั้งศูนย์จำหน่ายสินค้าราคาถูก และ ร้อยละ 16.01 เห็นว่า ควรมีแผนป้องกันไม่ให้สินค้าขาดแคลน



รูปที่ 4-23 การช่วยเหลือด้านสินค้าอุปโภคและบริโภค

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมการเดินทางและอพยพจะเป็นประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพน้ำท่วมในหัวข้อถัดไป และยังเป็นแนวทางในการวางแผนของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ความช่วยเหลือแก่ผู้คนที่ประสบภัยน้ำท่วมในอนาคต

4.4 การสร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพช่วงน้ำท่วม

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพช่วงน้ำท่วม โดยพิจารณาให้มีความสำคัญของการอพยพก่อนน้ำจะท่วมเป็นหลัก เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่ประชาชนตื่นตัวมีการเดินทางเพื่อเตรียมพร้อมรับภัยน้ำท่วม ไม่ว่าจะเป็นการเดินทางเพื่อจัดหาอาหารและเสบียง ย้ายทรัพย์สินที่มีค่า หรือบางส่วนอาจมีการอพยพออกนอกพื้นที่เสี่ยงภัย ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Logistic regression analysis) เพื่อสร้างแบบจำลองดังกล่าวซึ่งได้อธิบายเหตุผลไว้แล้วในหัวข้อ 2.2

การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกโดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ แล้วนำแบบจำลองที่ได้ไปพยากรณ์ตัวแปรตามเมื่อทราบค่าตัวแปรอิสระ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548) การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ในกรณีที่มีตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ Binary logistic และ Multinomial logistic โดย Binary logistic เป็นการวิเคราะห์เมื่อตัวแปรตาม Y มีค่าได้เพียง 2 ค่า เช่น อพยพ=1 และ ไม่อพยพ=0 เป็นต้น ส่วน Multinomial logistic เป็นการวิเคราะห์เมื่อตัวแปรตาม Y มีค่าได้มากกว่า 2 ค่า เช่น เดินเท้า=1 ใช้รถส่วนตัว=2 และ ใช้รถสาธารณะ=3 เป็นต้น ในการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม $y(m, i)$ และตัวแปรอิสระ $x_{p,i}$ ของตัวแปรอิสระ p สำหรับบุคคล i ที่เลือกทางเลือก m ดังสมการ 4-1

$$y(m, i) = \beta_{0,m} + \beta_{1,m}x_{1,i} + \beta_{2,m}x_{2,i} + \dots + \beta_{p,m}x_{p,i} \quad \text{สมการ 4-1}$$

โดยที่ $\beta_{p,m}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ p ที่เลือกทางเลือก m

กำหนดให้ β_m เป็นเซตของค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรอิสระ และ \mathbf{X}_i เป็นเซตของตัวแปรอิสระ โอกาสที่บุคคล i จะเลือกอพยพ ($m=1$) สามารถคำนวณได้จาก Logistic response function ดังสมการ 4-2

$$\Pr(Y_i = 1) = \frac{e^{\beta_1 \cdot \mathbf{x}_i}}{1 + e^{\beta_1 \cdot \mathbf{x}_i}} \quad \text{สมการ 4-2}$$

ส่วนโอกาสที่บุคคลนั้นจะไม่เลือกอพยพ ($m=0$) คำนวณได้จาก $1 - \Pr(Y_i = 1)$

ในการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกสามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ 4-1 ได้โดยใช้วิธี Maximum likelihood ซึ่งเป็นการคำนวณซ้ำเพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ประมาณการได้ ทำให้ค่าโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์มีความใกล้เคียงกับข้อมูลความเป็นจริงมากที่สุด

สำหรับการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพของการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สรุปตัวแปรอิสระและนิยามของตัวแปรต่างๆ ตลอดจนร้อยละและค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สามารถได้จากหัวข้อก่อนหน้าไว้ในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 นิยามตัวแปรอิสระและข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพหนีน้ำท่วม

ลำดับ	ตัวแปร	หมวดหมู่ของตัวแปร	พื้นที่				
			เขต 1	เขต 2	เขต 3	เขต 4	รวม 4 เขต
1	เพศ (GENDER)	ชาย (GENDER=1)	49.8%	39.5%	50.8%	55.8%	46.1%
		หญิง (GENDER=2)	50.3%	60.5%	49.3%	44.3%	53.9%
2	อายุ (AGE)	ต่ำกว่า 20 ปี (AGE=1)	12.0%	11.3%	8.5%	7.8%	9.9%
		21 – 30 ปี (AGE=2)	31.5%	42.8%	43.3%	39.5%	39.9%
		31 – 40 ปี (AGE=3)	23.8%	21.5%	23.0%	25.5%	23.4%
		41 – 50 ปี (AGE=4)	17.8%	13.3%	15.8%	16.0%	15.7%
		51 – 60 ปี (AGE=5)	9.5%	9.5%	8.8%	9.5%	9.3%
		มากกว่า 60 ปี (AGE=6)	5.5%	1.8%	0.8%	1.8%	2.4%
3	อาชีพ (OCCUP)	ไม่ได้ทำงาน (OCCUP=1)	6.5%	3.5%	6.5%	5.5%	5.5%
		นักเรียน/นักศึกษา (OCCUP=2)	23.0%	1.8%	23.0%	25.3%	25.6%
		ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว (OCCUP=3)	18.5%	13.3%	18.5%	20.8%	18.9%
		รับจ้างทั่วไป (OCCUP=4)	13.8%	4.3%	13.8%	15.8%	14.0%
		แม่บ้าน (OCCUP=5)	8.3%	14.5%	8.3%	9.3%	10.1%
		เกษตรกร (OCCUP=6)	3.5%	12.8%	3.5%	3.8%	3.8%
		ข้าราชการ/พนักงาน (OCCUP=7)	21.8%	17.8%	21.8%	16.5%	18.3%
		เกษียณ (OCCUP=8)	4.8%	31.0%	4.8%	3.3%	3.6%
4	รายได้ต่อเดือน (INCOME)	ไม่มีรายได้ (INCOME=1)	19.5%	26.0%	27.8%	24.8%	24.5%
		น้อยกว่า 5,000 บาท (INCOME=2)	10.3%	10.0%	11.3%	10.3%	10.4%
		5,000–9,999 บาท (INCOME=3)	18.0%	17.0%	17.0%	15.0%	16.8%
		10,000–14,999 บาท (INCOME=4)	19.8%	22.0%	19.8%	18.8%	20.1%
		15,000–19,999 บาท (INCOME=5)	14.5%	15.5%	14.8%	22.0%	16.7%
		20,000–24,999 บาท (INCOME=6)	6.3%	4.3%	4.3%	5.5%	5.1%
		25,000–29,999 บาท (INCOME=7)	5.5%	4.3%	4.3%	1.5%	3.9%
		มากกว่า 30,000 บาท (INCOME=8)	6.1%	1.0%	1.0%	2.1%	2.5%

ตารางที่ 4-5 นิยามตัวแปรอิสระและข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพน้ำท่วม (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	หมวดหมู่ของตัวแปร	พื้นที่				
			เขต 1	เขต 2	เขต 3	เขต 4	รวม 4 เขต
5	จำนวนเด็กไม่เกิน 12 ปี (CHILD)	▪ ค่าเฉลี่ย	0.75	0.56	0.70	0.59	0.65
6	จำนวนผู้ใหญ่ไม่เกิน 60 ปี (ADULT)	▪ ค่าเฉลี่ย	2.13	2.29	2.14	2.21	2.19
7	จำนวนผู้สูงอายุมากกว่า 60 ปี (ELDER)	▪ ค่าเฉลี่ย	0.37	0.36	0.49	0.33	0.39
8	จำนวนผู้พิการ/ทุพพลภาพ (DISABILITY)	▪ ค่าเฉลี่ย	0.05	0.02	0.04	0.04	0.04
9	การครอบครองยานพาหนะ (VEH)	▪ ไม่มี (VEH=0) ▪ มี (VEH=1)	6.5% 93.5%	4.5% 95.5%	7.0% 93.0%	4.5% 95.5%	5.6% 94.4%
10	ช่วงเวลาที่อยู่ (TIME)	▪ ทันทีหลังมีสัญญาณเตือน (TIME=1) ▪ ระดับน้ำน้อยกว่า 0.5 ม. (TIME=2) ▪ ระดับน้ำ 0.5-1.0 ม. (TIME=3) ▪ ระดับน้ำมากกว่า 1.0 ม. (TIME=4)	74.1% 17.9% 5.8% 2.2%	80.3% 11.2% 4.5% 4.0%	84.1% 10.8% 3.0% 2.1%	74.6% 15.3% 7.6% 2.5%	78.3% 13.8% 5.2% 2.7%

หมายเหตุ ตัวแปรลำดับที่ 5-8 เป็นตัวแปรแบบต่อเนื่อง (Continuous variables) โดยค่าต่ำสุดของตัวแปรทุกตัวเท่ากับ 0

จากข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามทั้ง 1,600 ตัวอย่าง สามารถนำมาสร้างแบบจำลองได้ 2 ประเภท คือ แบบจำลองการตัดสินใจอพยพช่วงน้ำท่วม และแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางสำหรับการอพยพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 แบบจำลองการตัดสินใจอพยพช่วงน้ำท่วม

ในการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพน้ำท่วม ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานว่า ปัจจัยส่วนบุคคล (เพศ อายุ และรายได้) และปัจจัยด้านครอบครัว (จำนวนเด็ก ผู้ใหญ่ ผู้สูงอายุ และผู้ทุพพลภาพในครัวเรือน และการครอบครองยานพาหนะ) เป็นตัวแปรอิสระ (ดังตารางที่ 4-5) และส่งผลต่อตัวแปรในการตัดสินใจอพยพน้ำท่วม (อพยพ=1, ไม่อพยพน้ำท่วม=0)

ผู้วิจัยได้ใช้ Binary logistic regression ในการสร้างแบบจำลองข้างต้น และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้ Hosmer-Lemeshow test, Cox and Snell R^2 , Nagelkerke R^2 และร้อยละการคาดการณ์ที่ถูกต้อง จากข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่สำรวจได้สามารถสร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพโดยจำแนกตามอาชีพต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4-6

จากตารางที่ 4-6 พบว่า ในภาพรวมของกลุ่มตัวอย่างที่สุ่มสำรวจซึ่งประกอบด้วย 8 กลุ่มอาชีพ (รายละเอียดในตารางที่ 4-5) มีเพียง 5 กลุ่มอาชีพเท่านั้นที่แบบจำลองมีนัยสำคัญและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ คือ แบบจำลอง 0.2-0.6 (0.=อาชีพ) ส่วนกลุ่มอาชีพที่เหลืออีก 3 กลุ่ม (นักเรียน แม่บ้าน และเกษตรกร) แบบจำลองไม่มีนัยสำคัญเพียงพอที่จะนำมาใช้งานได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากจำนวนตัวอย่างของกลุ่มอาชีพดังกล่าวมีจำนวนน้อยหรืออาจไม่กระจายตัวเพียงพอ ซึ่งเป็นประเด็นที่งานวิจัยในอนาคตสามารถเพิ่มเติมในส่วนนี้ได้ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลอง 0.1 ขึ้นมาเพื่อเป็นแบบจำลองรวมซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ในกรณีที่ไม่ทราบอาชีพของประชากร โดยแบบจำลองดังกล่าวสร้างมาจากข้อมูลของทุกอาชีพ

จากแบบจำลองทั้งหก พบว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกอพยพ/ไม่อพยพของแต่ละอาชีพมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ตัวแปรรายได้ ไม่ได้ส่งผลต่อการตัดสินใจดังกล่าวในทุกแบบจำลอง

เมื่อพิจารณาแบบจำลอง 0.1 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับแบบจำลองดังกล่าว คือ เพศ อายุ จำนวนเด็ก จำนวนผู้ใหญ่ จำนวนผู้สูงอายุ และการครอบครองยานพาหนะ โดยเครื่องหมายลบของสัมประสิทธิ์ตัวแปรเพศหมายความว่า เพศชาย มีแนวโน้มที่จะอพยพมากกว่าเพศหญิง ส่วนเครื่องหมายลบของสัมประสิทธิ์ตัวแปรจำนวนเด็กและจำนวนผู้สูงอายุสื่อถึงโอกาสที่คนจะอพยพหากในบ้านมีเด็ก หรือผู้สูงอายุจำนวนมากนั้นเป็นไปได้น้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากเป็นห่วงหรือมีความกังวลต่อกลุ่มคนดังกล่าวหากต้องอพยพ ในทางตรงกันข้ามเครื่องหมายบวกของสัมประสิทธิ์ตัวแปรอายุบ่งบอกว่า หากคนในกลุ่มผู้ใหญ่มีอายุมากขึ้นมีแนวโน้มที่จะอพยพสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากความสามารถในการตัดสินใจของผู้ใหญ่ที่มีอายุมากเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ใหญ่ที่มีอายุน้อยกว่า ส่วนเครื่องหมายบวกของสัมประสิทธิ์ตัวแปรจำนวนผู้ใหญ่สื่อถึงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของการอพยพร่วมกันเมื่อมีผู้ใหญ่ในบ้านจำนวนมาก และเครื่องหมายบวกของสัมประสิทธิ์ตัวแปรการครอบครองยานพาหนะ บ่งบอกว่า หากผู้คนมียานพาหนะส่วนตัวก็มีแนวโน้มที่จะอพยพมากขึ้น

ส่วนแบบจำลอง 0.2-0.6 สามารถอธิบายผลจากเครื่องหมายบวกของสัมประสิทธิ์ตัวแปรได้ในลักษณะที่คล้ายกับแบบจำลอง 0.1 อย่างไรก็ตาม ในแบบจำลอง 0.6 พบว่า ปัจจัยจำนวนผู้ทุพพลภาพส่งผลต่อการตัดสินใจโดยมีสัมประสิทธิ์เป็นลบหมายถึงหากมีผู้ทุพพลภาพในบ้านผู้คนมีแนวโน้มจะไม่อพยพ

ตารางที่ 4-6 แบบจำลองการตัดใจอพยพหนีน้ำท่วมจำแนกตามอาชีพต่างๆ

ตัวแปร	แบบจำลอง อ.1 รวมทุกอาชีพ		แบบจำลอง อ.2 ไม่ได้ทำงาน		แบบจำลอง อ.3 เกษียณ	
	β	Sig.	β	Sig.	β	Sig.
	ค่าคงที่	1.140	0.032	0.056	0.983	0.005
เพศ	-0.363	0.023*	-	-	-2.111	0.070**
อายุ	0.138	0.046*	0.764	0.028*	-	-
รายได้	-	-	-	-	-	-
จำนวนเด็กอายุน้อยกว่า 12 ปี	-0.2310	0.043*	-	-	-	-
จำนวนผู้ใหญ่ไม่เกิน 60 ปี	0.241	0.012*	-	-	-	-
จำนวนผู้สูงอายุมากกว่า 60 ปี	-0.218	0.051**	-1.549	0.066**	-	-
จำนวนผู้ทุพพลภาพ	-	-	-	-	-	-
การครอบครองยานพาหนะ	0.612	0.093**	-	-	-	-
Hosmer& Lemeshow Test (Sig.)	0.122		0.622		0.126	
Cox and Snell R^2	0.533		0.236		0.283	
Nagelkerke R^2	0.712		0.319		0.388	
ร้อยละการคาดการณ์ที่ถูกต้อง	60.1		71.1		68.0	

ตัวแปร	แบบจำลอง อ.4 ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว		แบบจำลอง อ.5 รับจ้างทั่วไป		แบบจำลอง อ.6 ข้าราชการ/ พนักงาน	
	β	Sig.	β	Sig.	β	Sig.
	ค่าคงที่	-1.835	0.146	1.725	0.099	0.293
เพศ	-	-	-1.101	0.010*	-	-
อายุ	0.636	0.004*	-	-	-	-
รายได้	-	-	-	-	-	-
จำนวนเด็กอายุน้อยกว่า 12 ปี	-0.586	0.092**	-	-	-0.653	0.046*
จำนวนผู้ใหญ่ไม่เกิน 60 ปี	0.562	0.029*	-	-	0.987	0.004*
จำนวนผู้สูงอายุมากกว่า 60 ปี	-0.989	0.008*	-	-	-4.124	0.003*
จำนวนผู้ทุพพลภาพ	-	-	-	-	-1.987	0.009*
การครอบครองยานพาหนะ	-	-	-	-	-	-
Hosmer& Lemeshow Test (Sig.)	0.303		0.144		0.069	
Cox and Snell R^2	0.227		0.091		0.167	
Nagelkerke R^2	0.303		0.121		0.240	
ร้อยละการคาดการณ์ที่ถูกต้อง	67.1		66.0		77.4	

- ไม่มีนัยสำคัญ; * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95%; ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 90%

4.4.2 แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางสำหรับการอพยพน้ำท่วม

การสร้างแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางของผู้อพยพน้ำท่วม ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ Multinomial logistic regression โดยกำหนดให้ M คือ จำนวนรูปแบบการเดินทางหลักสำหรับการอพยพ และ $m = 1, 2,$ และ 3 คือ การเดิน การใช้รถส่วนตัว (รถจักรยานยนต์ รถยนต์ และรถกระบะ) และ การใช้รถสาธารณะ (ตุ๊กๆ สองแถว รถตู้ และรถบัส) ตามลำดับ สำหรับการสร้างแบบจำลองดังกล่าวผู้วิจัยได้กำหนดให้การใช้รถส่วนตัวเป็น pivot choice ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณหาความน่าจะเป็นของการอพยพด้วยรูปแบบการเดินทางอื่น $M-1$ (การเดิน หรือ การใช้รถสาธารณะ) เปรียบเทียบกับการใช้รถส่วนตัว โดยสามารถคำนวณความน่าจะเป็นได้จากสมการ 4-3

$$\Pr(Y_i = M - 1) = \frac{e^{\beta_{M-1} \cdot x_i}}{1 + \sum_{m=1}^{M-1} e^{\beta_m \cdot x_i}} \quad \text{สมการ 4-3}$$

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางสำหรับการอพยพโดยแบ่งตามช่วงเวลา และจุดปลายทางของการอพยพ ผลดังแสดงในตารางที่ 4-7 และตารางที่ 4-8 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4-7 พบว่า ผู้วิจัยสามารถสร้างแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางสำหรับการอพยพตามช่วงเวลาได้เพียง 2 แบบจำลอง คือ แบบจำลอง ว.1 (ว.=เวลา) สำหรับการอพยพพื้นที่หลังได้รับการเตือนภัย และแบบจำลอง ว.2 สำหรับการอพยพเมื่อระดับน้ำท่วมบริเวณบ้านน้อยกว่า 50 ซม. ส่วนกรณีที่ระดับน้ำสูงกว่านี้ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้เนื่องจากข้อมูลจากการสัมภาษณ์มีน้อย

จากแบบจำลอง ว.1 พบว่า เพศ จำนวนเด็ก และการครอบครองยานพาหนะ เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเดินเป็นหลัก โดยเครื่องหมายบวกของสัมประสิทธิ์ตัวแปรเพศบ่งบอกว่าเพศชายมีแนวโน้มที่จะเดินเป็นหลัก ส่วนเครื่องหมายบวกของสัมประสิทธิ์จำนวนเด็กหมายถึงหากในบ้านมีเด็กจำนวนน้อยก็จะเดินแต่หากมีจำนวนมากจะใช้รถส่วนตัว และเครื่องหมายบวกของสัมประสิทธิ์การครอบครองยานพาหนะ บ่งชี้ว่าผู้มีรถมีแนวโน้มที่จะใช้รถส่วนตัวในการอพยพมากกว่าการเดินเท้า ในกรณีของการใช้รถสาธารณะพบว่า มีเพียงปัจจัยจำนวนเด็กและการครอบครองยานพาหนะที่ส่งผลต่อการเลือกใช้รถดังกล่าว โดยเครื่องหมายบวกของสัมประสิทธิ์จำนวนเด็กหมายถึงหากในบ้านมีเด็กจำนวนน้อยก็จะใช้รถส่วนตัว แต่หากมีจำนวนมากจะใช้รถสาธารณะ ส่วนเครื่องหมายลบของสัมประสิทธิ์ตัวแปรการครอบครองยานพาหนะ บ่งบอกว่าผู้มีรถมีแนวโน้มที่จะใช้รถส่วนตัวในการอพยพมากกว่าการใช้รถสาธารณะ

ส่วนในแบบจำลอง ว.2 พบว่า อายุ จำนวนผู้สูงอายุ และการครอบครองยานพาหนะ ส่งผลต่อการอพยพด้วยการเดินเป็นหลักเมื่อน้ำท่วม โดยเครื่องหมายลบของสัมประสิทธิ์ตัวแปรอายุ หมายความว่า คนที่มีอายุมากมีแนวโน้มที่จะเดินมากกว่าผู้ที่อายุน้อยซึ่งจะใช้รถส่วนตัวเป็นหลัก ส่วนเครื่องหมายบวกของสัมประสิทธิ์ตัวแปรจำนวนผู้สูงอายุ บ่งบอกว่า หากมีผู้สูงอายุจำนวนมากก็จะตัดสินใจใช้รถส่วนตัวเป็นหลัก สำหรับการใช้รถสาธารณะ พบว่า มีเพียงปัจจัยการครอบครองยานพาหนะเท่านั้นที่ส่งผลต่อการเลือกรูปแบบการเดินทางหลักดังกล่าว ซึ่งเครื่องหมายลบของสัมประสิทธิ์ หมายถึง ผู้มีรถครอบครองมีแนวโน้มที่จะใช้รถส่วนตัวในการอพยพมากกว่าการใช้รถสาธารณะ

ตารางที่ 4-7 แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางสำหรับการอพยพจำแนกตามช่วงเวลา

รูปแบบการ เดินทางหลัก	ตัวแปร	แบบจำลอง ว.1		แบบจำลอง ว.2	
		อพยพทันทีหลังเดือนกุมภาพันธ์		อพยพเมื่อน้ำท่วม < 50 ซม.	
		β	Sig.	β	Sig.
การเดินทาง	ค่าคงที่	-0.562	0.679	0.681	0.385
	เพศ	1.015	0.014*	-	-
	อายุ	-	-	-0.498	0.080**
	รายได้	-	-	-	-
	จำนวนเด็กอายุน้อยกว่า 12 ปี	0.663	0.013*	-	-
	จำนวนผู้ใหญ่ไม่เกิน 60 ปี	-	-	-	-
	จำนวนผู้สูงอายุมากกว่า 60 ปี	-	-	0.777	0.100**
	จำนวนผู้ทุพพลภาพ	-	-	-	-
	การครอบครองยานพาหนะ	1.527	0.000*	1.897	0.017*
การใช้รถสาธารณะ	ค่าคงที่	-0.061	0.970	-0.736	0.336
	เพศ	-	-	-	-
	อายุ	-	-	-	-
	รายได้	-	-	-	-
	จำนวนเด็กอายุน้อยกว่า 12 ปี	0.487	0.092**	-	-
	จำนวนผู้ใหญ่ไม่เกิน 60 ปี	-	-	-	-
	จำนวนผู้สูงอายุมากกว่า 60 ปี	-	-	-	-
	จำนวนผู้ทุพพลภาพ	-	-	-	-
	การครอบครองยานพาหนะ	-2.440	0.090**	-2.447	0.004*
Cox and Snell R^2		0.122		0.144	
Nagelkerke R^2		0.169		0.188	

- ไม่มีนัยสำคัญ; * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95%; ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 90%

จากตารางที่ 4-8 พบว่า จำนวนผู้ทุพพลภาพเป็นปัจจัยหลักของแบบจำลอง จ.1 (จ.=จุดปลายทาง) ของการอพยพด้วยการเดินเท้า โดยหากมีผู้ทุพพลภาพในบ้านจะตัดสินใจใช้รถส่วนตัวในการอพยพไปบ้านญาติ ส่วนการใช้รถสาธารณะ พบว่า จำนวนผู้ใหญ่และการครอบครองยานพาหนะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อแบบจำลอง จ.1 โดยหากมีจำนวนผู้ใหญ่ในบ้านมากก็จะใช้รถสาธารณะในการเดินทางไปบ้านญาติเป็นหลัก สำหรับแบบจำลอง จ.2 ซึ่งมีจุดปลายทางอยู่ที่ศูนย์อพยพ พบว่า จำนวนเด็ก จำนวนผู้ทุพพลภาพ และการครอบครองยานพาหนะส่งผลต่อการเลือกเดินเท้าและการใช้รถสาธารณะในการอพยพ ซึ่งเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญและการแปลความหมายเป็นในลักษณะเช่นเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ตารางที่ 4-8 แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางสำหรับการอพยพจำแนกตามจุดปลายทาง

รูปแบบการเดินทางหลัก	ตัวแปร	แบบจำลอง จ.1		แบบจำลอง จ.2	
		บ้านญาติ		ศูนย์อพยพ	
		β	Sig.	β	Sig.
การเดิน	ค่าคงที่	-3.365	0.001	0.467	0.624
	เพศ	-	-	-	-
	อายุ	-	-	-	-
	รายได้	-	-	-	-
	จำนวนเด็กอายุน้อยกว่า 12 ปี	-	-	0.613	0.081**
	จำนวนผู้ใหญ่ไม่เกิน 60 ปี	-	-	-	-
	จำนวนผู้สูงอายุมากกว่า 60 ปี	-	-	-	-
	จำนวนผู้ทุพพลภาพ	1.943	0.013*	3.313	0.006*
	การครอบครองยานพาหนะ	-	-	-3.697	0.000*
การใช้รถสาธารณะ	ค่าคงที่	-2.324	0.000	-0.106	0.913
	เพศ	-	-	-	-
	อายุ	-	-	-	-
	รายได้	-	-	-	-
	จำนวนเด็กอายุน้อยกว่า 12 ปี	-	-	0.852	0.014*
	จำนวนผู้ใหญ่ไม่เกิน 60 ปี	0.543	0.021*	-	-
	จำนวนผู้สูงอายุมากกว่า 60 ปี	-	-	-	-
	จำนวนผู้ทุพพลภาพ	-	-	3.815	0.001*
	การครอบครองยานพาหนะ	-1.087	0.025*	-3.621	0.000*
Cox and Snell R^2		0.164		0.209	
Nagelkerke R^2		0.180		0.288	

- ไม่มีนัยสำคัญ; * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95%; ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 90%

แบบจำลองการตัดสินใจอพยพน้ำท่วมที่ได้พัฒนาขึ้นในหัวข้อที่ 4.4.1 สามารถนำไปใช้ในการคาดการณ์ความน่าจะเป็นที่บุคคลแต่ละคนจะเลือกอพยพหรือไม่อพยพ ส่วนแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางสำหรับการอพยพที่พัฒนาขึ้นในหัวข้อที่ 4.4.2 สามารถนำไปใช้ในการคาดการณ์ความน่าจะเป็นของผู้อพยพที่จะเลือกใช้รูปแบบการเดินทางหลัก (การเดินทาง การใช้รถส่วนตัว หรือการใช้รถสาธารณะ) ของการอพยพในช่วงเวลาต่างๆ (อพยพทันที หรืออพยพหลังน้ำท่วม) หรือการอพยพไปยังจุดปลายทางต่างๆ (บ้านญาติ หรือศูนย์อพยพ)

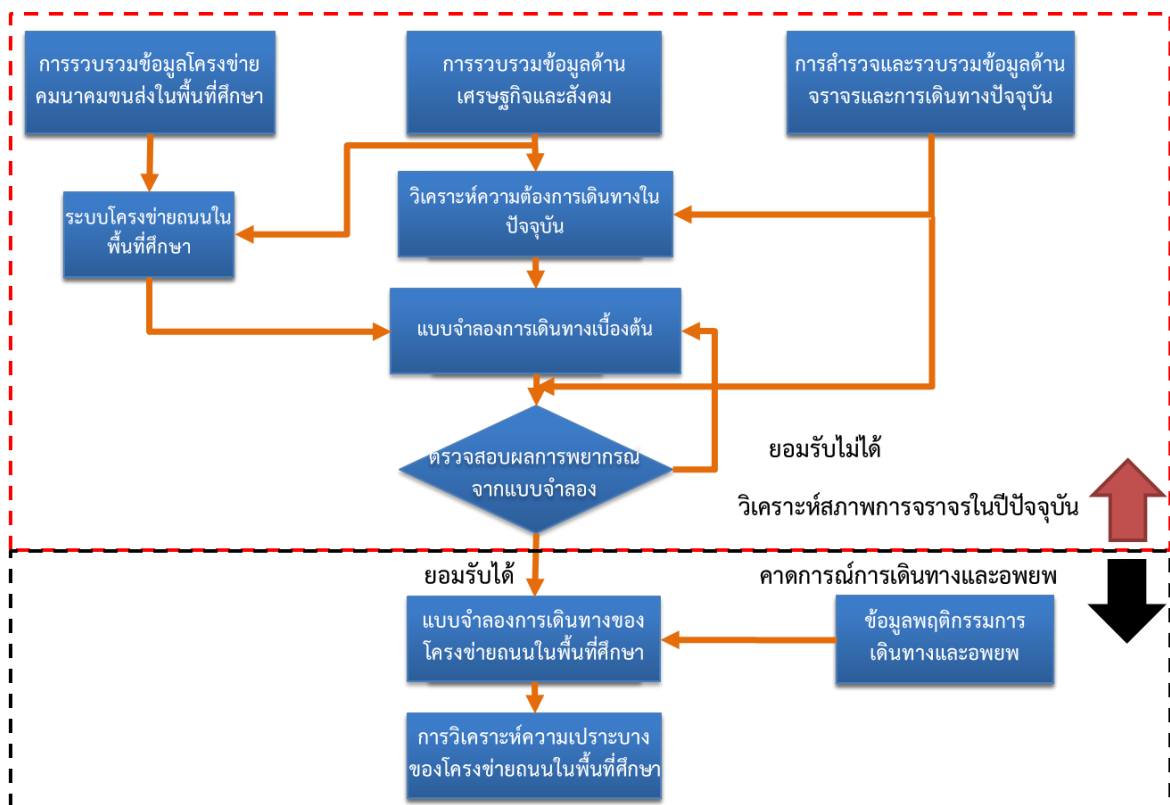
แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นทั้งสองประเภทข้างต้นเป็นแบบจำลองแบบย่อย (Disaggregate model) ซึ่งเวลานำไปใช้ต้องทราบข้อมูลของแต่ละบุคคลโดยละเอียด (ปัจจัยตามตารางที่ 4-5) โดยผลที่ได้จากแบบจำลองจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปคาดการณ์จำนวนผู้ต้องการอพยพหรือไม่อพยพ รวมทั้งรูปแบบการเดินทางประเภทต่างๆ ภายในพื้นที่ย่อยระดับตำบลหรือหมู่บ้าน (ต้องทราบข้อมูลทุกคน) แต่เนื่องจากการเข้าถึงข้อมูลปัจจัยดังกล่าวรายบุคคลของพื้นที่ศึกษาในระดับพื้นที่ย่อย (หมู่บ้าน) ค่อนข้างมีข้อจำกัด ประกอบกับการวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์การเดินทางและอพยพในภาพรวมระดับอำเภอ ผู้วิจัยจึงนำผลการวิเคราะห์พฤติกรรมต่างๆ ที่ได้จากหัวข้อที่ 4.1-4.3 ไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการเดินทางและอพยพเป็นหลัก ซึ่งจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาต่อไปในบทที่ 6 อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยหวังว่าแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นในหัวข้อที่ 4.4 จะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยต่อยอดในอนาคตต่อไป

5 การพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา

- ❖ การสร้างแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา
- ❖ ผลการวิเคราะห์การเดินทางและสภาพการจราจรของโครงข่ายถนนในปี พ.ศ. 2555

5.1 การสร้างแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลด้านการเดินทางและจราจรที่ได้จากการสำรวจและจากการทบทวนงานที่เกี่ยวข้อง มาสร้างแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา โดยมีกรอบแนวคิดในการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นดังรูปที่ 5-1

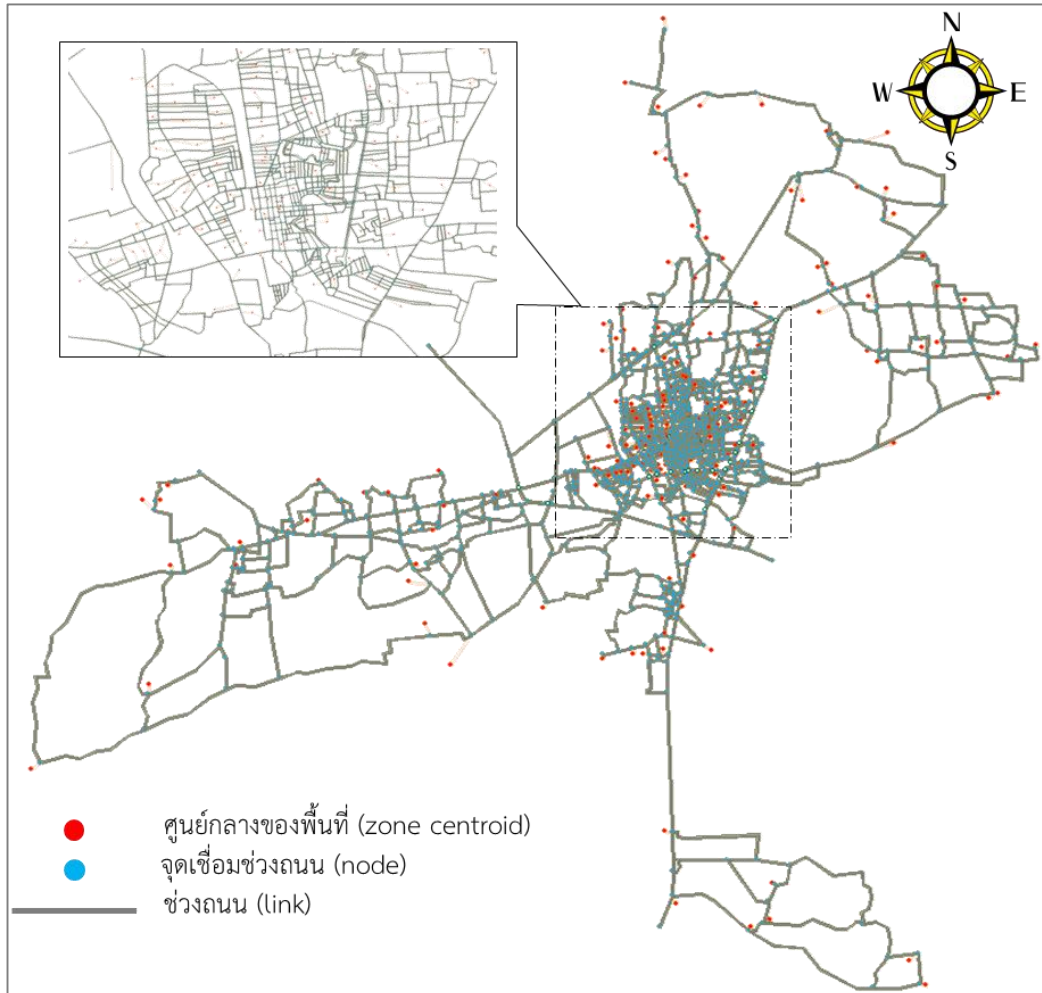


รูปที่ 5-1 กรอบแนวคิดในการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนน

โดยรายละเอียดของการพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษามีดังนี้

5.1.1 การจัดระบบพื้นที่ย่อยและสร้างแบบจำลองโครงข่ายถนนของพื้นที่ศึกษา

จากรูปที่ 5-1 ขั้นตอนแรกผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลด้านสังคมและเศรษฐกิจและข้อมูลโครงข่ายคมนาคมขนส่งในพื้นที่ศึกษา รายละเอียดได้นำเสนอไว้ในหัวข้อ 3.2.1 และ 3.2.2 ซึ่งได้แบ่งพื้นที่ศึกษาทั้งหมดออกเป็น 211 พื้นที่ย่อย (Zones) และครอบคลุม 4,659 ช่วงถนน (Links) ดังแสดงในรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-2 พื้นที่ย่อยและโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา

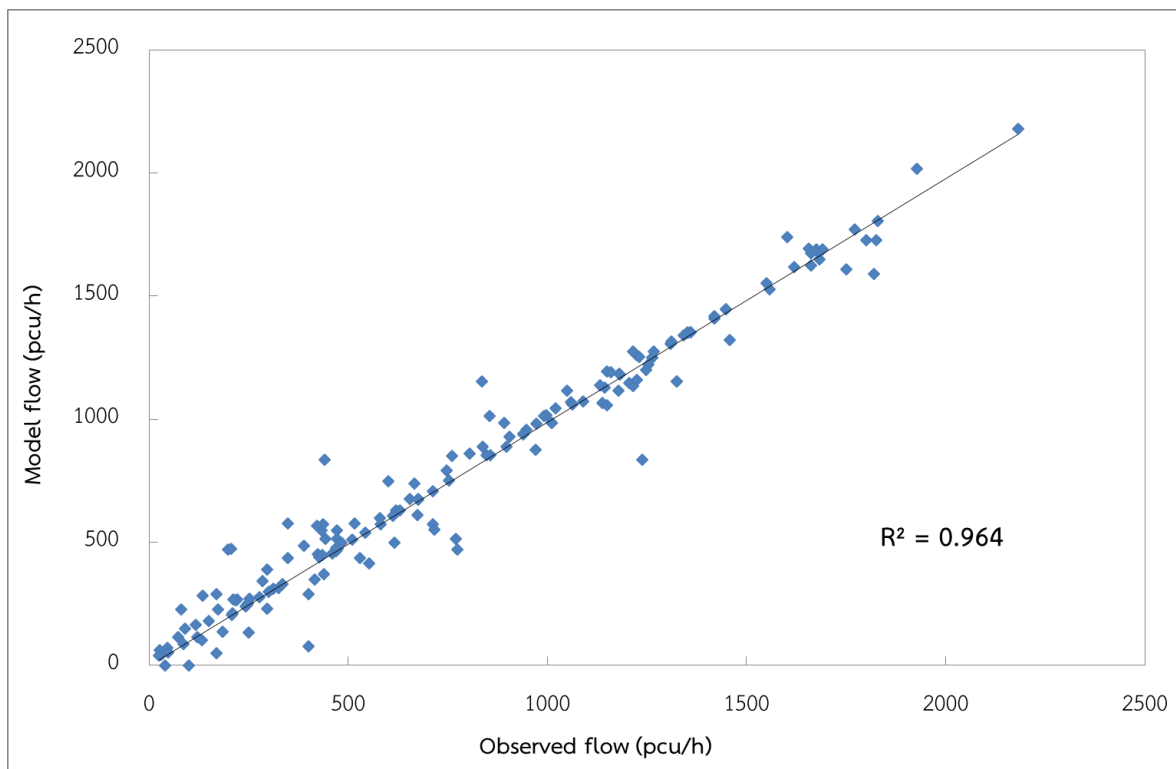
5.1.2 การสร้างตารางปริมาณการเดินทาง

ในการพยากรณ์ความต้องการในการเดินทางของผู้เดินทาง โดยทั่วไปขั้นตอน Trip generation analysis จะวิเคราะห์ปริมาณความต้องการเดินทางที่ออกจากและเข้าไปในแต่ละพื้นที่ย่อย จากนั้นขั้นตอน Trip distribution analysis จะวิเคราะห์หาตารางปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย (OD trip matrix) ขึ้นมา โดยใช้แบบจำลอง Gravity model ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 3.3 รูปที่ 3-23 แบบจำลองในสองขั้นตอนนี้สามารถนำมารวมเป็นแบบจำลองระดับอุปสงค์การเดินทางแบบรวม (Combined elastic demand model) ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองนี้ในการคาดการณ์ปริมาณการเดินทางเบื้องต้นระหว่างพื้นที่ย่อยของปี พ.ศ. 2555

5.1.3 การเปรียบเทียบแบบจำลอง

ตารางปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย หรือ OD trip matrix เบื้องต้นที่คำนวณได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้อาจไม่ถูกต้องกับความเป็นจริงมากนักเนื่องจากข้อมูลที่ใช้คาดการณ์ใน Gravity model เป็นข้อมูลระยะทางและเวลาการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยเป็นหลัก ซึ่ง Gravity model จะพยายามคาดการณ์ปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยเพื่อให้ผลรวมการเดินทางของแต่ละพื้นที่ย่อยใกล้เคียงกับปริมาณการเดินทางออกจากพื้นที่ (Production trip) และปริมาณการเดินทางเข้าพื้นที่ (Attraction trip)

เพื่อความมั่นใจและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบ OD trip matrix โดยการคำนวณเปรียบเทียบปริมาณการจราจรที่ได้จากแบบจำลอง (Model flow) กับข้อมูลปริมาณการจราจรที่สำรวจและรวบรวมได้ (Observed flow) โดยข้อมูลปริมาณการจราจรในส่วนหลังนี้ส่วนใหญ่มาจากการสำรวจข้อมูลของผู้วิจัย และบางส่วนมาจากข้อมูลปริมาณการจราจรรายวันเฉลี่ยทั้งปีของกรมทางหลวง (AADT) ผลของการเปรียบเทียบแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 5-3 โดยพบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.964 ซึ่งถือว่ามีค่าสูง โดยสรุปแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาที่พัฒนาขึ้นนี้มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปประยุกต์ใช้คาดการณ์ปริมาณการเดินทางในสถานการณ์ต่างๆ ได้

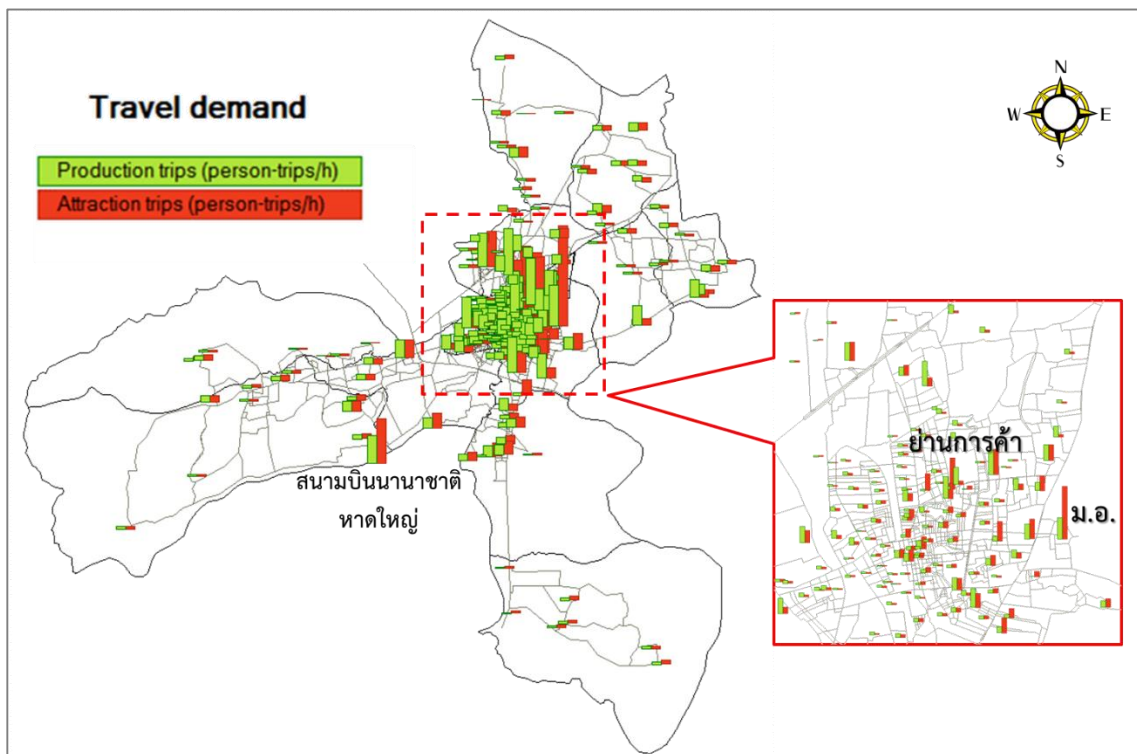


รูปที่ 5-3 ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลอง

5.2 ผลการวิเคราะห์การเดินทางและสภาพการจราจรของโครงข่ายถนนในปี พ.ศ. 2555

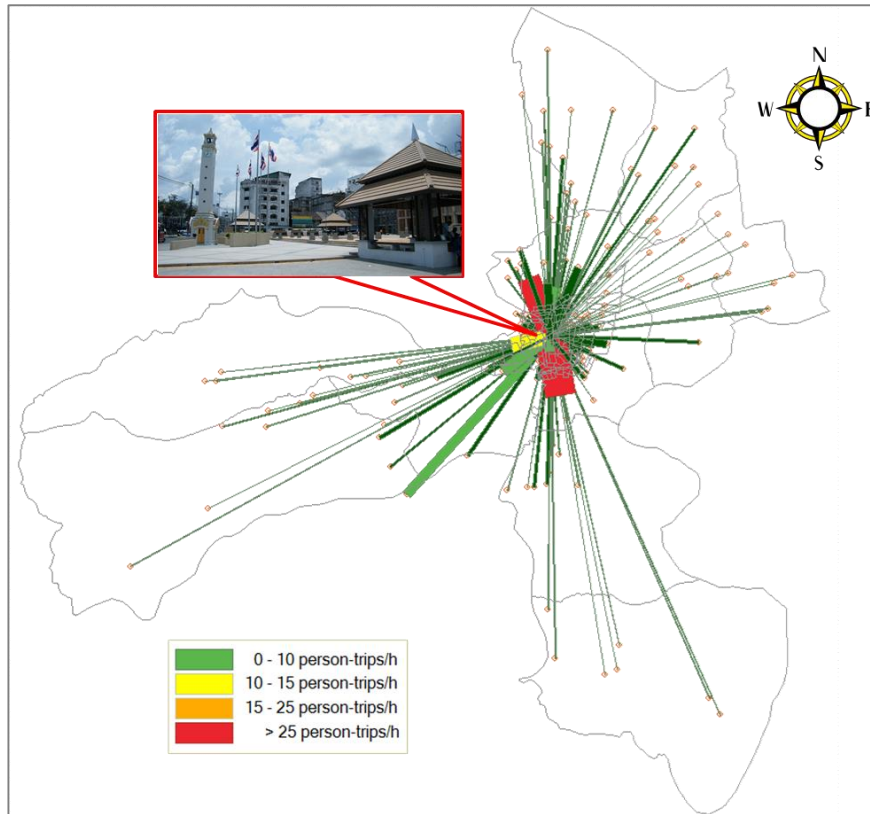
ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์การเดินทางและสภาพการจราจรของโครงข่ายถนนในปี พ.ศ. 2555 ในประเด็นต่างๆ ดังนี้

รูปที่ 5-4 แสดงปริมาณการเกิดและการดึงดูดการเดินทางของแต่ละพื้นที่ย่อย ซึ่งพบว่าปริมาณความต้องการการเดินทางส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่บริเวณใจกลางเมือง และมีปริมาณสูงบริเวณย่านที่สำคัญ เช่น ย่านการค้า (CBD) มหาวิทยาลัย (ม.อ.) ห้างสรรพสินค้า สนามบิน เป็นต้น สำหรับปริมาณความต้องการเดินทางของพื้นที่อื่นๆ อาจมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้พื้นที่ โดยพื้นที่พักอาศัย มีการเกิดการเดินทางสูงกว่าการดึงดูดการเดินทาง ในทางตรงกันข้าม สถานที่ราชการ สถานศึกษา แหล่งการค้า สถานที่ท่องเที่ยว เป็นแหล่งที่มีการดึงดูดการเดินทางมากกว่าการเกิดการเดินทาง

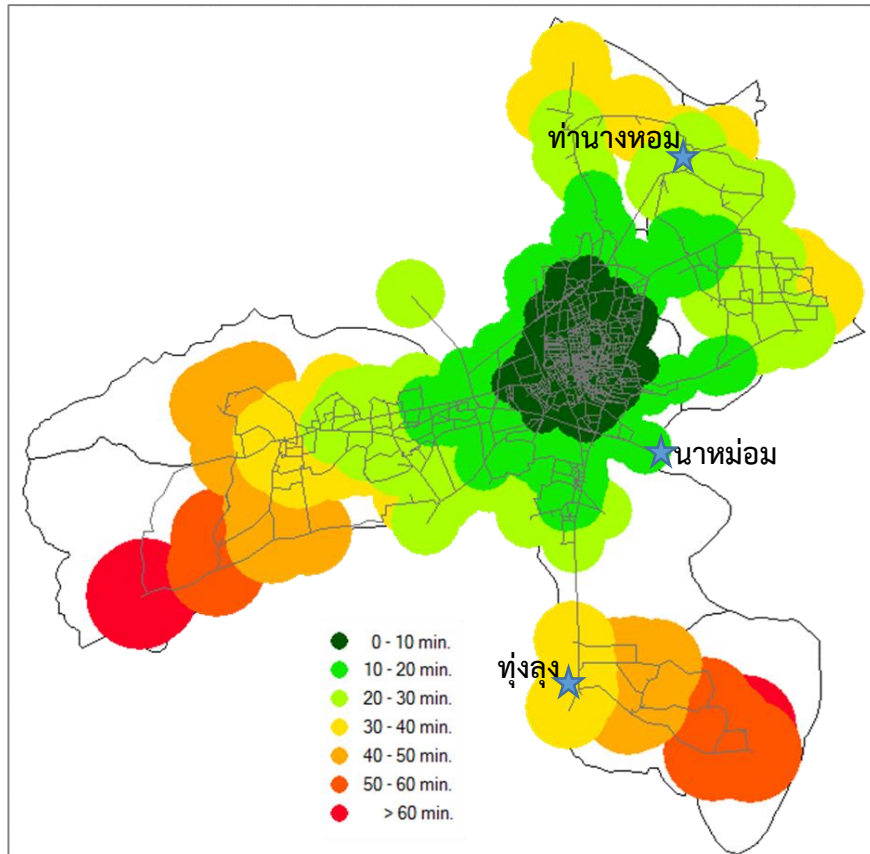


รูปที่ 5-4 ปริมาณการเกิดและการดึงดูดการเดินทางของพื้นที่ย่อย

รูปที่ 5-5 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์แนวเส้นทางความต้องการเดินทาง (Desire line) เพื่อเข้าสู่ใจกลางเมือง (หอนาฬิกา) ซึ่งพบว่า Desire line ที่มาจากแต่ละพื้นที่ย่อยมีความแตกต่างกันไปตามความต้องการของแต่ละพื้นที่ ส่วนรูปที่ 5-6 แสดงตัวอย่างระยะเวลา (Isochrones) ในการเดินทางจากแต่ละพื้นที่ย่อยเพื่อเดินทางมาหอนาฬิกาในสภาพการจราจรที่ไม่ติดขัด ซึ่งพบว่า ระยะเวลาที่มาจากแต่ละพื้นที่ย่อยแตกต่างกันไป เช่น หากเดินทางภายในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ใช้เวลาไม่เกิน 10 นาที แต่หากเดินทางมาจากนอกเมืองใช้เวลาประมาณ 10-20 นาที หรือหากเดินทางมาจากบ้านท่าทางหมอนใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที หรือหากเดินทางมาจากทุ่งลุงใช้เวลาประมาณ 30-40 นาที เป็นต้น ซึ่งเวลาการเดินทางดังกล่าวใกล้เคียงกับความจริง



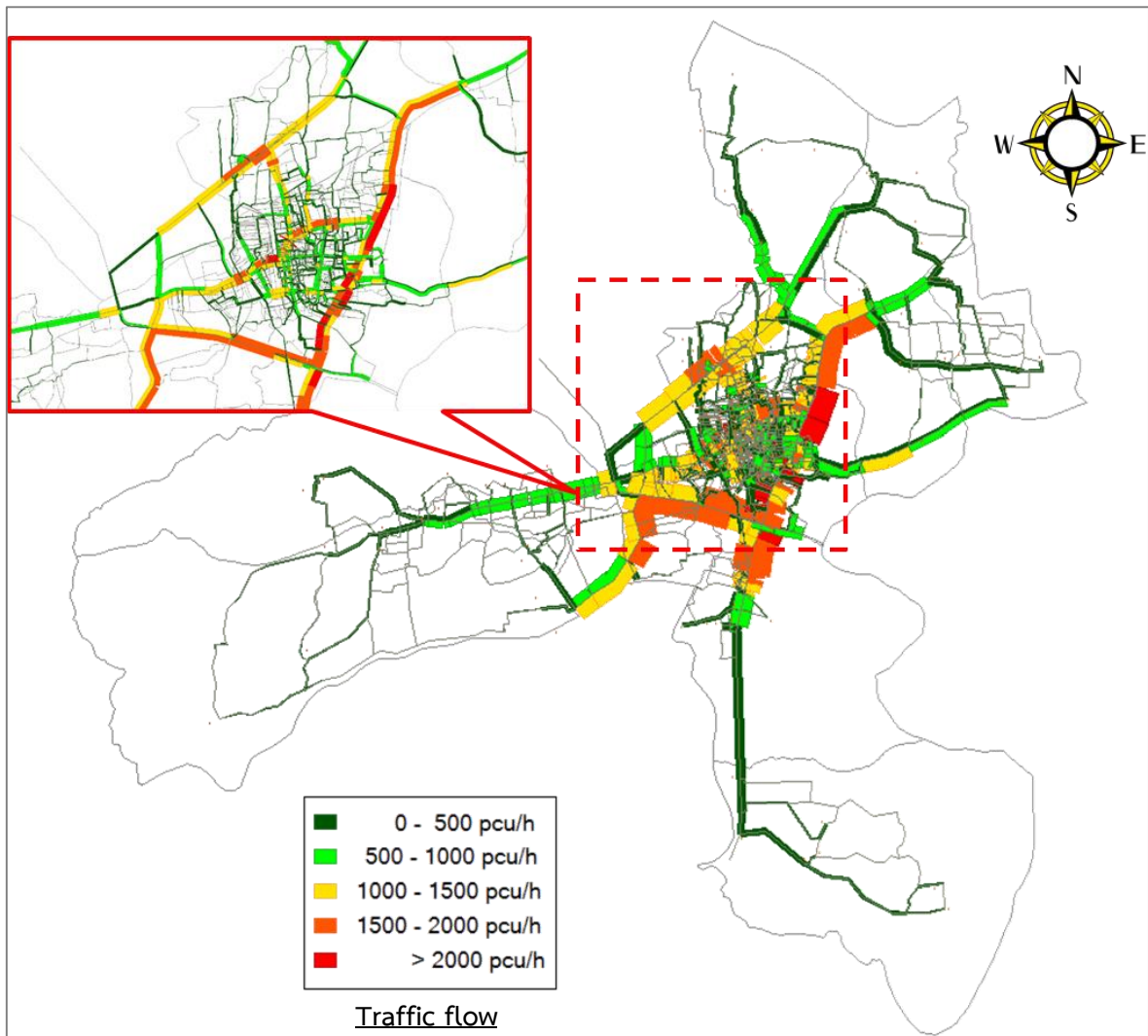
รูปที่ 5-5 ตัวอย่างแนวเส้นทางความต้องการเดินทางเข้าสู่หอนาฬิกา



รูปที่ 5-6 ตัวอย่างเวลาการเดินทางเข้าสู่หอนาฬิกา

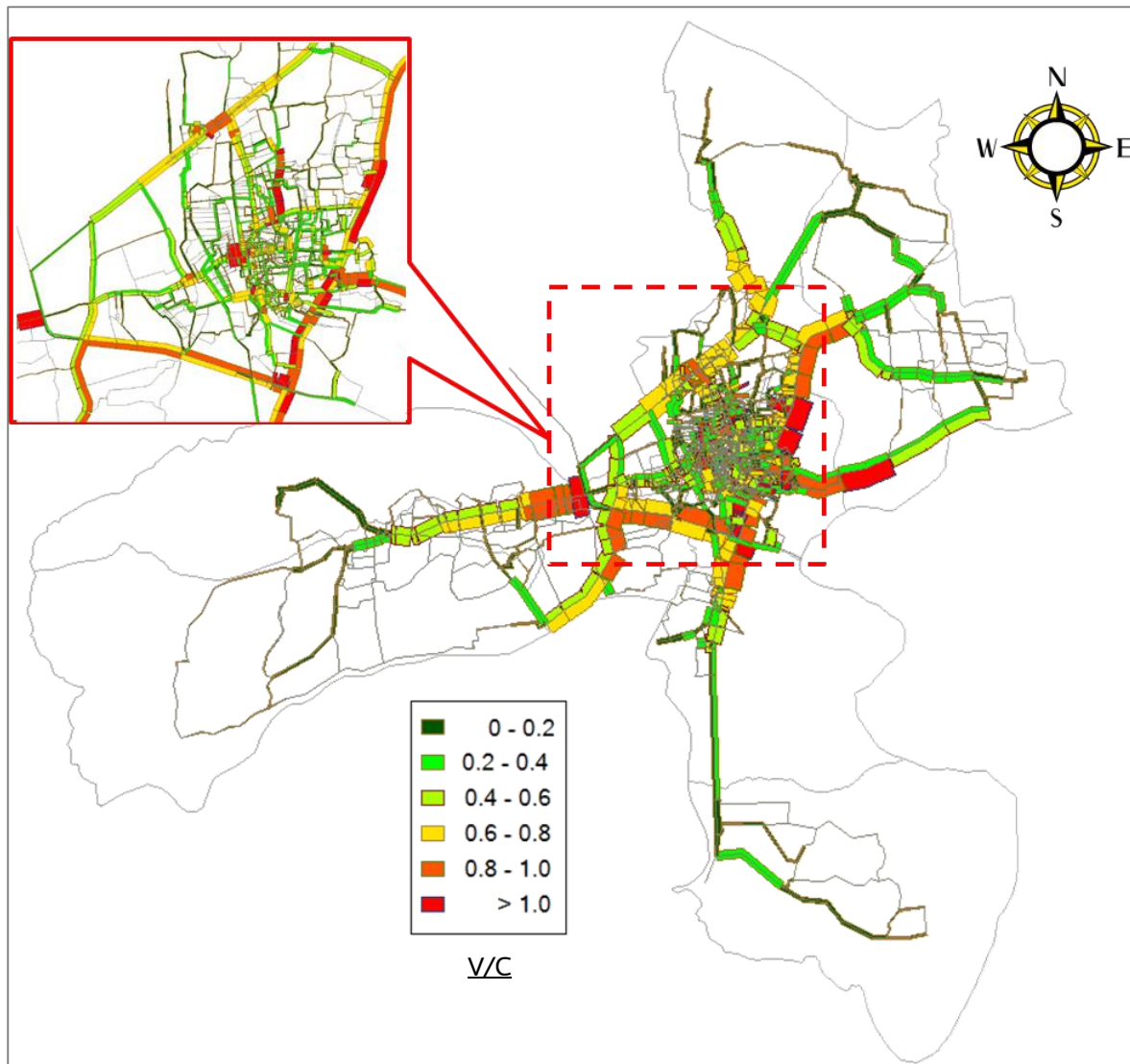
รูปที่ 5-7 แสดงปริมาณการจราจรช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเข้าบนโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีหน่วยเป็นคันเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมง (pcu/h) โดยระดับของปริมาณการจราจรแสดงในรูปของสีและความหนาของเส้น ซึ่งสะท้อนสภาพการจราจรที่เป็นอยู่ในช่วงเวลาเร่งด่วน จากรูปพบว่า ถนนสายนอกเมือง เช่น ทางหลวงหมายเลข 43 ช่วงจากแยกสนามบินไปถึงแยกคลองหะมีปริมาณการจราจรค่อนข้างสูง (1,500-2,000 pcu/h) นอกจากนี้ ทางหลวงหมายเลข 4 ช่วงจากแยกคลองหะมีถึงแยกบ้านพรุ ก็พบว่า มีปริมาณการจราจรค่อนข้างสูง (1,500-2,000 pcu/h) ส่วนทางหลวงหมายเลข 414 (ลพบุรีราเมศวร์) พบว่า มีปริมาณการจราจรปานกลาง (1,000-1,500 pcu/h) ตั้งแต่แยกโคกเมฆจนถึงบริเวณทางเข้าบ้านเกาะหมี แต่ก็มีปริมาณการจราจรค่อนข้างสูง (1,500-2,000 pcu/h) บริเวณแยกบึงซี

ส่วนถนนสายสำคัญที่ผ่านเมืองหาดใหญ่ พบว่า ถนนกาญจนวณิช (เนื่องจากถนนดังกล่าวมีการเขียนอยู่หลายแบบ เช่น กาญจนวณิช กาญจนวณิชย์ หรือ กาญจนวณิชย์ เพื่อให้เนื้อหาของงานวิจัยมีความสอดคล้องกัน ผู้วิจัยขอใช้ “กาญจนวณิช” ในงานวิจัยนี้) ตั้งแต่แยกคลองหะมีถึงแยกเกาะหมี มีปริมาณการจราจรค่อนข้างสูงตลอดสาย และมีปริมาณการจราจรหนาแน่นมากบริเวณทางแยกสำหรับถนนเพชรเกษม พบว่า เริ่มมีปริมาณการจราจรค่อนข้างสูงจากบริเวณหน้าที่ว่าการอำเภอหาดใหญ่จนถึงทางแยกตัดถนนราษฎร์อุทิศ ซึ่งมีปริมาณการจราจร 1,500-2,000 pcu/h และปริมาณการจราจรหนาแน่นมากเมื่อถึงช่วงขึ้นสะพานข้ามทางรถไฟ (มากกว่า 2,000 pcu/h) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการจราจรที่ส่วนหนึ่งมาจากถนนราษฎร์อุทิศเพื่อเข้าสู่ตัวเมืองหาดใหญ่ และเมื่อข้ามสะพานลงมาปริมาณการจราจรกระจายตัวไปยังถนนสายต่างๆ แต่ปริมาณการจราจรส่วนใหญ่เลี้ยวซ้ายเพื่อตรงไปยังวงเวียนน้ำพุ และเลี้ยวขวาต่อไปยังแยกคอหงส์เพื่อบรรจบกับถนนกาญจนวณิชต่อไป ซึ่งช่วงดังกล่าวปริมาณการจราจรค่อนข้างหนาแน่นบริเวณทางแยก เช่น แยกหน้าธนาคารแห่งประเทศไทย แยกหน้าห้างบึงซีเอ็กซ์ตร้า



รูปที่ 5-7 ปริมาณการจราจรช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเข้าบนโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา

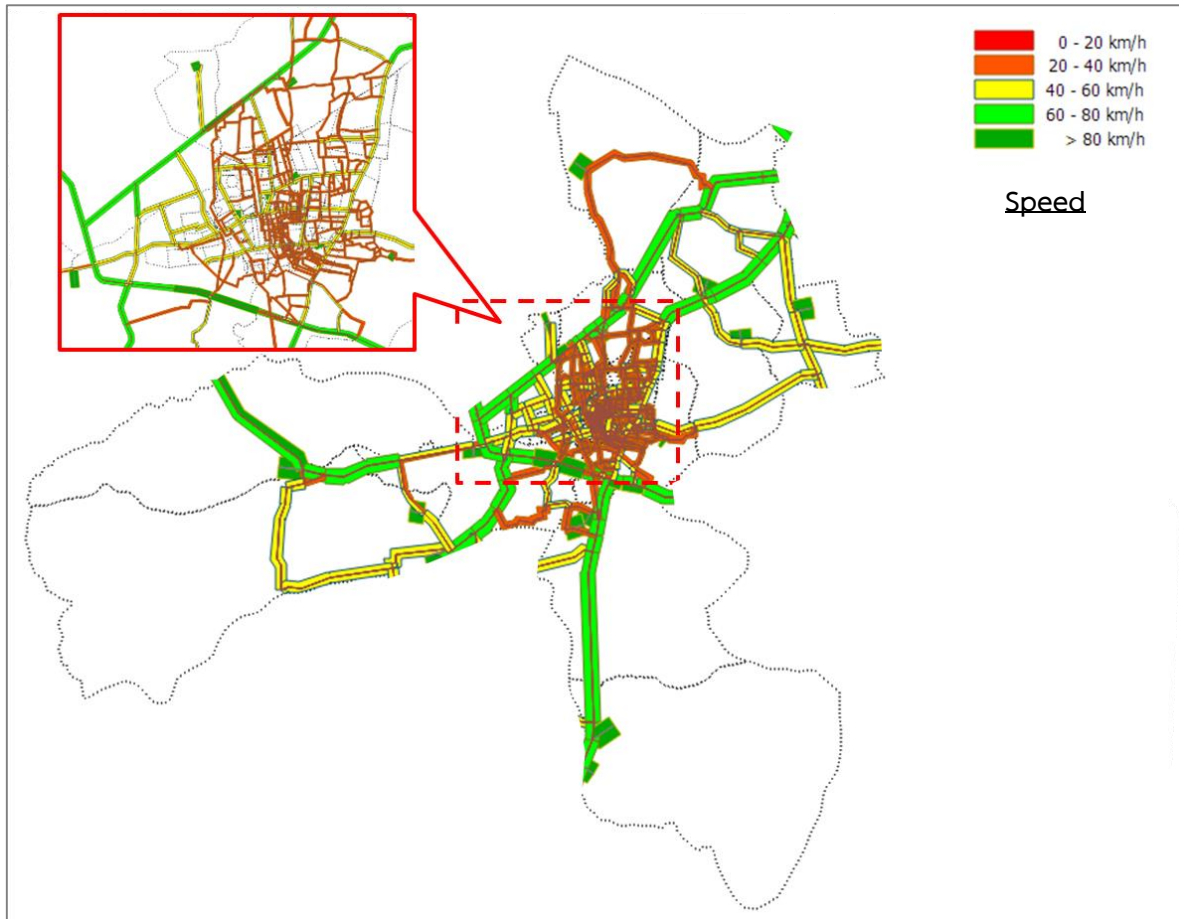
รูปที่ 5-8 แสดงสัดส่วนระหว่างปริมาณการจราจรช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเข้าต่อความจุของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา หรือ V/C ซึ่งบ่งบอกถึงความแออัดของสภาพการจราจรโดยเปรียบเทียบกับความจุของช่วงถนน จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ระดับของค่า V/C ค่อนข้างสอดคล้องกับระดับของปริมาณการจราจรที่ได้กล่าวไปข้างต้น โดยถนนสายหลักๆ ที่มีปริมาณการจราจรสูง เช่น ทางหลวงหมายเลข 43 ช่วงจากแยกสนามบินในถึงแยกคลองหะ และ ทางหลวงหมายเลข 414 (ลพบุรีราเมศวร์) ช่วงแยกโคกเม่าจนถึงบริเวณทางเข้าบ้านเกาะหมี่ ก็พบว่า มีระดับของค่า V/C ค่อนข้างสูง ถึงแม้ทางหลวงดังกล่าวจะมีความจุ (ช่องจราจร) ที่ค่อนข้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับถนนในเมือง แต่ด้วยปริมาณการจราจรที่ค่อนข้างสูงจึงทำให้ค่า V/C สูงตามไปด้วย เมื่อพิจารณาถนนที่ผ่านตัวเมืองโดยเฉพาะถนนกาญจนวนิชซึ่งเป็นถนนสายดั้งเดิมและมีปริมาณการจราจรที่ค่อนข้างสูงจนถึงสูงมากเมื่อผ่านตัวเมือง (สถานีขนส่ง-คลองเรียน-ปทุมกันต์-ม.อ.-คอหงส์) ก็มีค่า V/C สูงเช่นกัน ส่วนเขตพื้นที่เมืองหาดใหญ่ชั้นใน พบว่า ถนนศุภสารรังสรรค์ช่วงใกล้ตลาดกิมหยง มีค่า V/C ที่สูง เนื่องจากเป็นศูนย์กลางของกิจกรรมการค้าขายมีการปริมาณการจราจรสูง



รูปที่ 5-8 ปริมาณการจราจรช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเข้าต่อความจุของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา

รูปที่ 5-9 แสดงความเร็วของกระแสจราจรช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเข้าของโครงข่ายถนนในพื้นที่ ซึ่งพบว่า ถนนสายหลักที่ผ่านรอบนอกของเมืองหาดใหญ่ เช่น ทางหลวงหมายเลข 43 ทางหลวงหมายเลข 414 (ลพบุรีราเมศวร์) ทางหลวงหมายเลข 4 จากแยกคลองหะมู่งไปอำเภอสะเดา และ ทางหลวงหมายเลข 4135 จากแยกสนามบินไปสนามบิน มีการเคลื่อนตัวของกระแสจราจรที่ดี (ความเร็วโดยเฉลี่ย 60-80 กิโลเมตร/ชั่วโมง) ส่วนถนนกาญจนวนิชช่วงผ่านเมือง พบว่า ความเร็วของกระแสจราจรมีระดับปานกลาง (40-60 กิโลเมตร/ชั่วโมง)

สำหรับถนนในเมืองส่วนใหญ่ พบว่า มีความเร็วของกระแสจราจรค่อนข้างต่ำ คือ 20-40 กิโลเมตร/ชั่วโมง ส่วนช่วงถนนที่อยู่ย่านการค้าและใจกลางเมือง พบว่า มีความเร็วของกระแสจราจรต่ำกว่า 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง



รูปที่ 5-9 ความเร็วของกระแสจราจรช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า

ในบทนี้ผู้วิจัยได้อธิบายการสร้างแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาและนำเสนอผลการวิเคราะห์การเดินทางและสภาพการจราจรของโครงข่ายถนนในปัจจุบันจากแบบจำลองที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองดังกล่าวไปวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาหากประสบเหตุ น้ำท่วม รายละเอียดกล่าวในบทที่ 6

6 การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา

- ❖ ผลการวิเคราะห์ศักยภาพของการเข้าถึงพื้นที่
- ❖ ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ
- ❖ ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ
- ❖ ผลการวิเคราะห์เส้นทางอพยพหนีน้ำท่วม

ในบทนี้ผู้วิจัยประยุกต์ใช้แบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาที่พัฒนาขึ้น วิเคราะห์ศักยภาพในการเข้าถึง หาตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ (ช่วงถนนที่มีความเปราะบาง) และความอ่อนไหวของตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาหากเกิดเหตุการณ์น้ำท่วม รวมทั้งวิเคราะห์หาเส้นทางอพยพหนีน้ำท่วมที่เหมาะสม ในการวิเคราะห์ดังกล่าวโดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนั้น ผู้วิจัยได้คำนวณตารางปริมาณการเดินทางและอพยพใหม่โดยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพฤติกรรมกรรมการเดินทางและอพยพช่วงก่อนเกิดเหตุน้ำท่วม (หัวข้อ 3.2.3) จากนั้นก็วิเคราะห์การแจกแจงการเดินทางลงบนโครงข่ายถนนเช่นเดิม รายละเอียดของผลการศึกษาในแต่ละประเด็นมีดังนี้

6.1 ผลการวิเคราะห์ศักยภาพของการเข้าถึงพื้นที่

ในการทดสอบส่วนแรกผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ดัชนีการเข้าถึงพื้นที่ปลายทาง (สมการ 3-3) ในการประเมินหาศักยภาพของการเข้าถึงศูนย์อพยพหลักที่ทางเทศบาลนครหาดใหญ่ได้กำหนดไว้ (เทศบาลนครหาดใหญ่, 2554) ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานในการประเมินว่าถนนสายสำคัญที่เชื่อมระหว่างเมืองหาดใหญ่ชั้นในกับชั้นนอกมีความเสี่ยงที่จะถูกตัดขาดจากเหตุการณ์น้ำท่วมหรือติดขัดจากผลกระทบของน้ำท่วม เช่น มีผู้ต้องการอพยพจำนวนมากจนทำให้ช่วงถนนสายสำคัญติดขัดจนไม่สามารถเดินทางผ่านได้ ผู้วิจัยได้พิจารณา กำหนดช่วงถนนและทางแยกที่ทำการประเมิน 5 จุด ซึ่งเป็นจุดที่มีความสำคัญสำหรับการเดินทางเข้าออกตัวเมืองหาดใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 6-1 ประกอบด้วย

- 1) สะพานสัจจกุล (B1)
- 2) สะพานข้ามทางรถไฟ (B2)
- 3) สะพานแม่โคโร (B3)
- 4) อุโมงค์ลอดทางรถไฟ (T) และ
- 5) สามแยกคอหงส์ (I)

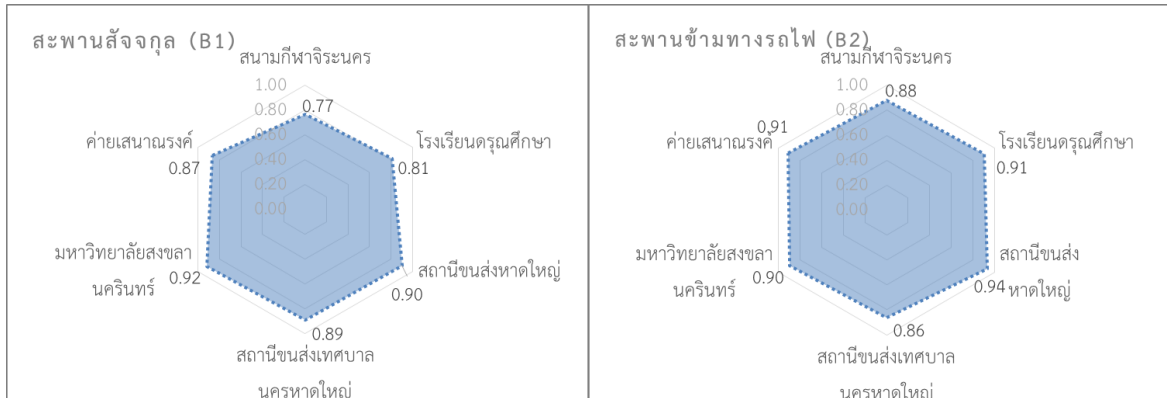
ส่วนศูนย์อพยพที่พิจารณามี 6 จุด โดยเลือกจุดที่เป็นตัวแทนของเขตพื้นที่ทั้งสิ้นสี่ของเทศบาลนครหาดใหญ่และอีก 2 จุดในบริเวณใกล้เคียง โดยศูนย์อพยพทั้งหมดที่พิจารณาประกอบด้วย

- 1) สนามกีฬาจิระนคร (D1)
- 2) โรงเรียนตรุณศึกษา (D2)
- 3) สถานีขนส่งผู้โดยสารอำเภอหาดใหญ่ (D3)
- 4) สถานีขนส่งผู้โดยสารเทศบาลนครหาดใหญ่ (D4)
- 5) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (D5) และ
- 6) ค่ายเสนาณรงค์ (D6)



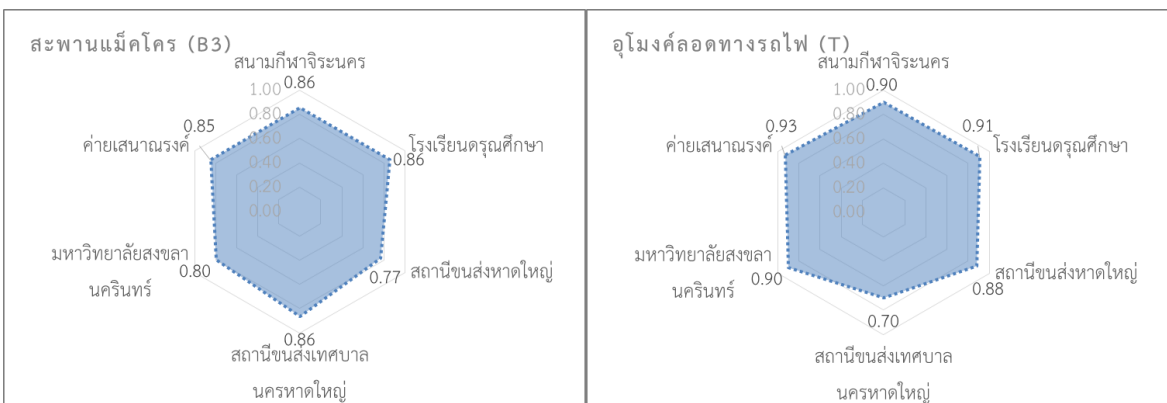
รูปที่ 6-1 ตำแหน่งถนนที่ถูกตัดขาดและจุดปลายทางที่พิจารณาในการประเมิน

ผู้วิจัยได้คำนวณค่าดัชนีการเข้าถึงศูนย์อพยพ 6 ศูนย์ ทั้งในกรณีโครงข่ายถนนปกติ และกรณีที่ช่วงถนน (หรือทางแยก) ถูกตัดขาด (เรียกโครงข่ายถนนกรณีนี้ว่า Degraded network) แล้วนำค่าดัชนีของทั้งสองกรณีมาเปรียบเทียบ ผลดังแสดงในรูปที่ 6-2



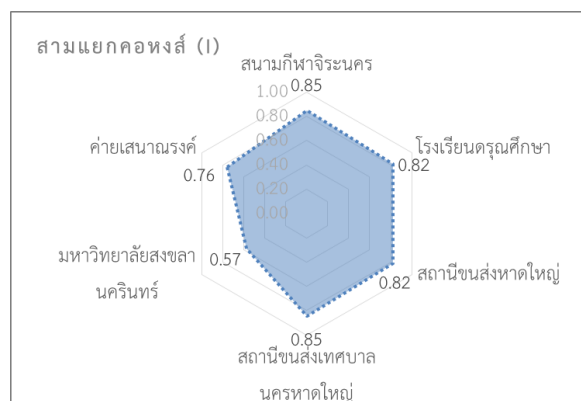
ก) หากสะพานสัจจกุลถูกตัดขาด

ข) หากสะพานข้ามทางรถไฟถูกตัดขาด



ค) หากสะพานแม่โคโรถูกตัดขาด

ง) หากอุโมงค์ลอดทางรถไฟถูกตัดขาด



จ) หากสามแยกคอหงส์ถูกตัดขาด

รูปที่ 6-2 การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีศักยภาพการเข้าถึงศูนย์อพยพ

จากรูปที่ 6-2 พบว่า หากสะพานสังจุกถูกตัดขาด สนามกีฬากิจระนครจะได้รับผลกระทบทำให้การเข้าถึงศูนย์อพยพดังกล่าวทำได้ยากมากที่สุด โดยค่าดัชนีการเข้าถึงลดลงเหลือ 77% (เมื่อเทียบกับค่าดัชนีการเข้าถึงศูนย์อพยพกรณีโครงข่ายถนนปกติ) รองลงมา คือ โรงเรียนตรุณศึกษา (81%) ค่ายเสนาณรงค์ (87%) สถานีขนส่งผู้โดยสารเทศบาลนครหาดใหญ่ (89%) สถานีขนส่งผู้โดยสารอำเภอหาดใหญ่ (90%) และ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (92%) ตามลำดับ

สำหรับกรณีสะพานข้ามทางรถไฟถูกตัดขาด พบว่า สถานีขนส่งผู้โดยสารเทศบาลนครหาดใหญ่ได้รับผลกระทบมากที่สุด ค่าดัชนีการเข้าถึงลดลงเหลือ 86% รองลงมา คือ สนามกีฬากิจระนคร (88%) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (90%) สำหรับโรงเรียนตรุณศึกษาและค่ายเสนาณรงค์ได้รับผลกระทบใกล้เคียงกัน คือ ค่าดัชนีฯ ลดลงเหลือ 91% ส่วนสถานีขนส่งผู้โดยสารอำเภอหาดใหญ่ซึ่งอยู่ค่อนข้างไกลจากถนนที่ถูกตัดขาดได้รับผลกระทบน้อยที่สุด (ค่าดัชนีฯ ลดลงเหลือ 90%)

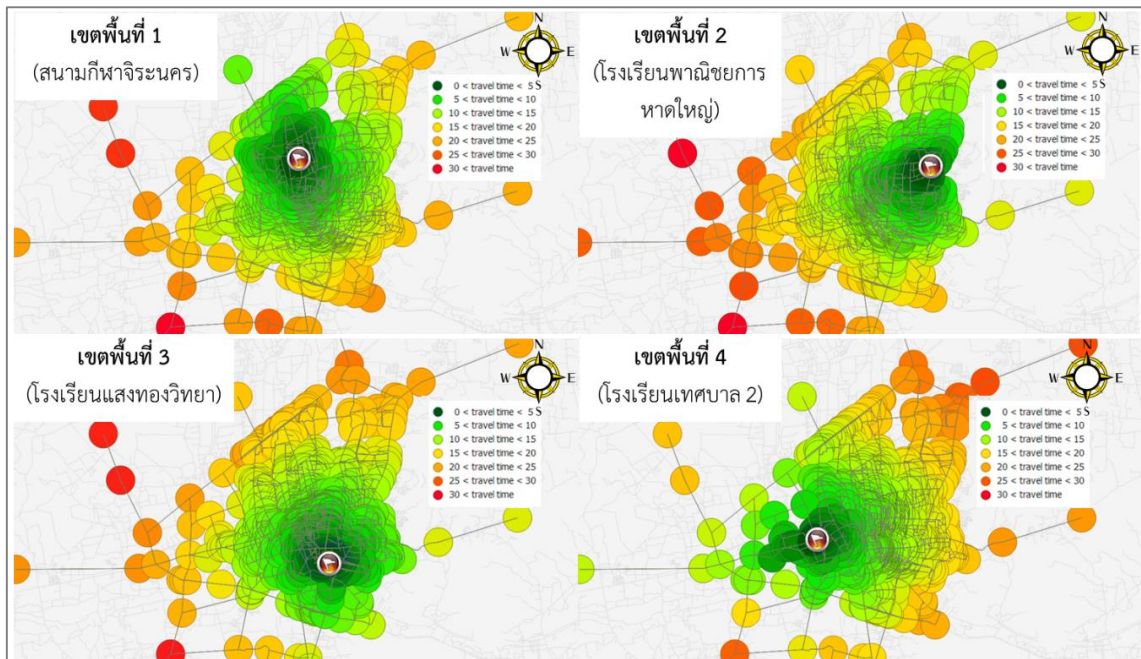
กรณีสะพานแม่โคโรถูกตัดขาด พบว่า สถานีขนส่งผู้โดยสารอำเภอหาดใหญ่ซึ่งอยู่ใกล้กับสะพานนี้ได้รับผลกระทบมากที่สุด ค่าดัชนีการเข้าถึงลดลงเหลือ 77% รองลงมา คือ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (80%) ค่ายเสนาณรงค์ (85%) ส่วนโรงเรียนตรุณศึกษา สนามกีฬากิจระนคร และสถานีขนส่งผู้โดยสารเทศบาลนครหาดใหญ่ได้รับผลกระทบใกล้เคียงกัน คือ ค่าดัชนีฯ ลดลงเหลือ 86%

หากอุโมงค์ลอดทางรถไฟถูกตัดขาด พบว่า สถานีขนส่งผู้โดยสารเทศบาลนครหาดใหญ่ ได้รับผลกระทบมากที่สุด ค่าดัชนีการเข้าถึงลดลงเหลือ 70% รองลงมา คือ สถานีขนส่งผู้โดยสารอำเภอหาดใหญ่ (88%) สนามกีฬากิจระนครและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (90%) โรงเรียนตรุณศึกษา (91%) และค่ายเสนาณรงค์ (93%) ตามลำดับ

สุดท้ายกรณีสามแยกคอหงส์ถูกตัดขาด ผลกระทบที่มีต่อศูนย์อพยพมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ค่อนข้างสูง (ค่าดัชนีฯ ลดลงเหลือ 57%) เนื่องจากทางแยกดังกล่าวมีความจุสามารถรองรับปริมาณการจราจรในช่วงปกติได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับสะพานหรืออุโมงค์ในกรณีก่อนหน้านี้ ประกอบกับปริมาณผู้เดินทางผ่านทางแยกดังกล่าวมีค่อนข้างมาก ดังนั้น เมื่อทางแยกถูกตัดขาดจึงทำให้การอพยพมายังศูนย์อพยพมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ค่อนข้างลำบาก ลำดับถัดมา คือ ค่ายเสนาณรงค์ (76%) โรงเรียนตรุณศึกษาและสถานีขนส่งผู้โดยสารอำเภอหาดใหญ่ (82%) สนามกีฬากิจระนครและสถานีขนส่งผู้โดยสารเทศบาลนครหาดใหญ่ (85%) ตามลำดับ

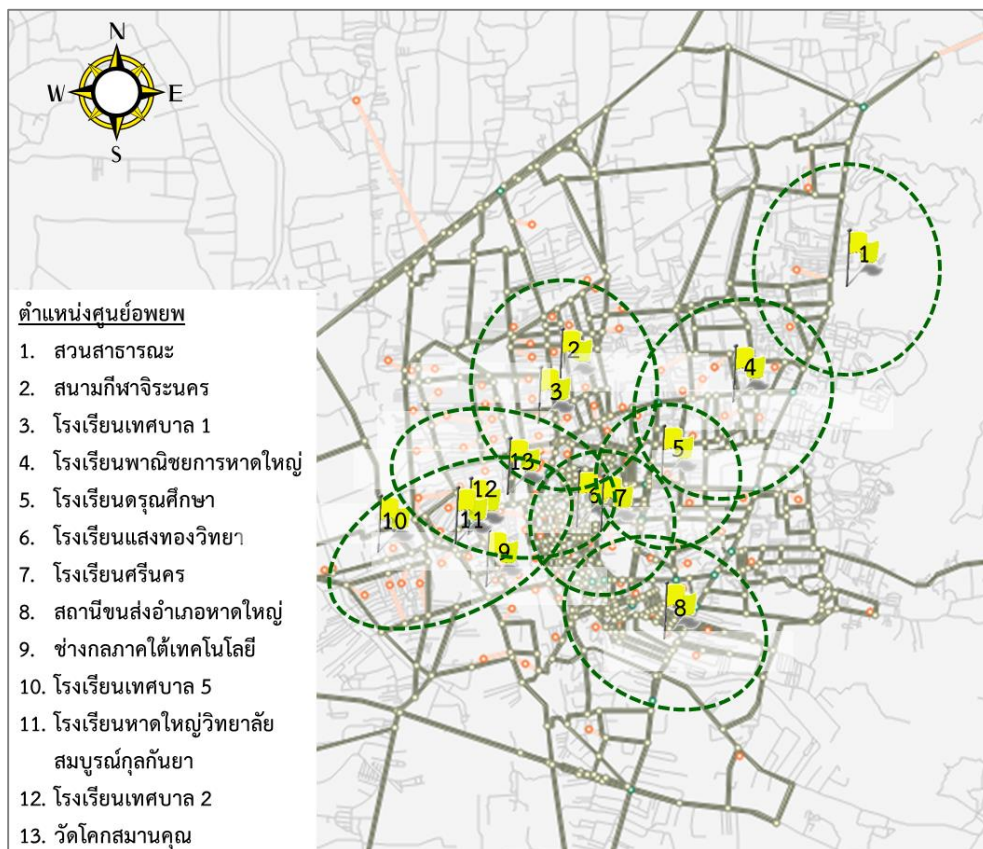
จากผลการศึกษาข้างต้นอาจกล่าวได้ว่า ตำแหน่งของสะพาน อุโมงค์ และทางแยก ส่งผลต่อความยากง่ายในการเข้าถึงศูนย์อพยพอย่างมีนัยสำคัญ

ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองการเดินทางที่สร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์หาเวลาเดินทางเข้าถึงศูนย์อพยพ ผลการวิเคราะห์เวลาดังกล่าวของตัวอย่างศูนย์อพยพในแต่ละเขตพื้นที่ที่แสดงในรูปที่ 6-3 พบว่า ในภาพรวมเวลาที่ใช้ในการเดินทางเข้าถึงตัวอย่างศูนย์อพยพภายในพื้นที่เขตเมืองหาดใหญ่ใช้เวลาไม่เกิน 25 นาที ซึ่งหากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกำหนดเวลาที่ใช้ในการเดินทางเข้าถึงศูนย์อพยพได้อย่างปลอดภัย (Desirable accessibility time) ก็สามารถใช้หลักการวิเคราะห์ดังกล่าวประเมินหาพื้นที่การให้บริการที่ปลอดภัย (ตามเวลาปลอดภัยที่กำหนด) ของแต่ละศูนย์อพยพได้ และหาพื้นที่เสี่ยงนอกเขตการให้บริการได้



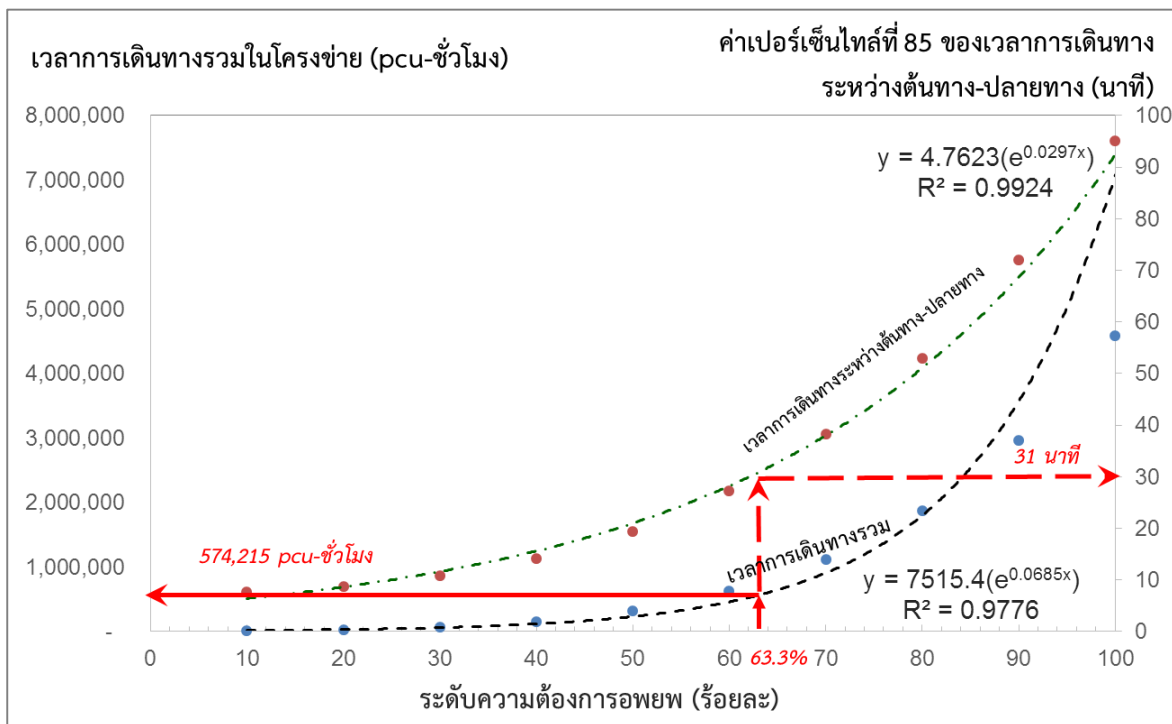
รูปที่ 6-3 เวลาที่ใช้ในการเข้าถึงศูนย์อพยพในแต่ละเขตพื้นที่

ผู้วิจัยสมมติให้เวลาที่ใช้เดินทางเข้าถึงศูนย์อพยพได้อย่างปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 15 นาที ผลการวิเคราะห์พื้นที่การให้บริการที่ปลอดภัยของศูนย์อพยพทั้ง 13 จุดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6-4 ซึ่งพบว่า ศูนย์อพยพทั้ง 13 จุดของเทศบาลนครหาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ที่เสี่ยงน้ำท่วม



รูปที่ 6-4 พื้นที่การให้บริการที่ปลอดภัยของศูนย์อพยพที่กำหนดโดยเทศบาลนครหาดใหญ่

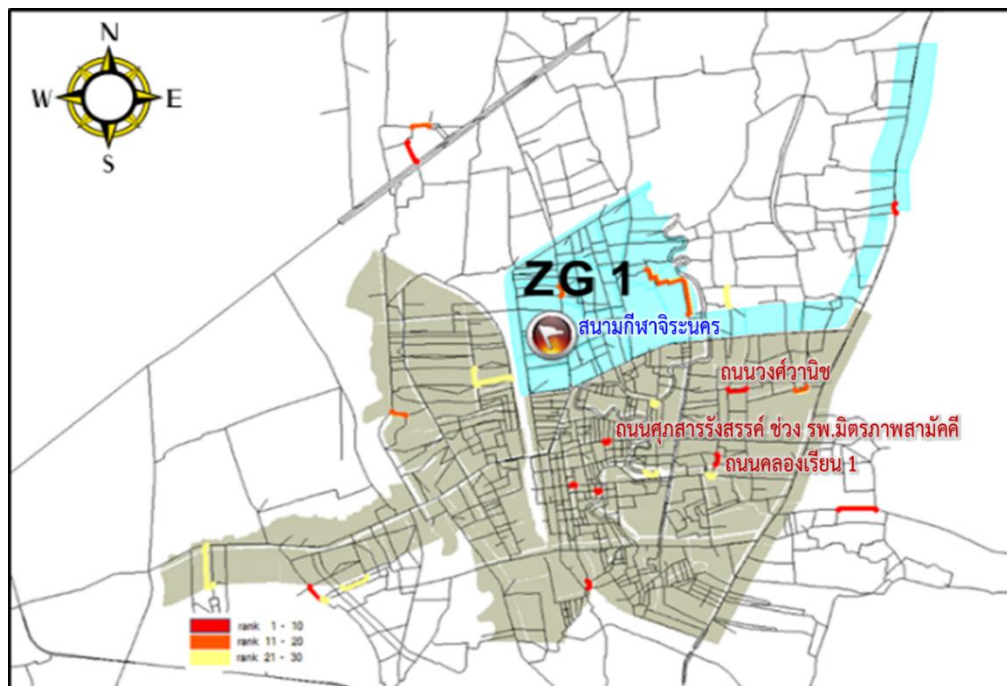
นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ใช้หลักการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) เพื่อคำนวณหาค่าเวลาการเดินทางรวมในโครงข่ายถนน (Total travel time in the network) และค่าเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 85 ของเวลาการเดินทางระหว่างจุดต้นทาง (ชุมชน) -จุดปลายทาง (ศูนย์อพยพ) เมื่อระดับความต้องการในการอพยพมีการเปลี่ยนแปลงโดยพิจารณาเทียบเป็นร้อยละของปริมาณความต้องการเดินทางในช่วงปกติ ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 6-5 ซึ่งพบว่า ระดับความต้องการอพยพที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากบ้านไปยังศูนย์อพยพและเวลาการเดินทางรวมในโครงข่ายถนน และพบว่าแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นดังกล่าวเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล หากระดับความต้องการอพยพมีค่าร้อยละ 63.3 (จากผลการสำรวจข้อมูล) พบว่า การเดินทางจากบ้านไปยังศูนย์อพยพใช้เวลาประมาณ 31 นาที โดยประมาณ ส่วนเวลาการเดินทางรวมในโครงข่ายถนนมีค่าเท่ากับ 574,215 pcu-ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 6-5 สามารถนำไปใช้คาดการณ์สถานการณ์ในกรณีที่ความต้องการอพยพมีระดับที่แตกต่างกัน เช่น ในกรณีที่มีผู้ต้องการอพยพทั้งหมด (100%) สามารถคาดการณ์ได้ว่าต้องใช้เวลาในการเดินทางจากบ้านไปยังศูนย์อพยพโดยประมาณ 93 นาที หรือหนึ่งชั่วโมงครึ่ง เป็นต้น



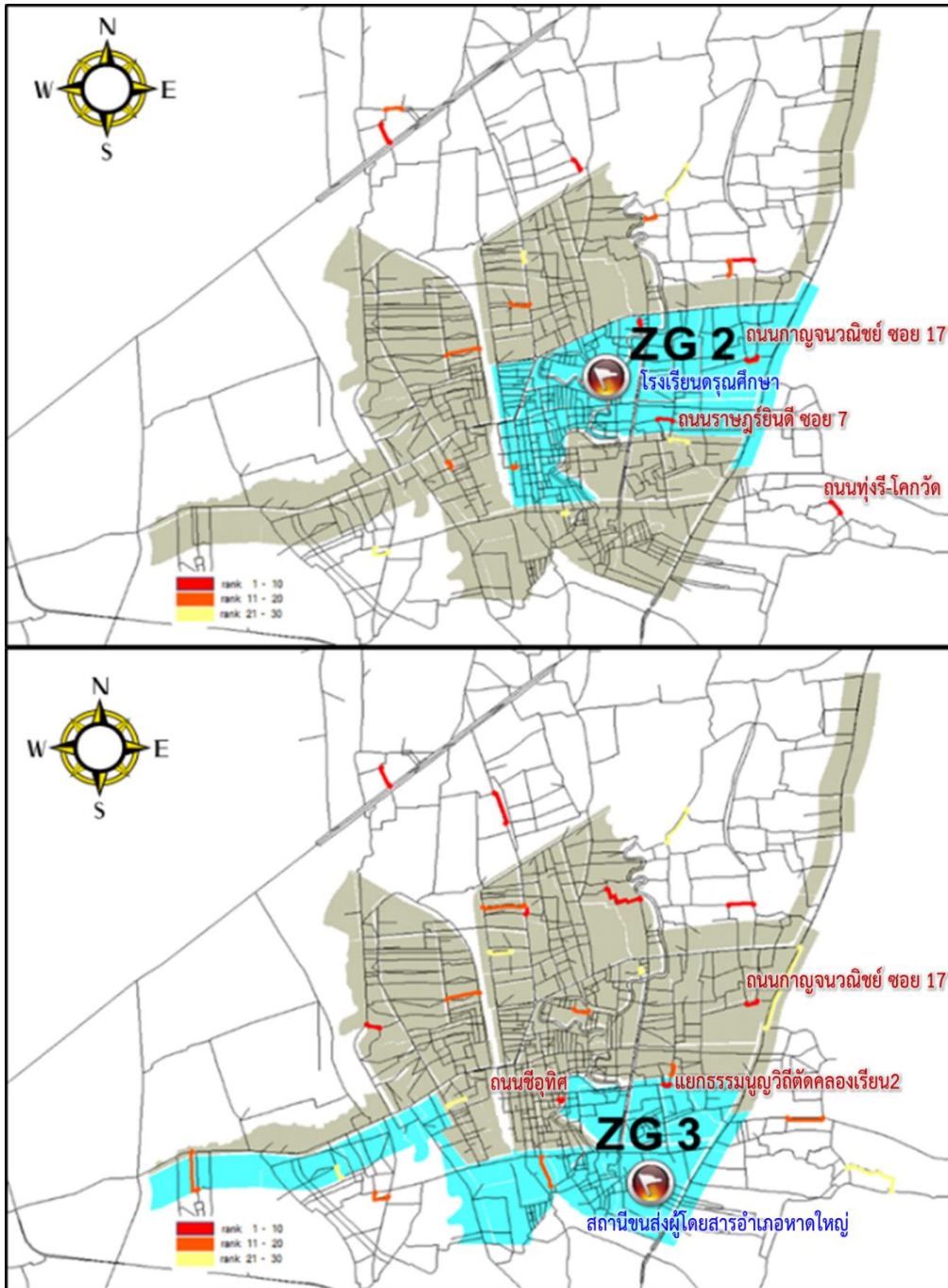
รูปที่ 6-5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความต้องการในการอพยพกับเวลาการเดินทางรวมในโครงข่ายและค่าเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 85 ของเวลาการเดินทางระหว่างชุมชนและศูนย์อพยพ

6.2 ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ

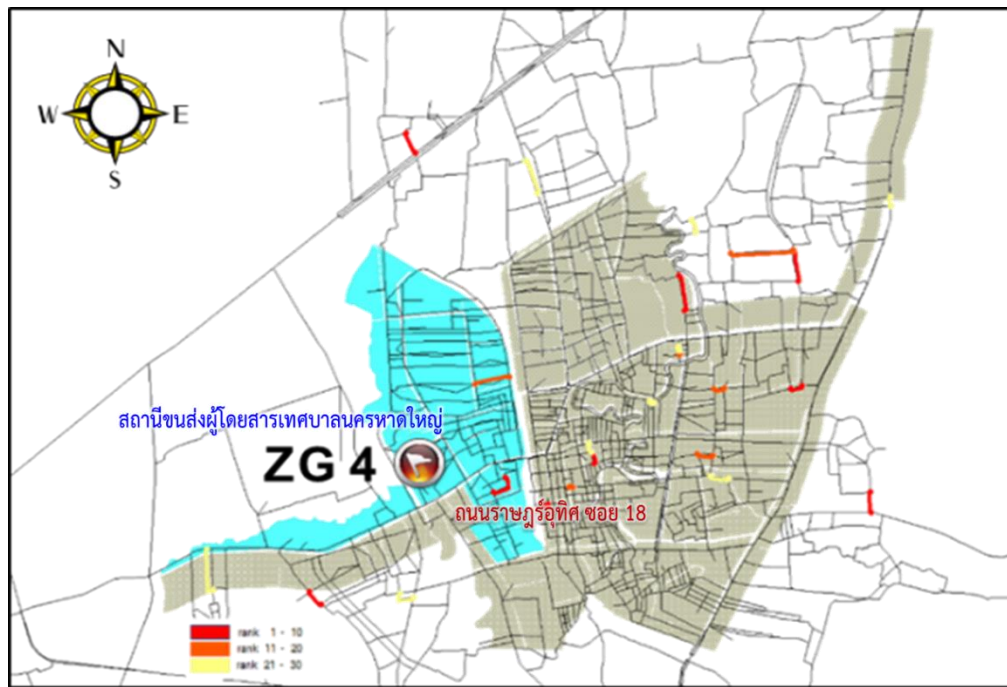
การทดสอบส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์หาตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติของโครงข่ายถนนภายในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยผู้วิจัยได้กำหนดให้ช่วงถนนมีโอกาสถูกตัดขาดหรือติดขัดจนใช้การไม่ได้เมื่อเกิดเหตุน้ำท่วม และพิจารณาศักยภาพที่ประชาชนจะสามารถเดินทางไปยังศูนย์อพยพในแต่ละกลุ่มพื้นที่ (Zone Group หรือ ZG ในรูปที่ 6-1) ได้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์หาตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติโดยใช้ขั้นตอนที่ได้ อธิบายในหัวข้อ 3.4 (รูปที่ 3-24) จากผลการวิเคราะห์ช่วงถนนวิกฤติ 30 อันดับแรกในแต่ละกลุ่มพื้นที่ดัง แสดงในรูปที่ 6-6 พบว่า ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติในอันดับต้นๆ เป็นช่วงถนนหรือซอยที่มีผู้นิยมใช้เดินทาง มี ปริมาณการจราจรหนาแน่นแต่ความจุของถนนน้อย เช่น ถนนวงศ์วานิช ถนนศุภสารรังสรรค์ ช่วง โรงพยาบาลมิตรภาพสามัคคี และถนนคลองเรียน 1 สำหรับการอพยพไปยังสนามกีฬาจระเข้ (ZG 1) ถนนกาญจนวนิช ซอย 17 ถนนราษฎร์ยินดี ซอย 7 ถนนทุ่งรี-โคกวัด สำหรับการอพยพไปยังโรงเรียนดรุณ ศึกษา (ZG 2) ถนนราษฎร์ยินดี ซอย 7 แยกถนนธรรมณูวิถีตัดถนนคลองเรียน 2 ถนนช็อุทิศ สำหรับการ อพยพไปยังสถานีขนส่งผู้โดยสารอำเภอหาดใหญ่ (ZG 3) ถนนราษฎร์อุทิศ ซอย 18 สำหรับการอพยพไปยัง สถานีขนส่งผู้โดยสารเทศบาลนครหาดใหญ่ (ZG 4)



รูปที่ 6-6 ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติบนโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 6-6 ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติบนโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา (ต่อ)



รูปที่ 6-6 ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติบนโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

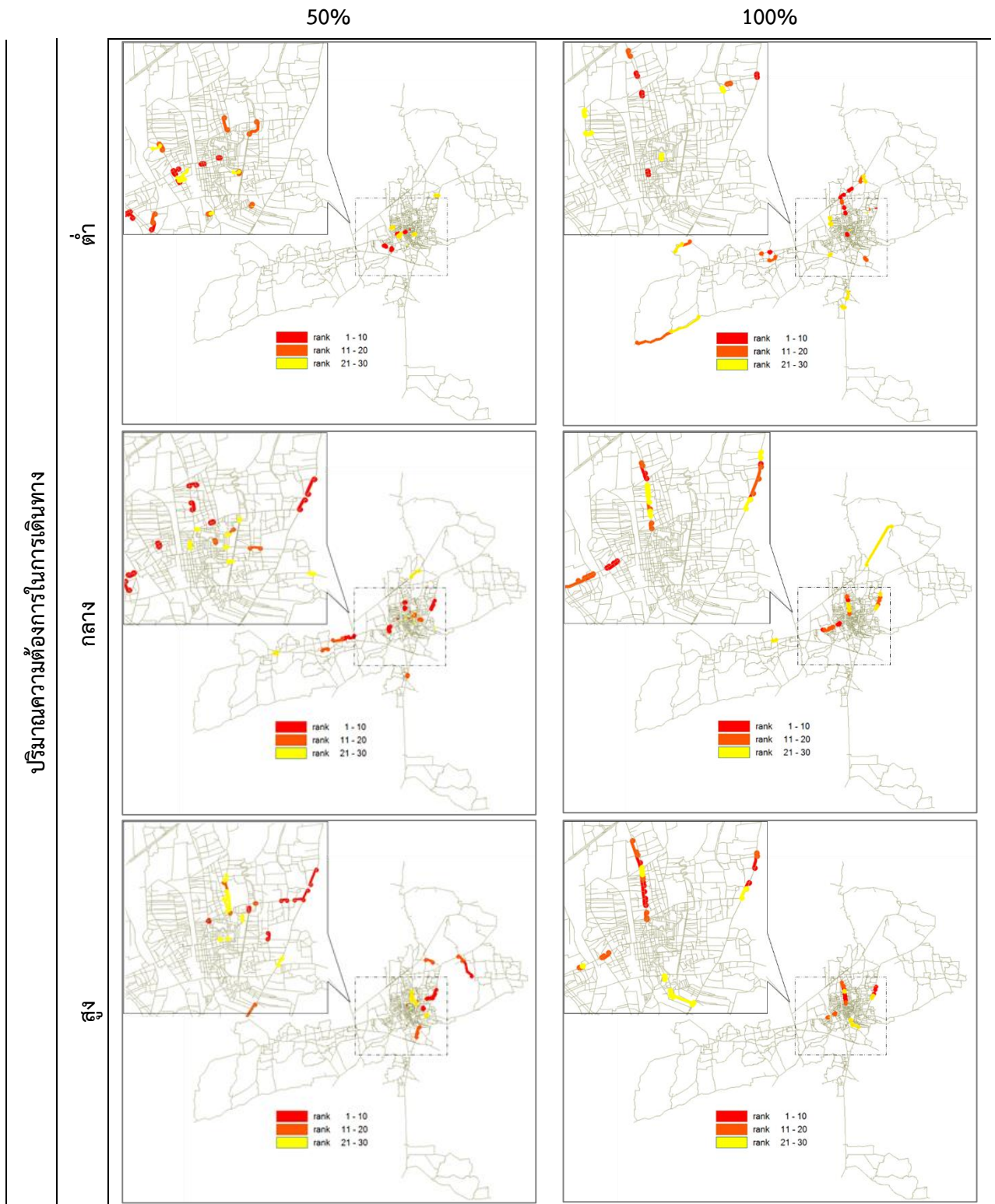
ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติที่ผู้วิจัยได้นำเสนอไปข้างต้นเป็นเพียงผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยมีสมมติฐานบนปริมาณความต้องการอพยพที่ระดับหนึ่งเท่านั้น (จากการสำรวจข้อมูล) และกำหนดให้น้ำท่วมทำให้ถนนถูกตัดขาด ซึ่งในความเป็นจริงปริมาณความต้องการอพยพอาจมีการเปลี่ยนแปลง หรือความรุนแรงของน้ำท่วมอาจไม่ทำให้ถนนถูกตัดขาดก็เป็นได้ ดังนั้น ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติบนโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาจึงควรมีการพิจารณาในการประเมินของการเปลี่ยนแปลงระดับปริมาณความต้องการอพยพและระดับความรุนแรงของน้ำท่วม โดยรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำเสนอในหัวข้อ 6.3

6.3 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ

การทดสอบในส่วนสุดท้าย ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติจากระดับปริมาณความต้องการในการอพยพ (การเปลี่ยนแปลงด้าน demand) รวมทั้งผลกระทบจากความรุนแรงของน้ำท่วมที่ส่งผลต่อความจุของถนนที่ลดลง (การเปลี่ยนแปลงด้าน supply) โดยสมมติให้ประชาชนมีการเดินทางและอพยพออกนอกเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และกำหนดให้ปริมาณความต้องการในการอพยพมี 3 ระดับ คือ สูง (เพิ่มขึ้น 2 เท่าของข้อมูลฐาน) กลาง (ข้อมูลฐาน) และต่ำ (ลดลงครึ่งหนึ่งของข้อมูลฐาน) ส่วนการเปลี่ยนแปลงของความจุถนนมี 2 ระดับ คือ 50% (ความจุถนนลดลงครึ่งหนึ่งของความจุปกติ) และ 100% (ถนนถูกตัดขาดหรือเดินทางผ่านไม่ได้) จากเงื่อนไขข้างต้นสามารถกำหนดเป็นสถานการณ์จำลองได้ 6 กรณี

ผลจากการวิเคราะห์ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ 30 อันดับแรกของแต่ละสถานการณ์จำลองดังรูปที่ 6-7 พบว่า ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความต้องการอพยพและความจุถนนที่ลดลง เมื่อพิจารณาระดับความจุถนนที่ลดลง 50% พบว่า ช่วงถนนวิกฤติส่วนหนึ่งอยู่บนถนนเพชรเกษมช่วงที่ผ่านเมืองและบางส่วนกระจายไปยังถนนในเขตเมือง เนื่องจากการที่ความจุของถนนลดลงครึ่งหนึ่งนั้นประชาชนยังสามารถใช้การถนนดังกล่าวได้ ถึงแม้ระดับการให้บริการจะไม่เท่ากับช่วงปกติก็ตาม ในทางตรงกันข้ามเมื่อถนนไม่สามารถให้บริการได้ (ความจุลดลง 100%) ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติส่วนใหญ่อยู่บนถนนสายหลักที่ใช้เดินทางเข้าออกเมือง เช่น ถนนนิพัทธ์สงเคราะห์ที่ 1 ถนนกาญจนวนิช (ช่วงหน้าค่ายทหารเสนาณรงค์) เป็นต้น

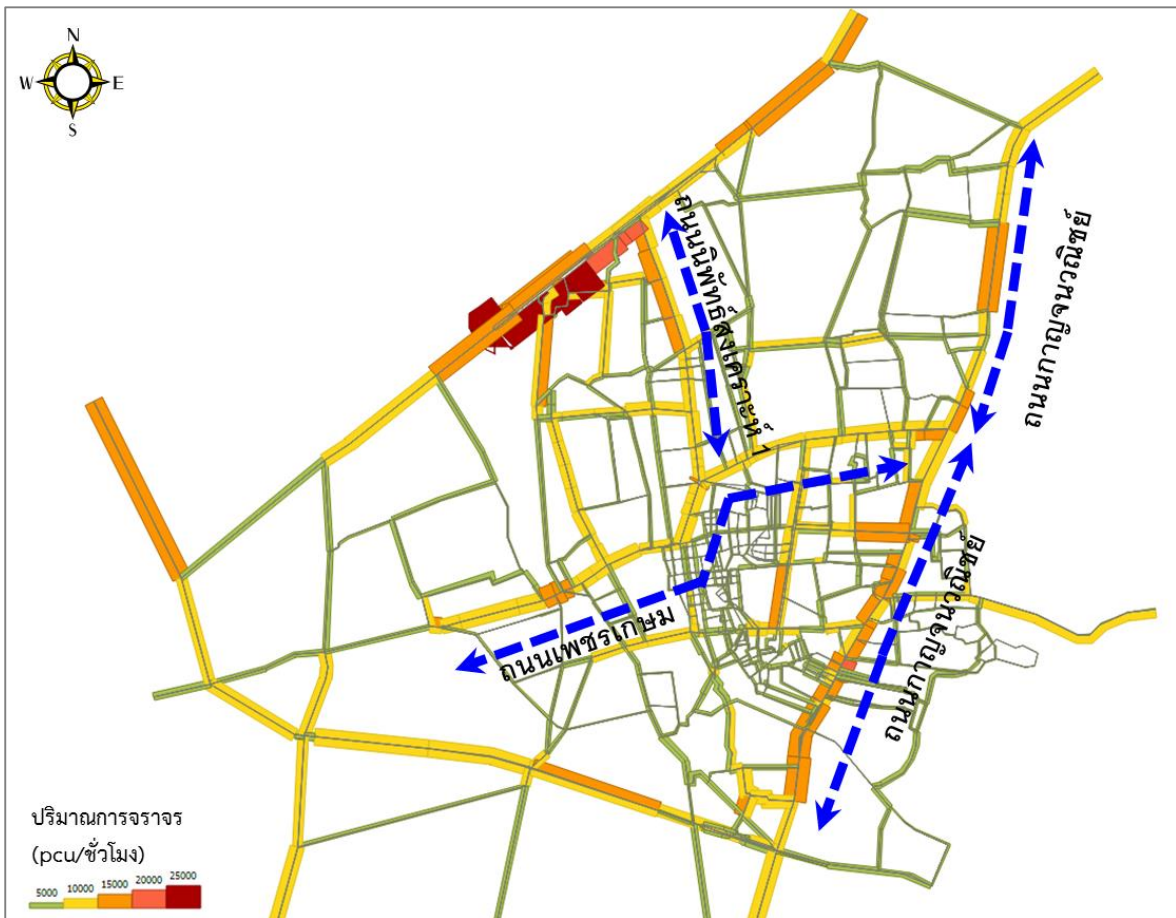
ระดับการลดลงของความจุถนน



รูปที่ 6-7 ความอ่อนไหวของตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ

6.4 ผลการวิเคราะห์เส้นทางอพยพหนีน้ำท่วม

ในหัวข้อนี้ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในการคาดการณ์ปริมาณการเดินทางและอพยพก่อนน้ำท่วม รวมทั้งสภาพการจราจรในช่วงดังกล่าว โดยผลของการคาดการณ์สภาพการจราจรดังแสดงในรูปที่ 6-8 ซึ่งพบว่า ในบริเวณใจกลางเมืองผู้คนส่วนใหญ่อพยพผ่านใจกลางเมืองในแนวเหนือ-ใต้ โดยใช้ถนนนิพัทธ์สงเคราะห์ที่ 1 เป็นหลัก ส่วนการอพยพในแนวตะวันออก-ตะวันตกใช้เส้นทางบนถนนเพชรเกษมเป็นหลัก โดยทิศทางการอพยพจากใจกลางเมืองไปยังทิศตะวันออกจนบรรจบถนนกาญจนวนิช แล้วกระจายไปบนกาญจนวนิชเพื่ออพยพออกจากเมืองในทิศทางเหนือ-ใต้ต่อไป



รูปที่ 6-8 สภาพการจราจรและแนวโน้มการใช้เส้นทางเพื่อการอพยพ

จากสภาพการจราจรและลักษณะของการใช้เส้นทางในการอพยพข้างต้น ซึ่งพบว่าใช้ถนนนิพัทธ์สงเคราะห์ที่ 1 ถนนเพชรเกษม และกาญจนวนิชเป็นหลัก โดยถนนดังกล่าวเป็นถนนที่รองรับปริมาณการจราจรที่ค่อนข้างสูงและเป็นเส้นทางหลักของการเดินทางในช่วงเวลาปกติเช่นกัน (ดังแสดงในรูปที่ 5-7 หัวข้อ 5.2)

ถึงแม้ว่าถนนดังกล่าวจะเป็นเส้นทางสายหลักของการเดินทางภายในเขตเมืองหาดใหญ่ มีความกว้าง และจำนวนช่องจราจรมากกว่าถนนสายรองก็ตาม แต่จากผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตำแหน่งช่วง ถนนวิกฤติในรูปที่ 6-7 (หัวข้อ 6.3) บ่งชี้ให้เห็นว่าตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติหลายจุดอยู่บนช่วงถนนดังกล่าว ซึ่งหมายความว่า หากมีเหตุการณ์ที่ทำให้ความจุของถนนดังกล่าวลดลงจะส่งผลให้ความสามารถในการ เข้าถึงศูนย์อพยพพลดลง หรืออาจกล่าวได้ว่ามีความลำบากในการเข้าถึงศูนย์อพยพ หรืออพยพออกจากเมือง ได้ยากยิ่งขึ้น ดังนั้น แนวทางในการหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ดังกล่าว หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควร

- ✓ ดูแลระดับการให้บริการของถนนให้กระแสนจราจรสามารถไหลได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ
- ✓ ห้ามการจอดที่ผิดกฎหมาย เช่น จอดในที่ห้ามจอด จอดซ้อนคัน
- ✓ ป้องกันอุบัติเหตุจราจรที่อาจเกิดขึ้นบนช่วงถนนและบริเวณทางแยก

แผนที่เส้นทางการอพยพหนีน้ำท่วม

จากผลการศึกษาข้างต้น ผู้วิจัยจึงเสนอแผนที่เส้นทางการอพยพจากพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมดังแสดงใน รูปที่ 6-9 โดยอ้างอิงตำแหน่งศูนย์อพยพ ศูนย์ประสานงาน และสถานที่จอดรถจากคู่มือพร้อมรับ สถานการณ์อุทกภัยของเทศบาลนครหาดใหญ่ (2554) นอกจากนี้ แผนที่ดังกล่าวยังแสดงตำแหน่งสถานี ตำรวจและโรงพยาบาลภายในพื้นที่เสี่ยงภัยเพื่อประโยชน์ต่อผู้อพยพต่อไป ในรูปที่ 6-9 เส้นทางการอพยพ ทั้งสามเส้น ประกอบด้วย

- เส้นทางที่ 1 (ถนนเพชรเกษม) เริ่มจากแยกควนลัง – แยกสนามบินนอก – แยกตัดถนน ราษฎร์อุทิศ – แยกโรงแรมวีแอล – วงเวียนน้ำพุ – แยกธนาคารแห่งประเทศไทย – แยกตัด ถนนราษฎร์ยินดี จนถึงสิ้นสุดที่แยกคอหงส์ ระยะทางประมาณ 9.6 กิโลเมตร
- เส้นทางที่ 2 (ถนนนิพัทธ์สงเคราะห์ที่ 1) เริ่มจากวงเวียนน้ำพุ สิ้นสุดที่แยกบึกซี ระยะทาง ประมาณ 3.2 กิโลเมตร
- เส้นทางที่ 3 (ถนนกาญจนวนิช) เริ่มจากแยกคลองหะ – แยกสถานีขนส่งอำเภอหาดใหญ่ – แยกคลองเรียน – แยกมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ – แยกคอหงส์ สิ้นสุดที่ สวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่ ระยะทางประมาณ 9.0 กิโลเมตร

อย่างไรก็ตาม แผนที่ในรูปที่ 6-9 เป็นการนำเสนอเบื้องต้น งานวิจัยในอนาคตควรพิจารณา รายละเอียดของพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม ประเมินโอกาสที่ถนนหรือศูนย์อพยพในเขตเมืองหาดใหญ่จะถูกน้ำท่วม รวมทั้งเพิ่มเติมรายละเอียดอื่นๆ ที่จำเป็น เช่น เบอร์โทรศัพท์หน่วยงานต่างๆ เพื่อให้แผนที่เส้นทางการอพยพจากพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของเขตเมืองหาดใหญ่มีความถูกต้อง ใช้งานได้ง่าย และมีข้อมูลครบถ้วน



รูปที่ 6-9 แผนที่เส้นทางการอพยพจากพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม

7 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

❖ สรุปผลการศึกษา

❖ ข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการศึกษา

ผลงานที่ได้จากการศึกษานี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางและอพยพ 2) ผลการพัฒนาแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนนในเขตอำเภอเมืองหาดใหญ่ 3) ผลการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในเขตเมืองหาดใหญ่ โดยสามารถสรุปผลในประเด็นที่สำคัญของแต่ละงานได้ดังนี้

7.1.1 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติและการอพยพช่วงน้ำท่วม

สำหรับพฤติกรรมการเดินทาง *ช่วงเวลาปกติ* จากผลการศึกษา พบว่า

- จำนวนการเดินทางโดยเฉลี่ย 1.05 ครั้งต่อวัน ระยะทางเดินทางเฉลี่ย 2.08 กิโลเมตรต่อวัน
- วัตถุประสงค์ของการเดินทางครั้งที่ 1 ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 51.12) เดินทางไปที่ทำงาน ส่วนการเดินทางครั้งที่ 2 มีจุดปลายทางของการเดินทางไป ตลาด (ร้อยละ 23.69) และห้างสรรพสินค้า (ร้อยละ 22.13) โดยวัตถุประสงค์ของการเดินทางสอดคล้องกับจุดปลายทางที่ต้องการเดินทางไป
- ยานพาหนะที่ใช้ในการเดินทาง ส่วนใหญ่ร้อยละ 84.19 ใช้รถส่วนตัว (จักรยานยนต์ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล) รองลงมา คือ รถสองแถว (ร้อยละ 6.38) รถจักรยานยนต์รับจ้าง (ร้อยละ 4.69) รถตุ๊กๆ (ร้อยละ 2.13) รถโดยสารประจำทาง (ร้อยละ 1.25) รถมินิบัส (ร้อยละ 0.75) และรถตู้ (ร้อยละ 0.61)
- เหตุผลในการเลือกใช้รถส่วนบุคคล ร้อยละ 38.54 เลือกใช้เพราะความสะดวก รองลงมา ได้แก่ ค่าใช้จ่ายถูก (ร้อยละ 19.04) ความรวดเร็ว (ร้อยละ 16.39) ความปลอดภัย (ร้อยละ 16.11) และ ความสบาย (ร้อยละ 9.92) ตามลำดับ
- เหตุผลที่เลือกใช้รถสาธารณะ ร้อยละ 33.27 เลือกใช้เพราะความสะดวก รองลงมา ได้แก่ ค่าใช้จ่ายถูก (ร้อยละ 30.70) ความรวดเร็ว (ร้อยละ 12.19) ความปลอดภัย (ร้อยละ 11.66) ความสบาย (ร้อยละ 7.38) และร้อยละ 4.80 เพราะไม่มีรถส่วนตัว

สำหรับพฤติกรรมการอพยพ ช่วงขณะน้ำท่วม

- มีผู้อพยพร้อยละ 63.32 และผู้ไม่อพยพร้อยละ 36.68
- กลุ่มผู้อพยพ ร้อยละ 42.22 อพยพทันทีเมื่อมีประกาศเตือนภัย ร้อยละ 13.37 อพยพเมื่อระดับน้ำท่วมหัวเข่า (ประมาณ 50 เซนติเมตร) และ ร้อยละ 7.74 อพยพเมื่อระดับน้ำท่วมเอว (ประมาณ 1 เมตร) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอพยพ พบว่า ร้อยละ 32.11 พิจารณาความปลอดภัย เป็นหลัก รองลงมา ความรวดเร็ว (ร้อยละ 28.11) ความเป็นระเบียบ (ร้อยละ 12.41) ความพร้อม (ร้อยละ 10.48) มีการให้บริการของศูนย์อพยพที่มีอย่างทั่วถึง (ร้อยละ 8.93) และ ความเป็นระบบของศูนย์อพยพ (ร้อยละ 7.96)
- กลุ่มผู้ไม่อพยพ เนื่องจาก ห่วงทรัพย์สิน (ร้อยละ 40.64) ที่อื่นๆ ไม่สบายเหมือนบ้าน (ร้อยละ 31.75) เป็นห่วงคนชรา/ผู้พิการ/ผู้ป่วย (ร้อยละ 27.61)
- ลักษณะการอพยพ อพยพตรงสู่ศูนย์อพยพ (ร้อยละ 37.56) รวมทั้งจุดรวมพลก่อนไปศูนย์อพยพ (ร้อยละ 25.45) แวะบ้านญาติแล้วไปจุดรวมพลก่อนไปศูนย์อพยพ (ร้อยละ 3.35) แวะตลาด/ร้านค้าแล้วไปจุดรวมพลก่อนไปศูนย์อพยพ (ร้อยละ 2.27) และ แวะที่ทำงานแล้วไปจุดรวมพลก่อนไปศูนย์อพยพ (ร้อยละ 2.11) ส่วนที่เหลือ ร้อยละ 29.26 อพยพไปบ้านญาติ ตามลำดับ
- จำนวนผู้อพยพเฉลี่ยและสูงสุด มีค่าเท่ากับ 3.17 และ 11.94 คนต่อครัวเรือนตามลำดับ
- รูปแบบการเดินทางหลักในการอพยพ ส่วนใหญ่นิยมใช้รถส่วนตัวในการอพยพ (ร้อยละ 78.88) รองลงมา คือ รถสาธารณะ (รถจักรยานยนต์รับจ้าง รถตุ๊กๆ รถสองแถว รถตู้ และรถมินิบัส/รถบัสประจำทาง) คิดเป็นร้อยละ 11.13 ส่วนที่เหลือร้อยละ 9.99 อพยพด้วยการเดินเท้าเป็นหลัก
- สาเหตุที่เลือกเดินเท้าในการอพยพ 3 อันดับแรก คือ ความสบาย (ร้อยละ 29.14) ความสะดวก (ร้อยละ 25.59) และ ความรวดเร็ว (ร้อยละ 15.27) ตามลำดับ ส่วนสาเหตุที่เลือกใช้รถส่วนตัว 3 อันดับแรก คือ ความสะดวก (ร้อยละ 30.14) ความสบาย (ร้อยละ 24.11) และ ความรวดเร็ว (ร้อยละ 18.62) ตามลำดับ สำหรับสาเหตุที่เลือกใช้รถสาธารณะ 3 อันดับแรก คือ ความสะดวก (ร้อยละ 27.84) ความสบาย (ร้อยละ 24.18) และ ความรวดเร็ว (ร้อยละ 13.20) ตามลำดับ

สำหรับพฤติกรรมการอพยพ ช่วงหลังน้ำท่วม

- ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 69.86) กลับที่พักอาศัยทันทีที่น้ำเริ่มลดถึงแม้ระดับน้ำจะยังไม่กลับสู่สภาวะปกติก็ตาม รองลงมา คือ กลับหลังจากน้ำลดและระดับน้ำกลับสู่สภาวะปกติแล้ว (ร้อยละ 21.33) กลับหลังจากระดับน้ำกลับสู่สภาวะปกติ 3 วัน (ร้อยละ 3.71) รอจนมั่นใจว่าน้ำไม่ท่วมอีก (ร้อยละ 3.04) และ กลับหลังระดับน้ำกลับสู่สภาวะปกติ 1 วัน (ร้อยละ 2.06) ตามลำดับ
- ระยะเวลาฟื้นฟูกลับสู่การใช้ชีวิตปกติ ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 40.08) ใช้เวลา 1-2 สัปดาห์ รองลงมา คือ น้อยกว่า 1 สัปดาห์ (ร้อยละ 28.03) 3-4 สัปดาห์ (ร้อยละ 12.57) 1-2 เดือน (ร้อยละ 10.82) ส่วนที่ใช้เวลา 3-6 เดือน และมากกว่า 6 เดือน มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 3.97 และ 4.53 ตามลำดับ

7.1.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนนในเขตอำเภอเมืองหาดใหญ่

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลการเดินทางและสภาพการจราจรที่ได้จากการสำรวจและจากการทบทวนงานที่เกี่ยวข้องมาสร้างแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่อำเภอเมืองหาดใหญ่บนพื้นฐานของแบบจำลองการคาดการณ์ปริมาณการเดินทางแบบ 4 ขั้นตอน (Four-step travel demand forecasting model) โดยแบ่งพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ออกเป็น 211 พื้นที่ย่อย (Zones) ครอบคลุม 4,659 ช่วงถนน (Links)

สำหรับผลการเปรียบเทียบแบบจำลองที่สร้างขึ้น พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 0.964 ซึ่งถือว่ามีค่าสูงสามารถนำไปประยุกต์ใช้คาดการณ์ปริมาณการเดินทางในสถานการณ์ต่างๆ ได้ โดยผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์การเดินทางและสภาพการจราจรของโครงข่ายถนนในปีฐาน (พ.ศ. 2555) ซึ่งพบว่า มีสภาพใกล้เคียงกับความเป็นจริง

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางและอพยพในบางประเด็นมาใช้สร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพน้ำท่วมโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Logistic regression analysis) โดยได้แบ่งแบบจำลอง 2 ส่วนคือ

- 1) แบบจำลองการตัดสินใจอพยพน้ำท่วม โดยใช้ Binary logistic regression เพื่อหาสมการในการคาดการณ์การตัดสินใจเลือกอพยพ/ไม่อพยพ ในงานวิจัยนี้ได้แบบจำลองดังกล่าวสำหรับกลุ่มอาชีพต่างๆ 6 แบบจำลอง ซึ่งในแต่ละแบบจำลองมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจอพยพ/ไม่อพยพที่แตกต่างกันไป
- 2) แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางสำหรับการอพยพ โดยใช้ Multinomial logistic regression ในการหาสมการในการคาดการณ์การตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทาง 3 ทางเลือก คือ การเดิน การใช้รถส่วนตัว (รถจักรยานยนต์ รถยนต์ และรถกระบะ) และการใช้รถสาธารณะ (ตุ๊กๆ สองแถว รถตุ้ และรถบัส) และกำหนดให้การใช้รถส่วนตัวเป็น pivot choice เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปผู้วิจัยนี้ได้แบ่งแบบจำลอง

ดังกล่าวออกเป็น 2 กลุ่มย่อย โดยแบ่งตามช่วงเวลาของการอพยพ (อพยพทันทีหลังจาก การเตือนภัย และ อพยพเมื่อน้ำท่วม < 50 ซม.) และ แบ่งตามจุดปลายทางของการอพยพ (บ้านญาติ และ ศูนย์อพยพ)

แบบจำลองทั้งสองประเภทข้างต้นเป็นแบบจำลองแบบย่อย (Disaggregate model) ซึ่งเมื่อนำไปคาดการณ์จำนวนผู้ต้องการอพยพหรือไม่อพยพจะต้องทราบข้อมูลปัจจัยของทุกคนในระดับพื้นที่ย่อย (หมู่บ้าน) ซึ่งค่อนข้างมีข้อจำกัด ประกอบกับการวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์การเดินทางและอพยพในระดับพื้นที่รวม ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลร้อยละและสัดส่วนต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้จากการสำรวจข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการเดินทางและอพยพด้วยแบบจำลองการเดินทางบนโครงข่ายถนนในเขตอำเภอเมือง หาดใหญ่แทน

7.1.3 ผลการวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในเขตเมืองหาดใหญ่

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ความเปราะบางในงานวิจัยนี้เน้นผลกระทบที่มาจากภัยน้ำท่วม ซึ่งพื้นที่เสี่ยงภัยส่วนใหญ่อยู่ในเขตเมือง หาดใหญ่ ดังนั้น การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนจึงเน้นวิเคราะห์ในเขตเมืองหาดใหญ่เป็นหลัก โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน คือ

- 1) การประเมินศักยภาพในการเข้าถึงพื้นที่ โดยใช้ดัชนีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ความสามารถในการเข้าถึงศูนย์อพยพหากถนนสายสำคัญภายในเขตเทศบาลนคร หาดใหญ่ถูกตัดขาด พบว่า ปริมาณการเดินทางและความจุของช่วงถนนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการเข้าถึงศูนย์อพยพ ผู้วิจัยยังได้วิเคราะห์เวลาในการเข้าถึงศูนย์อพยพ และวิเคราะห์หาพื้นที่การให้บริการที่ปลอดภัยของศูนย์อพยพที่กำหนด โดยเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยพบว่า ศูนย์อพยพทั้ง 13 จุดครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของเขตเมืองหาดใหญ่ที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ใช้หลักการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) เพื่อคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ที่ 85 ของเวลาการเดินทางระหว่างจุดต้นทาง (ชุมชน) ไปยัง จุดปลายทาง (ศูนย์อพยพ) และ ค่าเวลาการเดินทางรวมในโครงข่ายถนน (Total travel time in the network) เมื่อระดับความต้องการอพยพมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 100% พบว่า เมื่อระดับความต้องการอพยพสูงขึ้น ค่าเวลาการเดินทางระหว่างชุมชนไปยังศูนย์อพยพและค่าเวลาการเดินทางรวมในโครงข่ายถนนมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้คาดการณ์สถานการณ์ของโครงข่ายถนนหากทราบร้อยละความต้องการอพยพที่แน่นอน

- 2) การวิเคราะห์หาตำแหน่งของช่วงถนนวิกฤติภายในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ พบว่า ตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติโดยเฉพาะอันดับต้นๆ เป็นช่วงถนนที่รองรับปริมาณการจราจรที่หนาแน่นและมีความจุสำรองเหลือน้อย เช่น ถนนนิพัทธ์สงเคราะห์ที่ 1 ช่วงวงเวียนน้ำพุ ถึงแยกโรงปูน ถนนกาญจนวนิชช่วงแยกคอกหงส์ถึงบริเวณค่ายทหารเสนารณรงค์ และถนนเพชรเกษมช่วงหน้าอำเภอหาดใหญ่จนถึงสะพานข้ามทางรถไฟ เป็นต้น
- 3) การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ พบว่า ระดับความรุนแรงของภัยพิบัติและปริมาณความต้องการในการอพยพมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติ ดังนั้น ในการประเมินตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติควรระมัดระวังในการคาดการณ์ปริมาณความต้องการอพยพและระดับความรุนแรงของภัยพิบัติเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ความเปราะบางมีความใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นมากที่สุด

7.1.4 แผนที่เส้นทางอพยพหนีน้ำท่วม

ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในการคาดการณ์ปริมาณการเดินทางและอพยพก่อนน้ำท่วม ซึ่งพบว่า ผู้คนส่วนใหญ่อพยพผ่านใจกลางเมืองในแนวเหนือ-ใต้โดยใช้ถนนนิพัทธ์สงเคราะห์ที่ 1 เป็นหลัก ส่วนการอพยพในแนวตะวันออก-ตะวันตกใช้เส้นทางบนถนนเพชรเกษมเป็นหลัก โดยทิศทางการอพยพจากใจกลางเมืองไปยังทิศตะวันออกจนบรรจบถนนกาญจนวนิช แล้วกระจายไปบนกาญจนวนิชเพื่ออพยพออกจากเมืองในทิศทางเหนือ-ใต้ต่อไป ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเสนอแผนที่เส้นทางอพยพจากพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมโดยอ้างอิงตำแหน่งศูนย์อพยพ ศูนย์ประสานงาน และสถานที่จอดรถจากคู่มือพร้อมรับสถานการณ์อุทกภัยของเทศบาลนครหาดใหญ่ พ.ศ. 2554 ครอบคลุมเส้นทางอพยพ 3 สาย คือ

- 1) เส้นทางที่ 1 (ถนนเพชรเกษม) เริ่มจากแยกควนลัง – แยกสนามบินนอก – แยกตัดถนนราษฎร์อุทิศ – แยกโรงแรมวีแอล – วงเวียนน้ำพุ – แยกธนาคารแห่งประเทศไทย – แยกตัดถนนราษฎร์ยินดี จนถึงสิ้นสุดที่แยกคอกหงส์ ระยะทางประมาณ 9.6 กิโลเมตร
- 2) เส้นทางที่ 2 (ถนนนิพัทธ์สงเคราะห์ที่ 1) เริ่มจากวงเวียนน้ำพุ สิ้นสุดที่แยกบึกซี ระยะทางประมาณ 3.2 กิโลเมตร
- 3) เส้นทางที่ 3 (ถนนกาญจนวนิช) เริ่มจากแยกคลองหะ – แยกสถานีขนส่งอำเภอหาดใหญ่ – แยกคลองเรียน – แยกมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ – แยกคอกหงส์ สิ้นสุดที่สวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่ ระยะทางประมาณ 9.0 กิโลเมตร

อย่างไรก็ตาม แผนที่ดังกล่าวเป็นการนำเสนอเบื้องต้น งานวิจัยในอนาคตควรพิจารณารายละเอียดของพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม ประเมินโอกาสที่ถนนหรือศูนย์อพยพในเขตเมืองหาดใหญ่จะถูกน้ำท่วม รวมทั้งเพิ่มเติมรายละเอียดอื่นๆ ที่จำเป็น เช่น เบอร์โทรศัพท์หน่วยงานต่างๆ เพื่อให้แผนที่เส้นทางอพยพจากพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของเขตเมืองหาดใหญ่มีความถูกต้อง ใช้งานได้ง่าย และมีข้อมูลครบถ้วน

7.2 ข้อเสนอแนะ

7.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการวางแผนรองรับน้ำท่วมในอนาคต

จากผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางและอพยพของนักเรียนสามารถสรุปประเด็นได้ดังนี้

การเตรียมพร้อมก่อนน้ำท่วม

- ประชาชนต้องการให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องแจ้งเตือนภัยก่อนเกิดเหตุประมาณ 16 ชั่วโมง (ประมาณครึ่งวัน)
- ข้อมูลเตือนภัยที่ต้องการจากหน่วยงานควรมาจากแหล่งที่มีความน่าเชื่อถือ (ร้อยละ 29.02) ทันต่อสถานการณ์ (ร้อยละ 27.36) มีความแม่นยำในการคาดการณ์ (ร้อยละ 24.04) และ มีความถูกต้องของการรายงานผล (ร้อยละ 19.58)
- ช่องทางการแจ้งข้อมูลเตือนภัยที่ต้องการมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ ชักธงแดง (ร้อยละ 20.48) จุดพลุ (ร้อยละ 18.24) และ วิทยุกระจายเสียง (ร้อยละ 15.79) ตามลำดับ
- หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรดูแลระดับการให้บริการของช่วงถนนที่เป็นเส้นทางอพยพ
 - ให้กระแสรถสามารถไหลได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ
 - ห้ามการจอดที่ผิดกฎหมาย เช่น จอดในที่ห้ามจอด จอดซ้อนคัน
 - ป้องกันอุบัติเหตุจากรถที่อาจเกิดขึ้นบนช่วงถนนและบริเวณทางแยก

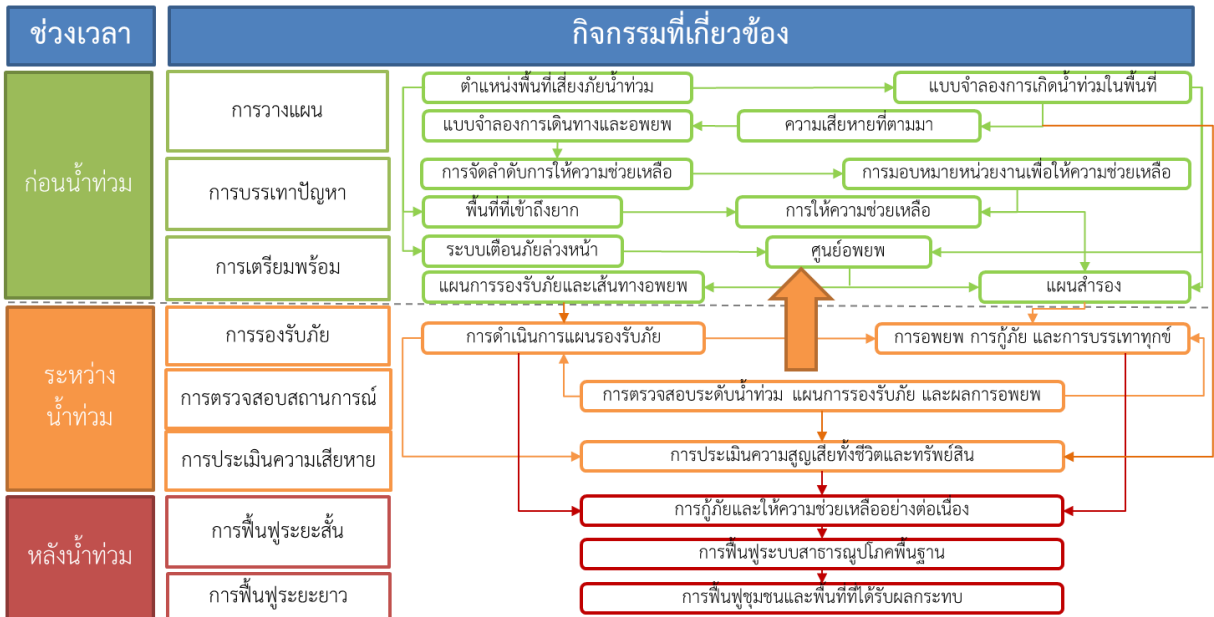
การรับภัยขณะน้ำท่วม

- สิ่งจำเป็นและต้องการให้มีในศูนย์อพยพ 3 อันดับแรก คือ อาหาร/เครื่องดื่ม (ร้อยละ 30.02) เสื้อผ้า/เครื่องนุ่งห่ม (ร้อยละ 20.77) และ ยารักษาโรค/แพทย์ประจำ (ร้อยละ 18.58) ตามลำดับ
- ความปลอดภัยโดยทั่วไปที่ต้องการให้มี 4 อันดับแรก ได้แก่ เจ้าหน้าที่เข้าเวรยามประจำ (ร้อยละ 30.02) เจ้าหน้าที่สายตรวจวันละ 1 ครั้ง (ร้อยละ 20.77) เจ้าหน้าที่ดูแลสัตว์เลี้ยง (ร้อยละ 18.58) และ เจ้าหน้าที่คอยเฝ้าระวังน้ำท่วม (ร้อยละ 9.68) ตามลำดับ
- สำหรับผู้ที่ไม่อพยพ ต้องให้ทางราชการดูแลและช่วยเหลือใน 3 ประเด็นแรก ได้แก่ การรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า (ร้อยละ 29.02) ภัยจากมิถุนาซีฟ (ร้อยละ 16.88) และ ภัยจากสัตว์มีพิษ (ร้อยละ 16.32) ตามลำดับ

การฟื้นฟูหลังน้ำท่วม

- ระบบไฟฟ้า ประปา และถนน เป็นระบบโครงสร้างพื้นฐานที่ต้องการให้หน่วยงานที่รับผิดชอบฟื้นฟูอย่างเร่งด่วน 3 อันดับแรก
- การขอความช่วยเหลือด้านสินค้าอุปโภคและบริโภคเพื่อการดำรงชีวิต พบว่า ควรควบคุมราคาสินค้า (ร้อยละ 35.51) ควรมีการแจกสิ่งของที่จำเป็นต่อการยังชีพ (ร้อยละ 30.55) ควรมีการตั้งศูนย์จำหน่ายสินค้าราคาถูก (ร้อยละ 17.93) และ ควรมีแผนป้องกันไม่ให้สินค้าขาดแคลน (ร้อยละ 16.01)

สำหรับการวางแผนในภาพรวม ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางการวางแผนรองรับภัยน้ำท่วมในช่วงเวลาต่างๆ โดยปรับปรุงมาจากผลการศึกษาของ El-sergany และ Alam (2012) ซึ่งได้จำแนกกิจกรรมต่างๆ ตามช่วงเวลาของน้ำท่วม ตั้งแต่ก่อนน้ำท่วม ระหว่างน้ำท่วม และหลังน้ำท่วม ดังแสดงในรูปที่ 7-1



รูปที่ 7-1 แนวทางการวางแผนรองรับภัยน้ำท่วมในช่วงเวลาต่างๆ
ที่มา: ปรับปรุงจาก El-sergany และ Alam (2012)

ในช่วงก่อนน้ำท่วม ประกอบด้วยขั้นตอนของการวางแผน การบรรเทาปัญหาที่อาจเกิดขึ้น และการเตรียมพร้อม โดยขั้นตอนเริ่มจากการระบุตำแหน่งของพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมซึ่งอาจใช้ข้อมูลในอดีตหรือใช้แบบจำลองการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ พร้อมทั้งประเมินความเสียหายที่อาจตามมา จากข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัยและความเสียหายที่อาจมา ก็จะนำเข้าสู่แบบจำลองการเดินทางและอพยพ (นำเสนอในงานวิจัยนี้) เพื่อคาดการณ์ปริมาณความต้องการอพยพในโครงข่ายถนน เพื่อนำจัดทำบัตรให้ความช่วยเหลือในแต่ละพื้นที่โดยมอบหมายให้หน่วยงานที่รับผิดชอบในพื้นที่เสี่ยงภัยแต่ละพื้นที่ ซึ่งหากเป็นพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยาก

จำเป็นต้องให้ความช่วยเหลือเป็นพิเศษ จากนั้นระบบเตือนภัยล่วงหน้าก็จะทำการแจ้งให้ประชาชนทราบ เพื่อตัดสินใจอพยพ/ไม่อพยพ สำหรับผู้ที่ต้องการอพยพ สามารถเลือกได้ว่าต้องการอพยพออกนอกพื้นที่เสี่ยงภัย หรือเดินทางไปยังศูนย์อพยพ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีแผนการรองรับภัยและแจ้งแนวเส้นทางเพื่อการอพยพให้ประชาชนทราบ โดยควรแจ้งให้ทราบล่วงหน้าและมีการซักซ้อมอยู่เป็นประจำ อย่างไรก็ตาม ควรมีแผนสำรองเตรียมการไว้ในกรณีที่มีเหตุสุดวิสัยเกิดขึ้น

ระหว่างน้ำท่วม ประกอบด้วยขั้นตอนของการรองรับภัย การตรวจสอบสถานการณ์ และการประเมินความเสียหาย ซึ่งกิจกรรมจะต่อเนื่องช่วงก่อนหน้านี้นี้ โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรดำเนินการแผนการรองรับภัย ทำการอพยพ ภัย หรือแม้แต่การบรรเทาทุกข์ที่เกิดขึ้น ในขณะเดียวกันหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการตรวจสอบสถานการณ์ระดับน้ำท่วมที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ตรวจสอบแผนการรับภัยและการอพยพว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ มีประสิทธิภาพเพียงใด เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินมากน้อยเพียงใด สามารถปรับเปลี่ยนแผนรองรับภัยเพื่อบรรเทาความสูญเสียได้หรือไม่

หลังน้ำท่วม ควรมีการฟื้นฟูทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยในระยะสั้นเริ่มจากการกู้ภัย เพื่อให้ความช่วยเหลืออย่างต่อเนื่องจนมั่นใจว่าไม่มีผู้คนติดอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยหรือซากอาคาร พร้อมการฟื้นฟูระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน เช่น ไฟฟ้า ประปา ถนน เป็นต้น ส่วนในระยะยาว หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรลงพื้นที่เพื่อทำการฟื้นฟูสภาพจิตใจของผู้ประสบภัย พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือเพื่อให้ชุมชนและพื้นที่ที่ได้รับ ความเสียหายกลับสู่สภาพปกติ

7.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้อาจมีข้อจำกัดหลายประการ งานวิจัยในอนาคตควรครอบคลุมประเด็นต่างๆ ดังนี้

7.2.2.1 การศึกษาพฤติกรรมการเดินทางช่วงปกติและการอพยพช่วงน้ำท่วม

ในการวิจัยครั้งนี้ การสำรวจพฤติกรรมของกลุ่มตัวอย่างได้ดำเนินการเฉพาะในเขตพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่เป็นพื้นที่ตัวอย่างเท่านั้น ด้วยข้อจำกัดด้านเวลาการทำวิจัยและความสามารถในการเข้าถึงชุมชนนอกเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลเฉลี่ยจากกลุ่มตัวอย่างเพื่ออธิบายพฤติกรรมการเดินทางของผู้ที่อาศัยนอกเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงบ้าง ดังนั้น ในการศึกษาในอนาคตควรมีการสำรวจพฤติกรรมดังกล่าวให้ครอบคลุมกลุ่มตัวอย่างนอกเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ทั่วถึงทุกอาชีพ และมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างในแต่ละอาชีพที่มากพอ

การสร้างแบบจำลองการตัดสินใจอพยพน้ำท่วม ผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญกับการอพยพก่อนน้ำท่วมเป็นหลัก การวิจัยในอนาคตควรพิจารณาการอพยพช่วงระหว่างน้ำท่วม หรือการเดินทางกลับหลังจากน้ำท่วม นอกจากนี้ ในการสร้างแบบจำลองดังกล่าว ผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกใช้วิธีการอย่างง่ายและไม่พิจารณามิติของเวลาในแบบจำลอง เนื่องจากแบบจำลองที่ได้นำไปคาดการณ์จำนวนผู้อพยพเพื่อเตรียมการอพยพล่วงหน้าระยะยาว ซึ่งในอนาคตควรพิจารณามิติของเวลาเข้ามาในแบบจำลองเพื่อให้ใช้วางแผนอพยพแบบ real time ได้ต่อไป

7.2.2.2 การพัฒนาแบบจำลองการเดินทางของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองการเดินทางสำหรับรถส่วนตัวเท่านั้น เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากผู้โดยสารส่วนตัวเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม การวิจัยในอนาคตควรพิจารณาโดยสาธารณชนเข้ามาในแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองการเดินทางครอบคลุมการใช้งานพาหนะทุกรูปแบบ สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบระหว่างการเดินทางด้วยรถส่วนตัวและรถสาธารณะ และสามารถนำแบบจำลองที่ได้มาวางแผนจัดการระบบการขนส่งสาธารณะสำหรับผู้โดยสารให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

7.2.2.3 การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนน

การวิเคราะห์ความเปราะบางของโครงข่ายถนนในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สมมติฐานที่ว่า ทุกช่วงถนนมีโอกาสได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมเท่าๆ กัน อันทำให้โอกาสที่ความจุถนนลดลง หรือโอกาสที่ถนนถูกการตัดขาด เท่ากันทุกช่วงถนน ซึ่งในความเป็นจริงโอกาสดังกล่าวของแต่ละช่วงถนนอาจแตกต่างกันไป การวิจัยในอนาคตควรศึกษาความน่าจะเป็นของการเกิดน้ำท่วมบนถนนแต่ละสาย และศึกษาผลกระทบที่มีต่อความสามารถของช่วงถนนในแต่ละพื้นที่ รวมทั้งการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความรุนแรงของภัยน้ำท่วมต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความจุถนน

นอกจากนี้ ควรมีการพัฒนาระบบการเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งช่วงถนนวิกฤติที่รวดเร็วกว่าการวิเคราะห์แบบดั้งเดิมที่ใช้ในงานวิจัยนี้

7.2.2.4 การวิเคราะห์แนวเส้นทางอพยพหนีน้ำท่วม

การวิเคราะห์แนวเส้นทางอพยพของการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาเพียงปัจจัยด้านความเร็วของการเดินทางและอพยพเป็นหลัก ซึ่งในความเป็นจริงเส้นทางอพยพควรเป็นเส้นทางที่ไม่เสี่ยงต่อการถูกน้ำท่วม อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผู้วิจัยไม่มีแบบจำลองน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษาขณะที่ดำเนินการวิจัยนี้ จึงไม่สามารถพิจารณาประเด็นดังกล่าวได้ การวิจัยในอนาคตควรพิจารณาแบบจำลองน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษาด้วย

ผู้วิจัยวิเคราะห์หาเส้นทางอพยพที่เหมาะสมประยุกต์ใช้ Shortest path algorithm ซึ่งเป็นโมดูลหนึ่งในโปรแกรม EMME หากการวิจัยในอนาคตได้พิจารณาปัจจัยอื่นๆ สำหรับเส้นทางอพยพ เช่น ระดับน้ำ ระดับถนน เป็นต้น ปัญหาการหาเส้นทางอพยพที่เหมาะสมจะเป็นปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective optimization problem) ซึ่งเป็นปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ยาก (NP-hard problem) และมีห้วงปัญหา (problem space) ที่มีขนาดใหญ่ การศึกษาในอนาคตควรมีการพัฒนาวิธีการที่มีประสิทธิภาพเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

8 เอกสารอ้างอิง

- กรมทางหลวง. 2555. รายงานปริมาณการจราจรบนทางหลวง
- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. สถานการณ์สาธารณภัย. www.disaster.go.th. วันที่สืบค้น 3 ธันวาคม 2555.
- กระทรวงคมนาคม. 2550. ชุดข้อมูลพื้นฐานเชิงพื้นที่ด้านเส้นทางคมนาคม
- กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 79 – 81.
- เกษม ชูจารุกุล. 2555. ระบบการขนส่งและการดำเนินงาน. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เทศบาลนครหาดใหญ่. 2554. คู่มือพร้อมรับสถานการณ์อุทกภัย
- วิโรจน์ รุโจปการ. 2544. การวางแผนการขนส่งเขตเมือง. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. 2553. โครงการศึกษาต้นทุนการประกอบการรถโดยสารประจำทาง, รายงานฉบับสมบูรณ์. หน้า 166.
- สำนักงานอำเภอหาดใหญ่. ข้อมูลประชากร 2555. www.hatyai-sk.go.th. วันที่สืบค้น 12 มกราคม 2556.
- ศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เขต 12 สงขลา. 2555. รายงานสถานการณ์อุทกภัยอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.
- Baker, G.H. 2005. A Vulnerability Assessment Methodology for Critical Infrastructure Facilities.
- Bhat, C.R. 1996. A hazard-based duration model of shopping activity with nonparametric baseline specification and nonparametric control for unobserved heterogeneity. *Transportation Research Part B: Methodological*, 30(3), pp. 189-207.
- Berdica, K. 2002. An introduction to road vulnerability: What has been done, is done and should be done. *Transport Policy*, 9 (2), 117-127.
- Berdica, K., Mattsson L. 2007. Vulnerability: A model-based case study of the road network in Stockholm. In: Murray A.T., Grubestic T.H. (eds) *Critical infrastructure: Reliability and vulnerability*, Springer, Heidelberg, 81-106.
- Boyce, D. 1998. A Practitioner's Guide to Urban Travel Forecasting Models. *Proceedings of Metropolitan Conference on Public Transportation Research*, 5 June 1998, Chicago, pp. 309-319.

- Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). 2012. Natural disasters reported from 1975 to 2011. Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium.
- Charnkol, T., Tanaboriboon, Y. 2006. Tsunami Evacuation Behaviour Analysis - One Step of Transportation Disaster Response. *IATSS Research*, 30(2), pp. 83-96.
- Charnkol, T., Tanaboriboon, Y., Hanaoka, S. 2007. "Emergency trip destination of evacuation as shelter analysis for tsunami disaster: a case study in Phuket, Thailand," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 7, pp. 853-868.
- Clarke, C. C., Habib, M. A. 2010. Evaluation of Multi-Modal Transportation Strategies for Emergency Evacuations, presented at the 2010 Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Nova Scotia.
- Danfeng, Y., Fangchun, Y. 2009. Vulnerability Analysis of Intelligent Network System, *International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing*, pp. 282-285.
- de Jong, M., Helsloot, I. 2010. The effects of information and evacuation plans on civilian response during the National Dutch flooding exercise 'Waterproef', *Procedia Engineering*, 3, pp. 153-162.
- D'Este, G.M., Taylor, M.A.P. 2003. Network vulnerability: An approach to reliability analysis at the level of national strategic transport networks. In: Bell M.G.H., Iida Y. (eds) *The network reliability of transport*; Pergamon, Oxford, 23-44.
- El-sergany, A.T., Alam, A. 2012. Trip Distribution Model for Flood Disaster Evacuation Operation. *ITE Journal*, 82(10), pp. 42-47.
- Fu, H., Wilmot, C., Baker, E. 2006. Sequential Logit Dynamic Travel Demand Model and Its Transferability, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1977, pp. 17-26.
- Hasan, S., Mesa-Arango, R., Ukkusuri, S. 2011. A random-parameter hazard-based model to understand household evacuation timing behavior. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, pp. 25-45.
- Inro Inc. 2012. *Emme Prompt Manual Version 3.4.1*, Westmount, Montréal, Canada.
- Jenelius, E. 2009. Network structure and travel patterns: Explaining the geographical disparities of road network vulnerability. *Journal of Transport Geography*; 17 (3), 234-244.
- Jenelius, E. 2010. Large-Scale Road Network Vulnerability Analysis, Ph.D Thesis, Division of Transport and Location Analysis, Department of Transport Science, KTH, Sweden.
- Jenelius, E., Petersen, T., Mattsson, L. 2006. Importance and exposure in road network vulnerability analysis. *Transportation Research Part A*; 40(7), 537-560.

- Kansas Department of Health and Environment (KDHE). 2003. Simplified Vulnerability Assessment Tool for Drinking Water.
- Luatsep, P., Sumalee, A., Ho, H.W., Kurauchi, F. 2011. Large-scale road network vulnerability analysis: a sensitivity analysis based approach, *Transportation*; 38 (5), 799-817.
- Murray-Tuite, P., Mahmassani, H. 2004. Methodology for Determining Vulnerable Links in a Transportation Network. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*; 1882, 88-96.
- Murray-Tuite, P., Wolshon, B. 2013. Evacuation transportation modeling: An overview of research, development, and practice. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 27, pp. 25-45.
- MVA Asia, Comsis Corporation, Padeco, Genie Engineering Consultant, Asian Engineering Consultant. 1998. Urban Transport Database and Model Development Project (UTDM), Final Report Volume 2. Office of the Commission for the Management of Land Traffic (OCMLT), Bangkok
- Sorensen, J.H. 1991. "When shall we leave? Factors Affecting the Timing of Evacuation Departures," *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, 9(2), pp. 153-165.
- Taylor, M.A.P. 2008. Critical transport infrastructure in urban areas: Impacts of traffic incidents assessed using accessibility-based network vulnerability analysis. *Growth and Change*, 39 (4), 593-616.
- Taylor, M.A.P., D'Este, G.M. 2007. Transport network vulnerability: A method for diagnosis of critical locations in transport infrastructure systems. In: Murray A.T., Grubestic T.H. (eds) *Critical infrastructure: Reliability and vulnerability*; Springer, Heidelberg, 9-30.
- Taylor, M.A.P., Sekhar, S.V.C., D'Este, G.M. 2006. Application of accessibility based methods for vulnerability analysis of strategic road networks. *Networks and Spatial Economics*, 6 (3), 267-291.
- UN International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). 2009. Global assessment report on disaster risk reduction.
- U.S. Department of Energy. 2002. Vulnerability Assessment Methodology, Electric Power Infrastructure.
- Yamane, T., 1967. *Elementary sampling theory*. Prentice-Hall.

ภาคผนวก ก1

ข้อมูลชุมชน ประชากร และผลการคาดการณ์จำนวนการเดินทางในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ ก1-1 ข้อมูลชุมชนและประชากรในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา	ชื่อชุมชน	รหัส EMME Zone	พื้นที่ (ตร.กม.)	จำนวนประชากร (คน)	จำนวนครัวเรือน (หลัง)
เทศบาลนคร หาดใหญ่	หน้าสวนสาธารณะ	3	0.64	1236	418
	ทักษิณเมืองทอง	1171	0.18	1038	350
	สุภาพอ่อนหวาน	1172	0.16	1433	485
	หน้าค่ายเสนาณรงค์	1213	0.23	1679	567
	ภาสว้าง	1291	0.13	672	275
	อู่ ท.ส.	1810	0.08	564	232
	พุ่มแม่สอน	1891	0.2	1387	479
	กอบกาญจนศึกษา	1881	0.21	1123	388
	แม่ลิเตา	1889	0.28	1569	542
	คลองเตย	1536	0.25	1472	508
	โรงปูน	1937	0.02	770	267
	อนุสรณ์อาจารย์ทอง	2422	0.12	1371	473
	สามัคคี	1950	0.16	1250	430
	หน้า รพ. ศิครินทร์	1963	0.15	1423	468
	เกาะเสือ	1970	0.17	1676	552
	หลังสนามกีฬากลาง	1994	0.17	1883	622
	หลังรร.หาดใหญ่วิทยาลัย	2013	0.1	1592	549
	ศรีนิล	2037	0.12	1534	530
	หมัดยาเม้าะ	2049	0.13	976	255
	ป้อม 6	2058	0.15	1511	488
	หน้าสนามกีฬากลาง	2084	0.12	1335	362
	โรงเรียนชาตรี	2203	0.12	1524	436
	ศิครินทร์	2228	0.16	1664	494
	รัถการ	2242	0.17	1313	390
	ริมทางรถไฟ	2243	0.16	801	238
	มุสลิม	658	0.03	1136	217
	หอนาฬิกา	2245	0.07	1332	562
	ตลาดคอมแพล็กซ์	2246	0.05	1147	514
	บ้านพักรถไฟ	2247	0.1	984	478
	ศาลเจ้าพ่อเสือ	2248	0.08	730	414
ตลาดใหม่	2249	0.18	2135	1262	
กิมหยงสันติสุข	2250	0.11	2289	969	

พื้นที่ศึกษา	ชื่อชุมชน	รหัส EMME Zone	พื้นที่ (ตร.กม.)	จำนวนประชากร (คน)	จำนวนครัวเรือน (หลัง)
เทศบาลนคร หาดใหญ่	พระเสนาหา	2251	0.12	1365	730
	ป้อม 4	2252	0.07	1090	481
	แสงศรี	2253	0.04	1310	493
	สวนศิริ	2244	0.05	989	361
	จิรนคร	2319	0.24	1522	593
	ทุ่งเขยเขยั้ง	2255	0.12	2591	1041
	ประชาธิปไตย	2256	0.11	1358	582
	สามชัย	2257	0.11	1314	546
	หน้า รร.หาดใหญ่วิทยาลัย	2258	0.08	1159	705
	ชุมอุทิศ	2259	0.09	694	298
	โรงพยาบาลกรุงเทพ	2260	0.12	1377	622
	บ้านจำ	2261	0.1	2048	819
	द्रุณศึกษา	2262	0.21	1650	1141
	กลางนา	2263	0.19	2333	765
	หน้าโรงเรียนโสตศึกษา	1566	0.5	2325	930
	ห้วยนาหัก	2264	0.39	1460	1025
	ริมควน	2265	0.28	3300	1558
	คลองระบายน้ำที่ 1	2266	0.25	2005	541
	เทศาพัฒนา	2269	0.15	1622	647
	ตลาดพ่อพรหม	2270	0.15	2170	693
	ศาลาลูทอง	2272	0.15	877	326
	หลังที่ว่าการอำเภอ	2267	0.15	1513	484
	บ้านหาดใหญ่	2271	0.19	839	247
	ท่าเคียน	2273	0.22	960	300
	ดีแลนด์-ไทยเจริญ	2275	0.16	1374	419
	ปลักกริม	2276	0.22	1508	414
	จันทร์ประทีป	2277	0.16	616	226
	จันทร์วิโรจน์	2274	0.15	1366	489
	รัตนวิบูลย์	2278	0.16	1105	517
	จันทร์นิเวศน์	2279	0.19	2050	997
	ทุ่งเสา	2280	0.21	2678	1145
	อู่ญี่ปุ่น	2281	0.18	2492	1041
ขนส่ง	2282	0.25	1022	433	
หน้าวัดคลองเรียน	2283	0.2	1171	785	

พื้นที่ศึกษา	ชื่อชุมชน	รหัส EMME Zone	พื้นที่ (ตร.กม.)	จำนวนประชากร (คน)	จำนวนครัวเรือน (หลัง)
เทศบาลนคร หาดใหญ่	ซีกิมหยง	2284	0.16	1375	645
	ละม้ายสงเคราะห์	2285	0.22	1062	355
	คลองเรียน	2286	0.22	1062	355
	เทศบาลนครหาดใหญ่บ้านร่มเย็น	2287	0.16	1883	673
	ทุ่งรี	2288	0.16	605	245
	ตลาดคลองเรียน	2289	0.21	950	422
	สามแยกคลองเรียน	2290	0.16	440	147
	ผาสุก-เคียงดาว	2291	0.19	1616	693
	ท่าไทร	2292	0.25	1181	353
	สถานีอุตะเกา	2293	0.19	543	253
	ตันโด	2294	0.21	1816	599
	หน้าโรงเหล้าสรรพสามิต	2295	0.27	977	411
	สัจจกุล	2296	0.21	1915	769
	รัชมังคลาภิเษก	2297	0.15	1554	419
	บ้านฉาง	2298	0.15	2274	809
	สามทหาร	2299	0.18	1046	288
	บางหัก	2107	0.22	1696	667
	เกาะเลียบ	2301	0.21	3186	1041
	รัตนอุทิศ	2302	0.13	2316	618
	สถานี 2	2303	0.17	3196	739
	มงคลहरราช	2304	0.17	2164	1261
	บ้านกลาง	2305	0.15	792	271
	โชคสมาน	2306	0.15	3422	964
	หน้าอำเภอ	2307	0.19	1431	747
	ราษฎร์อุทิศ	2308	0.17	1962	936
	วัดโคกสมานคุณ	2309	0.21	2042	668
	ไทยโฮเต็ล	2310	0.2	1384	658
	หน้าสถานีรถไฟ	2311	0.17	866	350
	หลังโรงพัก	2312	0.14	2008	660
	หลังอุรุรถไฟ	2313	0.14	733	278
	ประชาราษฎร์อุทิศ	2314	0.16	1044	401
	แฟลตเคหะใหม่	2315	0.13	1267	365
แฟลตเคหะเก่า	2316	0.14	634	301	
วัดหาดใหญ่ใน	2317	0.25	2309	715	

พื้นที่ศึกษา	ชื่อชุมชน	รหัส EMME Zone	พื้นที่ (ตร.กม.)	จำนวนประชากร (คน)	จำนวนครัวเรือน (หลัง)
	สถานีขนส่งหาดใหญ่ใน	2318	0.24	147	100
ตำบลทุ่งตำเสา	บ้านทุ่งตำเสา	2331	12.74	1911	433
	บ้านหูแร่	2332	8.29	2297	700
	บ้านนาแสน	2333	6.44	1386	381
	บ้านโห๊ะ	2334	8.15	971	302
	บ้านนายสี	2335	7.58	821	202
	บ้านพรุชบา	2336	13.02	2839	656
	บ้านท่าหม่อไชย	2337	10.58	1002	250
	บ้านวังพา	2338	29.8	1409	343
	บ้านทุ่งเลียบบ	2339	10.45	1453	531
	บ้านเกาะม่วง	2340	7.44	1357	414
ตำบลทุ่งใหญ่	บ้านห้วยนอนถนน	2341	2.46	449	97
	บ้านทุ่งใหญ่	2342	6.27	1147	247
	บ้านนายด่าน	2343	4.24	638	167
	บ้านพรุเตานอก	2344	3.96	601	156
	บ้านพรุเตาใน	2345	13.83	604	545
	บ้านทุ่งงาย	2346	7.97	1312	314
ตำบลท่าข้าม	แม่เตย	2351	3.94	893	277
	คลองจิก	2350	4.58	1038	322
	ท่าข้าม	2353	2.5	565	176
	บ้านปึก	2349	2.64	598	186
	หนองบัว	2354	4.68	1061	329
	หินเกลี้ยง	2348	6.32	1432	445
	เขากลอยออก	2347	3.78	855	266
	เขากลอยตก	2352	6.24	1414	439
ตำบลพะตง	บ้านคลองตง	2325	9.27	514	94
	บ้านควนเนียง	2330	15.48	761	157
	บ้านปลักเด	2329	18.44	888	187
	บ้านคลองนุ้ย	2326	22.49	1072	228
	บ้านควนซีแรด	2327	16.08	946	163
	บ้านทุ่งปรือ	2328	17.56	1064	178
	บ้านคลองประตู่	2324	7	515	71
บ้านพรุ	เขตการปกครองเขต 1	1322	1.51	1825	1404
	เขตการปกครองเขต 2	2355	1.12	1354	1041

พื้นที่ศึกษา	ชื่อชุมชน	รหัส EMME Zone	พื้นที่ (ตร.กม.)	จำนวนประชากร (คน)	จำนวนครัวเรือน (หลัง)
	เขตการปกครองเขต 3	2356	1.24	1499	1153
	เขตการปกครองเขต 4	2357	1.75	2115	1627
	เขตการปกครองเขต 5	2358	2.8	3384	2603
	เขตการปกครองเขต 6	2359	1.72	2079	1599
	เขตการปกครองเขต 7	2360	2.6	3142	2417
	เขตการปกครองเขต 8	2361	2.1	2538	1952
	เขตการปกครองเขต 9	2362	2.62	3166	2436
	เขตการปกครองเขต 10	2363	0.51	616	474
คลองอยู่ตะเภา	บ้านหัวบ้านนอก	170	6.8	608	172
	บ้านกลาง	2364		362	116
	บ้านท่าแซะ	2365		595	169
	บ้านหนองบัว	2366		872	229
ฉลุง	บ้านโคกขี้เหล็ก	2367	44.09	2376	512
	บ้านม่วงค้าย	2373	27.04	1468	314
	บ้านท่าแร่ – หลุมหัวล้าน	2368	11.63	571	135
	บ้านหัวจักร – ฟุ้งรีน	2370	7.92	356	92
	บ้านไร่อ้อย	2372	18.95	885	220
	บ้านสวนพลู	2374	7.49	346	87
	บ้านฉลุง	2371	17.31	908	201
คูเต่า	บ้านบางโหนด	2369	1.27	728	145
	บ้านบางโหนดใน	2382	0.48	184	55
	บ้านแหลมโพธิ์	2381	2.54	1346	289
	บ้านเกาะนก	2383	1.17	172	133
	บ้านควน	2384	3.06	1443	348
	บ้านคูเต่า	2385	1.7	763	193
	บ้านดอน	2390	4.86	3254	553
	บ้านใต้	2387	2.33	961	265
	บ้ายหัวควาย	2388	1.98	872	226
	บ้านบางโทอง	2389	1.62	828	184
ตำบลน้ำน้อย	บ้านน้ำน้อยนอก	2393	7.33	2012	649
	บ้านน้ำน้อย	2395	2.39	657	212
	บ้านน้ำน้อยใน	2394	3.04	834	269
	บ้านบนเขา	2402	3.06	840	271
	บ้านท่านางหอม	2397	5.24	1438	464

พื้นที่ศึกษา	ชื่อชุมชน	รหัส EMME Zone	พื้นที่ (ตร.กม.)	จำนวนประชากร (คน)	จำนวนครัวเรือน (หลัง)
	บ้านบ่อโพธิ์	2401	7.56	2074	669
	บ้านท่าจีน	2399	4.29	1178	380
	บ้านกลางนา	2396	4.61	1265	408
	บ้านโคกหาร	2398	4.6	1262	407
	บ้านบนเขา	2400	5.08	1395	450
ตำบลควนลิ่ง	บ้านทุ่งควนจีน	15	66.78	1868	1041
	บ้านม่วงค่อม	2417		2997	1187
	บ้านวังหลัง	2418		2433	790
	บ้านควนลิ่ง	2419		7074	2694
	บ้านบางแพบ	2421		8507	3567
	บ้านหน้าควน	2420		14676	6294
ตำบลคลองแห	บ้านเกาะหมี่	2403	24.53	2923	944
	บ้านหนองทราย	2404		650	182
	บ้านทุ่งน้ำ	2405		666	145
	บ้านท่าช้าง	2413		488	125
	บ้านทุ่งปราบ	2411		603	188
	บ้านหนองนายชัย	2410		1317	439
	บ้านปากัน	2412		1826	677
	บ้านคลองเตย	2409		7384	3521
	บ้านคลองแห	2408		2143	906
	บ้านหนองบัว	2407		1502	483
	บ้านท่าไทร	2406		6954	2887
	เทศบาลเมือง คอหงษ์	บ้านปลักธง		2414	14.82
(นอกเหนือจาก พื้นที่เทศบาลนคร หาดใหญ่)	บ้านทุ่งโดน	2415	4126	2040	
	บ้านคลองหะ	2416	5806	2835	

ตาราง ก1-2 จำนวนการเกิดการเดินทางและการตั้งจุดการเดินทางของพื้นที่ย่อย

รหัส EMME Zone	การเกิดการ เดินทาง (เที่ยวต่อวัน)	การตั้งจุดการ เดินทาง (เที่ยวต่อวัน)	รหัส EMME Zone	การเกิดการเดินทาง (เที่ยวต่อวัน)	การตั้งจุดการ เดินทาง (เที่ยวต่อวัน)
3	70.452	63.407	2049	55.632	50.069
15	98.07	88.263	2058	86.127	77.514
75	256	320	2084	68.486	76.095
170	26.25	23.63	2098	270	300
368	104.625	116.25	2107	65.296	58.766
549	157.5	291.667	2203	78.181	86.868
658	68.728	61.855	2228	85.363	94.848
690	314.967	583.272	2242	67.357	74.841
715	54.432	100.8	2243	41.091	45.657
1171	59.166	53.249	2244	59.835	53.851
1172	81.681	73.513	2245	162.527	180.586
1213	86.133	95.703	2246	62.454	69.394
1232	241.445	447.12	2247	59.532	53.579
1291	38.304	34.474	2248	44.165	39.749
1322	95.808	86.228	2249	116.251	129.168
1420	348.75	387.5	2250	124.636	138.485
1536	83.904	75.514	2251	82.583	74.324
1566	126.596	140.663	2252	65.945	59.351
1810	32.148	28.933	2253	79.255	71.33
1827	450	833.333	2255	156.756	141.08
1881	57.61	64.011	2256	82.159	73.943
1889	89.433	80.49	2257	79.497	71.547
1891	79.059	71.153	2258	63.108	70.12
1937	43.89	39.501	2259	41.987	37.788
1950	71.25	64.125	2260	74.978	83.309
1963	73	81.111	2261	123.904	111.514
1970	95.532	85.979	2262	99.825	89.843
1994	96.598	107.331	2263	141.147	127.032
2013	81.67	90.744	2264	88.33	79.497
2037	87.438	78.694	2265	176.55	158.895
2266	107.268	96.541	2297	59.829	53.846
2267	80.946	72.851	2298	87.549	78.794

รหัส EMME Zone	การเกิดการ เดินทาง (เที่ยวต่อวัน)	การดึงดูดการ เดินทาง (เที่ยวต่อวัน)
2269	86.777	78.099
2270	116.095	104.486
2271	44.887	40.398
2272	46.92	42.228
2273	51.36	46.224
2274	73.081	65.773
2275	73.509	66.158
2276	80.678	72.61
2277	32.956	29.66
2278	59.118	53.206
2279	109.675	98.708
2280	143.273	128.946
2281	133.322	119.99
2282	49.209	54.677
2283	62.649	56.384
2284	73.563	66.206
2285	56.817	51.135
2286	56.817	51.135
2287	100.741	90.666
2288	32.368	29.131
2289	45.743	50.825
2290	23.54	21.186
2291	86.456	77.81
2292	45.469	40.922
2293	20.906	18.815
2294	69.916	62.924
2295	37.615	33.853
2296	73.728	66.355
2332	120.593	108.533
2333	72.765	65.489
2334	50.978	45.88
2335	43.103	38.792
2336	149.048	134.143
2337	52.605	47.345

รหัส EMME Zone	การเกิดการเดินทาง (เที่ยวต่อวัน)	การดึงดูดการ เดินทาง (เที่ยวต่อวัน)
2299	40.271	36.244
2301	122.661	110.395
2302	89.166	80.249
2303	110.741	123.046
2304	83.314	74.983
2305	30.492	27.443
2306	131.747	118.572
2307	55.094	49.584
2308	75.537	67.983
2309	78.617	70.755
2310	53.284	47.956
2311	52.507	58.341
2312	77.308	69.577
2313	28.221	25.398
2314	40.194	36.175
2315	48.78	43.902
2316	24.409	21.968
2317	88.897	80.007
2318	5.66	5.094
2319	92.081	82.873
2324	27.038	24.334
2325	26.985	24.287
2326	56.28	50.652
2327	49.665	44.699
2328	55.86	50.274
2329	46.62	41.958
2330	39.953	35.957
2331	100.328	90.295
2362	166.237	149.614
2363	32.359	29.123
2364	31.92	28.728
2365	19.005	17.105
2366	31.238	28.114
2367	45.78	41.202

รหัส EMME Zone	การเกิดการ เดินทาง (เที่ยวต่อวัน)	การดึงดูดการ เดินทาง (เที่ยวต่อวัน)
2338	73.973	66.575
2339	76.283	68.654
2340	71.243	64.118
2341	23.573	21.215
2342	60.218	54.196
2343	33.495	30.146
2344	31.553	28.397
2345	31.71	28.539
2346	68.88	61.992
2347	44.914	40.422
2348	75.173	67.656
2349	31.401	28.261
2350	54.505	49.055
2351	46.893	42.204
2352	74.222	66.799
2353	29.689	26.72
2354	55.685	50.117
2355	71.063	63.957
2356	78.677	70.809
2357	111.036	99.933
2358	177.658	159.892
2359	109.133	98.22
2360	164.968	148.471
2361	133.244	119.919
2399	61.845	55.661
2400	73.238	65.914
2401	108.88	97.992
2402	44.105	39.695
2403	153.458	138.112
2406	365.085	328.577
2407	78.855	70.97
2408	112.508	101.257
2409	387.66	348.894
2410	69.143	62.228

รหัส EMME Zone	การเกิดการเดินทาง (เที่ยวต่อวัน)	การดึงดูดการ เดินทาง (เที่ยวต่อวัน)
2368	77.07	69.363
2369	47.67	42.903
2370	29.978	26.98
2371	18.165	16.349
2372	18.69	16.821
2373	124.74	112.266
2374	46.463	41.816
2376	378.225	700.416
2381	9.66	8.694
2382	38.22	34.398
2383	70.665	63.599
2384	9.03	8.127
2385	75.758	68.182
2386	40.058	36.052
2387	50.453	45.407
2388	45.78	41.202
2389	43.47	39.123
2390	170.835	153.752
2393	105.625	95.062
2394	43.78	39.402
2395	34.503	31.053
2396	66.402	59.762
2397	75.516	67.964
2398	66.239	59.615
2451	71.85	133.056
2452	77.941	144.336
2453	180	333.333
2404	34.125	30.713
2405	34.965	31.469
2417	157.343	141.608
2418	127.733	114.959
2419	371.385	334.247
2420	370.49	333.441
2421	446.618	401.956

รหัส EMME Zone	การเกิดการ เดินทาง (เที่ยวต่อวัน)	การดึงดูดการ เดินทาง (เที่ยวต่อวัน)
2411	31.658	28.492
2412	95.865	86.279
2413	25.62	23.058
2414	62.633	56.369
2415	216.615	194.954
2416	304.815	274.334

รหัส EMME Zone	การเกิดการเดินทาง (เที่ยวต่อวัน)	การดึงดูดการ เดินทาง (เที่ยวต่อวัน)
2422	78.147	70.332
2443	112.5	208.333
2445	228.614	423.36
2446	208.944	386.934
2450	248.599	460.368

ภาคผนวก ก2

ผลการสำรวจปริมาณการจราจรที่ทางแยกและช่วงถนนในพื้นที่ศึกษา

ตาราง ก2-1 ปริมาณการจราจรบนช่วงถนน MB1 และ MB2 บริเวณวงเวียนน้ำพุ (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา	MB1								MB2							
	ขาเข้า				ขาออก				ขาเข้า				ขาออก			
	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง
07.15-07.30	60.39	180	2	0	22.11	76	2	0	93.39	168	22	2.5	115	222	6	0
07.30-07.45	135.3	307	12	0	61.71	177	8	0	116.82	207	2	0	119	185	4	0
07.45-08.00	155.1	391	4	0	86.13	192	6	0	105.6	226	12	2.5	101	171	10	0
08.00-08.15	138.93	337	12	0	64.35	173	8	0	88.11	214	12	0	94.1	205	22	0
08.15-08.30	105.6	313	18	0	56.43	163	2	0	62.37	166	10	0	68	200	10	0
08.30-08.45	143.55	375	14	2.5	53.46	170	14	0	65.01	174	24	0	58.4	175	6	0
08.45-09.00	107.25	304	12	0	47.19	141	10	0	54.78	207	8	0	68.6	181	6	0
09.00-09.15	93.06	230	4	0	50.16	206	8	0	60.06	187	10	0	51.8	181	8	0
15.15-15.30	71.61	221	18	0	45.21	167	10	0	55.11	164	20	0	52.8	206	8	0
15.30-15.45	90.75	219	10	2.5	58.41	253	8	0	68.97	155	20	0	50.2	144	12	0
15.45-16.00	92.73	280	8	0	57.75	209	20	0	58.08	207	24	2.5	48.5	160	8	0
16.00-16.15	120.45	343	12	0	59.73	175	4	0	53.46	180	4	5	52.5	195	10	0
16.15-16.30	155.1	492	28	0	58.74	188	8	0	54.45	160	0	0	47.5	196	12	0
16.30-16.45	178.86	232	32	0	89.1	256	6	0	70.62	157	26	0	83.8	219	4	2.5
16.45-17.00	123.09	321	36	0	76.23	187	10	2.5	70.62	193	6	2.5	67	191	10	0
17.00-17.15	183.15	496	26	0	97.68	257	14	2.5	98.67	205	22	2.5	78.9	187	4	5
17.15-17.30	126.39	358	12	0	91.08	224	6	0	95.04	199	2	0	82.8	199	8	0
17.30-17.45	114.51	225	2	0	66.66	266	8	0	93.39	162	2	2.5	72.9	122	0	0
17.45-18.00	85.8	244	8	0	71.28	245	6	0	75.57	180	20	0	74.3	156	2	0
18.00-18.15	110.88	312	24	0	71.28	174	8	0	79.2	181	6	0	78.5	187	0	2.5

หมายเหตุ ข้อมูลบางช่องมีจุดทศนิยมเนื่องจากการแปลงรทมากกว่าหนึ่งประเภทให้เป็นประเภทเดียวกัน

ตาราง ก2-2 ปริมาณการจราจรบนช่วงถนน MB3 และ MB4 บริเวณวงเวียนน้ำพุ (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา	MB3								MB4							
	ขาเข้า				ขาออก				ขาเข้า				ขาออก			
	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง
07.15-07.30	26.1	40	2	0	28.7	72	0	0	58.7	150	2	0	81.8	241	2	0
07.30-07.45	36	58	0	0	45.2	66	0	0	71	176	4	0	96.7	241	4	0
07.45-08.00	30.4	46	0	0	46.2	75	2	0	94.1	180	4	0	96.4	253	2	0
08.00-08.15	35.3	47	2	0	47.5	88	2	0	69.3	185	4	0	79.5	205	4	0
08.15-08.30	24.4	40	4	0	39.3	79	6	0	70.6	301	0	0	59.7	180	12	0
08.30-08.45	27.1	39	2	0	33.7	74	0	0	50.2	187	4	0	56.8	212	14	0
08.45-09.00	22.1	49	2	0	32.7	68	6	0	44.9	191	2	0	57.8	210	16	0
09.00-09.15	17.8	42	2	0	32.3	79	0	0	60.4	204	0	0	48.2	190	28	0
15.15-15.30	23.8	42	4	0	29.4	71	2	0	31	135	8	0	35.3	259	6	0
15.30-15.45	26.4	41	6	0	21.8	73	2	0	34	196	12	0	48.5	197	14	0
15.45-16.00	24.8	52	4	0	34.7	82	4	0	43.2	200	16	0	53.8	201	10	0
16.00-16.15	25.7	48	2	0	37.3	67	2	0	31.4	165	16	0	47.2	233	16	0
16.15-16.30	29.7	46	4	0	41.9	79	8	0	41.6	156	10	0	55.4	216	6	0
16.30-16.45	25.4	41	2	0	39.6	79	8	0	26.7	233	16	0	42.2	233	8	0
16.45-17.00	33.3	48	10	0	44.2	76	4	0	36.6	153	2	0	73.3	192	6	0
17.00-17.15	37	35	4	0	49.5	78	2	0	51.5	198	10	0	75.2	221	6	0
17.15-17.30	34.3	45	0	0	44.2	72	2	0	51.2	179	2	0	74.3	236	12	0
17.30-17.45	39.9	49	0	0	47.9	58	2	0	38	135	4	0	68.3	221	2	0
17.45-18.00	29.4	42	0	0	36.6	70	2	0	41.6	147	6	0	68.3	228	2	0
18.00-18.15	32	36	0	0	39.3	73	4	0	47.9	163	4	0	74.3	241	2	0







หมายเหตุ ข้อมูลบางช่องมีจุดทศนิยมเนื่องจากการแปลงรณมากกว่าหนึ่งประเภทให้เป็นประเภทเดียวกัน

ตาราง ก2-3 ปริมาณการจราจรบนช่วงถนน MB5 ถนนนิพัทธ์อุทิศ 2 และ MB6 ถนนนิพัทธ์อุทิศ 3 (หน่วย คัน)





ช่วงเวลา	MB5				MB6			
	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง
07.15-07.30	97.4	170	10	0	4.62	82.6	0	0
07.30-07.45	104	221	4	0	52.1	85.7	0	0
07.45-08.00	76.6	152	2	0	56.4	115	0	0
08.00-08.15	69	144	2	0	58.4	91.3	0	0
08.15-08.30	76.6	202	2	0	55.4	122	0	0
08.30-08.45	70	188	0	0	44.2	77.3	2	0
08.45-09.00	71.9	123	2	0	50.2	110	0	0
09.00-09.15	52.5	134	4	0	45.2	102	2	0
15.15-15.30	54.5	153	0	0	49.2	152	2	0
15.30-15.45	66	188	2	0	48.8	131	2	0
15.45-16.00	72.6	202	2	0	50.5	144	0	0
16.00-16.15	66	193	0	0	56.4	138	0	0
16.15-16.30	77.9	208	0	0	55.4	152	0	0
16.30-16.45	70.6	183	0	0	68.6	170	0	0
16.45-17.00	81.8	231	0	0	68	148	0	0
17.00-17.15	84.2	240	0	0	100	143	0	0
17.15-17.30	68.6	189	2	0	86.8	167	2	0
17.30-17.45	74.6	201	4	0	80.5	159	0	0
17.45-18.00	70.6	179	0	0	69.6	149	6.5	0
18.00-18.15	60.7	167	0	0	72.3	165	0	0

หมายเหตุ ข้อมูลบางช่องมีจุดทศนิยมเนื่องจากการแปลงมากกว่าหนึ่งประเภทให้เป็นประเภทเดียวกัน




ตาราง ก2-4 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM1 แยกเกาะหมี่ (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																								
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง
07.15-07.30	32	29	0	0	94	183	3	3	27	40	0	13	47	34	0	1	151	209	2	1	35	66	4	2
07.30-07.45	38	41	0	0	116	225	4	0	35	35	2	4	71	35	0	1	297	269	2	0	61	57	0	3
07.45-08.00	48	50	1	2	100	249	5	2	36	39	1	3	128	67	1	1	329	281	0	1	48	44	0	4
08.00-08.15	46	57	0	1	83	221	3	1	22	49	0	3	65	43	1	0	223	213	3	0	26	41	2	7
08.15-08.30	29	32	2	0	68	206	4	0	26	39	0	4	47	41	0	1	155	228	4	0	30	34	1	2
08.30-08.45	31	50	0	1	63	174	2	1	24	39	1	5	31	49	0	0	98	217	2	1	20	39	2	6
08.45-09.00	28	37	2	0	65	180	3	3	18	28	0	1	16	29	1	0	96	187	3	4	15	31	2	6
09.00-09.15	19	42	0	0	53	181	4	8	24	43	1	8	15	40	4	1	44	107	4	2	12	22	2	4
15.15-15.30	24	52	0	0	72	189	2	0	15	27	3	6	13	24	1	0	47	141	4	0	12	19	3	3
15.30-15.45	33	40	1	0	101	172	6	0	19	29	2	3	12	36	2	0	47	159	4	0	12	38	1	7
15.45-16.00	34	47	3	0	96	190	5	2	17	34	1	3	8	37	0	0	51	144	5	1	20	27	0	8
16.00-16.15	39	51	0	1	91	179	2	1	23	30	2	6	15	33	0	0	43	165	3	1	26	28	2	7
16.15-16.30	42	53	1	0	115	202	3	0	26	33	0	2	17	38	2	0	66	177	5	0	33	35	2	7
16.30-16.45	52	83	3	1	145	181	4	0	20	44	0	5	23	51	1	0	88	178	1	0	33	47	1	2
16.45-17.00	49	54	0	2	122	231	0	0	21	34	0	3	20	33	2	0	72	162	1	0	29	42	2	6
17.00-17.15	42	68	1	1	136	258	3	0	29	57	0	3	30	39	0	1	110	238	3	1	27	44	7	8
17.15-17.30	59	97	0	0	191	329	1	0	54	54	2	2	17	52	1	0	101	206	6	0	39	56	1	4
17.30-17.45	47	64	0	0	194	309	1	0	43	59	1	2	32	41	0	0	102	245	0	0	29	51	0	2
17.45-18.00	65	78	2	1	168	266	0	0	53	54	0	4	20	43	0	2	83	174	0	0	32	34	1	1
18.00-18.15	46	60	1	0	164	228	1	0	53	49	1	5	30	41	0	0	115	238	1	0	38	34	0	10





ตาราง ก2-5 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM2 แยกบึงสี ลพบุรีราเมศวร์ (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																
	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง
07.15-07.30	26.1	40	2	0	28.7	72	0	0	58.7	150	2	0	81.8	241	2	0
07.30-07.45	36	58	0	0	45.2	66	0	0	71	176	4	0	96.7	241	4	0
07.45-08.00	30.4	46	0	0	46.2	75	2	0	94.1	180	4	0	96.4	253	2	0
08.00-08.15	35.3	47	2	0	47.5	88	2	0	69.3	185	4	0	79.5	205	4	0
08.15-08.30	24.4	40	4	0	39.3	79	6	0	70.6	301	0	0	59.7	180	12	0
08.30-08.45	27.1	39	2	0	33.7	74	0	0	50.2	187	4	0	56.8	212	14	0
08.45-09.00	22.1	49	2	0	32.7	68	6	0	44.9	191	2	0	57.8	210	16	0
09.00-09.15	17.8	42	2	0	32.3	79	0	0	60.4	204	0	0	48.2	190	28	0
15.15-15.30	23.8	42	4	0	29.4	71	2	0	31	135	8	0	35.3	259	6	0
15.30-15.45	26.4	41	6	0	21.8	73	2	0	34	196	12	0	48.5	197	14	0
15.45-16.00	24.8	52	4	0	34.7	82	4	0	43.2	200	16	0	53.8	201	10	0
16.00-16.15	25.7	48	2	0	37.3	67	2	0	31.4	165	16	0	47.2	233	16	0
16.15-16.30	29.7	46	4	0	41.9	79	8	0	41.6	156	10	0	55.4	216	6	0
16.30-16.45	25.4	41	2	0	39.6	79	8	0	26.7	233	16	0	42.2	233	8	0
16.45-17.00	33.3	48	10	0	44.2	76	4	0	36.6	153	2	0	73.3	192	6	0
17.00-17.15	37	35	4	0	49.5	78	2	0	51.5	198	10	0	75.2	221	6	0
17.15-17.30	34.3	45	0	0	44.2	72	2	0	51.2	179	2	0	74.3	236	12	0
17.30-17.45	39.9	49	0	0	47.9	58	2	0	38	135	4	0	68.3	221	2	0
17.45-18.00	29.4	42	0	0	36.6	70	2	0	41.6	147	6	0	68.3	228	2	0
18.00-18.15	32	36	0	0	39.3	73	4	0	47.9	163	4	0	74.3	241	2	0





ตาราง ก2-6 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM3 แยกคอหงส์ (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา												
	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+บรรทุก	รถพ่วง
07.15-07.30	45.9	191	12	0	89.4	329	10	0	58.1	217	20	0
07.30-07.45	62.7	252	6	0	171	427	2	0	134	508	0	0
07.45-08.00	85.5	265	12	0	219	367	8	0	107	335	6	0
08.00-08.15	79.9	248	6	2.5	139	386	12	0	132	366	10	0
08.15-08.30	71.6	244	16	0	116	318	14	2.5	68.3	360	12	0
08.30-08.45	38.6	167	16	2.5	81.8	323	16	0	49.8	268	8	7.5
08.45-09.00	33	215	18	0	75.9	346	10	17.5	53.1	252	12	12.5
09.00-09.15	34	225	6	2.5	53.1	261	16	12.5	40.6	281	8	17.5
15.15-15.30	19.8	179	4	0	65.3	311	12	2.5	52.1	292	20	2.5
15.30-15.45	29.4	231	20	2.5	35	225	18	2.5	53.5	300	10	0
15.45-16.00	28.4	191	10	0	58.7	235	4	0	40.3	252	8	0
16.00-16.15	37.3	146	34	0	66	255	8	0	56.1	311	8	0
16.15-16.30	26.4	165	10	5	71.6	312	18	0	106	345	14	0
16.30-16.45	28.4	175	8	0	58.1	252	16	0	100	345	12	0
16.45-17.00	24.8	160	14	2.5	72.9	292	8	0	133	451	4	2.5
17.00-17.15	35.3	221	8	0	71.3	254	6	0	133	478	6	0
17.15-17.30	39.3	139	4	2.5	141	313	10	0	83.8	504	2	0
17.30-17.45	35.6	179	4	2.5	131	323	4	0	85.8	333	4	0
17.45-18.00	32.7	124	6	0	92.4	382	6	0	101	338	8	0
18.00-18.15	43.9	135	4	0	72.9	275	0	2.5	90.4	398	4	0







ตาราง ก2-7 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM4 ถนนเพชรเกษม ตัด ถนนราษฎร์ยินดี (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																
	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถพ่วง
07.15-07.30	52.8	176	38	0	95.7	211	2	0	15.5	29	0	0	0	0	0	0
07.30-07.45	62.4	244	56	0	89.4	247	2	2.5	20.5	68	0	0	0	0	0	0
07.45-08.00	72.9	316	34	0	91.7	228	0	2.5	15.2	54	0	0	0	0	0	0
08.00-08.15	73.3	331	26	0	77.9	227	0	0	17.8	66	0	0	0	0	0	0
08.15-08.30	81.8	282	30	0	66.3	177	4	0	24.1	66	0	2.5	23.1	56	0	2.5
08.30-08.45	56.8	273	44	2.5	58.1	193	8	0	15.2	55	0	2.5	15.2	76	2	10
08.45-09.00	28.4	185	42	0	46.5	172	12	2.5	12.2	53	2	2.5	4.95	22	2	2.5
09.00-09.15	55.4	275	28	0	37	166	6	2.5	10.6	43	6	2.5	8.91	26	2	5
15.15-15.30	36	284	48	0	37	235	8	5	14.2	59	0	0	8.91	37	4	0
15.30-15.45	40.3	287	86	2.5	41.9	203	8	2.5	11.2	78	0	0	15.8	33	4	0
15.45-16.00	39.9	230	36	0	42.9	196	0	5	10.6	75	2	0	12.5	29	2	0
16.00-16.15	56.1	286	52	0	63.4	282	6	0	18.2	60	2	2.5	19.5	35	0	0
16.15-16.30	42.2	234	40	0	48.2	205	4	0	24.8	114	2	2.5	17.2	29	2	0
16.30-16.45	66	340	64	2.5	69.6	227	4	5	38	122	2	0	18.2	26	2	0
16.45-17.00	43.9	245	46	0	35	251	8	2.5	37.3	116	0	2.5	19.8	36	2	0
17.00-17.15	71.3	334	100	0	53.1	188	4	0	36.3	108	2	0	23.4	45	2	0
17.15-17.30	77.9	365	152	5	85.1	161	4	5	44.2	119	2	0	18.8	25	18	2.5
17.30-17.45	68.3	267	100	2.5	64	153	4	0	41.9	118	0	2.5	20.8	45	22	0
17.45-18.00	66.7	254	78	0	54.1	120	0	0	43.9	143	0	0	22.4	46	22	0
18.00-18.15	70	255	62	2.5	60.4	200	2	0	34.3	103	0	0	16.5	28	8	0







ตาราง ก2-8 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM5 แยกหน้าสยามนครินทร์ (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																
	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถพ่วง	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถพ่วง
07.15-07.30	139	161	0	0	20.8	38	0	0	66.3	254	4	2.5	75.2	255	2	5
07.30-07.45	127	173	0	0	32.3	41	0	0	82.2	329	2	2.5	78.5	245	2	2.5
07.45-08.00	114	214	0	0	26.1	37	0	0	77.2	250	2	2.5	72.3	217	2	0
08.00-08.15	74.9	184	0	0	18.5	40	0	0	67.3	183	14	0	70.6	258	12	0
08.15-08.30	81.8	180	0	2.5	15.8	38	0	0	47.2	197	8	5	68	193	4	2.5
08.30-08.45	64.4	202	0	0	17.2	43	0	0	41.3	166	18	2.5	61.7	250	16	2.5
08.45-09.00	50.2	168	2	7.5	14.2	31	0	2.5	41.3	183	14	2.5	55.1	213	12	2.5
09.00-09.15	45.5	129	2	10	14.9	27	0	0	46.9	187	6	0	44.6	212	6	5
15.15-15.30	25.4	163	0	0	13.2	35	0	0	64.4	240	6	0	57.8	304	4	2.5
15.30-15.45	35	213	0	2.5	15.5	47	0	0	53.1	210	12	5	49.8	232	10	0
15.45-16.00	60.1	153	0	0	31.7	39	0	0	64.4	257	4	0	47.5	230	6	5
16.00-16.15	60.7	173	0	0	24.8	62	2	0	59.1	230	14	0	74.9	374	4	5
16.15-16.30	70	203	0	0	21.5	52	4	0	102	338	14	2.5	68	239	8	0
16.30-16.45	58.4	215	0	0	21.5	60	0	0	115	276	4	0	92.4	318	6	5
16.45-17.00	72.3	174	0	0	21.5	65	0	0	99.7	295	8	2.5	57.4	221	8	5
17.00-17.15	85.8	203	0	0	25.1	65	0	0	115	380	14	7.5	82.2	211	10	0
17.15-17.30	62.7	117	0	0	25.1	43	0	0	101	366	6	2.5	118	298	6	2.5
17.30-17.45	57.1	158	0	0	27.4	59	0	0	126	366	8	2.5	94.1	252	8	0
17.45-18.00	60.4	133	0	0	29.4	50	0	0	82.2	255	2	0	86.8	288	4	0
18.00-18.15	51.2	167	0	0	22.8	28	2	0	125	381	6	2.5	80.9	278	10	2.5








ตาราง ก2-9 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM6 แยกถนนศุภสารรังสรรค์ ตัด ถนนกาญจนวนิช (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																		
	จยย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จยย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จยย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จยย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จยย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จยย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก
07.15-07.30	17	19	0	20	57	1	39	61	0	11	9	0	88	115	3	36	43	0
07.30-07.45	14	10	0	17	52	0	58	56	0	10	25	0	111	132	4	33	65	0
07.45-08.00	10	24	1	37	52	0	65	64	0	16	22	0	149	195	4	28	73	0
08.00-08.15	4	12	1	21	45	0	102	100	0	11	23	0	136	144	8	51	40	1
08.15-08.30	11	9	0	26	29	0	26	45	0	11	16	4	154	208	6	51	51	0
08.30-08.45	12	24	0	29	51	0	13	32	0	10	17	0	98	184	8	17	61	0
08.45-09.00	6	17	0	34	57	0	14	53	0	8	15	0	41	128	9	24	42	0
09.00-09.15	8	8	1	10	27	0	21	48	1	3	10	0	64	151	12	13	32	0
15.15-15.30	10	33	0	20	57	1	12	33	0	2	6	0	58	152	13	40	38	0
15.30-15.45	9	27	0	17	52	0	13	32	0	3	26	0	41	150	8	29	50	0
15.45-16.00	3	16	1	37	52	0	14	42	1	3	16	0	63	152	4	24	39	1
16.00-16.15	7	19	0	21	45	0	10	48	0	2	15	0	52	218	12	18	49	0
16.15-16.30	9	25	0	26	29	0	12	69	0	5	15	0	56	169	6	45	58	0
16.30-16.45	8	20	0	29	51	0	16	66	0	8	17	0	80	163	12	101	72	0
16.45-17.00	3	13	0	34	57	0	10	71	0	8	26	0	105	190	8	131	127	1
17.00-17.15	4	23	0	10	27	0	17	71	0	9	16	1	76	153	2	43	88	0
17.15-17.30	13	22	1	35	60	0	15	72	1	8	23	0	123	188	3	108	117	1
17.30-17.45	13	17	1	46	83	0	14	55	0	7	22	0	123	168	5	54	101	0
17.45-18.00	4	14	0	57	86	0	14	53	0	9	23	0	91	165	2	64	87	1
18.00-18.15	7	16	0	58	83	0	9	37	1	6	10	0	112	228	8	57	85	0








ตาราง ก2-9 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM6 แยกถนนศุภสารรังสรรค์ ตัด ถนนกาญจนวนิช (หน่วย คัน) (ต่อ)

ช่วงเวลา																		
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก
07.15-07.30	18	23	1	17	47	0	14	22	0	27	29	0	131	185	4	6	10	0
07.30-07.45	74	56	0	71	118	0	23	27	0	44	42	0	114	134	8	11	7	0
07.45-08.00	95	70	0	72	76	0	25	55	0	27	40	0	204	185	10	9	15	0
08.00-08.15	95	85	1	102	165	0	33	70	0	43	39	0	228	239	7	5	5	0
08.15-08.30	81	74	0	89	111	0	36	71	0	30	26	0	109	153	7	9	13	0
08.30-08.45	70	76	1	99	78	1	55	73	0	21	33	0	127	195	13	12	11	0
08.45-09.00	35	63	0	56	92	0	31	80	0	12	13	0	53	153	10	2	11	0
09.00-09.15	29	64	1	49	67	0	17	58	0	20	17	0	66	124	15	8	16	0
15.15-15.30	20	37	0	16	40	0	16	28	0	13	21	0	67	185	10	15	18	0
15.30-15.45	14	29	0	16	50	0	12	35	0	10	29	0	46	164	6	9	18	0
15.45-16.00	15	35	0	12	42	0	12	40	1	6	26	0	64	159	3	7	14	1
16.00-16.15	9	34	1	14	50	0	10	38	0	2	30	0	35	155	5	9	30	0
16.15-16.30	16	41	1	17	53	0	8	37	0	2	27	0	53	176	5	15	26	0
16.30-16.45	18	72	0	18	77	0	4	52	1	5	14	0	65	180	3	26	30	0
16.45-17.00	18	59	1	15	69	0	9	60	1	0	7	0	60	169	5	15	8	0
17.00-17.15	6	38	0	13	64	1	29	54	0	4	28	0	89	207	2	17	35	0
17.15-17.30	6	47	0	18	81	0	15	58	0	16	45	1	76	114	3	30	52	1
17.30-17.45	5	46	0	36	83	0	18	48	0	13	34	0	95	163	3	20	35	0
17.45-18.00	14	44	0	22	53	0	15	49	0	7	25	0	107	200	0	16	20	0
18.00-18.15	17	39	0	25	62	0	6	46	0	16	34	0	77	158	2	31	36	0







ตาราง ก2-10 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM7 แยกถนนกาญจนวนิช ตัด ถนนธรรมญูวิถี (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																					
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก
07.15-07.30	118	106	0	32	48	1	14	11	0	126	193	1	8	9	0	62	65	0	140	173	4
07.30-07.45	104	106	0	50	58	0	19	17	1	225	231	6	13	27	0	68	88	0	222	229	7
07.45-08.00	96	93	1	30	36	0	11	24	1	218	266	6	18	17	0	108	93	0	193	190	4
08.00-08.15	85	82	0	29	42	0	18	36	0	217	282	4	15	24	0	104	108	0	155	192	5
08.15-08.30	65	61	0	30	39	0	12	19	1	173	208	9	14	29	0	101	99	1	115	170	10
08.30-08.45	55	68	1	15	41	3	16	21	0	138	247	13	13	25	0	77	81	2	144	244	13
08.45-09.00	85	89	2	28	47	1	13	28	0	107	221	7	10	23	0	66	80	1	110	149	10
09.00-09.15	35	82	1	23	41	3	7	16	1	84	205	9	11	16	0	57	66	0	85	213	10
15.15-15.30	62	68	0	21	46	0	17	14	0	120	242	5	6	29	0	105	115	1	91	225	7
15.30-15.45	60	66	1	21	52	0	6	23	0	90	165	8	7	18	0	64	80	0	82	211	5
15.45-16.00	58	56	0	35	51	0	17	22	0	142	201	9	7	19	0	76	122	1	121	205	3
16.00-16.15	103	92	2	34	44	1	13	19	1	101	176	7	10	21	0	81	99	1	121	208	3
16.15-16.30	88	82	1	51	64	0	12	21	0	137	221	7	12	17	0	72	103	0	122	204	5
16.30-16.45	88	107	2	82	82	0	19	24	0	153	214	12	33	34	0	97	101	3	201	208	2
16.45-17.00	104	125	1	98	108	0	14	18	0	165	196	7	20	25	0	116	130	2	182	322	2
17.00-17.15	94	108	1	75	118	0	21	23	0	198	271	6	26	43	0	138	119	2	191	257	4
17.15-17.30	116	89	0	81	113	1	20	23	1	189	200	4	20	30	0	154	108	1	203	262	6
17.30-17.45	108	91	0	43	69	0	14	30	0	219	249	5	24	18	0	160	132	1	166	190	5
17.45-18.00	96	86	2	47	78	2	21	23	0	251	284	8	12	14	0	217	111	0	197	234	1
18.00-18.15	113	84	0	56	67	1	21	23	0	224	289	7	12	13	0	178	128	1	158	185	1







ตาราง ก2-11 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM8 แยกถนนกาญจนาภิเษก ตัด ปุณณกัณฑ์ (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																					
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก
07.15-07.30	49	60	1	111	181	9	14	11	0	160	123	1	110	188	2	56	39	0	46	60	1
07.30-07.45	50	69	1	122	261	6	17	10	0	284	171	0	138	214	5	82	66	3	76	105	0
07.45-08.00	47	47	2	184	271	4	20	8	0	188	106	3	177	254	6	126	73	0	115	120	1
08.00-08.15	28	43	1	142	256	8	12	6	0	165	95	1	182	238	6	123	63	0	131	93	1
08.15-08.30	33	31	0	103	223	9	13	1	0	130	123	2	159	252	4	116	72	4	90	207	1
08.30-08.45	33	27	1	76	219	10	6	9	0	97	68	3	101	258	10	107	69	1	106	109	1
08.45-09.00	27	39	0	92	220	11	15	7	0	63	69	2	104	183	12	85	64	4	77	78	0
09.00-09.15	27	38	1	58	164	25	11	7	0	87	99	1	89	219	8	66	51	4	82	43	2
15.15-15.30	59	58	1	80	226	6	20	19	0	103	71	1	114	266	7	82	96	0	64	74	1
15.30-15.45	34	48	0	103	265	5	16	11	0	87	73	4	98	210	3	109	80	0	59	59	0
15.45-16.00	41	43	0	75	213	8	28	11	0	85	74	1	96	185	5	110	74	0	63	67	1
16.00-16.15	44	48	2	90	127	3	23	9	0	91	87	1	88	205	12	87	85	4	84	78	2
16.15-16.30	64	58	0	115	218	7	28	8	0	116	98	0	112	195	9	125	65	0	58	81	0
16.30-16.45	78	82	2	150	294	10	32	4	0	128	68	1	138	210	7	112	102	0	96	92	0
16.45-17.00	82	68	1	197	274	6	25	9	0	109	133	4	131	184	5	172	122	0	100	95	0
17.00-17.15	60	61	1	99	220	3	28	6	0	131	93	2	102	173	5	147	169	0	130	105	0
17.15-17.30	77	84	2	128	248	14	48	8	0	118	110	1	189	262	6	159	117	1	150	85	0
17.30-17.45	90	66	1	176	256	7	43	6	0	150	104	1	192	286	8	154	103	0	103	85	0
17.45-18.00	89	74	2	175	258	3	42	5	0	137	94	1	160	201	6	180	116	0	120	129	0
18.00-18.15	82	80	0	155	201	7	52	8	0	178	97	0	148	195	3	166	139	0	102	96	0







ตาราง ก2-12 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM9 แยกคลองเรียน (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																		
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก
07.15-07.30	11	23	4	170	128	3	58	72	2	88	220	6	62	63	6	118	243	11
07.30-07.45	8	6	2	61	91	0	76	73	0	105	283	5	111	157	11	130	255	5
07.45-08.00	13	13	2	99	79	1	52	77	1	245	348	12	116	130	3	175	245	7
08.00-08.15	7	10	5	110	70	1	54	73	7	224	389	28	161	158	7	135	256	6
08.15-08.30	11	13	1	92	51	1	51	83	1	128	428	28	88	140	10	95	255	3
08.30-08.45	14	17	2	82	87	0	52	91	2	96	263	12	72	118	9	108	236	11
08.45-09.00	12	23	3	61	80	0	64	65	2	98	288	17	71	152	11	84	240	6
09.00-09.15	6	15	4	66	37	2	26	34	1	84	223	16	50	93	6	96	237	8
15.15-15.30	9	25	5	56	49	3	57	64	1	69	198	10	45	98	1	75	229	15
15.30-15.45	18	36	9	72	64	3	40	43	1	96	221	8	63	144	6	87	264	7
15.45-16.00	12	26	5	79	51	2	62	86	2	91	205	3	108	125	2	95	198	10
16.00-16.15	16	26	12	85	53	3	54	64	0	102	241	11	77	122	2	137	233	3
16.15-16.30	20	23	3	92	65	2	68	107	3	106	223	9	75	135	1	121	277	2
16.30-16.45	17	22	5	122	65	1	58	91	0	88	243	12	89	137	6	160	238	4
16.45-17.00	13	23	7	126	82	1	59	66	5	134	376	15	68	98	3	180	286	3
17.00-17.15	12	26	6	144	101	4	82	60	0	107	241	6	117	135	4	156	276	3
17.15-17.30	7	19	4	139	78	2	99	98	0	125	348	8	114	137	4	154	250	8
17.30-17.45	13	15	6	133	82	4	115	69	0	151	368	10	105	127	3	131	245	3
17.45-18.00	13	21	5	121	57	0	96	71	0	144	338	8	108	117	1	142	257	2
18.00-18.15	18	21	6	135	79	0	98	80	0	124	282	7	90	129	1	150	241	5







ตาราง ก2-13 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM10 ถนนราษฎร์ยินดี ตัด ถนนศรีภูวนารถ (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																								
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง
07.15-07.30	53	47	0	0	53	47	12	0	24	12	0	0	38	62	5	0	42	30	1	0	15	16	0	0
07.30-07.45	81	70	0	1	81	70	4	0	22	14	0	0	27	60	6	0	51	41	0	0	21	43	0	0
07.45-08.00	76	56	1	0	76	56	6	0	44	34	0	0	40	56	2	0	55	98	0	0	49	72	0	0
08.00-08.15	109	36	0	0	109	36	1	0	64	54	1	0	32	51	2	0	90	79	0	0	58	71	0	0
08.15-08.30	37	46	0	0	37	46	1	1	63	42	0	0	17	60	0	0	73	79	1	0	59	47	1	0
08.30-08.45	49	67	1	0	49	67	2	0	62	43	1	0	14	43	4	1	72	66	0	0	51	43	0	0
08.45-09.00	39	41	1	0	39	41	7	2	59	49	1	0	8	31	5	0	38	41	0	0	38	30	1	0
09.00-09.15	26	40	1	0	26	40	3	1	48	44	0	0	15	35	4	0	47	53	0	0	34	36	0	0
15.15-15.30	42	65	1	0	138	137	1	0	39	35	0	0	14	54	0	0	27	33	0	0	36	35	0	0
15.30-15.45	35	60	2	2	120	80	0	0	44	44	0	0	22	55	3	0	61	95	0	0	49	53	0	0
15.45-16.00	34	61	0	0	118	150	0	0	54	37	0	0	24	35	0	1	37	48	0	0	57	57	0	1
16.00-16.15	56	73	2	0	125	124	0	0	62	56	0	0	21	50	2	0	62	87	0	0	67	100	2	0
16.15-16.30	37	53	0	0	194	155	0	0	78	61	0	0	23	45	1	0	51	69	1	0	51	49	0	0
16.30-16.45	38	63	0	0	121	97	0	0	54	59	0	0	35	68	2	0	62	76	0	0	80	74	0	0
16.45-17.00	46	42	0	0	171	132	0	0	82	74	0	0	30	54	1	0	79	76	1	0	51	77	0	0
17.00-17.15	43	57	0	0	174	92	0	0	52	63	0	0	43	41	0	0	102	88	0	0	104	82	0	0
17.15-17.30	54	56	1	0	219	108	0	0	107	89	0	0	42	70	2	0	55	72	2	0	54	64	0	0
17.30-17.45	61	55	1	0	149	106	0	0	76	61	0	0	33	60	3	0	99	89	0	0	91	72	0	0
17.45-18.00	58	70	0	0	146	94	0	0	82	49	0	0	23	31	1	0	64	79	0	0	39	43	0	0
18.00-18.15	42	57	0	0	187	99	0	0	69	66	0	0	24	28	2	0	60	44	0	0	53	53	0	0







ตาราง ก2-13 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM10 ถนนราษฎร์อินดี ตัด ถนนศรีภูวนารถ (หน่วย คัน) (ต่อ)

ช่วงเวลา																								
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง
07.15-07.30	15	1	0	0	78	127	5	0	32	81	0	0	5	6	0	0	2	11	0	0	5	4	0	0
07.30-07.45	13	7	0	0	106	141	5	0	63	134	11	0	2	0	0	0	5	5	0	0	25	7	0	0
07.45-08.00	23	8	0	2	104	130	2	0	73	103	0	0	13	7	0	0	5	7	0	0	11	8	0	0
08.00-08.15	13	6	0	0	75	113	1	0	36	82	0	0	9	2	0	0	3	5	0	0	4	7	0	0
08.15-08.30	10	3	0	0	48	94	4	0	36	61	1	0	2	7	0	0	6	3	0	0	12	6	0	0
08.30-08.45	7	4	0	0	46	78	0	0	36	48	2	1	5	8	0	0	5	8	0	0	15	3	0	0
08.45-09.00	6	3	0	0	31	92	2	3	34	68	0	0	10	5	0	0	10	6	0	0	9	7	0	0
09.00-09.15	7	3	0	0	55	81	2	0	42	51	0	0	6	3	0	0	8	4	0	0	11	3	0	0
15.15-15.30	10	3	0	0	84	140	2	1	36	77	1	2	6	3	0	0	3	5	0	0	8	4	0	0
15.30-15.45	14	5	1	0	51	114	3	1	45	72	1	1	12	3	0	0	20	12	0	0	10	11	0	0
15.45-16.00	12	6	0	0	123	159	3	1	78	100	3	4	9	6	0	0	10	10	0	0	10	5	0	0
16.00-16.15	15	9	0	0	106	125	3	0	64	85	0	1	17	6	0	0	17	12	0	0	17	6	0	0
16.15-16.30	20	8	0	0	105	131	1	2	56	80	1	2	12	3	0	0	13	5	0	0	20	4	0	0
16.30-16.45	11	5	0	0	135	166	4	2	89	124	2	1	6	4	0	0	18	7	0	0	11	8	0	0
16.45-17.00	12	10	1	0	131	164	4	2	104	126	4	0	8	11	0	0	17	7	0	0	20	8	0	0
17.00-17.15	7	4	1	0	128	129	3	0	71	110	1	0	10	5	0	0	22	10	0	0	32	10	0	0
17.15-17.30	15	9	0	0	159	152	3	0	86	128	2	0	10	4	0	0	22	12	0	0	32	8	0	0
17.30-17.45	12	11	0	0	122	129	5	0	62	77	0	1	10	3	0	0	21	8	0	0	15	5	0	0
17.45-18.00	11	10	0	0	111	116	0	0	59	100	1	1	7	3	0	0	23	6	0	0	18	3	0	0
18.00-18.15	14	7	0	0	93	98	1	0	57	69	2	0	6	2	0	0	13	1	0	0	15	7	0	0







ตาราง ก2-14 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM11 ถนนเพชรเกษม ตัด ถนนราษฎร์อุทิศ (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																								
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง
07.15-07.30	57	47	0	0	77	53	0	0	74	60	0	0	43	14	0	0	115	152	2	0	32	22	0	0
07.30-07.45	100	50	0	0	175	69	0	0	155	76	0	0	52	12	1	0	220	159	1	0	19	15	0	0
07.45-08.00	106	47	0	0	140	70	0	0	137	84	0	0	77	16	0	0	325	147	1	0	19	46	0	0
08.00-08.15	64	58	0	0	98	57	0	0	105	61	0	1	68	17	2	0	185	102	0	0	20	38	1	0
08.15-08.30	87	51	0	0	124	70	0	0	109	78	0	1	65	28	1	0	170	127	1	0	19	45	1	0
08.30-08.45	99	68	0	0	144	82	2	0	105	94	0	0	36	20	1	0	140	104	0	0	11	53	0	0
08.45-09.00	94	52	0	0	101	82	2	0	96	82	3	0	43	21	0	0	170	145	2	0	9	44	1	0
09.00-09.15	99	70	0	1	97	90	4	1	80	103	2	1	29	30	1	0	139	97	2	0	19	35	0	0
15.15-15.30	55	43	0	0	82	82	5	0	77	80	0	0	26	27	0	0	105	142	1	0	27	38	0	0
15.30-15.45	54	55	0	0	59	70	2	0	52	59	0	0	26	25	1	0	75	97	2	0	45	37	1	0
15.45-16.00	65	43	0	0	63	57	2	0	59	56	0	0	34	29	1	0	109	117	2	0	78	67	0	0
16.00-16.15	73	51	0	0	77	77	1	0	96	84	2	0	54	20	0	0	109	103	1	0	66	47	0	0
16.15-16.30	63	35	0	0	60	58	0	1	67	63	2	0	29	22	1	0	100	139	3	0	63	72	0	0
16.30-16.45	56	38	0	0	75	61	1	0	79	63	1	0	34	16	0	0	130	132	1	0	62	49	0	0
16.45-17.00	50	29	0	0	75	53	0	0	76	60	0	1	17	17	0	0	145	162	0	0	94	60	0	0
17.00-17.15	92	48	0	0	104	91	0	0	98	75	0	0	48	29	0	0	193	141	0	0	95	60	0	0
17.15-17.30	57	58	0	0	102	64	0	0	96	65	0	0	45	11	2	0	152	98	0	0	84	36	1	0
17.30-17.45	59	44	0	0	133	69	0	0	127	73	0	0	33	21	2	0	192	151	0	1	73	54	0	0
17.45-18.00	57	40	0	0	104	69	0	0	104	77	1	0	45	17	0	0	202	138	0	0	82	57	0	0
18.00-18.15	46	32	0	0	96	65	1	0	97	82	1	0	59	10	0	0	165	127	0	0	89	70	0	0







ตาราง ก2-14 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM11 ถนนเพชรเกษม ตัด ถนนราษฎร์อุทิศ (หน่วย คัน) (ต่อ)

ช่วงเวลา																								
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง
07.15-07.30	38	13	0	0	106	68	0	0	71	50	0	0	23	66	0	0	226	120	0	0	20	93	1	0
07.30-07.45	36	7	1	0	133	71	0	0	99	29	1	0	43	46	1	0	299	125	0	1	25	64	0	0
07.45-08.00	26	9	0	0	160	63	2	0	46	29	0	0	40	43	0	1	125	176	0	0	30	35	0	0
08.00-08.15	26	14	0	0	89	103	2	0	52	29	1	0	90	96	2	0	140	136	1	0	15	38	0	0
08.15-08.30	2	8	1	0	55	48	0	0	33	33	2	0	40	37	1	0	130	163	1	0	20	19	0	0
08.30-08.45	14	13	1	0	26	68	0	0	46	43	2	0	33	70	1	0	90	156	1	0	30	17	0	0
08.45-09.00	16	9	0	0	36	52	0	0	31	35	0	0	21	74	0	0	90	122	1	0	0	20	2	1
09.00-09.15	21	8	0	0	31	61	0	0	36	32	0	0	40	53	1	1	105	167	1	0	0	22	0	1
15.15-15.30	8	8	0	0	36	69	0	0	37	25	3	0	40	87	0	0	111	173	1	1	8	15	4	1
15.30-15.45	18	14	0	0	80	80	1	0	40	40	1	0	55	79	0	1	123	101	1	0	17	21	1	0
15.45-16.00	12	9	0	0	74	80	0	0	38	29	2	0	31	46	1	0	71	111	0	0	15	30	0	0
16.00-16.15	25	6	0	0	84	97	2	0	47	45	2	0	52	71	0	1	104	113	2	2	14	28	1	0
16.15-16.30	20	4	0	1	61	76	3	1	44	42	2	0	58	66	0	0	101	103	0	0	3	27	0	0
16.30-16.45	17	8	0	0	46	114	0	0	41	45	1	0	38	94	0	0	115	119	0	1	6	27	0	0
16.45-17.00	4	9	0	0	14	106	1	0	39	33	0	0	15	43	1	0	103	109	0	0	5	24	0	0
17.00-17.15	14	9	0	0	78	64	0	1	23	58	1	0	71	76	1	0	84	162	1	0	19	49	0	0
17.15-17.30	17	6	0	0	80	64	1	0	44	39	1	0	74	70	1	1	103	130	1	0	14	44	0	0
17.30-17.45	12	12	0	0	55	89	0	0	38	32	2	0	67	74	1	1	104	130	5	1	12	40	0	0
17.45-18.00	18	7	0	0	75	52	1	0	36	38	0	0	67	81	0	0	104	121	0	1	21	17	0	0
18.00-18.15	30	19	0	2	90	85	0	0	43	39	1	0	61	68	1	0	94	102	0	0	12	20	0	0







ตาราง ก2-15 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM12 แยกคลองหvae (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																								
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง
07.15-07.30	82	116	9	2	43	70	2	4	132	141	6	35	18	69	1	2	30	236	0	0	18	67	0	0
07.30-07.45	73	52	2	1	17	27	1	0	41	59	1	6	75	107	1	1	132	221	4	3	39	65	2	2
07.45-08.00	118	118	8	1	52	53	0	1	95	96	4	20	26	44	1	1	89	190	5	1	51	87	4	0
08.00-08.15	62	59	5	1	32	33	3	3	52	57	9	20	8	38	4	2	49	159	12	3	15	78	2	8
08.15-08.30	129	100	7	3	10	23	1	5	27	54	6	20	38	65	3	2	49	158	10	2	24	95	4	2
08.30-08.45	39	68	6	3	10	11	0	1	8	44	5	17	42	61	3	3	60	171	3	2	8	52	7	7
08.45-09.00	45	75	4	3	12	20	0	1	22	51	4	22	17	29	4	2	27	119	9	2	6	63	6	2
09.00-09.15	61	90	10	8	8	18	3	4	18	56	4	30	19	71	1	2	34	168	6	4	9	59	6	5
15.15-15.30	9	120	2	2	3	6	0	2	17	63	11	27	9	79	2	1	53	156	0	1	18	89	2	2
15.30-15.45	21	134	7	1	5	10	2	0	25	69	4	23	12	92	2	1	67	165	8	4	24	68	4	3
15.45-16.00	31	93	7	2	11	21	2	2	45	61	3	30	17	79	0	0	90	172	4	1	13	121	6	2
16.00-16.15	16	110	6	4	3	8	0	3	19	64	6	19	9	93	0	0	94	156	4	1	18	89	8	2
16.15-16.30	21	115	6	2	5	11	2	2	21	62	1	22	26	85	1	2	86	162	4	1	18	86	1	3
16.30-16.45	29	128	6	2	12	18	1	1	18	85	2	20	25	81	1	0	130	175	2	4	50	75	7	3
16.45-17.00	22	150	3	0	9	13	1	2	33	64	1	20	30	82	3	1	109	132	3	1	41	81	2	0
17.00-17.15	22	156	6	2	9	12	1	1	36	99	5	33	22	82	3	1	143	161	1	1	56	78	5	1
17.15-17.30	45	115	4	3	6	8	0	2	43	83	3	35	47	65	0	0	133	155	2	0	63	119	4	0
17.30-17.45	52	127	2	4	5	23	0	0	36	95	2	25	43	96	2	0	113	181	2	0	63	101	5	0
17.45-18.00	32	97	2	2	5	27	0	1	32	61	4	27	33	106	1	1	109	197	1	3	39	81	1	3






ตาราง ก2-15 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM12 แยกคลองหว้า (หน่วย คัน) (ต่อ)

ช่วงเวลา																								
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง
07.15-07.30	20	36	1	1	1	2	0	0	73	161	3	0	12	10	1	3	193	246	5	0	17	37	0	3
07.30-07.45	21	32	0	0	5	6	0	0	68	104	3	3	19	27	0	3	196	216	2	3	47	30	0	2
07.45-08.00	25	26	1	0	0	1	1	1	72	72	3	1	15	28	0	2	202	175	5	0	36	47	0	4
08.00-08.15	26	26	4	0	4	7	0	0	54	112	2	4	10	22	0	6	160	209	4	0	20	40	3	1
08.15-08.30	16	22	1	4	2	2	0	0	21	105	4	1	6	20	44	6	72	124	6	1	17	40	2	2
08.30-08.45	11	17	3	5	3	5	0	0	18	109	1	1	11	25	5	6	81	146	4	1	17	42	5	3
08.45-09.00	7	22	1	4	4	1	0	1	16	88	2	6	6	20	4	6	62	125	1	6	12	43	1	4
09.00-09.15	9	18	1	3	2	1	0	0	14	89	0	6	5	20	3	4	38	133	2	4	6	31	0	3
15.15-15.30	12	27	1	3	0	3	1	0	13	107	7	4	8	18	3	18	53	155	5	3	7	31	1	3
15.30-15.45	13	24	0	2	1	2	0	1	13	120	5	3	9	25	1	12	75	163	5	1	7	23	2	3
15.45-16.00	9	22	1	4	4	4	1	0	22	104	2	4	12	41	4	21	77	168	0	0	11	35	0	4
16.00-16.15	13	32	1	2	2	4	0	0	29	117	6	8	6	23	2	13	42	120	4	1	5	7	2	3
16.15-16.30	11	29	3	1	1	3	0	1	22	119	5	2	4	28	2	15	73	211	11	0	11	35	2	6
16.30-16.45	7	16	0	6	2	9	1	1	32	121	5	1	10	30	2	23	88	232	7	1	24	46	2	3
16.45-17.00	19	35	3	3	5	5	1	0	30	147	4	1	7	21	1	15	57	151	5	4	10	28	2	6
17.00-17.15	50	25	8	3	11	9	0	2	101	177	3	0	23	30	2	12	96	203	6	1	18	25	2	7
17.15-17.30	20	27	2	1	5	2	1	0	52	138	1	3	12	42	3	17	120	205	4	0	30	31	2	3
17.30-17.45	17	16	0	1	5	4	0	0	44	124	11	3	19	33	2	14	88	223	5	1	23	44	0	3
17.45-18.00	24	12	0	0	2	1	0	0	28	97	2	1	7	30	2	14	78	192	6	0	23	34	0	1







ตาราง ก2-16 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM13 แยกสนามบิน (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																								
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง
07.30-07.45	4	6	0	0	1	0	0	0	15	30	4	1	45	101	3	10	94	141	3	1	12	4	0	0
07.45-08.00	5	3	0	0	1	3	0	1	10	20	1	2	54	105	4	15	75	157	2	1	14	3	0	0
08.00-08.15	7	4	0	2	0	1	0	0	3	20	0	2	38	90	6	8	57	122	3	2	4	3	0	0
08.15-08.30	1	7	0	2	2	1	0	0	9	28	1	0	25	85	9	8	51	115	1	0	5	6	0	0
08.30-08.45	2	5	1	2	0	1	0	0	0	20	0	2	19	75	5	11	56	98	2	0	2	5	0	0
08.45-09.00	3	0	0	1	0	1	0	0	10	24	5	2	24	108	8	7	31	101	1	3	2	6	0	0
09.00-09.15	1	5	1	0	1	5	0	0	3	13	4	0	13	75	7	7	29	99	4	3	1	3	1	0
15.15-15.30		3	0	0	0	5	0	0	2	30	2	1	22	72	8	6	31	82	1	2	5	5	1	0
15.30-15.45	1	4	0	0	0	4	0	0	5	24	4	1	14	78	12	10	31	90	2	0	3	1	0	0
15.45-16.00		2	0	2	3	3	0	1	4	23	4	2	8	74	10	9	44	97	1	1	7	1	0	0
16.00-16.15	3	6	1	0	1	2	1	0	5	15	4	0	14	83	3	8	43	103	3	1	6	1	0	0
16.15-16.30	2	3	0	1	2	1	0	0	2	20	1	0	23	89	4	8	46	118	2	1	5	1	0	0
16.30-16.45	4	6	0	0	2	1	0	0	14	21	0	0	18	76	6	10	55	107	0	1	1	3	0	0
16.45-17.00	4	3	0	1	2	1	0	0	10	22	3	0	21	77	6	12	48	98	4	0	3	0	0	0
17.00-17.15	1	1	0	0	1	2	2	0	13	24	4	1	31	101	4	16	46	126	1	1	8	0	0	0
17.15-17.30	3	6	0	0	1	1	0	0	8	35	1	0	27	123	4	7	69	138	2	0	10	0	0	0
17.30-17.45	5	6	0	0	3	1	1	0	11	21	1	1	25	71	4	12	63	118	3	0	5	0	0	0
17.45-18.00	3	5	0	0	2	2	0	0	14	28	11	0	22	56	2	5	57	127	1	0	4	3	0	0







ตาราง ก2-16 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM13 แยกสนามบิน (หน่วย คัน) (ต่อ)

ช่วงเวลา																				
	จย+จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง
07.30-07.45	60	95	33	8	38	51	34	28	15	60	10	17	58	175	5	0	51	99	3	0
07.45-08.00	50	131	0	0	4	5	1	1	25	65	3	5	61	182	4	0	75	121	3	0
08.00-08.15	55	126	1	1	5	5	1	0	14	79	8	5	48	126	1	0	41	92	0	0
08.15-08.30	56	86	0	0	2	6	0	0	28	55	7	5	29	108	4	3	39	92	0	0
08.30-08.45	43	105	5	3	2	5	0	0	10	78	5	6	36	122	4	0	35	25	0	0
08.45-09.00	23	62	1	1	0	0	0	0	10	58	11	8	22	91	3	1	23	59	0	0
09.00-09.15	23	62	1	1	2	3	0	0	6	66	1	9	25	99	7	2	17	61	2	0
15.15-15.30	11	51	0	0	0	6	0	0	5	66	5	5	28	88	12	6	15	55	7	4
15.30-15.45	19	86	1	3	0	2	0	0	4	81	6	16	45	175	21	7	21	115	11	5
15.45-16.00	20	67	1	0	0	6	0	0		55	12	12	28	134	15	8	18	101	15	6
16.00-16.15	10	73	0	0	3	4	0	0	5	83	16	15	43	102	22	9	21	86	16	7
16.15-16.30	24	78	3	1	2	6	0	0	1	84	17	9	89	156	32	8	48	81	24	9
16.30-16.45	17	63	0	3	0	0	0	0	4	82	15	16	71	149	28	5	35	79	16	4
16.45-17.00	18	57	0	0	0	0	0	0	14	84	3	18	62	166	36	12	39	95	23	9
17.00-17.15	20	87	1	1	0	1	0	0	11	120	7	9	43	148	7	2	27	88	4	2
17.15-17.30	32	88	0	0	3	6	0	0	11	93	4	8	53	145	5	0	38	91	6	0
17.30-17.45	31	106	1	0	2	5	0	0	8	80	11	8	44	118	8	2	31	68	7	2
17.45-18.00	46	61	0	0	4	7	0	0	10	91	4	8	31	113	6	0	18	52	5	0







ตาราง ก2-17 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM14 แยกสนามควนลิ่ง (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																								
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง
07.15-07.30	5	5	1	0	17	79	9	13	19	19	13	3	1	4	0	0	54	50	1	0	21	39	0	0
07.30-07.45	5	8	0	0	14	91	17	29	23	33	4	1	2	3	2	0	52	67	1	0	23	41	1	0
07.45-08.00	7	7	2	0	9	82	17	14	28	35	1	0	8	4	0	0	67	84	2	0	55	30	1	3
08.00-08.15	2	5	0	0	9	70	4	16	20	31	3	2	2	8	0	0	50	62	1	3	39	49	5	0
08.15-08.30	10	14	0	0	6	68	18	17	8	37	6	0	1	6	1	0	64	44	0	0	11	56	0	4
08.30-08.45	6	7	1	0	5	73	16	12	14	44	13	2	1	5	1	0	38	55	0	0	16	31	0	0
08.45-09.00	5	9	1	0	5	71	23	18	15	43	3	1	3	4	0	1	40	55	3	0	3	72	0	2
09.00-09.15	0	10	0	0	2	67	19	16	9	48	11	3	3	4	1	3	34	57	0	0	4	46	1	0
15.15-15.30	5	23	1	0	6	107	16	21	10	44	3	9	3	7	0	0	51	42	0	1	12	43	1	2
15.30-15.45	7	32	1	0	3	69	17	14	10	41	3	5	3	8	1	0	49	76	1	0	7	63	1	1
15.45-16.00	8	42	1	1	3	67	12	15	21	38	4	5	0	3	3	0	51	63	2	0	11	38	2	0
16.00-16.15	8	41	5	1	7	84	14	8	19	58	6	8	2	5	3	0	68	60	2	1	29	49	3	2
16.15-16.30	21	38	3	1	10	92	12	13	20	51	3	5	1	5	0	0	73	67	0	1	25	49	1	3
16.30-16.45	6	32	0	1	4	90	16	10	23	53	2	5	3	7	1	0	72	75	3	0	19	43	3	4
16.45-17.00	10	39	3	0	10	99	9	17	22	54	4	3	5	3	0	0	97	85	0	0	16	49	0	0
17.00-17.15	18	20	2	0	20	92	11	15	29	52	1	7	4	6	1	0	96	80	1	0	27	50	1	0
17.15-17.30	15	30	3	2	19	92	14	10	44	47	5	4	3	6	0	0	110	54	1	1	27	46	2	1
17.30-17.45	11	22	1	2	11	91	11	11	40	60	1	3	2	8	0	0	115	67	1	0	34	59	1	2
17.45-18.00	14	34	1	0	13	102	10	6	29	43	1	2	7	5	0	0	91	74	0	1	31	48	1	1
18.00-18.15	16	34	3	1	15	106	11	11	22	41	0	1	2	2	0	0	95	58	0	1	10	34	1	0

ตาราง ก2-17 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM14 แยกสนามควนลิ่ง (หน่วย คัน) (ต่อ)

ช่วงเวลา																								
	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง
07.15-07.30	29	25	1	4	15	91	4	6	0	1	1	0	41	45	1	3	117	112	1	0	41	44	3	4
07.30-07.45	24	30	0	0	16	110	1	10	0	3	0	0	53	56	7	2	173	83	0	2	32	37	1	3
07.45-08.00	26	32	1	3	14	108	13	6	0	7	0	0	62	52	1	0	101	64	2	0	63	51	5	5
08.00-08.15	15	24	2	1	19	90	10	4	0	7	0	0	45	43	7	1	85	80	1	1	62	71	2	1
08.15-08.30	16	31	2	2	7	105	17	6	0	2	1	0	26	32	5	2	66	45	5	1	21	40	5	3
08.30-08.45	14	32	4	1	6	66	15	6	0	9	1	0	30	29	4	3	66	66	4	0	12	32	2	0
08.45-09.00	6	28	2	3	4	90	10	3	0	2	0	0	27	30	13	2	57	55	1	1	12	35	1	1
09.00-09.15	10	48	2	1	6	92	15	10	0	0	0	0	20	33	10	1	51	78	7	2	13	20	4	4
15.15-15.30	20	44	3	1	9	179	36	15	0	7	1	0	11	35	3	5	42	57	2	2	18	39	2	8
15.30-15.45	13	39	2	1	9	94	25	8	0	1	1	0	15	37	3	5	38	69	1	0	6	38	1	4
15.45-16.00	11	29	5	3	6	122	13	15	0	3	0	0	15	42	1	2	42	80	3	1	5	29	1	1
16.00-16.15	27	50	0	2	6	116	16	11	0	2	0	0	26	26	3	1	40	76	4	1	1	28	0	3
16.15-16.30	17	33	1	2	13	119	23	16	0	3	1	0	40	54	4	7	76	81	1	2	10	40	3	2
16.30-16.45	23	45	1	1	15	112	18	11	2	4	0	0	21	60	4	3	64	97	3	1	13	51	6	1
16.45-17.00	10	46	2	3	10	119	22	12	1	3	0	0	14	50	2	6	67	100	0	0	10	36	3	3
17.00-17.15	36	55	3	5	14	115	24	18	3	5	0	0	21	62	2	1	67	74	0	1	17	33	1	6
17.15-17.30	33	47	3	4	6	132	13	8	0	5	0	0	30	55	0	2	89	79	3	0	13	31	1	1
17.30-17.45	24	55	2	2	13	110	14	8	0	2	0	0	53	45	2	5	84	76	0	1	12	50	0	4
17.45-18.00	25	23	3	2	15	110	17	8	0	7	0	0	30	45	1	4	61	61	0	0	15	35	0	5
18.00-18.15	21	30	3	0	7	91	17	16	2	5	0	0	28	35	2	4	75	75	1	1	10	30	1	6

ตาราง ก2-18 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยก TM15 ทางหลวงหมายเลข 43 ตัด ถนนลพบุรีราเมศวร์ (หน่วย คัน)

ช่วงเวลา																								
	จยย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จยย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จยย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จยย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จยย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง	จยย+ จยย	รถยนต์	โดยสาร+ บรรทุก	รถ พ่วง
07.15-07.30	40	135	5	13	45	115	10	37	32	105	1	14	39	67	1	1	21	40	2	5	34	180	6	7
07.30-07.45	70	125	7	14	80	130	4	60	39	146	3	15	51	65	1	5	16	38	3	3	40	185	4	9
07.45-08.00	85	132	3	16	55	120	9	42	35	127	4	18	57	78	0	4	19	55	1	1	46	141	1	7
08.00-08.15	56	139	5	21	36	91	8	48	30	129	13	12	41	59	4	4	21	51	0	5	36	147	7	12
08.15-08.30	30	126	7	16	26	87	11	57	19	128	4	24	23	54	2	4	30	35	0	3	20	118	6	13
08.30-08.45	6	86	1	11	11	62	5	45	26	93	12	20	17	45	2	3	3	51	6	5	6	145	6	17
08.45-09.00	12	105	9	35	9	116	10	56	12	120	8	22	12	48	5	7	7	52	6	2	15	136	7	10
09.00-09.15	8	97	6	32	11	77	13	52	10	103	11	14	12	47	4	6	7	41	2	5	8	118	3	17
15.15-15.30	35	174	1	29	30	285	15	74	17	134	10	24	7	53	6	10	10	45	4	9	25	170	3	13
15.30-15.45	12	185	16	22	21	167	20	80	20	155	16	21	9	60	5	4	5	23	4	5	22	155	10	9
15.45-16.00	15	138	16	26	20	138	16	67	16	145	16	23	13	54	3	5	9	36	1	5	17	165	3	15
16.00-16.15	16	140	16	16	28	120	9	65	30	134	10	26	13	58	1	2	8	47	6	4	14	137	1	26
16.15-16.30	8	104	6	20	20	141	9	65	32	144	11	25	20	49	1	7	14	38	4	4	18	133	3	20
16.30-16.45	15	165	8	37	35	185	15	80	42	136	21	21	15	57	4	9	12	43	1	6	22	135	3	20
16.45-17.00	12	125	11	27	28	191	29	75	30	128	12	19	15	64	2	7	23	36	5	1	18	125	1	18
17.00-17.15	8	115	10	32	16	166	14	76	43	125	15	22	27	67	1	4	18	51	3	5	22	120	2	15
17.15-17.30	17	105	9	27	16	144	10	72	42	159	14	20	32	68	3	2	23	34	5	2	28	155	5	8
17.30-17.45	22	111	14	20	21	139	13	68	47	146	11	10	31	77	0	6	5	36	2	2	30	125	0	10
17.45-18.00	28	95	10	17	14	141	10	67	56	132	12	19	24	61	4	3	17	25	1	0	30	115	1	5
18.00-18.15	24	93	9	19	20	132	9	59	37	137	7	16	25	56	3	4	10	30	0	1	17	105	0	7

ภาคผนวก ข1

บทความนานาชาติที่ตีพิมพ์แล้ว เรื่องที่ 1

Flood Evacuation Behavior Analysis in Urban Areas

Flood Evacuation Behavior Analysis in Urban Areas

Paramet LUATHEP^a, Arun SUWANSUNTHON^b, Suppakorn SUTTHIPHAN^c,
Pichai TANEERANANON^d

^{a,d} *Department of Civil Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand*

^{b,c} *Graduate School, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand*

^a *E-mail: paramet007@hotmail.com*

^b *E-mail: suarun99@gmail.com*

^c *E-mail: suppakorn_01@hotmail.com*

^d *E-mail: breathislife@hotmail.com*

Abstract: Flooding is a reoccurring natural disaster in Thailand and profoundly affects people's livelihood and economy. Understanding evacuation behavior is very important for flood preparedness planning. This paper aims to investigate the behaviors of urban inhabitants in traveling and evacuating before, during, and after the flooding. The questionnaire survey was conducted to interview the affected inhabitants in Hat Yai municipality as a case study. Applying logistic regression technique, the interview data are then used to develop two flood evacuation models, including evacuation decision model and evacuation mode choice model. The results reveal that gender, the number of adults and disabled persons are three significant factors influencing the decision making and the majority of evacuees prefer using private vehicles during the evacuation. The authors believe that the results would be helpful for local agencies in flood preparedness planning, and the concept of this study can be more rigorously applied to other areas.

Keywords: Evacuation Decision Model, Flood, Logistic Regression Analysis, Urban Area

1. INTRODUCTION

Flooding is a reoccurring natural disaster in Thailand and profoundly affects the city in terms of people's livelihood and economy. Figure 1 shows the statistics of flood situations in Thailand from 1990 to 2010. It illustrates that the number of casualties, including deaths and injuries, and the economic losses relatively fluctuate every year. However, the trend of the casualties and losses, especially during the last four years (2007-2010), increases significantly and reach the maximum at 16,339 million baht in 2010 (DDPM, 2012).

Hat Yai district, Songkhla province, is the center of business, commerce, and tourism in the southern Thailand. However, the city, located on the area downstream of U-Tapao canal basin, has been severely and repeatedly affected by flooding, a reoccurring natural disaster. The statistics of floods occurred in Hat Yai from 1990 to 2010 (DPMRC12, 2012), as depicted in Figure 2, reveals that the trend of deaths and economic losses rises up significantly in the last two years (2006 and 2010). Particularly, the number of deaths dramatically increases from 87 to 187 during these two years. Note that the economic losses presented in Figures 1 and 2 include the losses from people's properties and agricultural products only. The loss of human lives is not taken into account.

Although local authorities have put their efforts in flood prevention planning, seasonal floods repeatedly occurred and adversely affected the livelihood in urban areas. For example, the massive floods in 2000 and 2010 caused tremendous loss to Hat Yai people and the city economy. The risk of flooding continues to pose a big threat amongst the residents.

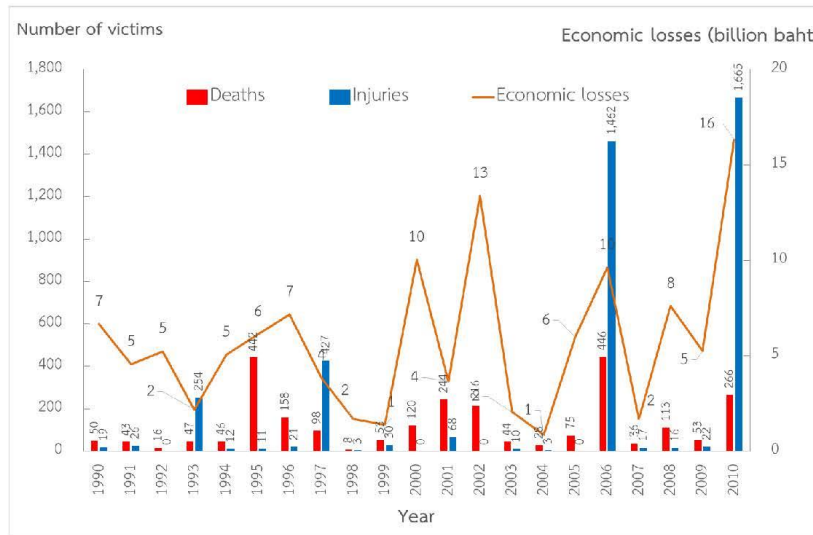


Figure 1. Flood situations in Thailand from 1990 to 2010
Source: DDPM (2012)

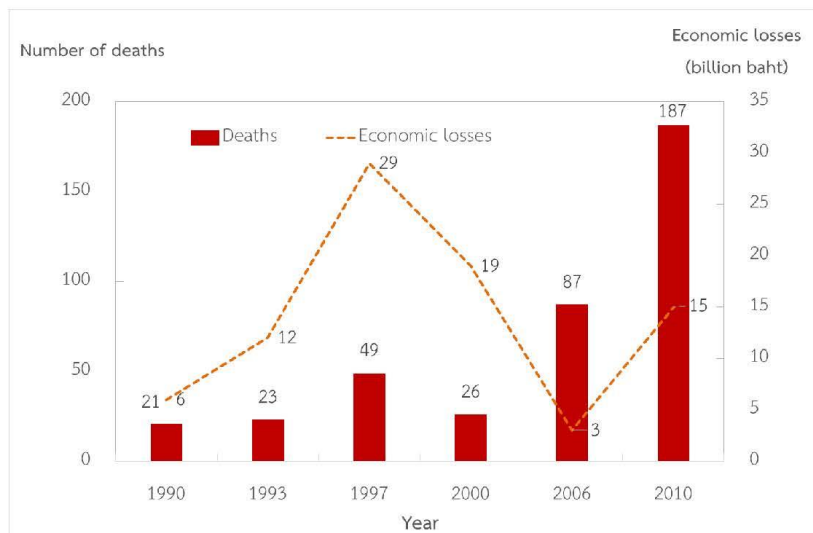


Figure 2. Deaths and economic losses from floods in Hat Yai district from 1990 to 2010
Source: DPMRC12 (2012)

Understanding the demand and behavior of travelers and transportation systems is very important for concerned agencies in disaster evacuation planning (Clarke and Habib, 2010). However, in Thailand the current transportation planning approaches for disaster evacuation are reactive and do not take this matter, especially the evacuee's behavior, into account thoroughly. This paper aims to investigate the behaviors of travelers and evacuees before, during, and after the flooding. A questionnaire survey was conducted on the samples of affected inhabitants in the area of urban Hat Yai as a case study. The paper also focuses on identifying the factors influencing the decision making in evacuation and transport mode choice. Applying logistic regression technique, the interview data are used to develop two flood evacuation models, including evacuation decision model and evacuation mode choice model. The results from this study would be helpful for local agencies in preparedness planning before, during, and after the flooding.

This paper consists of the following five sections. Section 2 presents literature reviews, then the methodology is described in Section 3. Section 4 shows and discusses the results. Finally, Section 5 concludes the paper and gives some recommendations for future research.

2. LITERATURE REVIEW

Murray-Tuite and Wolshon (2013) comprehensively reviewed the research works on evacuation modeling and simulation for roadway transportation planning and operations. Various studies are related to evacuation modeling: the forecast of evacuation demand, the distribution of evacuation demand with different travel patterns, and the assignment of evacuation demand with various transport modes to regional/local road networks to reach safe destinations. The research on an evaluation of management strategies or policies are also discussed in their paper.

Hasan *et al.* (2011) developed a random-parameter hazard-based model to capture hurricane evacuation timing by individual households. The model was developed upon the hazard-based model (Bhat, 1996) by considering the choice of departure time depending on the risk perception, the household characteristics, and the built environment features. The results from their research revealed that the variables related to household location, destination characteristics, socio-economic characteristics, evacuation notice and household decision making were significant factors highly affecting the departure time. de Jong and Helsloot (2010) remarked that not only the socio-economic characteristics, but also the communication and information which had significant effects on the response during flooding exercise.

Charnkol and Tanaboriboon (2006) and Charnkol *et al.* (2007) investigated the tsunami evacuation behavior of permanent and transient residents from two massively affected areas in Thailand, the Phuket and Phang-nga provinces. They also developed the evacuation models, based on binary logistic regression technique, in order to estimate the number of evacuees. The reaction times to tsunami evacuation warning of the evacuees for quick and slow response groups were also investigated in their research. These information can be applied to improve the existing tsunami evacuation management in Thailand.

From the literature, several researchers have investigated the characteristics of evacuation demand and developed evacuation models both simple and complex for evacuation planning and operations on road networks. However, the more complex we develop the models, the more difficult we face in model calibration and validation (Murray-Tuite and Wolshon, 2013). Due to limitations in existing transport models and data availability in Hat Yai, in this paper we decide to focus on the development of simple flood evacuation models based on logistic regression analysis for long-term evacuation planning instead of dynamic response operations.

3. METHODOLOGY

3.1 Study Area

The study area as shown in Figure 3 covers a total of 102 affected communities (zones) which can be integrated into four major areas (zone groups) following Hat Yai flood preparedness plan (Hat Yai Municipality, 2011). Each zone group is bounded based on geographic and demographic characteristics of Hat Yai urban area. In addition, different areas have different probabilities of being flooded. This probably influences the individual's decision in different areas. The four areas cover 25 zones (10,798 households), 24 zones (15,548 households), 26 zones (14,797 households), and 27 zones (15,641 households), respectively.

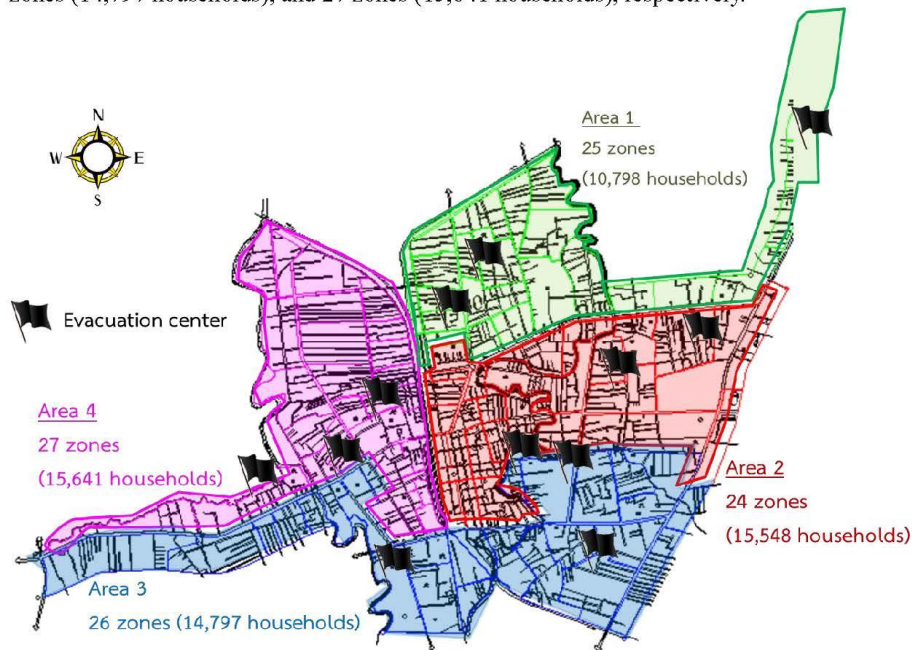


Figure 3. The study area

3.2 Data Collection and Questionnaire Survey

The data required in this study are classified into two groups including 1) socio-economic data and 2) travel and evacuation behavior data. For the first group, the 2011 data are mainly obtained from Hat Yai municipality office. For the behavior data, a questionnaire was developed to investigate the behaviors before, during and after the flooding from past experiences. The questionnaire consists of three main parts.

The first part is about general information of a respondent including gender, age, occupation, salary, number of household members, vehicle occupancy, and the address of home and working place. The second part is to investigate the travel behavior and trip chain during normal days. The trip purpose, transport mode, and trip rate are also included in this section. The last part addresses the behaviors before, during, and after the flooding. Before flooding, respondents were asked where they got the source of flood information, and the warning time

required for evacuation preparedness. During the flood, they were asked whether they had evacuated, the reasons to evacuate or not, the level of flooding when evacuate, transport modes and destination choices, and the reasons for choosing the mode and destination. After the flood, they were interviewed about the recovery period, facilities needed for recovery, and the supports from local governments.

The questionnaire survey was conducted by randomly selecting 1,600 affected samples in the study area (400 samples for each zone group). The number of sample size was calculated using elementary sampling theory (Yamane, 1967) at 95% confidence level. The samples were personally interviewed by the trained staffs at their home or community areas. The survey was conducted from July 2012 to January 2013.

3.3 Development of Evacuation Models

In this paper, a logistic regression technique was applied to develop the evacuation models, including evacuation decision model and evacuation mode choice model. In general, logistic regression analysis, an extension of multiple regression, is to determine a relationship between outcome (dependent) variable and predictor (independent) variables (Dayton, 1992; Hair *et al.*, 2006). Logistic regression analysis can be classified into two types: binary and multinomial. Binary logistic regression is used when the outcome variable is dichotomous (e.g. evacuate = 1 and not evacuate = 0), whereas multinomial logistic regression is applied when the value of outcome variables that can be classified is greater than two groups (e.g. evacuate mainly by walking = 1, private vehicles = 2, and public vehicles = 3). The predictor variables considered in modeling and their descriptive statistics analyzed from the survey data are presented in Table 1.

In the regression analysis, a linear predictor function $y(m, i)$ of a set of p predictor variables $x_{p,i}$ for the individual i has outcome m can be expressed as

$$y(m, i) = \beta_{0,m} + \beta_{1,m}x_{1,i} + \beta_{2,m}x_{2,i} + \dots + \beta_{p,m}x_{p,i} \quad (1)$$

where

$\beta_{p,m}$ is the regression coefficient related to the p th variable and the m th outcome.

In this paper, the evacuation decision model was developed by applying binary logistic regression. Let β_m and x_i be the sets of regression coefficients and predictor variables, respectively. The probability of an individual choosing to evacuate ($m = 1$) can be formulated as a logistic function as

$$\begin{aligned} \Pr(Y_i = 1) &= \frac{e^{\beta_1 \cdot x_i}}{1 + e^{\beta_1 \cdot x_i}} \\ &= \frac{1}{1 + e^{-\beta_1 \cdot x_i}} \end{aligned} \quad (2)$$

whereas the probability of the individual choosing to not evacuate ($m = 0$) is $1 - P(Y_i = 1)$.

Table 1. Predictor variables and their descriptive statistics from the survey data

No.	Predictor variables	Classification (Parameter coding)	Zone Group Area				
			1	2	3	4	All
1	Gender (GEN)	▪ Male (GEN=1)	49.8%	39.5%	50.8%	55.8%	46.1%
		▪ Male (GEN=2)	50.2%	60.5%	49.2%	44.2%	53.9%
2	Age (AGE)	▪ ≤ 20 years old (AGE=1)	12.0%	11.2%	8.5%	7.8%	9.7%
		▪ 21-30 years old (AGE=2)	31.5%	42.8%	43.3%	39.4%	39.7%
		▪ 31-40 years old (AGE=3)	23.8%	21.5%	22.9%	25.5%	23.4%
		▪ 41-50 years old (AGE=4)	17.7%	13.2%	15.8%	16.0%	15.6%
		▪ 51-60 years old (AGE=5)	9.5%	9.5%	8.7%	9.5%	9.3%
		▪ > 60 years old (AGE=6)	5.5%	1.8%	0.8%	1.8%	2.3%
3	Occupation (OCC)	▪ Unemployed (OCC=1)	6.7%	3.5%	6.0%	5.5%	5.5%
		▪ Student (OCC=2)	23.2%	1.8%	22.8%	25.2%	25.6%
		▪ Business (OCC=3)	18.1%	13.3%	18.9%	20.7%	18.9%
		▪ Worker (OCC=4)	13.5%	5.3%	14.1%	15.8%	14.0%
		▪ Housewife (OCC=5)	8.5%	14.5%	7.7%	9.2%	10.2%
		▪ Agriculture (OCC=6)	3.6%	12.8%	3.9%	3.8%	3.8%
		▪ Government (OCC=7)	21.5%	17.8%	22.1%	16.5%	18.3%
		▪ Retired (OCC=8)	4.9%	31.0%	4.5%	3.3%	3.7%
4	Household income (INC)	▪ No income (INC=1)	19.5%	26.0%	27.8%	24.8%	24.5%
		▪ < 5,000 baht (INC=2)	10.3%	10.0%	11.3%	10.3%	10.4%
		▪ 5,000–9,999 baht (INC=3)	18.0%	17.0%	17.0%	15.0%	16.8%
		▪ 10,000–14,999baht (INC=4)	19.8%	22.0%	19.8%	18.8%	20.1%
		▪ 15,000–19,999baht (INC=5)	14.5%	15.5%	14.8%	22.0%	16.7%
		▪ 20,000–24,999baht (INC=6)	6.3%	4.3%	4.3%	5.5%	5.1%
		▪ 25,000–29,999baht (INC=7)	5.5%	4.2%	4.0%	1.5%	3.9%
		▪ > 30,000 baht (INC=8)	6.1%	1.0%	1.0%	2.1%	2.5%
5	No. children <12years old (CHILD)	▪ Continuous variable (mean)	0.75	0.56	0.70	0.59	0.65
6	No. adults <=60years (ADULT)	▪ Continuous variable (mean)	2.13	2.29	2.14	2.21	2.19
7	No. elderly >60years old (ELDER)	▪ Continuous variable (mean)	0.37	0.36	0.49	0.33	0.39
8	No. disabled persons (DISABLE)	▪ Continuous variable (mean)	0.05	0.02	0.04	0.04	0.04
9	Vehicle ownership	▪ No (VEH=0)	6.5%	4.5%	7.0%	4.5%	5.6%
		▪ Yes (VEH=1)	93.5%	95.5%	93.0%	95.5%	94.4%
10	Time of evacuation	▪ Immediately after warning (TIME = 1)	74.1%	80.3%	84.1%	74.6%	78.3%
		▪ Flood level < 0.5 m. (TIME = 2)	17.9%	11.2%	10.8%	15.3%	13.8%
		▪ Flood level 0.5-1.0 m. (TIME = 3)	5.8%	4.5%	3.0%	7.6%	5.2%
		▪ Flood level > 1.0 m. (TIME = 4)	2.2%	4.0%	2.1%	2.5%	2.7%

For the evacuation mode choice model, multinomial logistic regression was applied to develop the model. Let $m = 1, 2,$ and 3 be the main transport modes for evacuation, which include walking group, private vehicle group (motorcycle, passenger car, and pickup car), and public vehicle group (tuk tuk, songthaew, minibus, and bus). To obtain the multinomial logistic regression model for M possible choices, one outcome (i.e. private vehicle group) is fixed as a pivot and then the other $M-1$ choices can be evaluated against the pivot choice. The probability for the evacuee choosing $M-1$ th transport mode can be calculated from

$$\Pr(Y_i = M - 1) = \frac{e^{\beta_{M-1} \cdot x_i}}{1 + \sum_{m=1}^{M-1} e^{\beta_m \cdot x_i}} \quad (3)$$

In Table 1, note that four groups of household member are classified, including the children less than 12 years old (5th variable), the adults less than or equal to 60 years old (6th variable), the elderly over age 60 years (7th variable), and the disabled persons (8th variable). In this paper, the adult group consists of youths (12-22 years old) and working people age 23-60 years. This group is combined based on the assumption that they can evacuate by themselves, compared to the other three groups who require special cares. However, the group of youths should be considered separately in future research.

4. RESULTS

In this section, the data obtained from the secondary sources and the questionnaire survey are analyzed. The results are given in the first two subsections. The last subsection presents the evacuation models developed in this paper. The details are as follows.

4.1 Household Characteristics

4.1.1 Household size

Household size and member characteristics are factors that significantly influence the individual's decision on flood evacuation and can be used to estimate the number of evacuees. Figure 4 shows that the average household sizes, classified by four resident groups (children, adult, elderly, and disabled persons), in four areas are similar. The majority is the adult group (2.13, 2.29, 2.14, and 2.21 persons per household), followed by the children group (0.75, 0.56, 0.70, and 0.59 persons per household), the elderly group (0.37, 0.36, 0.49, 0.33 persons per household), and the disabled person group (0.05, 0.02, 0.04, and 0.04 persons per household). From these results, a number of household sizes in the four areas can be calculated at 3.30, 3.23, 3.37 and 3.17 persons per household, respectively.

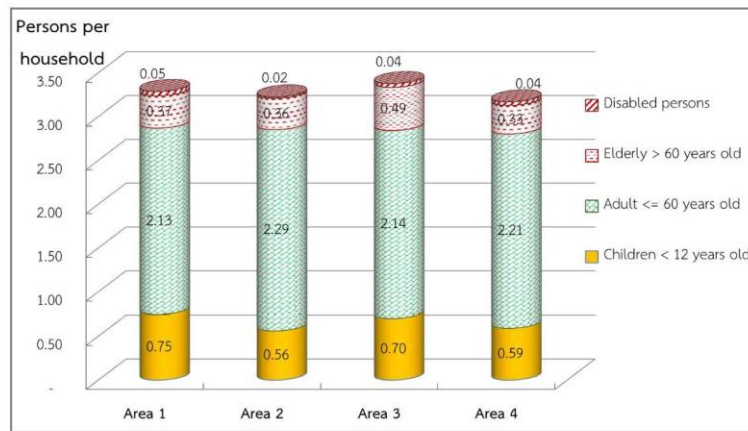


Figure 4. Average household size by residents

4.1.2 Vehicle ownership

Figure 5 shows the average numbers of vehicle ownership per household in the four areas. In this study, five types of commonly used vehicles are considered, including bicycle, motorcycle, passenger car, pickup car, and van. It is found that motorcycle is most popular in all the four areas with 1.25, 1.09, 1.06, and 1.29 vehicles per household, respectively. The second common vehicle is pickup car of which the ownerships are 0.43, 0.38, 0.41, and 0.34 vehicles per household, respectively. The third preference vehicle is passenger car of which the ownerships are 0.33, 0.37, 0.38, and 0.33 vehicles per household, respectively. The fourth prevalent vehicle is bicycle of which the ownerships are 0.33, 0.19, 0.26, and 0.28 vehicles per household, respectively. From the figure, least common use vehicle is van (0.01, 0.04, 0.06, and 0.02 vehicles per household, respectively). The vehicle least ownership would affect individual's decision making on transport use for evacuation. These information can also be applied to estimate a number of vehicles moving on the roads during evacuation period.

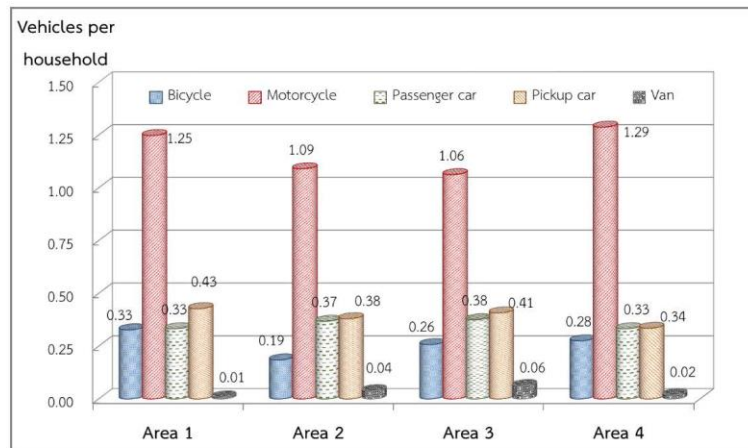


Figure 5. Average number of vehicle ownership

4.2 Evacuation Behaviors

As mentioned earlier, the evacuation behaviors were investigated for three time periods including before, during, and after flooding. The results are presented as follows.

4.2.1 Before flooding

Respondents want local agency to announce the flood warning time for evacuation preparedness in advance. Table 2 shows that the mean values of the warning time obtained from all areas are moderately similar ranging from 14.27 to 17.56 hours, while the values of the standard deviation of the warning time are almost the same (3.30-3.76 hours). On average, the people need more than half a day (15.82 hours) for their evacuation preparedness. This information is useful for the local agency to provide sufficient warning time to the people.

Table 2. Warning time required for evacuation preparedness (in hours)

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	All areas
Mean	14.27	16.83	14.63	17.56	15.82
Standard deviation	3.30	3.68	3.31	3.76	3.54

4.2.2 During the flood

Figure 6 shows the percentages of evacuation timing, classified by four time periods: immediately after flood warning, flood level lower than 0.5 m., flood level 0.5-1.0 m., and flood level 1.0-1.5 m. Note that the three water levels of the flooding are categorized based on historical flood data. However, a flood level higher than 1.5 m. is not reported here because there is no data from respondents. These three flooding levels were used in the questionnaire to allow a respondent to perceive flooding situation nearby his/her house obviously.

In Figure 6, people in all areas preferred to evacuate (55.75-59.00 %) rather than not evacuate (41.00-44.25 %). On average, 42.75 % of the people did not want to evacuate, whereas those who chose to evacuate totaled 57.25 %. Regarding the evacuee group, 44.81 % evacuated immediately after the flood warning signal given by local authority, 8.00 % evacuated when the flood level is lower than 0.50 m., 3.00 % evacuate when the flood level is 0.5-1.0 m, and 1.44 % evacuate when the flood level is 1.0-1.5 m.

From the interview, it was also found that the people don't want to evacuate because they worry about their property (40.64 %), believe that evacuation centers provided by local agency are uncomfortable (31.75 %), and worry about their elderly or children (27.61 %). On the other hand, the reason for those who evacuated immediately was that based on their past experiences the floods in the urban area could be return within a few days so they wanted to move their vehicles, especially passenger cars, to adjacent safe locations as soon as possible.

Regarding the number of evacuees, Table 3 shows that on the average there are 2.75 evacuees per household when the flood level is less than 0.5 m., followed by 2.66 evacuees per household (immediately evacuated), 2.48 evacuees per household (the flood level is 0.5-1.0 m.), and 2.43 evacuees per household (the flood level is 1.0-1.5 m.). These results can imply that the number of evacuees per household decrease when the flood level rises up. The results can be applied to estimate a total number of evacuees during the evacuation time periods. This information is very useful for evacuation planning.

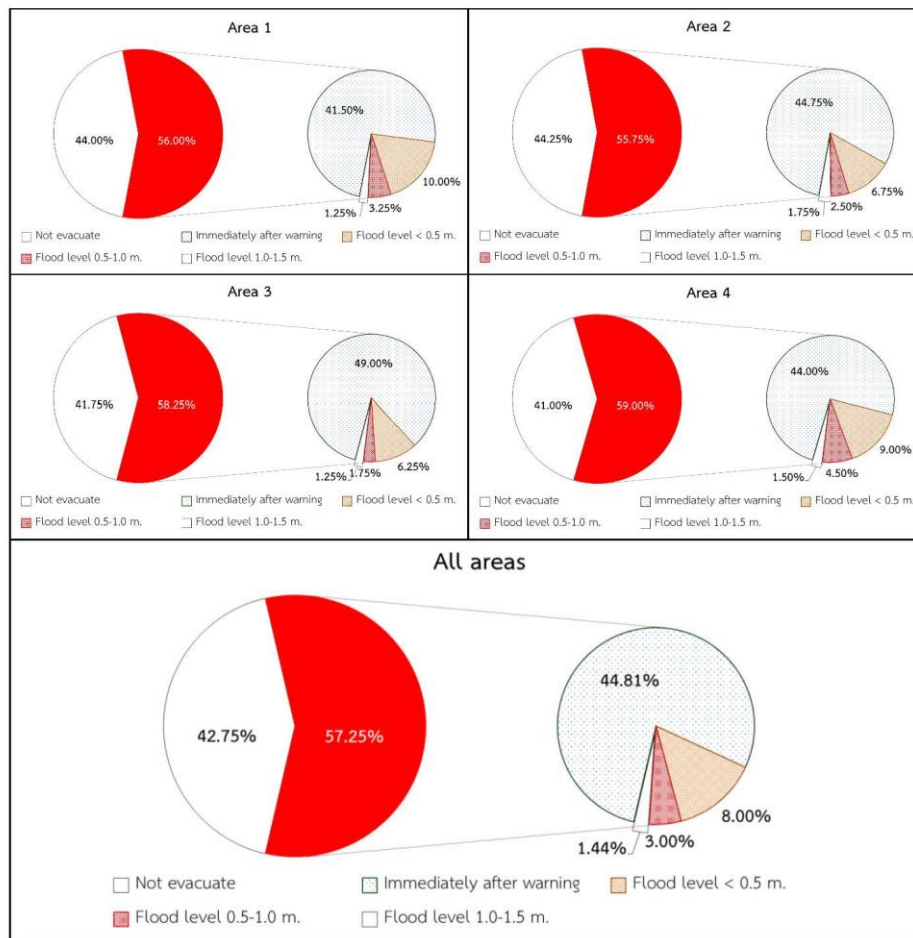


Figure 6. Percentages of evacuation timing

Table 3. Number of evacuees per household (in persons)

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	All areas
Immediately	2.62	2.64	2.81	2.58	2.66
Flood level < 0.5 m.	2.50	2.88	2.80	2.91	2.75
Flood level 0.5-1.0 m.	2.25	2.13	1.50	3.06	2.48
Flood level 1.0-1.5 m.	2.60	2.67	2.60	1.80	2.43

Regarding the destination of evacuation, this study focus on two main destinations: evacuee relative's house (outside the study area) and public evacuation centers (inside the study area). However, some evacuees possibly visit other places, e.g. assembly point, shopping store, or office, before going to evacuation centers. Figure 7 shows that only 28.31 % of the evacuees left Hat Yai to their relative's house in other areas, whereas 71.69 % preferred going to the public evacuation centers, provided by local government, as the final destination. Considering the second group: 37.75 % went to the evacuation center directly. 25.69 % went to the assembly

point first and moved to the center later. 3.50 % visited their relative's house first, then went to the assembly point, and finally traveled to the evacuation center. 2.44 % first went to shopping at nearby stores, then went to the assembly point and the evacuation center in that order. 2.31 % dropped by their office first, then went to the assembly point, and moved to the evacuation center.

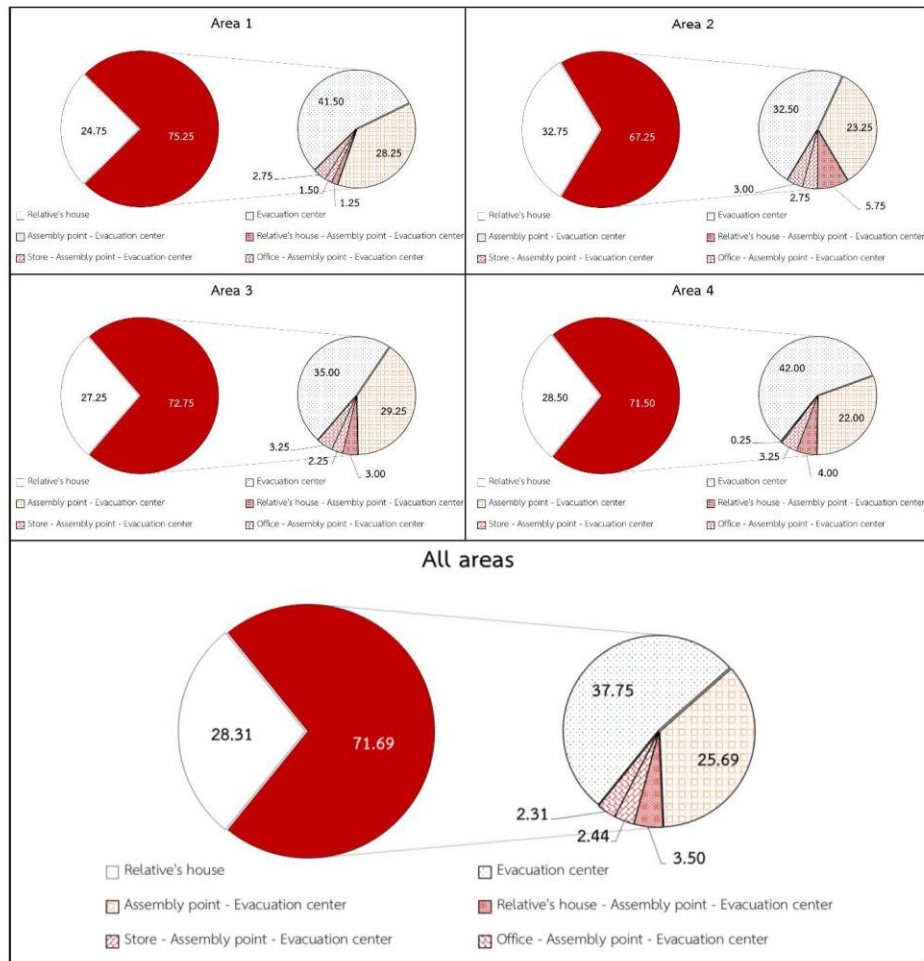
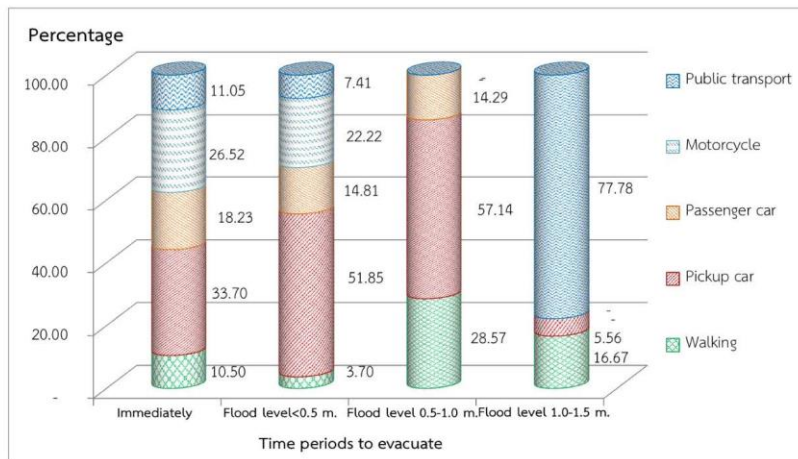


Figure 7. Evacuation destinations

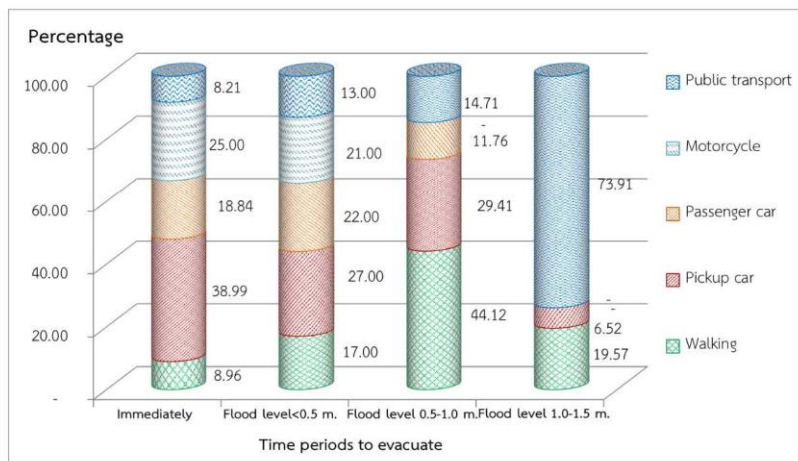
Regarding the means of transport mainly used for evacuation classified by the four time periods (in Figure 6) and the two final destinations (in Figure 7), Figure 8a) shows that pickup and passenger cars were the top two means of transport that the evacuees mainly used for the evacuation to their relative's house before the flood level was higher than 1.0 m. 33.70 % evacuated immediately. 51.85 % evacuated when the flood level was lower than 0.5 m. 57.14 % evacuated when the flood level was 0.5-1.0 m. After the flood level was higher than 1.0 m., it was difficult for the evacuees to travel by smaller vehicles (i.e. pickup car, passenger car, and

motorcycle). Therefore, 77.78% of the evacuees used public transports (bus and minibus) for the evacuation. 16.67% traveled by walking. A minority (5.56 %) traveled by off-road pickup car. Note that typical public transports (tuk tuk, songthaew, minibus, and bus) operated regularly when the flood level was lower than 0.5 m. After that special public transports (minibus and bus) were serviced by local evacuation agencies.

Similar to Figure 8a), Figure 8b) shows that 14.71 % and 73.91 % of the evacuees used the public transports provided by local agencies for their travel to the evacuation centers when the levels of flood were 0.5-1.0 m. and 1.0-1.5 m., respectively. The results obtained from this part can be applied to forecast a number of vehicles traveling on the road network, and consequently used to assess the traffic impact in the study area.



a) Evacuate to relative's house



b) Evacuate to evacuation centers

Figure 8. Means of transport mainly used for evacuation

4.2.3 After the flood

Figure 9 shows that most of the evacuees (70.00 %) returned to their home immediately after the water receded. 21.38 % took 1 day to return to normal life whereas the rest of them waited for longer time periods: 5 days (3.81 %), 7 days (2.81 %) and 3 days (2.00%). Regarding flood recovery time, Figure 10 shows that on the average 40.08 % of the people required 1-2 weeks to return to normal life, 28.03 % needed less than 1 week, 12.57 % took 3-4 weeks, 10.82 % required 1-2 months. For a minority, a return to normal life occurred after 3-6 months (3.97 %) and for some over 6 months (4.53 %).

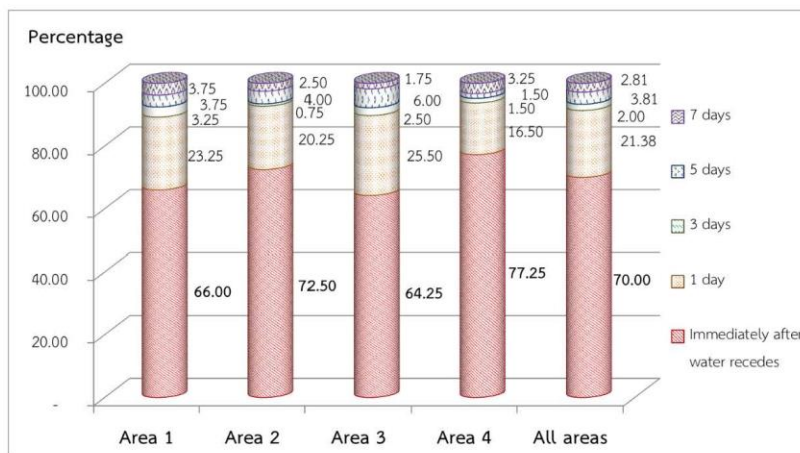


Figure 9. Time periods to return home

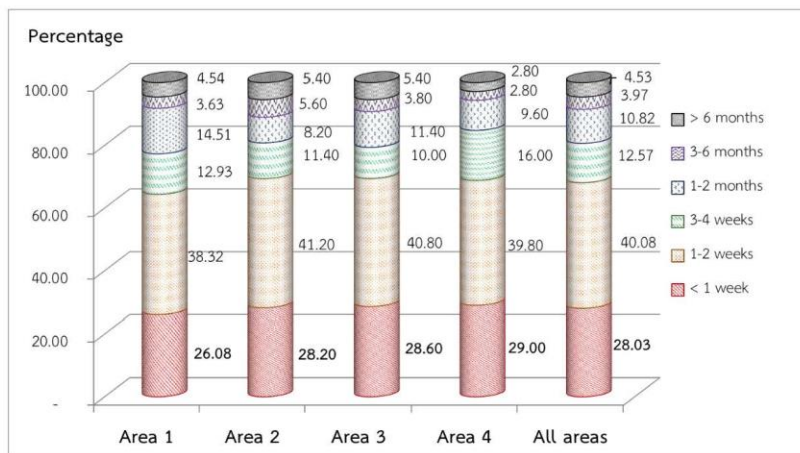


Figure 10. Recovery time periods

4.3 Flood Evacuation Models

4.3.1 Flood evacuation decision models

A flood evacuation decision model was developed based on the assumption that individual's characteristics (i.e. gender and age) and household's characteristics (i.e. income, no. children, no. adults, no. elderly, no. disable persons, and vehicle ownership) influenced on the individual's evacuation decision making (evacuate = 1, not evacuate = 0). By applying binary logistic regression, six evacuation decision models, classified by occupation, can be developed significantly. The results are presented in Table 4. In this study, the goodness of fit of the models is assessed by Hosmer-Lemeshow test, Cox and Snell R^2 , Nagelkerke R^2 , and the percent correctly predicted. It is found that the models fit the survey data reasonably well.

Table 4. Flood evacuation decision models by occupation

Predictor variables	Model E1: all occupations		Model E2: unemployed		Model E3: retired	
	β	Sig.	β	Sig.	β	Sig.
Constant	1.140	0.032	0.056	0.983	0.005	0.992
Gender	-0.363	0.023*	-	-	-2.111	0.070**
Age	0.138	0.046*	0.764	0.028*	-	-
Household income	-	-	-	-	-	-
No. children	-0.2310	0.043*	-	-	-	-
No. adults	0.241	0.012*	-	-	-	-
No. elderly persons	-0.218	0.051**	-1.549	0.066**	-	-
No. disabled persons	-	-	-	-	-	-
Vehicle ownership	-0.612	0.093**	-	-	-	-
Hosmer& Lemeshow Test (Sig.)	0.122		0.622		0.126	
Cox and Snell R^2	0.533		0.236		0.283	
Nagelkerke R^2	0.712		0.319		0.388	
Percent correctly predicted	60.1		71.1		68.0	
Predictor variables	Model E4: business		Model E5: worker		Model E6: government	
	β	Sig.	β	Sig.	β	Sig.
Constant	-1.835	0.146	1.725	0.099	0.293	0.843
Gender	-	-	-1.101	0.010*	-	-
Age	0.636	0.004*	-	-	-	-
Household income	-	-	-	-	-	-
No. children	-0.586	0.092**	-	-	-0.653	0.046*
No. adults	0.562	0.029*	-	-	0.987	0.004*
No. elderly persons	-0.989	0.008*	-	-	-4.124	0.003*
No. disabled persons	-	-	-	-	-1.987	0.009*
Vehicle ownership	-	-	-	-	-	-
Hosmer& Lemeshow Test (Sig.)	0.303		0.144		0.069	
Cox and Snell R^2	0.227		0.091		0.167	
Nagelkerke R^2	0.303		0.121		0.240	
Percent correctly predicted	67.1		66.0		77.4	

- Not relevant; * Significant at 95% confidence level; ** Significant at 90% confidence level.

From all six models presented Table 4, it is found that different occupations have dissimilar significant influence factors. However, the household income is not a key influence factor in all model. Regarding the model E1 analyzed from all occupations, the model is significant to gender, age, no. children, no. adults, no. disabled persons, and vehicle ownership. The negative coefficient of gender variable implies that male prefer to evacuate more than female. As we expected, the children and elderly persons are the groups requiring special cares. The negative coefficients of these two groups mean that the larger number of children or elderly persons staying in a household the lower chance the individual would evacuate. On the other hand, the positive coefficient of age implies that older people prefer not to evacuate. The positive coefficient of adult variable means that the higher number of adults the higher probability they would evacuate together.

4.3.2 Evacuation mode choice models

Evacuation mode choice models by time and destination of evacuation were developed to capture the factors that influenced evacuee's choosing the transport means, including walking, private vehicles (i.e. pickup car, passenger car, and motorcycle), and public vehicles (i.e. tuk tuk, songthaew, minibus, and bus). Multivariate logistic regression technique was applied to develop the models. The models were analyzed by setting the group of private vehicles as a pivot choice and the results are presented in Table 5 and Table 6.

Table 5. Evacuation mode choice models by time of evacuation

Transport means for evacuation	Predictor variables	Model M1: Evacuate immediately		Model M2: Flood level < 0.5 m.	
		β	Sig.	β	Sig.
Walking	Constant	-0.562	0.679	0.681	0.385
	Gender	1.015	0.014*	-	-
	Age	-	-	-0.498	0.080**
	Income	-	-	-	-
	No. children	0.663	0.013*	-	-
	No. adults	-	-	-	-
	No. elderly persons	-	-	0.777	0.100**
	No. disabled persons	-	-	-	-
	Vehicle ownership	-1.527	0.000*	-1.897	0.017*
Public transport	Constant	-0.061	0.970	-0.736	0.336
	Gender	-	-	-	-
	Age	-	-	-	-
	Income	-	-	-	-
	No. children	0.487	0.092**	-	-
	No. adults	-	-	-	-
	No. elderly persons	-	-	-	-
	No. disabled persons	-	-	-	-
	Vehicle ownership	-2.440	0.090**	-2.447	0.004*
Cox and Snell R^2		0.122		0.144	
Nagelkerke R^2		0.169		0.188	

- Not relevant; * Significant at 95% confidence level; ** Significant at 90% confidence level.

Table 5 shows the two mode choice models based on time of evacuation. However, the two time periods of evacuation (evacuate immediately and flood level < 0.5 m.) can be used to develop the models because the sample sizes of the other time periods are small. For those who evacuated immediately, the model M1 reveals that gender, no. children, and vehicle ownership were three significant factors affecting transport mode choice. The model implies that female preferred walking more than male. In addition, the larger number of children the higher probability evacuees chose walking or public vehicles, compared to the private vehicles. The negative coefficient of vehicle ownership means that an evacuee preferred using his/her own vehicle(s) instead of walking or using public vehicles. When the flood level was higher than 0.5 m., the negative coefficient of the age in the model M2 implies that an elderly evacuee preferred walking. The negative vehicle ownership in the two models means that the higher number of vehicles owned the higher the chance he/she would use his/her vehicle instead of walking or public vehicles.

Table 6 shows the other two mode choice models based the two evacuation destinations: relative's house and evacuation center. The model results are similar to the previous models. However, the mode choice models classified by the two destinations are not significant to the evacuation time and the number of elderly persons. The positive coefficients of disabled persons mean that people would prefer larger public vehicles (e.g. bus) compared to smaller private vehicles.

Table 6. Evacuation mode choice models by destination of evacuation

Transport means for evacuation	Predictor variables	Model M3: Relative's house		Model M4: Evacuation center	
		β	Sig.	β	Sig.
Walking group	Constant	-3.365	0.001	0.467	0.624
	Gender	-	-	-	-
	Age	-	-	-	-
	Income	-	-	-	-
	No. children	-	-	0.613	0.081**
	No. adults	-	-	-	-
	No. elderly persons	-	-	-	-
	No. disabled persons	1.943	0.013*	3.313	0.006*
	Vehicle ownership	-	-	-3.697	0.000*
	Time to evacuate	-	-	-	-
Public transport group	Constant	-2.324	0.000	-0.106	0.913
	Gender	-	-	-	-
	Age	-	-	-	-
	Income	-	-	-	-
	No. children	-	-	0.852	0.014*
	No. adults	0.543	0.021*	-	-
	No. elderly persons	-	-	-	-
	No. disabled persons	-	-	3.815	0.001*
	Vehicle ownership	-1.087	0.025*	-3.621	0.000*
	Time to evacuate	-	-	-	-
Cox and Snell R^2		0.164		0.209	
Nagelkerke R^2		0.180		0.288	

5. CONCLUDING REMARKS

This paper presented the analysis of factors affecting urban inhabitant's decision making on evacuation action before, during, and after the flooding. The survey was conducted in Hat Yai municipality as a case study. The study was divided into three main parts, including the investigation of household characteristics, the analysis of evacuation behaviors, and the development of evacuation models. The results of the first part revealed the number of members and vehicles in household. The second part presented the behaviors of evacuees before, during, and after the flooding. Before the flooding, people require about fifteen hours for evacuation preparedness. During the flooding, it was found that 57.25 % of the people want to evacuate to safe places. The number of evacuees was 2.66, 2.75, 2.48, and 2.43 persons per household for the cases of immediate evacuation, flood level < 0.5 m., flood level 0.5-1.0 m., and flood level 1.0-1.5 m., respectively. Regarding the destinations of evacuation, 71.69 % of the evacuees went to the evacuation centers provided by local agencies, whereas 28.31 % went to their relative's house. It was also found that most of the evacuees used private vehicles (pickup car and passenger) as the major means of transport for the evacuation to both destinations. This may cause traffic problems during the critical period. After the flooding, most of the evacuees (70.00%) returned to their home immediately after the water receded. Considering the recovery time, on the average 40.08 % of the affected people needed 1-2 week to return to normal life. The third part of this study developed two types of flood evacuation model by applying logistic regression analysis. The first type was to determine the factors influencing decision making of individuals by occupation on the evacuation. From all occupations, it was found that gender, age, no. children, no. adults, no. disabled persons, and vehicle ownership were the significant factors. The second type was to investigate the factors affecting the evacuation mode choice. It was found that no. children, no. disabled persons, vehicle ownership were the significant factors. The results and models developed can be applied to estimate the travel demand of evacuees, improve current and propose new efficient means of transport to meet the demand and needs. Finally, the authors believe that the concept of this study can be more rigorously applied to propose disaster management systems before, during, and after flooding in other urban areas in developing countries. Future related works should focus on an introduction of time series in flood evacuation modeling for flood preparedness planning.

ACKNOWLEDGEMENT

The first author would like to thank Prince of Songkla University for supporting the internal research fund project (ENG550148S). The authors also thank all respondents for providing valuable data.

REFERENCES

- Bhat, C.R. (1996) A hazard-based duration model of shopping activity with nonparametric baseline specification and nonparametric control for unobserved heterogeneity. *Transportation Research Part B*, 30(3), 189-207.
- Charnkol, T., Tanaboriboon, Y. (2006) Tsunami Evacuation Behaviour Analysis - One Step of Transportation Disaster Response. *IATSS Research*, 30(2), 83-96.
- Charnkol, T., Tanaboriboon, Y., Hanaoka, S. (2007) Emergency trip destination of evacuation as shelter analysis for tsunami disaster: a case study in Phuket, Thailand. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 7, 853-868.

Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10, 2013

- Clarke, C.C., Habib, M.A. (2010) Evaluation of Multi-Modal Transportation Strategies for Emergency Evacuations. Annual Conference of the Transportation Association of Canada. Nova Scotia.
- Dayton, C.M. (1992) *Logistic Regression Analysis*. University of Maryland.
- de Jong, M., Helsloot, I. (2010) The effects of information and evacuation plans on civilian response during the National Dutch flooding exercise 'Waterproof'. *Procedia Engineering*, 3, 153-162.
- Department of Disaster Prevention and Mitigation (DDPM) (2012) Floods Situation Statistics. Ministry of Interior, Thailand. <http://www.disaster.go.th>. (in Thai)
- Disaster Prevention and Mitigation Regional Center 12 Songkhla (DPMRC12) (2012) Floods Situation Statistics in Songkhla. (in Thai)
- Hair Jr., J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E. (2006) *Multivariate Data Analysis*. Pearson Education Inc., New Jersey.
- Hasan, S., Mesa-Arango, R., Ukkusuri, S. (2011) A random-parameter hazard-based model to understand household evacuation timing behavior. *Transportation Research Part C*, 25-45.
- Hat Yai Municipality (2011) Hat Yai Flood Preparedness Manual. (in Thai)
- Murray-Tuite, P., Wolshon, B. (2013) Evacuation transportation modeling: An overview of research, development, and practice. *Transportation Research Part C*, 27, 25-45.
- Yamane, T. (1967) *Elementary sampling theory*. Prentice-Hall, New Jersey.

ภาคผนวก ข2

บทความนานาชาติที่ตีพิมพ์แล้ว เรื่องที่ 2

Evaluation of Accessibility to Evacuation Centers in Asian Developing City

Evaluation of Accessibility to Evacuation Centers in Asian Developing City

LUATHEP Paramet^{1,a*}, JAENSIRISAK Sittha^{2,b}

¹Department of Civil Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand

²Department of Civil Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, 34190, Thailand

^aparamet007@hotmail.com, ^bsittha.j@gmail.com

Keywords: Evacuation Center, Accessibility, Private Vehicle Usage, Asian Developing City.

Abstract. As the rapid growth of urbanization, risk of flooding in Asian developing cities has been increasing. Though local agencies have integrated their efforts to develop flood preparedness strategies, deploy early warning systems, and plan for evacuations, the cities are particularly vulnerable. This paper aims at evaluating accessibility to evacuation centers in Asian developing city. Hat Yai city (Thailand) was selected as a case study. In this paper, the accessibility was evaluated by travel time between evacuees' houses and evacuation centers. The accessibility time to the public evacuation centers were determined. The sensitivity analysis was performed to investigate the relationship between evacuation demand and total travel time in the network. Finally, traffic conditions on evacuation routes were evaluated.

Introduction

Over recent decades, many countries in the world are confronted by the increasing risk of flood, which is a result of both global climate change and local environment challenges [1], as well as rapid growth of urbanization. Flooding in Asian developing cities is increasing and the cities are particularly vulnerable. From the statistics, the seven most destructive floods of the past 30 years all occurred in Asia, 90% of those killed or affected floods lived in Asia. The economic loss due to flooding in this region is about half of the total worldwide [2]. The trend in the future may get worse if policy makers do not eager to counter this problem.

In Thailand, flooding is a reoccurring natural disaster and profoundly affects many cities in terms of people's livelihood and economy. Especially, the big floods in Thailand during 2010-2011, about 50 of 76 provinces were affected [3]. Hat Yai city, the economic center of southern Thailand, was also severely submerged by flood waters, making the city completely inaccessible by road. The loss was most obvious in the commercial area. Subsequently, various local agencies have integrated their efforts to develop flood preparedness strategies, deploy early warning systems, and plan for evacuations. However, it is still at an early stage. One of the main issues concerned by the local government is accessibility to the evacuation centers.

This paper is to evaluate the accessibility, mainly in terms of travel time, to public evacuation centers in Hat Yai city as a case study. The results from this study would be useful for the local agencies in preparedness planning before flooding. The paper consists of the following three sections. The second section describes the research methodology, then the results are presented and discussed in the third section. The final part concludes the paper and gives some recommendations for future research.

Research Methodology

Study Area. The study area, shown in Figure 1, covers major urban areas of Hat Yai comprehensive plan. The areas consists of 102 affected communities (zones) which can be categorized, based on the number of communities and the number of population, into four zone groups, following Hat Yai flood preparedness plan [4]. The four areas comprise of 25 zones (10,798 households), 24 zones (15,548 households), 26 zones (14,797 households), and 27 zones (15,641 households), respectively. Figure 1 also shows the location of 13 evacuation centers provided by Hat Yai municipality.

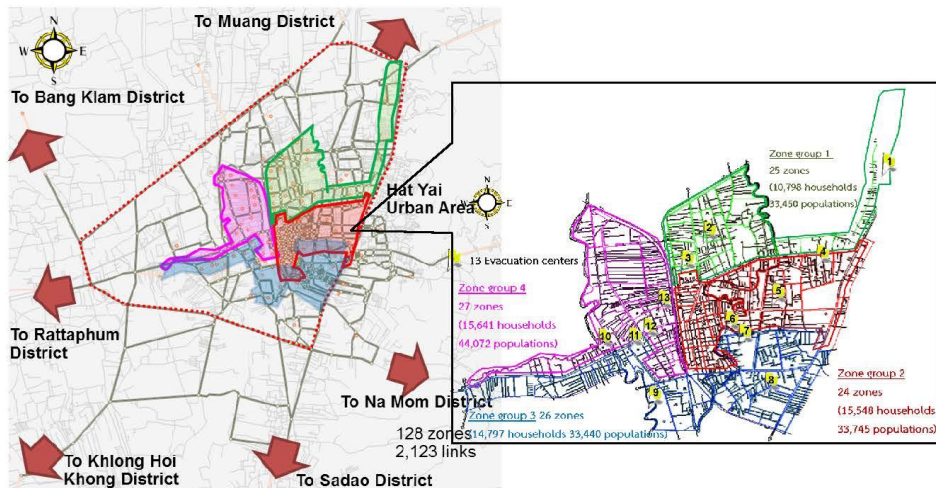


Fig. 1 The study area

Data Collection. Understanding the demand and characteristics of travelers and transport systems is very important for local agencies in disaster evacuation planning [5]. The data related to flood evacuation behaviors of the travelers in the study area was collected and analyzed (see [6]). It was found that 57.25% of the residents would evacuate to safe places, e.g. public evacuation centers, or their relative’s houses. Most of them would use their private vehicles (pickup car or sedan) as the major evacuation transport mode.

Development of Transport Demand Forecasting Model. This study developed a transport demand forecasting model for Hat Yai city (see [7]). The study area (in Figure 1) was modeled consisting of 2,123 directional links and 679 regular nodes, and 128 zone centroids (120 internal and 8 external zones). The model was calibrated using the traffic volume count and speed data observed on 200 selected links and turns (about 10% of the total links). The result of model calibration was found that the value of R^2 between the observed and modelled flows is 0.982, which is desirable.

Evaluation of Accessibility. The traffic information, including flow and travel time, was calculated by using the developed model. In this paper, accessibility to evacuation center was determined by travel time from the origin (evacuee’s house) to the destination (evacuation center). However, the other accessibility indices proposed in previous studies [7]-[9] can also be applied to future research. The traffic condition in the road network with different levels of evacuation demand was also be evaluated by the total travel time in the network.

Let x_a^* and t_a^* be the equilibrium flow and travel time, respectively, on link a within the set of links A . The link flows and travel time were obtained from the developed model. Thus, the total travel time (TTT) in the network can be calculated from

$$TTT = \sum_{V \in A} x_a^* \times t_a^* . \quad (1)$$

Results and Discussions

Accessibility Time to Evacuation Center. The first test is to determine the accessibility time to evacuation centers. In this paper, four centers are selected as the representative of each zone group (one center from each zone group), including Jiranakorn Stadium, Hat Yai Commercial School, Saengthong Wittaya School, and Municipal 2 School. The isochrones maps, representing the accessibility time to each evacuation center, are illustrated in Figure 2. It demonstrates that the highest accessibility time from the urban area to each evacuation center is about 25 minutes. With desirable accessibility time, these results can be further applied to evaluate the service coverage area of the evacuation centers and provide more centers in no coverage area.

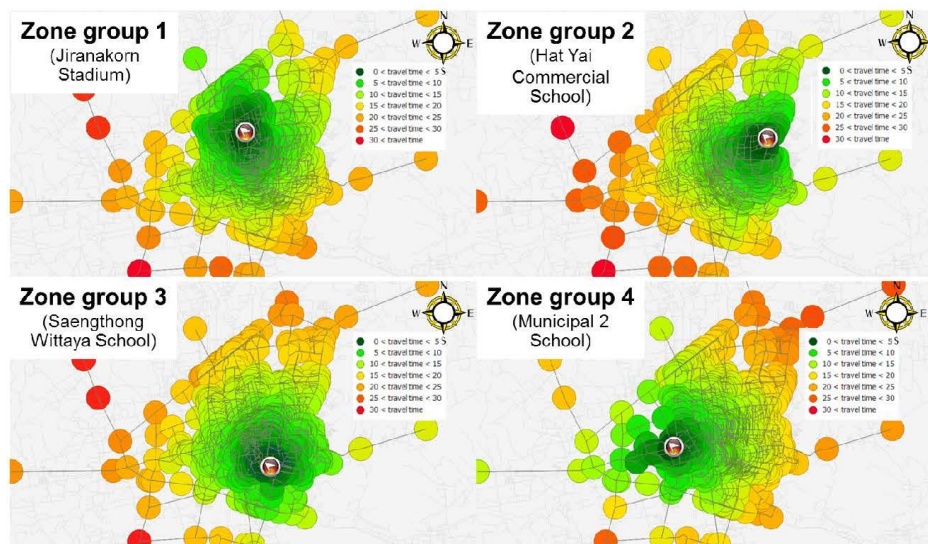


Fig. 2 Accessibility time to the evacuation center

Evacuation Demand. For the second test, sensitivity analysis was applied to analyze the impact of different levels of evacuation demand on the network total travel time and the origin destination (OD) travel time. The different demand levels are varied between 10 to 100 percent with the increasing step of 10 percent of the travel demand during normal period. The results are presented in Figure 3. It illustrates the exponential increase of total travel time in the network and OD travel time as the increase of evacuation demand. It shows that the higher evacuation demand, the much higher travel time accessing to the evacuation centers. The trend is similar to the OD travel time. Regarding the expected evacuation demand from the previous study (i.e. 57.25% of the normal travel demand), the total travel time in the network is found at 371,880 pcu-hour and the 85th percentile of OD travel time is about 26 minutes. These results can be used to forecast the network situation under different evacuation demand levels.

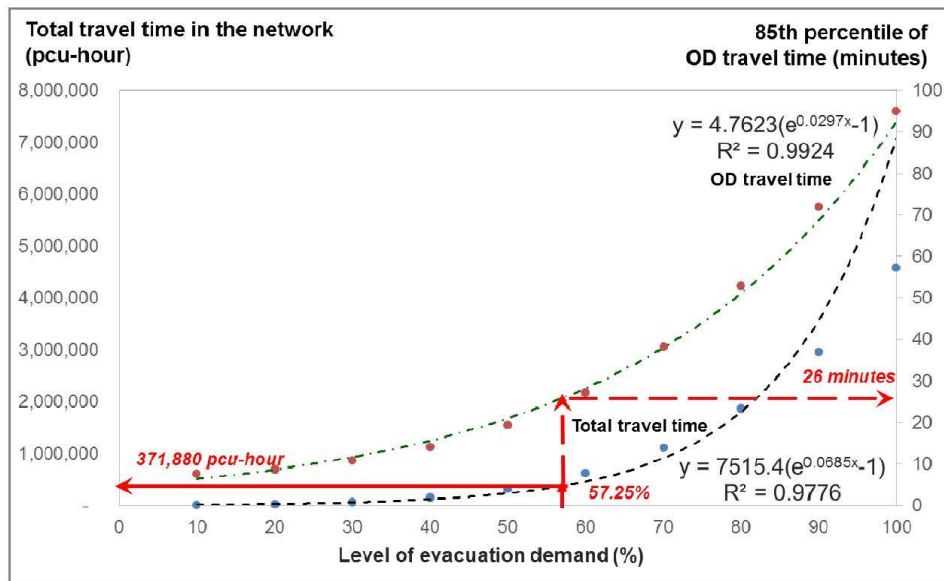


Fig. 3 The impact of evacuation demand on total travel time in the network and OD travel time

Evacuation Route. The final test is to demonstrate the traffic condition in the network with the current evacuation demand. In this study, evacuees are allowed to travel by using their own vehicles. As shown in Figure 4, the traffic flows are moderately congested along Highway No.4, No.407, and Nipatsongkrew road, which are the main arterial roads of the city.

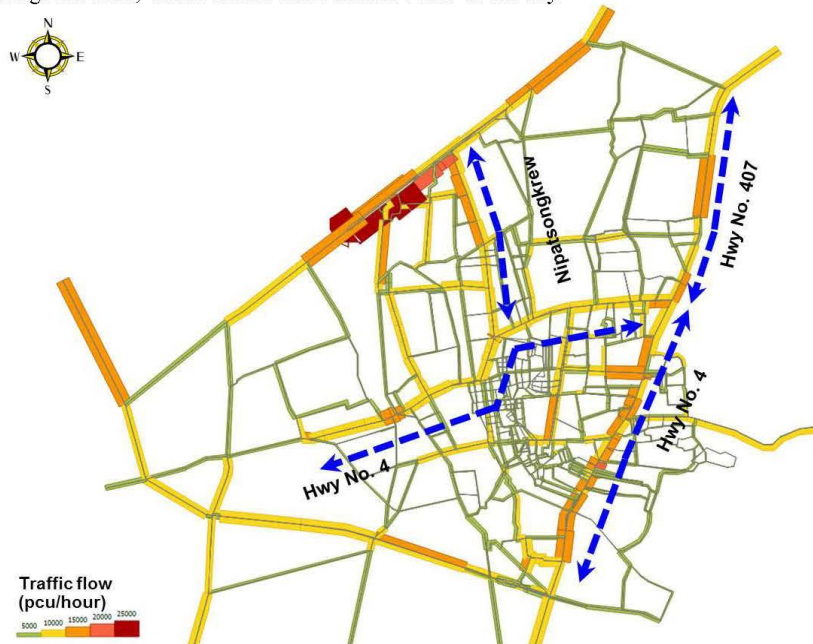


Fig. 4 Traffic condition and evacuation routes of the network

Conclusions

This paper has presented the evaluation of accessibility to evacuation centers in Hat Yai urban area. The accessibility was basically assessed by the travel time from evacuees' houses to the evacuation centers. Three tests including accessibility time to evacuation centers, different levels of evacuation demand, and traffic flows in the network were conducted. The first test determined the accessibility time to each evacuation center. With desirable accessibility time, the results can be further applied to evaluate the service coverage area of the evacuation centers and provide more centers in no coverage area. For the second test, the total travel time in the network was determined from different levels of evacuation demand. The results can be used to forecast the network situation under different circumstances. The last test illustrated the traffic condition and preferred evacuation routes. The results can be used as a guideline to prevent illegal parking (or double parking) and unexpected traffic accident, which may lessen the level of service of the main evacuation routes.

Future research can apply other accessibility indices. Road network service level during flood should also be evaluated. Furthermore, the evacuation travel model choice between private vehicle and public transport in evacuation should be investigated.

Acknowledgement

The first author would like to thank Prince of Songkla University for supporting the internal research fund project (ENG550148S).

References

- [1] H. You, A Strategic Modelling Framework for Victim Estimation in Floods by Linking Flood and Evacuation Modelling A Case Study: Land Van Maas En Waal, Master thesis, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, University of Twente, The Netherlands, 2013.
- [2] AAAS, World Bank Frets Over Urban Flooding in Asia, Science Insider, 12 February 2012.
- [3] AF P, Tourists stranded as Thai flood death toll passes 120, New Zealand Herald, 3 April 2011.
- [4] Hat Yai Municipality, Hat Yai Flood Preparedness Manual (in Thai), 2011.
- [5] C.C. Clarke, M.A. Habib, Evaluation of Multi-Modal Transportation Strategies for Emergency Evacuations. Annual Conference of the Transportation Association of Canada. Nova Scotia. (2010)
- [6] P. Luathep, A. Suwansunthon, S. Sutthiphon, P. Taneerananon, Flood Evacuation Behavior Analysis in Urban Areas, J. Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2013, Vol.10, pp 178-195.
- [7] P. Luathep, P. Suwanno, P. Taneerananon, Identification of Critical Locations in Road Networks due to Disasters, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2013, Vol. 9, pp 206.
- [8] W.G. Hansen, How Accessibility Shapes Land Use. J. the American Institute of Planners, 1959, Vol. 25(2), pp 73-76.
- [9] M.A.P. Taylor, Critical Transport Infrastructure in Urban Areas: Impacts of Traffic Incidents Assessed Using Accessibility-Based Network Vulnerability Analysis, Growth and Change, 2008, Vol. 39(4), pp 593-616.

ภาคผนวก ข3

Proceedings นานาชาติที่ตีพิมพ์แล้ว

Identification of Critical Locations in Road Networks due to Disasters

Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10, 2013

Identification of Critical Locations in Road Networks due to Disasters

Paramet LUATHEP^a, Piyapong SUWANNO^b, Pichai TANEERANANON^c

^{a,c} *Department of Civil Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand*

^b *Graduate School, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand*

^a *E-mail: paramet007@hotmail.com*

^b *E-mail: bank_civile@hotmail.com*

^c *E-mail: breathislife@hotmail.com*

Abstract: Disasters have occurred in various patterns from both natural and man-made causes and tend to increase in the future. Disaster preparedness is necessary for concerned authorities to cope with disasters and prevent critical situations from getting worse. This paper presents the application of vulnerability analysis to identify the critical locations that adversely affect the performance of road network most when the network is degraded or failed by any disaster. Destination accessibility index is proposed to measure the ability of evacuees to access the destinations (e.g. assembly points or evacuation centers). If the failure or capacity degradation of a road section affects maximum reduction in the accessibility index, that road is identified as the critical location. The road network of Hat Yai city is used to illustrate the applicability of the proposed index. The results can be further applied as part of evacuation route planning.

Keywords: Vulnerability Analysis, Critical Locations, Accessibility, Road Network, Disasters

1. INTRODUCTION

Disasters have occurred in various patterns from both natural and man-made causes. The trend of disasters are more likely to increase in the future. In Thailand, several disasters, e.g. floods, earthquakes, demonstrations, and catastrophic accidents, have profoundly affected to the city in terms of people's livelihood and economy. Consequently, people and concerned authorities need to adapt and prepare for disasters that may occur in the future.

Previous approaches for road network planning and management seems to be reactive. In some disasters, even if the probability of network failure may be small, the socio-economic impacts on particular areas of the community may be large and need some remedial actions (Taylor, 2008). On the other hand, vulnerability analysis, as a proactive approach, aims to evaluate the weakness (vulnerability) and consequences of network failure, irrespective of the failure probability. This approach can anticipate structural weaknesses of the network and help to avoid or at least relief potential adverse effects, rather than to react to them afterwards.

This paper presents the application of vulnerability analysis to identify the critical locations that adversely affect the performance of road network most when the network is degraded or failed by a disaster. Based on the accessibility index (Hansen, 1959), destination accessibility index is proposed to evaluate the network performances during normal period and critical situations. The index represents the degree to which a destination, e.g. assembly point or evacuation center, is accessible by as many people or evacuees as possible. If the failure or capacity degradation of such a road section affects the most reduction in the proposed index, that road is identified as the critical location.

Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10, 2013

To obviously illustrate the applicability of the proposed index, the road network of Hat Yai city, Songkhla province, Thailand; where is the center of commerce, business and tourism in the southern Thailand, is selected as a case study based on the urgent needs of the local concerned authorities for disaster preparedness planning. The city is recurrently affected by floods, especially the big floods in 2000 and 2010, and possibly encounters with terrorist attacks.

The paper consists of the following five sections. Section 2 presents the literature review. The methodology is described in Section 3. Section 4 shows and discusses the results. Finally, Section 5 concludes the paper and give some recommendations for future research.

2. LITERATURE REVIEW

In general, vulnerability analysis is a process of identifying, quantifying, and ranking the vulnerabilities (weaknesses) of individual members or elements in a specific system or network that internal and/or external factors can cause the vulnerabilities (U.S. Department of Energy, 2002). The analysis results can be used as part of risk assessment process to answer the following questions: what is the likelihood that the system will fail; what are the consequences (cost and lives) of such failure; are these consequences acceptable (Baker, 2005).

Vulnerability analysis has been applied extensively in various infrastructure systems, e.g. electric powers (U.S. Department of Energy, 2002), water utilities (KDHE, 2003), telecommunication systems (Danfeng and Fangchun, 2009), and transportation networks (Berdica, 2002; Berdica and Mattsson, 2007; D'Este and Taylor, 2003; Jenelus, 2010; Taylor, 2008; Taylor and D'Este, 2007; Taylor *et al.*, 2006).

In the fields of transportation, Berdica (2002) initially defined the road network vulnerability that is "a susceptibility to incidents that can result in considerable reductions in road network serviceability". Later, Taylor (2008) described the concept of vulnerability analysis that is related to the consequences of failure of any network components (e.g. links or nodes), irrespective of the probability of failure.

Several causes affect to the failure of a road network. During normal period, the road capacity can be reduced or the road segments (or intersections) can be interrupted by e.g. traffic congestion, road accident, or road maintenance. During critical situations, the same road network may be exposed to non-recurrent natural and man-made disasters, e.g. floods, earthquakes, or demonstrations.

Several researchers have devised or improved the definition and the measure of network vulnerability extensively. Some commonly used indices for vulnerability analysis of road networks can be summarized in Table 1.

The indices presented in Table 1 have been used for different purposes in network vulnerability analysis. In addition, different indices require various factors and techniques in the analysis. This paper focuses on the evaluation of network vulnerability in terms of the ability of evacuees or people to access the assembly points or evacuation centers (desire destinations) during critical situations caused by disasters. As mentioned earlier, the road network of Hat Yai city is selected as a case study. However, based on the limitation of existing transport models and data availability in Hat Yai, the potential accessibility, proposed by Hansen (1959), is applied to propose the destination accessibility index in this paper. The details and formulation are explained in Section 3.3.

Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10, 2013

Table 1. Commonly used indices for vulnerability analysis of road networks

Name	Type	Description	Typical formulation
Topological	Supply	Proximity of geographic locations in a network	$A_{ij} = \min \sum_a \delta_{a ij} c_a$ <p>where c_a is the travel time or cost on link a; $\delta_{a ij} = 1$ if a is on the minimum path from i to j; $\delta_{a ij} = 0$ otherwise.</p>
Space-time	Supply	Accounts for the constraints of time with space in defining the travel behavior possibilities of an individual	$A_{ij}^t = A_{ij} \text{ if } T \geq t_{ij} + t_j,$ $A_{ij}^t = 0 \text{ otherwise, where } d_{ij} \text{ is the distance and } v_{ij} \text{ is the mean travel speed between } i \text{ and } j, t_{ij} = d_{ij}/v_{ij} \text{ is the travel time from } i \text{ to } j, T \text{ is the total time available, and } t_j \text{ is the time required at the destination.}$
Potential accessibility	Supply	All possible opportunities that exist weighted by a cost function	$A_{ij} = O_j f(C_{ij}),$ <p>where O_j is the number of opportunities available at j and C_{ij} is the travel time or cost between i and j.</p>
Behavioral utility	Demand/ supply	The derived benefit for an individual from the available alternatives, given the preferences of the individual	$I_n = \ln \sum_{r \in R_n} e^{V_m^r},$ <p>where I_n is the deterministic component of the utility function, and V_m^r is the deterministic component of each secondary choice r in the set of choices R_n.</p>
Economic	Demand/ supply	The change in benefit ($\Delta E(CS)$) attributed to a change in the urban system	$(\Delta E(CS))$ $= \frac{1}{\alpha} \left[\ln \left(\sum_{j=1}^{j^1} e^{T_j^1} \right) - \ln \left(\sum_{j=1}^{j^0} e^{T_j^0} \right) \right],$ <p>where $\Delta E(CS)$ is the expected change in consumer surplus between the two scenarios "1" and "0", the two logsums represent the inclusive values derived from the behavioral models under the two scenarios, and α is the negative of the coefficient of travel time or cost in the utility function</p>

Source: Taylor (2008)

3. METHODOLOGY

3.1 Study Area

Hat Yai is a district of Songkhla province located in the southern Thailand. As shown in Figure 1, the city covers about 853 km² including 14 sub-districts with a total registered population about 378,000 (Hat Yai District Office, 2012). The city is not only attractive to the commerce and business during weekdays but also popular for Malaysian and Singaporean tourists during weekends. However, the city is located on the area downstream of U-Tapao canal basin, which is occasionally severely flooded as reported in 2000 and 2010. Unrest in the southern Thailand is the other social issue for the local concerned authorities to monitor and prevent unexpected terrorist attacks especially on the road network in the city. For these reasons, the road network in Hat Yai is selected as a case study to illustrate the applicability of the vulnerability analysis in this paper.

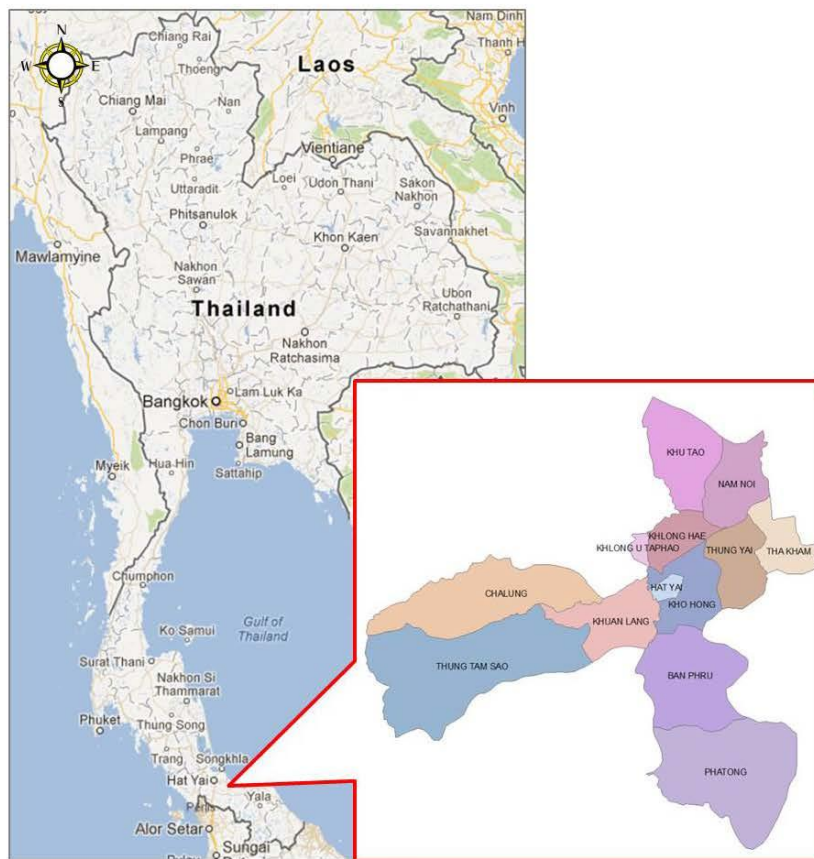


Figure 1. The study area

3.2 Development of Travel Demand Model

Prior to performing the vulnerability analysis, the travel demand model of Hat Yai city was developed to determine the number of people and vehicles traveling in the road network during normal and critical situations. The questionnaire survey was conducted to investigate the travel behaviors during both situations. 2,000 samples were randomly selected in the study area. One of the interesting results reveals that about 86% of the travelers prefer to use private vehicles, including motorcycles, private cars, and pickup cars. Only 14% travel by public transports (taxi motorcycles, tuk tuk, vans and buses). Thus, in this study we develop a simple four-stage travel demand model for private vehicles only.

Other related information such as link length, road type, and lane width were collected to develop the road network model using Emme 4.0.3 (INRO, 2013). The road network in the model is presented in Figure 2. The network consists of 4,659 directional links and 1,482 regular nodes, and has 211 zone centroids. The model was calibrated using the traffic volume count and speed data observed on 250 selected major links (about 5% of the total links). The result of model calibration presented in Figure 3 shows that the value of R^2 between the observed and model flows is 0.964, which is desirable.

Note that the developed model may not exactly represent the behaviors of the travelers and evacuees during the critical situation. However, based on the available data, the developed model can represent the likelihood of the travel patterns during the situation.

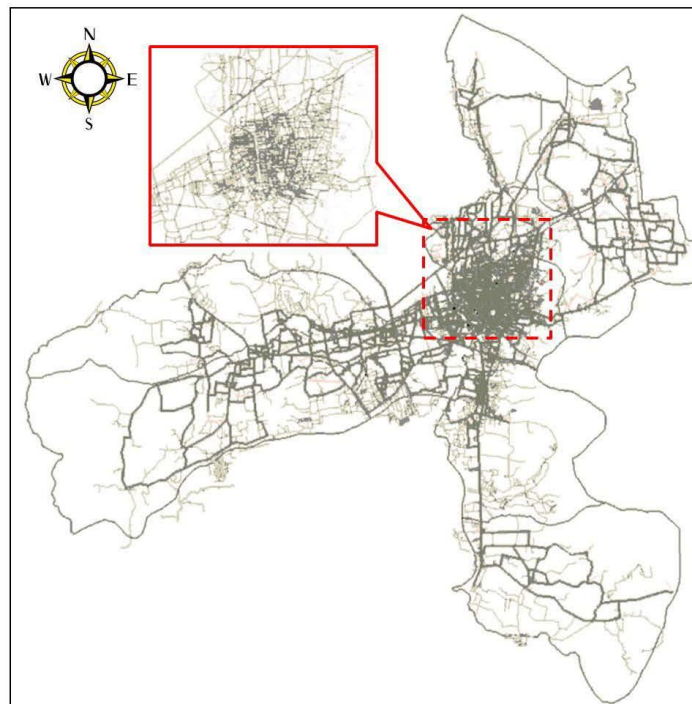


Figure 2. Road network model of the study area

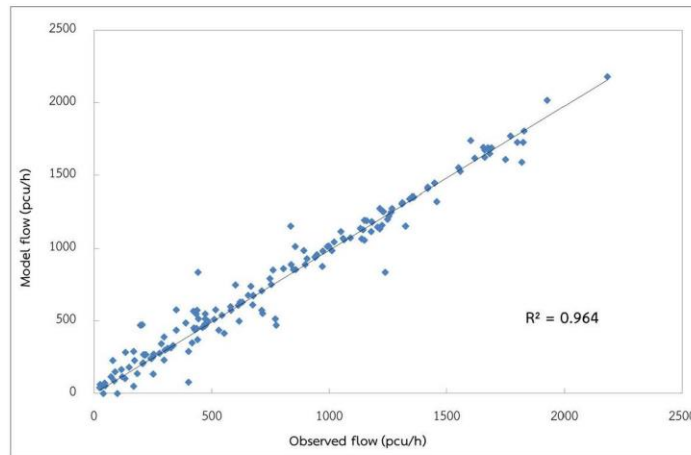


Figure 3. The result of model calibration

3.3 Vulnerability Analysis

As mention earlier, the potential accessibility is applied to measure the impacts of a disaster on the accessibility from surrounding locations (some origins) to a specific assembly point or evacuation center (one destination) in the study area. However, the potential accessibility measure presented in Table 1 generally evaluates the easiness in accessing between two locations (or zones) i and j , respectively. As explained in D'Este and Taylor (2003), the interconnections between the origin i and all destinations $j \in J$, where J is the set of all destinations, can be determined using the integral accessibility index. The index, which is a summation of the potential accessibility measure, is expressed as

$$AI_i = \frac{\sum_j O_j f(C_{ij})}{\sum_j O_j} \quad (1)$$

Following equation (1), the destination accessibility index (AI_j) can be formulated as

$$AI_j = \frac{\sum_i q_{ij} f(C_{ij})}{\sum_i q_{ij}} = \frac{\sum_i q_{ij} / \sum_{k \in K_{ij}} f_{ij}^k c_{ij}^k}{\sum_i q_{ij}} \quad (2)$$

where,

q_{ij} : travel demand from zone i to j ,

f_{ij}^k, c_{ij}^k : travel flow and cost, respectively, on path k in the path set K_{ij} connecting between zones i and j .

In equation (2), AI_j represents the ability of the travelers or evacuees from all origins $i \in I$, where I is the set of all origins, to access the desire destination j (i.e. assembly point or evacuation center). The authors take the destination choices of the travelers into account by setting the impedance function $f(C_{ij}^k)$ as the function of the travel cost (or time) c_{ij}^k weighted by the travel flow f_{ij}^k of the individuals on all paths $k \in K_{ij}$. In addition, the travel demand q_{ij} is used in the equation, instead of the number of available opportunities O_j , to consider the impact of travel demand on the degree of destination accessibility. Consequently, the term $q_{ij} / \sum_{k \in K_{ij}} f_{ij}^k c_{ij}^k$, which is the reciprocal of the average travel cost between zones i and j (i.e. $\sum_{k \in K_{ij}} f_{ij}^k c_{ij}^k / q_{ij}$), can be implied that the higher increase in the average travel cost, the lower destination accessibility.

The procedure for road network vulnerability analysis in this paper follows a traditional approach. The steps can be summarized in Figure 4. The step starts from the calculation of the normal network, called full network. Next, the links in the network are partially (or fully) selected, called candidate links. Later, each candidate link is partially degraded (or completely closed) in turn. The network is called degraded network. This step is based on the assumption that the probabilities of the failure of all links are the same. Then, the accessibility index of the degraded network from the failure of link a , denoted by AI_j^a , can be determined using equation (2) whereas f_{ij}^k and c_{ij}^k can be obtained by solving a static traffic assignment problem in EMME. Following the steps, let AI_j^0 and AI_j^1 be the destination accessibility indices of the full network and the network degraded by a link $a \in A'$, where A' is the set of all possibly degraded links (candidate links). The absolute and relative changes in the accessibility index can be calculated from $\Delta AI = AI_j^0 - AI_j^1$ and $\Delta RAI = 1 - AI_j^1 / AI_j^0$, respectively. As noted in Taylor (2008), the absolute change may be suspect because it has no specific scale. On the other hand, the relative change, which represents a proportional or percentage change, may be more intelligible. Thus, the authors use the relative change in this paper. The link is considered as the critical location if the road is cut off (or degraded) by a disaster and, consequently, the destination accessibility index is reduced significantly.

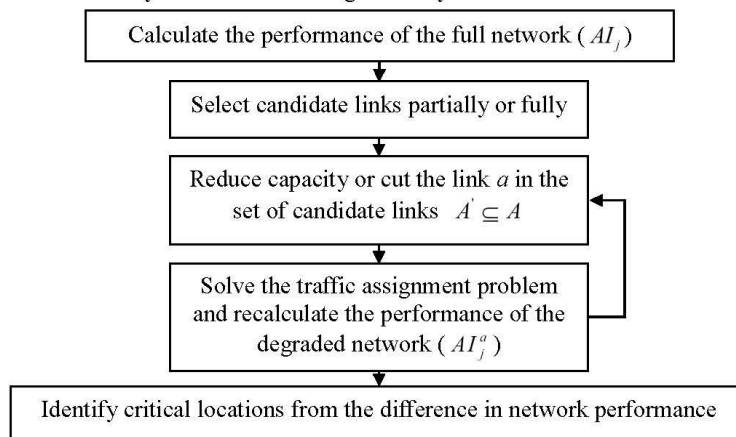


Figure 4. Steps of network vulnerability analysis

4. STUDY RESULTS

In this section, the results of three different tests, focusing mainly on the major urban area of Hat Yai city, are presented in the following subsections.

4.1 Impacts of Disruption to Major Bridges, Tunnel, and Intersection

The first test is to apply the destination accessibility index proposed in equation (2) to evaluate the impacts of five potential critical locations (as shown in Figure 5), including three overpass bridges (B1, B2, and B3), one tunnel (T), and one major intersection (I), on the migration of evacuees to the five main evacuation centers (D1 to D5) provided by Hat Yai municipality. The centers cover four zone groups (ZG1 to ZG4) in the urban area.

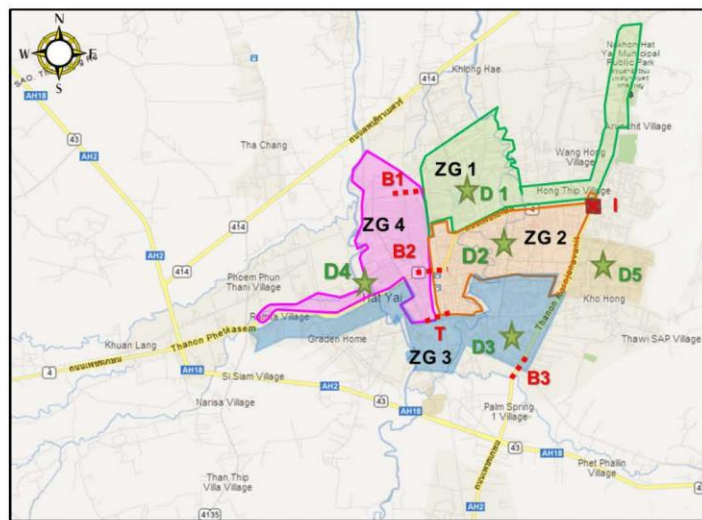


Figure 5. Possible critical locations and evacuation centers in Hat Yai municipality area

The test is conducted by individually disrupting the potential critical location and evaluating the accessibility measures of the full and degraded networks, respectively. The radar plots of the relative reduction of the measures at different locations are presented in Figure 6. The results vary by different locations. The disruption of the overpass bridge B1 causes relatively small impacts on the accessibility to all evacuation centers because it serves low travel demands and has high reserve capacity. On the other hand, the disruption of the overpass bridge B3, which is the major bridge carrying high volumes of traffic from the south bound to the city, causes high reduction of the accessibility, especially to the center D5. Moreover, the failure of the overpass bridge B2 contributes to large impacts of the accessibility to the centers D2, D3, and D1, respectively. Among the five locations, the intersection I and the tunnel T can be considered as the top two critical locations that adversely affect the accessibility to all centers. The reasons are that these two locations handle high travel demands, whereas their reserve capacities are quite low. From the results, it can be implied that the reduction of destination accessibility relies mainly on the levels of travel demand and the reserve capacity of link.

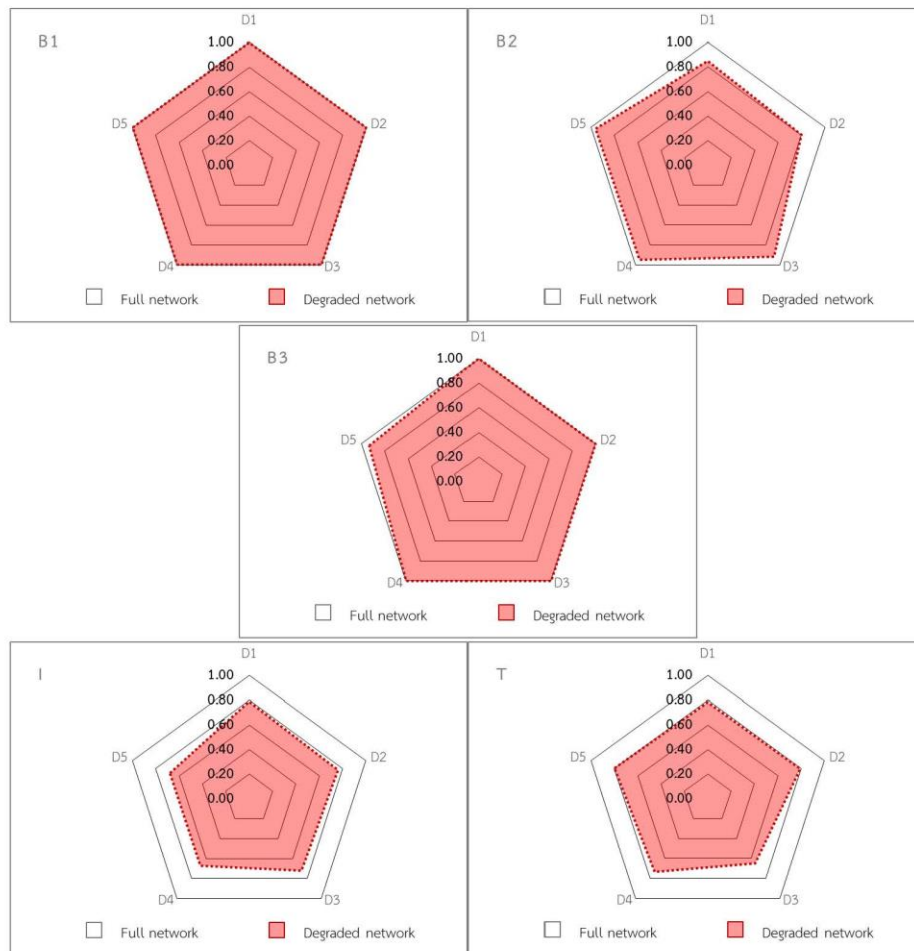


Figure 6. Relative reductions of destination accessibility from different locations

4.2 Critical Road Locations

The second test is to identify the critical road locations in the urban area using the steps presented in Figure 4. The accessibility to the center of each zone group shown in Figure 5 is evaluated and used to identify the critical road locations. The results of the top thirty critical road locations are presented in Figure 7. The results show that the locations of critical road for each zone group are different. From the investigation of the developed model, it was found that the top critical locations heavily depend on high travel demand and low reserve capacity, similarly to the findings from the previous test.

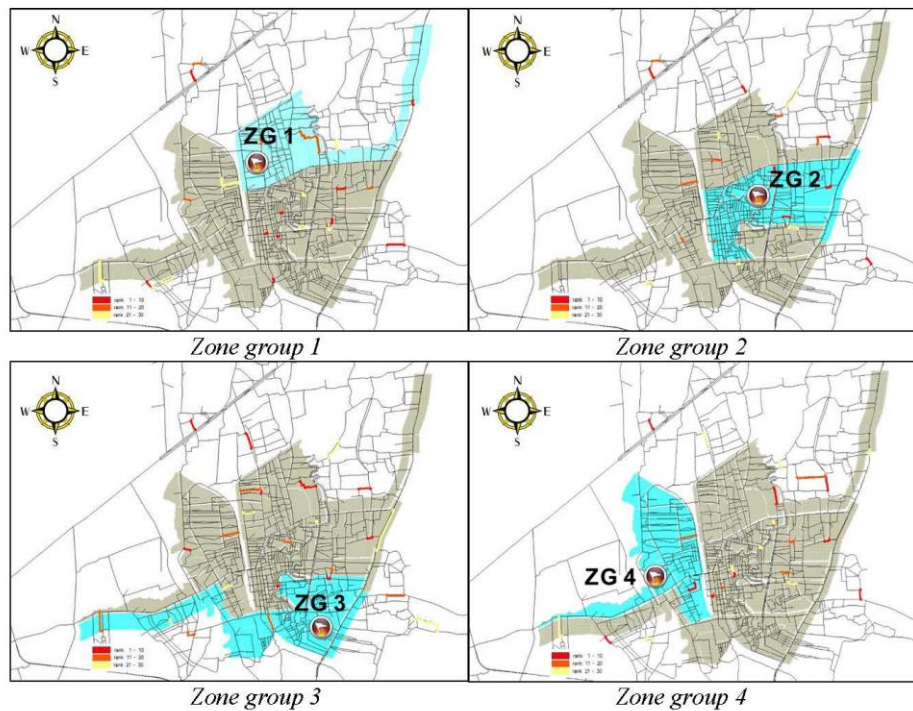


Figure 7. Critical locations in the urban area

4.3 Sensitivity Analysis

The final test adopts sensitivity analysis to investigate the variability of the top critical locations from different degrees of network failure, resulting from different severities of a disaster, and different demands of evacuation. Two levels of disaster severity, causing 50% and 100% of road capacity reduction, are assumed, while three levels of evacuation demands, including low, medium, and high are considered. Note that the evacuation demands under low and high levels are assumed to be, respectively, 0.5 and 2 times of that under medium level. In addition, the medium evacuation demand is estimated based on the travel demand during normal condition. The results of the critical locations in accessing the city center from the whole network is presented in Figure 8, whereas Figure 9 shows the results of the top 30 critical locations in the urban area.

The results show that at the same level of evacuation demand the road becomes more critical when the degree of road capacity reduction increases. Similarly, the critical locations change at different conditions of network congestion. These results may be implied that the location of critical road is sensitive to the degree of disaster severity and evacuation demand. Therefore, critical road locations should be evaluate thoroughly before using as part of disaster preparedness planning, e.g. evacuation routing.

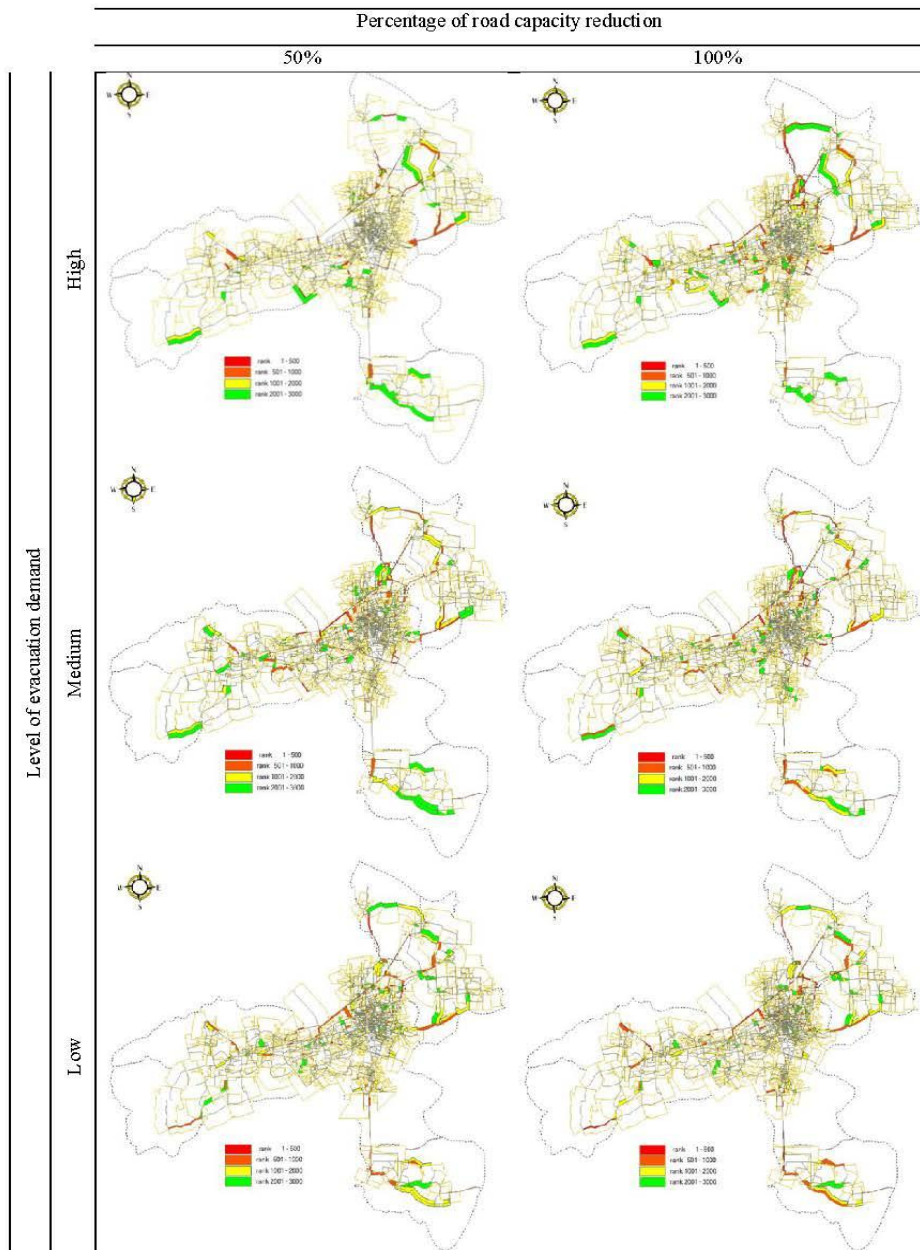


Figure 8. Sensitivity analysis of the critical locations in the whole network

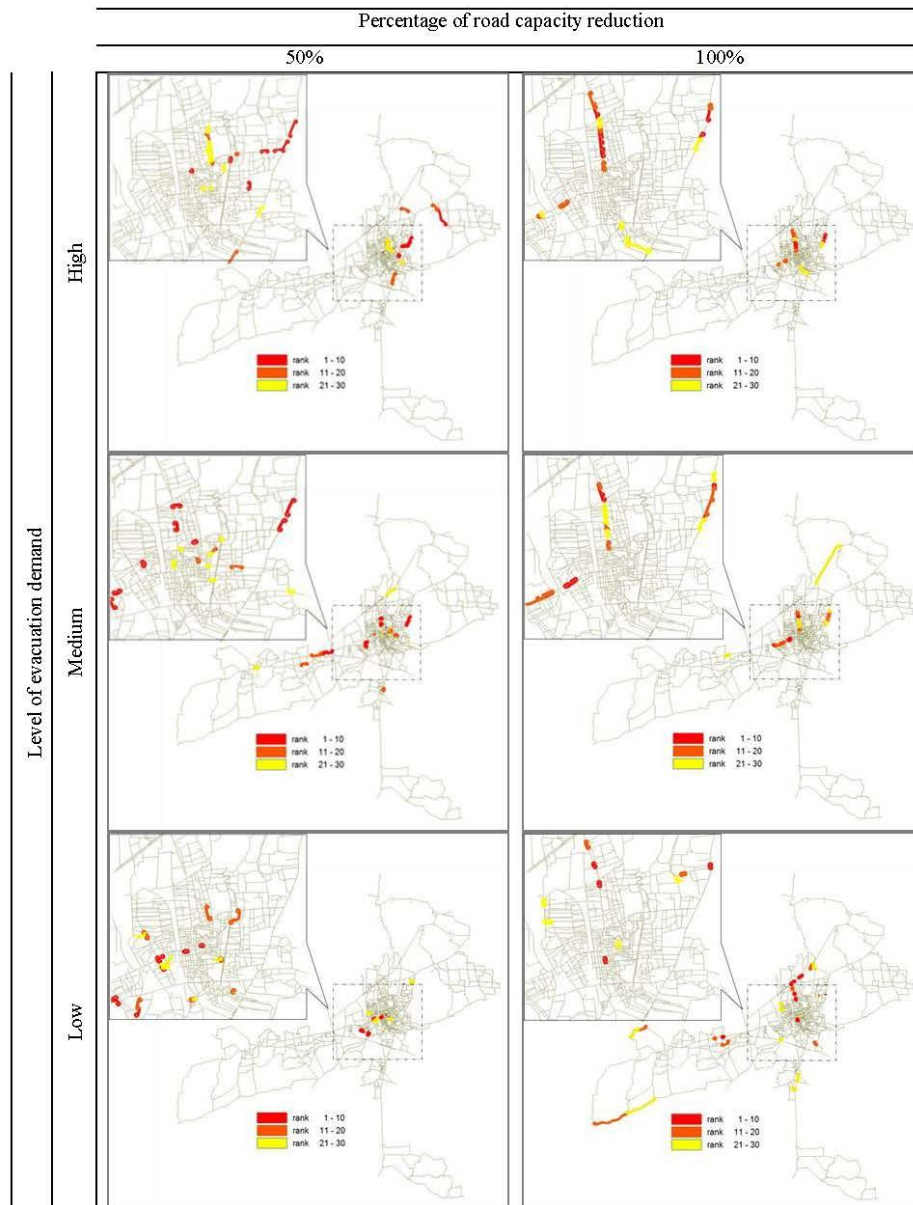


Figure 9. Sensitivity analysis of the critical locations in the urban area

5. CONCLUDING REMARKS

This paper applied the vulnerability analysis to identify the critical locations of road network. Based on potential accessibility index, the destination accessibility index was proposed to measure the ability of travelers or evacuees to access the assembly points (or evacuation centers) if a road link was failed by a disaster. A road was identified as the critical location if its failure or capacity degradation adversely affected the accessibility index most.

Three tests were performed using Hat Yai road network as a case study to demonstrate the applicability of the proposed index. The first test evaluated the impacts of the disruption to potential critical locations, including three major bridges, one tunnel, and one major intersection, on accessing four evacuation centers in the urban area. The second test applied the traditional approach to analyze the top vulnerable locations in the case that the evacuation center in each zone group can operate in turn. The results from both tests revealed that the reductions of the destination accessibility index depend mainly on the levels of traffic volumes and link reserve capacity. Using sensitivity analysis, the last test determine the variability of the critical locations from different degrees of network failure and evacuation demand. The results show that the critical locations are sensitive to both factors. Thus, the critical locations should be identified carefully before using them as part of a disaster preparedness planning.

The analysis results can be considered as a proactive approach that allow road system managers to anticipate the potential network vulnerabilities from several consequences of disasters in the future and to provide strategic plans for alternative evacuation routes during critical situations. By improving the performance of the critical roads, or by adding redundancy into the network capacity, e.g. by constructing new bypass roads or parallel paths, the overall vulnerability of the network can be reduced.

The process of vulnerability analysis used in this paper is a computationally intensive operation, which takes about 8 minutes for a full run of one link failure on the computer with Intel Core i5 CPU 1.6GHz, 4GB RAM, and 64-bit Windows 8 operating system. The larger network may require more computational time. Future research should develop efficient algorithms for evaluating network vulnerability. The transport model developed in this paper was restricted to private vehicles only. Multimodal transport modeling and the effects of saturated and oversaturated flow condition should be considered for future research.

ACKNOWLEDGEMENT

The first author would like to thank Prince of Songkla University for supporting the internal research fund project (ENG550148S). The authors also thank all respondents for valuable questionnaire information.

REFERENCES

- Baker, G.H. (2005) A Vulnerability Assessment Methodology for Critical Infrastructure Facilities.
- Berdica, K. (2002) TraVIS for Roads - Examples of Road Transport Vulnerability Impact Studies. Ph.D. thesis, KTH, Sweden.
- Berdica, K., Mattsson, L. (2007) Vulnerability: a model-based case study of the road network in Stockholm. In Murray, A.T., Grubestic, T.H. (eds.), *Critical Infrastructure: Reliability and Vulnerability*. Heidelberg.

Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10, 2013

- Danfeng, Y., Fangchun, Y. (2009) Vulnerability Analysis of Intelligent Network System. International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing, April 25-26, 282-285.
- D'Este, G.M., Taylor, M.A.P. (2003) Network vulnerability: an approach to reliability analysis at the level of national strategic transport networks. In Bell, M. G. H., IIDA, Y. (eds.), *The network reliability of transport*. Oxford.
- Hansen, W.G. (1959) How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), 73-76.
- Hat Yai District Office (2012) *Hat Yai District*. (in Thai) <http://www.hatyai-sk.go.th>.
- INRO (2013) *EMME 4.0.4*. INRO Inc., Quebec, Canada.
- Jenelius, E. (2010) Large-Scale Road Network Vulnerability Analysis. Ph.D. thesis, KTH, Sweden.
- Kansas Department of Health and Environment (KDHE) (2003) *Simplified Vulnerability Assessment Tool for Drinking Water*.
- Office of Transport and Traffic Policy and Planning (OTP) (2009) Master Plan of Public Transport in Hat Yai. (in Thai)
- Taylor, M.A.P. (2008) Critical Transport Infrastructure in Urban Areas: Impacts of Traffic Incidents Assessed Using Accessibility-Based Network Vulnerability Analysis. *Growth and Change*, 39(4), 593-616.
- Taylor, M.A.P., D'Este, G.M. (2007) Transport Network Vulnerability: a Method for Diagnosis of Critical Locations in Transport Infrastructure Systems. In Murray, A.T., Grubestic, T.H. (eds.), *Critical Infrastructure: Reliability and Vulnerability*. Heidelberg.
- Taylor, M.A.P., Sekhar, S.V.C., D'Este, G.M. (2006) Application of Accessibility Based Methods for Vulnerability Analysis of Strategic Road Networks. *Networks and Spatial Economics*, 6(3), 267-291.
- U.S. Department of Energy (2002) *Vulnerability Assessment Methodology, Electric Power Infrastructure*. Institute for Infrastructure and Information Assurance, James Madison University.