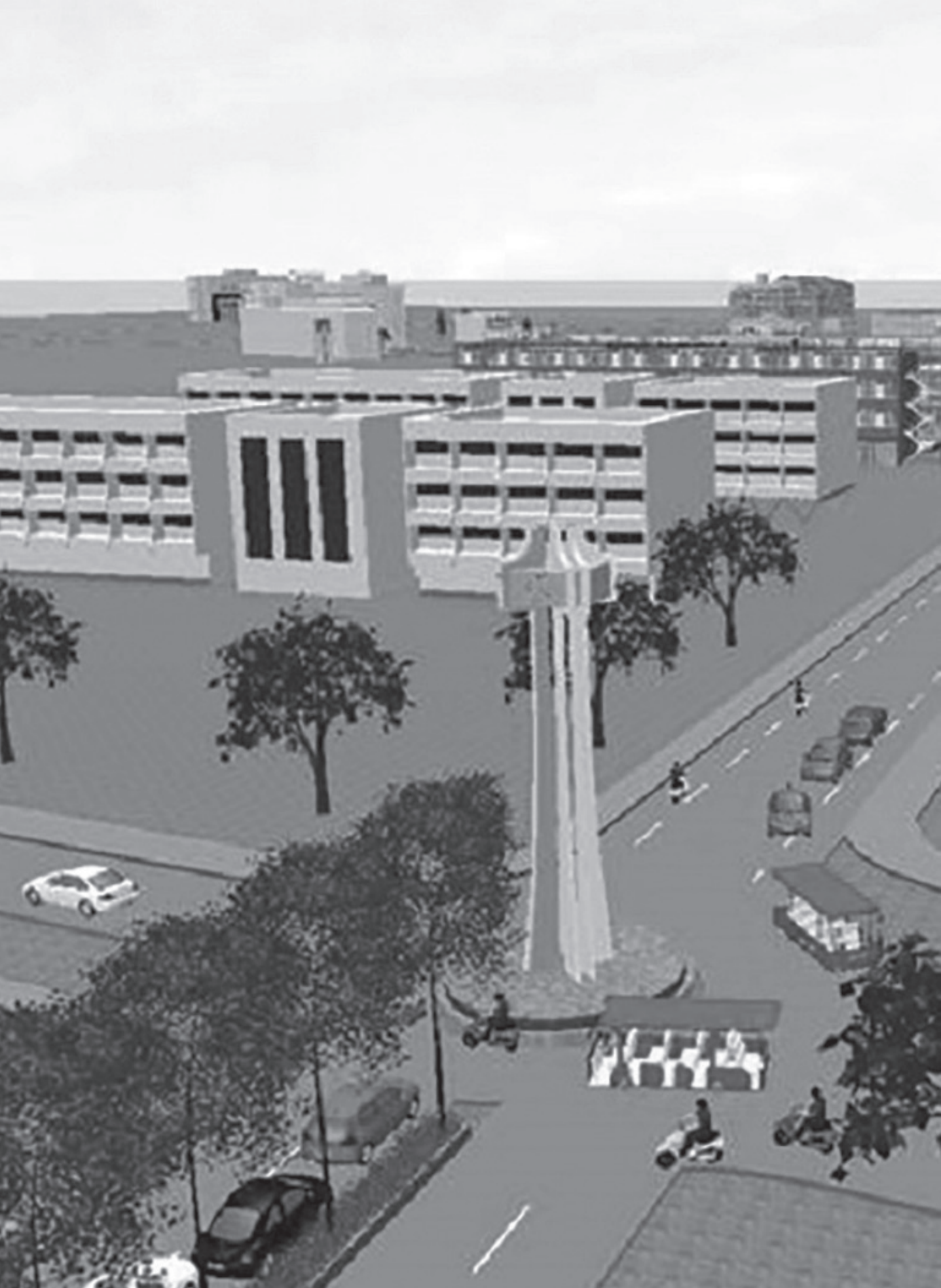


การจำลองสถานการณ์จราจรเพื่อลดผลกระทบการจราจรในช่วงเวลาพิเศษของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Traffic simulation for mitigating traffic impacts during special events in Chiang Mai University

นพดล กรประเสริฐ[1], ณฤดล ศรีตะระโส[2], มานพ แก้วโมราเจริญ[1] และ ปรีดา พิชยาพันธ์[1]
Nopadon Kronprasert, Naruedol Sreetaraso, Manop Kaewmorachareon and Preda Pichayapan

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งศึกษาผลกระทบด้านการจราจรจากการขยายตัวของปริมาณการเดินทางภายในและชุมชนโดยรอบมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับสำหรับรายงานสภาพการจราจรและจัดการจราจร พัฒนาแบบจำลองด้านการจราจรสำหรับประเมินสภาพการจราจร และวิเคราะห์ผลกระทบด้านการจราจรที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์พิเศษของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยการประเมินด้วยแบบจำลองการจราจรในระดับจุลภาค Vissim เพื่อประเมินประสิทธิภาพและศักยภาพของโครงข่ายถนนรูปแบบต่าง ๆ ในการรองรับสภาพการจราจรที่จะเกิดขึ้น การศึกษานี้ได้เปรียบเทียบการจัดการจราจรทางเลือก 5 รูปแบบ สำหรับรองรับปริมาณจราจรที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตและในเหตุการณ์พิเศษ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวคิดระบบขนส่งอัจฉริยะประกอบการใช้มาตรการการจัดการจราจร โดยทางเลือกทั้ง 5 รูปแบบประกอบด้วย 1) การจัดการจราจรที่มีอยู่ในปัจจุบัน 2) การปรับเปลี่ยนเส้นทาง 3) การเพิ่มเส้นทางทางเลือก 4) การปรับปรุงรูปแบบการควบคุมทางแยก และ 5) การเพิ่มเส้นทางทางเลือกและปรับปรุงรูปแบบการควบคุมทางแยก ผลการศึกษาพบว่า เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับมีความสามารถในการสำรวจสภาพการจราจรได้ โดยเฉพาะการสำรวจความหนาแน่นของยานพาหนะ และความยาวแถวคอยบริเวณทางแยก ในขณะที่การนำเสนอข้อมูลด้านการจราจรด้วยระบบขนส่งอัจฉริยะจะทำให้ผู้ใช้รถใช้ถนนสามารถวางแผนการเดินทางได้ดีขึ้น ส่งผลให้การจัดการจราจรมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการจราจรทั้ง 5 รูปแบบ รูปแบบการจัดการจราจรที่มีอยู่ในปัจจุบัน (base scenario) มีอัตราควรจุของโครงข่ายถนนโดยประมาณ 4,900

1 อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail : tor.crimson34@gmail.com
2 นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คันต่อชั่วโมง และสามารถระบายกระแสจราจรออกได้ภายในเวลา 52 นาที ส่วนรูปแบบการจัดการจราจรที่ดีที่สุด ได้แก่ รูปแบบที่ 5 (เพิ่มเส้นทางทางเลือกและปรับปรุงรูปแบบการควบคุมทางแยก) มีอัตราความจุของโครงข่ายถนนโดยประมาณ 6,500 คันต่อชั่วโมง และสามารถระบายกระแสนจราจรออกได้พายใน 32 นาที คิดเป็นเวลาที่ลดลงร้อยละ 38 ของเวลาในรูปแบบที่มีอยู่ปัจจุบัน

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ผลกระทบการจราจร, เหตุการณ์พิเศษ

Abstract

This research focuses on studying the traffic impacts due to the increase in travel demand within and surrounding Chiang Mai University. The study covers the examination and review of UAV applications to traffic monitoring and management, the development of traffic simulation models to evaluate traffic conditions, and the analysis of traffic impacts during special events. The study applies the microscopic traffic simulation model, PTV Vissim, as a tool to evaluate the efficiency and potential of various traffic management and controls to serve the target demand. The study compares traffic management and control in 5 scenarios to serve travel demand in the future or during special events. The five scenarios are 1) the existing traffic control (conventional signalized intersections at exit gates), 2) re–routing, 3) alternative routes, 4) alternative intersection controls, and 5) alternative routes and alternative intersection controls.

The study found that Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology is capable to monitor traffic density and queue length at the bottleneck in the road network while intelligent transport systems (ITS) will help road users to plan their trip. The simulation results showed that the scenarios with proposed traffic management and controls (Scenario 2, 3, 4 and 5) are more efficient than the existing circumstance (Scenario 1). For the base scenario (or Scenario 1), the road network capacity is 3,000 vehicles per hour and the traffic demand can be evacuated within 52 minutes. For the best scenario (Scenario 5), the road network capacity is increased to 4,200 vehicles per hour and the evacuation time is reduced to 32 minutes (or 38% reduction in evacuation time).

Keywords: Traffic impact analysis, special events

บทนำ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นสถาบันอุดมศึกษาที่มีการขยายตัวของพื้นที่มหาวิทยาลัยและจำนวนนักศึกษาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปัจจุบันมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และมีกิจกรรมต่างๆ ของชุมชนโดยรอบอย่างกว้างขวาง ซึ่งส่งผลให้เกิดผลกระทบที่เห็นได้อย่างชัดเจน อาทิเช่น ผลกระทบการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ถูกปรับเปลี่ยนให้เป็นอาคารบ้านเรือน หอพัก และสิ่งปลูกสร้างรูปแบบต่างๆ ผลกระทบด้านการจราจรรอบมหาวิทยาลัยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรคับคั่งบริเวณจุดทางเข้า–ออกมหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ นับเป็นแหล่งกำเนิดและแหล่งดึงดูดการเดินทางขนาดใหญ่ของจังหวัดเชียงใหม่ มีการจัดกิจกรรมต่างๆ จำนวนมากสำหรับนักศึกษาและบุคลากร ตลอดจนยังเป็นสถานที่ในการจัดงานต่างๆ ที่สำคัญมากมาย ยกตัวอย่าง พิธีรับน้องขึ้นดอยฯ และพิธีพระราชทานปริญญาบัตรให้แก่นักศึกษา เป็นต้น โดยในการจัดกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ล้วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านการใช้รถใช้ถนนต่างไปจากการเดินทางในสถานการณ์ปกติ และส่งผลให้เกิดการจราจรติดขัดหรือความจุของถนนลดน้อยลงกว่าเดิม ดังนั้นเมื่อมีเหตุการณ์พิเศษเกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนและจัดการจราจร (traffic incident management) ที่เหมาะสม เพื่อเตรียมพร้อมรองรับปริมาณการเดินทางที่สูงขึ้นและบรรเทาสภาพการจราจรที่หนาแน่นและติดขัดอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสภาวการณ์ที่ทำให้เกิดความต้องการในการเดินทางที่สูงขึ้นกว่าสภาวการณ์ปกตินี้จะเรียกว่า เหตุการณ์พิเศษ (special events)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองสถานการณ์การจราจรในช่วงเวลาฉุกเฉินภายในและพื้นที่โดยรอบมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พร้อมทั้งเสนอแนวทางการจัดการจราจรในช่วงเหตุการณ์พิเศษที่นำไปประยุกต์ใช้ได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการนำแนวคิดการใช้ระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transport System, ITS) และเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) มาติดตามและรายงานสภาพการจราจร งานวิจัยนี้จำลองสถานการณ์สภาพการจราจรในช่วงเหตุการณ์พิเศษ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคในการวิเคราะห์เปรียบเทียบรูปแบบการจัดการจราจรรูปแบบต่าง ๆ ในช่วงเหตุการณ์พิเศษ เพื่อหารูปแบบการจัดการจราจรที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและเหมาะสมต่อการเดินทางภายในและโดยรอบมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและวิเคราะห์ผล ดังต่อไปนี้

1. เหตุการณ์พิเศษ (special events) เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแล้วทำให้ปริมาณความต้องการในการเดินทางเพิ่มมากขึ้นกว่าสถานการณ์ปกติ (Latoski, et al., 2010) เหตุการณ์พิเศษสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เหตุการณ์พิเศษตามแผน (planned special event) ที่มีช่วงเวลาที่เกิดขึ้นแน่นอน สามารถวางแผนจัดการปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้นได้ล่วงหน้า เช่น การจัดกิจกรรมแข่งกีฬา นิทรรศการ เป็นต้น และเหตุการณ์พิเศษไม่ตามแผน (unplanned special event) สามารถเกิดขึ้นได้ทุกช่วงเวลา เกิดขึ้น

แบบกะทันหัน และยากต่อการคาดการณ์และวางแผนการจัดการจราจรล่วงหน้าได้ เช่น การเกิดอุบัติเหตุ การเกิดวินาศกรรม เป็นต้น โดยเหตุการณ์พิเศษทั้ง 2 ประเภทสามารถสรุปผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งในด้านความต้องการการเดินทางและความจุของถนนได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลกระทบของเหตุการณ์พิเศษตามแผนและเหตุการณ์พิเศษไม่ตามแผน

ประเภทของเหตุการณ์	ผลกระทบจากเหตุการณ์	
	ด้านความต้องการในการเดินทาง	ด้านความจุของถนน
เหตุการณ์พิเศษตามแผน (Planned Special Events)		
การก่อสร้างและบำรุงรักษาถนนที่มีการจัดตั้งป้ายระยะเวลาการดำเนินงานและปิดบางช่องจราจรในการก่อสร้าง	ปริมาณจราจรบนถนนเพิ่มขึ้นบนทางสายหลักที่ขนานกับถนนที่มีการก่อสร้าง	ความจุถนนเดิมลดลง เนื่องจากมีการปิดช่องจราจรหรือมีการปิดช่วงถนนที่กำลังก่อสร้าง
เทศกาลตามปฏิทินที่มีการวางแผนที่การเดินรถและจราจรไว้แล้ว	ความต้องการในการเดินทางเพิ่มขึ้นเนื่องจากเป็นช่วงเทศกาล	ความจุถนนเดิมอาจไม่เพียงพอต่อปริมาณจราจรที่สูงมากขึ้น หรือบางครั้งความจุถนนเดิมลดลง เนื่องจากมีการปิดช่องจราจรหรือมีการปิดช่วงถนนให้กับเทศกาล เช่น การเดินขบวน เป็นต้น
เหตุการณ์พิเศษไม่ตามแผน (Unplanned Special Events)		
อุบัติการณ์ เช่น อุบัติเหตุทางจราจร อุบัติภัยทางธรรมชาติ	ปริมาณจราจรบนถนนเพิ่มขึ้นบนทางที่ขนานกับถนนที่เกิดเหตุ	ความจุถนนลดลง เนื่องจากเกิดการกีดขวางช่องจราจร หรือช่วงถนนที่เกิดเหตุ
เหตุการณ์ฉุกเฉิน	ปริมาณจราจรบนถนนที่ขนานกับถนนที่เกิดเหตุเพิ่มขึ้น	ความจุถนนลดลง กีดขวางช่องจราจรหรือช่วงถนนที่เกิดเหตุ
เหตุจากสภาพอากาศ	ลดความต้องการในการเดินทาง	ความจุถนนลดลง เนื่องจากความเร็วลดลง เพิ่มช่วงห่างระหว่างยานพาหนะ
ภัยพิบัติทางธรรมชาติและการก่อการร้าย	เกิดการอพยพ เพิ่มปริมาณความต้องการในการเดินทางอย่างมหาศาล	ความจุถนนลดลง เนื่องจากไม่สามารถเดินทางผ่านช่วงถนนได้

ที่มา: Latoski, et al. (2010)

2. แนวทางการจัดการจราจรช่วงเหตุการณ์พิเศษ แนวทางมาตรการต่างๆ ที่มักถูกนำมาใช้ในการจัดการจราจรของหลายๆ เหตุการณ์ และสามารถนำมาจัดการจราจรเมื่อเกิดเหตุการณ์พิเศษได้ มีอยู่ด้วยกัน 3 แนวทาง (Latoski, et al., 2010) ดังรายละเอียดดังนี้

2.1 มาตรการการนำเสนอข้อมูลการจัดการจราจรให้แก่ผู้ใช้ยานพาหนะ (information) เป็นการนำเสนอข้อมูลข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับการมีเหตุการณ์พิเศษและเส้นทางในการเดินทางให้แก่ผู้ใช้รถใช้ถนนได้รับรู้และเข้าใจถึงเหตุการณ์ เพื่อผู้เดินทางสามารถเลือกเส้นทาง รับรู้ตำแหน่งเหตุการณ์และจุดเปลี่ยนเส้นทาง และช่วยให้หลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีการจราจรติดขัดได้ ข้อมูลข่าวสารสามารถนำเสนอผ่านอุปกรณ์ต่างๆ

ได้ เช่น อุปกรณ์ที่ติดตั้งในรถยนต์ ข้อมูลบนป้ายข้อความเคลื่อนไหว (variable message sign) ข้อมูลผ่านสื่อ เช่น สถานีวิทยุ สถานีโทรทัศน์ แผ่นพับ และใบปลิว เป็นต้น

2.2 มาตรการการจัดการด้านการจราจร (traffic management) เป็นการควบคุมการจราจรในพื้นที่โดยการบังคับเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินทางให้แตกต่างจากช่วงเวลาปกติ เช่น มาตรการการเพิ่มความจุปริมาณจราจรบนถนนและทางแยก มาตรการห้ามจอดรถข้างถนน เป็นต้น ซึ่งจำเป็นจะต้องมีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ช่วยในการดำเนินงาน เช่น กรวยจราจร หรือแผงกั้นช่องจราจร เป็นต้น บุคลากรจัดการจราจร เป็นต้น

2.3 การจัดการด้านความต้องการในการเดินทาง (travel demand management) เป็นมาตรการที่ช่วยลดความต้องการในการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล หรือกระจายความต้องการในการเดินทางในระยะเวลาหนึ่งในรูปแบบอื่นนอกเหนือจากการใช้รถยนต์ เช่น มาตรการลดแรงจูงใจในการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล เช่น การเพิ่มค่าจอดยานพาหนะ การลดราคาหรือไม่คิดค่าโดยสารรถขนส่งมวลชน การจัดให้มีเส้นทางเพื่อเป็นทางเลือกในการเดินทาง และการปรับปรุงระบบขนส่งมวลชน เป็นต้น

3. การประยุกต์ใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคในการจำลองสภาพการจราจร แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (microscopic traffic simulation) หรือโปรแกรม PTV Vissim เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองสภาพการจราจรในเขตเมืองหรือระบบขนส่งรูปแบบต่างๆ โดยอาศัยพฤติกรรมของผู้ขับขี่เป็นฐานในการจำลอง (behavior based) และคำนวณพฤติกรรมสถานะขององค์ประกอบต่างๆ ในแบบจำลองทุกๆ ช่วงเวลาในระดับวินาที (time step) ภายใต้เงื่อนไขสภาพการจราจรที่กำหนด เช่น สัดส่วนของยานพาหนะแต่ละประเภท รอบและจังหวะสัญญาณไฟจราจร และวิธีการควบคุมการจราจร เป็นต้น โดยแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคสามารถจำลองสภาพการไหลของกระแสจราจร จำลองพฤติกรรมการขับขี่ตามกัน จำลองพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจร และจำลองสภาวะการควบคุมกระแสจราจรด้วยสัญญาณไฟจราจรและการหยุดให้ทาง และสามารถประเมินประสิทธิภาพของกระแสจราจรจากการจำลอง เช่น ความยาวแถวคอย ระยะเวลาการเดินทาง เป็นต้น (PTV, 2005) ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้แบบจำลองระดับจุลภาค ดังนี้

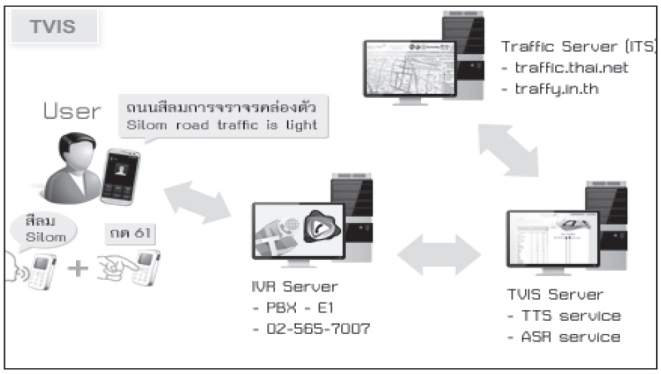
3.1 Elmitiny, Ramasamy & Radwan (2008) ได้ใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค ประเมินแผนการอพยพและรถโดยสารสาธารณะในเมือง Orlando ในกรณีต่างๆ เทียบกับกรณีการอพยพปกติ ซึ่งพบว่า การอพยพโดยการเดินมีความล่าช้าน้อยกว่าการใช้รถโดยสารสาธารณะ

3.2 McNally, Jayakrishnan & Cohen (1993) ทำการวิจัยโดยการสร้างแบบจำลองด้านการจราจรทดสอบการใช้มาตรการการให้ข้อมูลล่วงหน้าแก่ผู้ขับขี่ Advanced Traveler Information System (ATIS) ในการนำประชาชนเดินทางออกจากงานแข่งขันกีฬา โดยสมมุติสถานการณ์ในแบบจำลองให้ยานพาหนะเลือกเส้นทางจากข้อมูลที่นำเสนอและเลือกเส้นทางโดยการสังเกตสภาพการจราจรรอบตัว ซึ่งพบว่าระบบ ATIS สามารถลดเวลาในการเดินทางได้ถึงร้อยละ 30

3.3 Wojtowicz & Wallace (2010) ได้ใช้แบบจำลองระดับจุลภาคมาประเมินการซักซ้อมแผนการจัดการจราจรกับผู้ที่มีส่วนร่วมในช่วงเหตุการณ์พิเศษ การอพยพ และอุบัติการณ์ทางจราจร พบว่าแบบจำลองระดับจุลภาคจะเป็นประโยชน์ในกลุ่มผู้ขับขี่ที่ทราบแผนการจราจรในช่วงเหตุการณ์พิเศษเป็นอย่างดีแล้วเท่านั้น

4. การรายงานสภาพการจราจร การพัฒนาระบบรายงานสภาพจราจรแบบทันกาล (real time) มีอยู่หลายรูปแบบด้วยกันในปัจจุบัน ใช้สำหรับอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้รถใช้ถนน อาทิเช่น

4.1 ระบบรายงานสภาพจราจรผ่านทางเสียง (Traffic Voice Information System: TVIS) เป็นระบบตอบรับอัตโนมัติทางโทรศัพท์ โดยผู้ใช้สามารถพูดสอบถามข้อมูลการจราจรกับคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นระบบจะนำข้อมูลดิบที่ได้จากฐานข้อมูลมาสรุปและสร้างเป็นเสียงพูดภาษาไทย (Text–to–speech Synthesis: TTS) ตอบกลับไปยังผู้ใช้งานผ่านทางโทรศัพท์



ภาพที่ 1 ระบบรายงานสภาพจราจรผ่านทางเสียง (Traffic Voice Information System, TVIS)
ที่มา: http://www.tvis.in.th/home/traffic.php

4.2 ระบบประเมินและรายงานสภาพจราจรทราฟฟี่ (traffy) เป็นระบบที่ช่วยตรวจสภาพจราจร วางแผนการเดินทางทั้งก่อนเดินทางและในขณะเดินทาง เพื่อหลีกเลี่ยงการจราจรติดขัด และช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทาง โดยระบบทราฟฟี่เป็นแหล่งข้อมูลจราจรที่ได้มาจากทั้งหน่วยงานภาครัฐและข้อมูลที่มาจากผู้ใช้รถใช้ถนนทั่วไป นอกจากนี้ระบบทราฟฟี่ยังมีการให้บริการคลังข้อมูลภาพจราจรในชื่อ traffy API เพื่อนำไปพัฒนาใช้งานร่วมกับการพัฒนาโปรแกรมต่างๆ

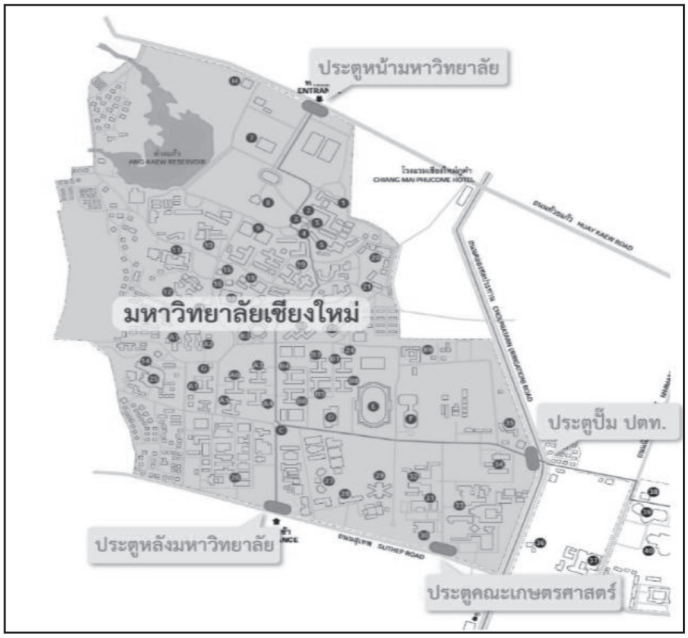
ภาพที่ 2 ระบบประเมินและรายงานสภาพจราจรทราฟฟี่ (traffy)
ที่มา: http://www.its.nectec.or.th/

5. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles: UAV)

เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (UAV) หรือ โดรน (drone) เป็นอากาศยานควบคุมจากระยะไกล และมีกล้องวีดิโอที่สามารถถ่ายภาพทางอากาศได้ เทคโนโลยี UAV ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมอย่างมากมาย เช่น งานก่อสร้างและการตรวจสอบความปลอดภัย งานสำรวจพื้นที่และเส้นทาง งานควบคุมดูแลสภาพและลักษณะภูมิประเทศ และการวางแผนภารกิจกู้ภัย เป็นต้น โดยงานวิจัยทางวิศวกรรมที่ได้นำเทคโนโลยี UAV มาประยุกต์ใช้ ยกตัวอย่างเช่น Coifman, et al. (2006) ใช้ UAV ในการเฝ้าสังเกตการณ์สภาพการจราจรบนทางหลวงพิเศษและทางแยกยกระดับ และเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อกำหนดค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรรายวันตลอดปี ระดับการให้บริการ และการดำเนินงานบนทางแยกในโครงข่ายถนนขนาดเล็ก และ Duives, et al. (2012) และ Sutheerakul, et al. (2017) ใช้ UAV ในการค้นหาและติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของกระแสจราจรคนเดินเท้า

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้จำลองสถานการณ์การจราจรในช่วงเหตุการณ์พิเศษภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และวิเคราะห์เปรียบเทียบรูปแบบการจัดการจราจรรูปแบบต่างๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพรูปแบบการจัดการจราจรที่เหมาะสม งานวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองการจราจรโครงข่ายถนนภายในและโดยรอบมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เขตการศึกษาสวนสัก ซึ่งโครงข่ายถนนประกอบด้วยประตูหลักเข้า–ออกมหาวิทยาลัย 4 ประตูได้แก่ ประตูหน้ามหาวิทยาลัย ประตูปั๊มน้ำมัน ประตูหลังมหาวิทยาลัย และประตูคณะเกษตรศาสตร์



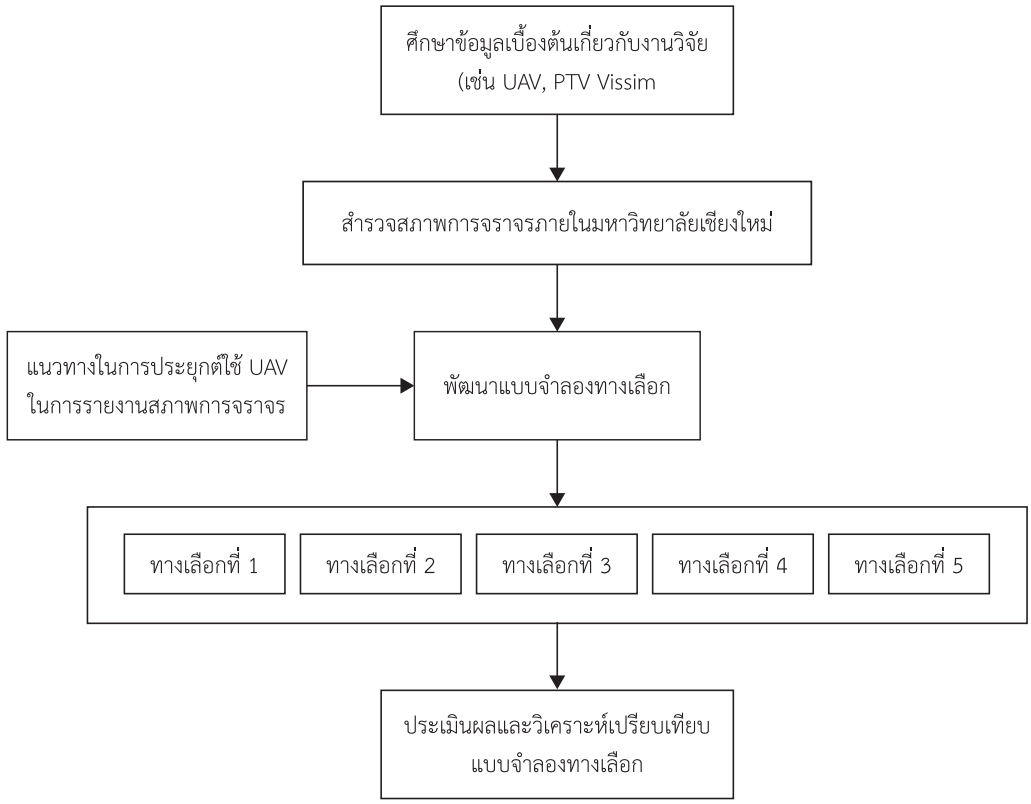
ภาพที่ 3 โครงข่ายถนนและทางเข้าออกมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การศึกษาในครั้งนี้ได้ดำเนินการโดยใช้โดรนขนาดเล็กรุ่น DJI Phantom 2 Vision+ ขนาดเล็กชนิดสี่ใบพัดที่ได้ติดตั้งกล้องดิจิตอลไว้ด้านล่างเชื่อมต่อกับกิมบอล กล้องถ่ายภาพ DJI Phantom 2 Vision+ ซึ่งสามารถบินบันทึกภาพได้ 25 นาที มาช่วยในการรายงานสภาพการจราจรและรวบรวมข้อมูลจราจร

ก. วงเวียนหอนาฬิกา ข. ทางหลวงหมายเลข 121 กับถนนเชียงราย 2

ภาพที่ 4 ตัวอย่างภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศไร้คนขับ

การศึกษานี้มีขั้นตอนการดำเนินงานหลัก 4 ขั้นตอน ดังนี้



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ทบทวนการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ นิยามและลักษณะเหตุการณ์พิเศษ แนวทางการจัดการจราจรในช่วงเหตุการณ์พิเศษ แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค การรายงานสภาพจราจร และการประยุกต์ใช้ เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ เป็นต้น

2. สำรวจสภาพการจราจรในพื้นที่ศึกษา ข้อมูลที่ทำการสำรวจประกอบด้วย

– การสำรวจลักษณะทางกายภาพของเส้นทาง ได้แก่ จำนวนและขนาดช่องจราจร ลักษณะทางแยก เป็นต้น

– การสำรวจปริมาณจราจร ได้แก่ ข้อมูลปริมาณจราจรเข้า–ออกมหาวิทยาลัยทั้ง 4 ประตู ข้อมูลปริมาณจราจรบริเวณทางแยกในแต่ละทิศทางทั้งภายในและบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัย สัดส่วนประเภทยานพาหนะบนโครงข่ายถนน

3. พัฒนาแบบจำลองจราจร การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์สภาพการจราจรในช่วงเหตุการณ์พิเศษอาศัยโปรแกรม PTV Vissim ในการวิเคราะห์และประเมินผลรูปแบบการจัดการจราจร โดยนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาทำการสร้างแบบจำลองของรูปแบบการจัดการจราจรทั้งหมด 5 ทางเลือก ดังนี้

รูปแบบทางเลือกที่ 1 เป็นรูปแบบการจัดการจราจรแบบที่มีอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ การจัดสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก และไม่มีการนำมาตรการจัดการเหตุการณ์พิเศษใดมาใช้ (do nothing)

รูปแบบทางเลือกที่ 2 เป็นรูปแบบการจัดการจราจรที่นำมาตรการการให้ข้อมูลข่าวสาร เพื่อให้ผู้ขับขี่สามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางในการเดินทาง (re–routing) โดยอาศัยระบบรายงานการจราจร ITS เช่น ระบบป้ายเตือนและเจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจร)

รูปแบบทางเลือกที่ 3 เป็นรูปแบบการจัดการจราจรโดยการเพิ่มเส้นทางในการเดินทาง (alternative routes) ในช่วงเหตุการณ์พิเศษ ร่วมกับระบบรายงานการจราจร ITS เพื่อให้ผู้ขับขี่ทราบถึงเส้นทางลัดหรือเส้นทางทางเลือกใหม่

รูปแบบทางเลือกที่ 4 เป็นรูปแบบการจัดการจราจรโดยปรับเปลี่ยนความจุของทางแยก (alternative intersection) โดยออกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ (Restricted crossing U–Turn: RCUT) ทดแทนการควบคุมด้วยทางแยกสัญญาณไฟจราจร ร่วมกับระบบรายงาน ITS

รูปแบบทางเลือกที่ 5 เป็นรูปแบบการจัดการจราจรโดยการเพิ่มเส้นทางในการเดินทาง พร้อมกับการควบคุมทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ (alternative routes & alternative intersection) ร่วมกับระบบรายงาน ITS

4. ประเมินและวิเคราะห์ผลสภาพการจราจร วิเคราะห์เปรียบเทียบดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของกระแสจราจรของรูปแบบทางเลือกแต่ละรูปแบบ โดยวิเคราะห์หาความจุของโครงข่ายถนนภายในและพื้นที่โดยรอบมหาวิทยาลัยในแต่ละรูปแบบ และระยะเวลาที่ใช้ในการระบายปริมาณจราจรออกจากโครงข่ายถนน

ผลการศึกษา

แบบจำลองการจราจรในสถานการณ์ฉุกเฉิน ของโครงข่ายเส้นทางภายในและบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่พัฒนาขึ้นด้วยแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคโปรแกรม PTV Vissim ดังแสดงตัวอย่างภาพแบบจำลอง 2 มิติและ 3 มิติ ในภาพที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

ภาพที่ 6 ตัวอย่างภาพแบบจำลอง 2 มิติ ของโครงข่ายจราจรในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ภาพที่ 7 ตัวอย่างภาพแบบจำลอง 3 มิติ ของโครงข่ายจราจรในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ในการสร้างและวิเคราะห์ผลแบบจำลอง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำสรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลองทั้งหมด 5 สถานการณ์ออกมาได้เป็นหมวดหมู่ ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรในแต่ละรูปแบบทางเลือก

จากการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ทางเลือกทั้ง 5 สถานการณ์ และทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางของยานพาหนะในโครงข่ายแต่ละสถานการณ์ของช่วงเหตุการณ์พิเศษ พบว่า การเดินทางของยานพาหนะในแบบจำลองแต่ละสถานการณ์ส่วนใหญ่มีสภาพการจราจรติดขัดบริเวณประตูทางเข้า–ออก และบริเวณทางแยกหลักแตกต่างกัน ดังรายละเอียดดังนี้

1.1 รูปแบบทางเลือกที่ 1 (do nothing) มีสภาพการจราจรติดขัดมากทุกบริเวณทั้งทางเข้า–ออก และทางแยกหลักรอบมหาวิทยาลัย เนื่องจากไม่มีการจัดการและรายงานสภาพการจราจรของเหตุการณ์พิเศษ จึงทำให้การเดินทางเป็นปกติตามความคุ้นเคยของผู้ใช้เส้นทาง พร้อมกับทางแยกมีการจัดสัญญาณไฟปกติ ทั้งที่ปริมาณจราจรมากกว่าสถานการณ์ปกตินั่นเอง

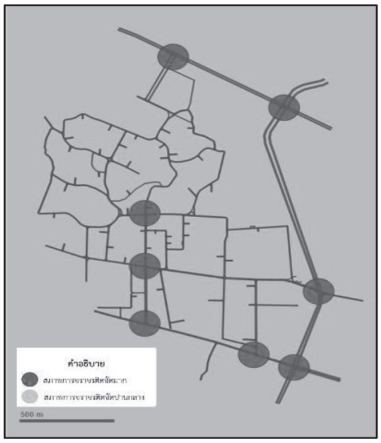
1.2 รูปแบบทางเลือกที่ 2 (re–routing) มีสภาพการจราจรติดขัดปานกลางบริเวณภายในมหาวิทยาลัยและติดขัดมากบริเวณทางแยกบริเวณรอบมหาวิทยาลัย เนื่องจากมีจัดการรายงานสภาพการจราจรของเหตุการณ์พิเศษภายในมหาวิทยาลัยด้วยป้ายและเจ้าหน้าที่ จึงทำให้ผู้ใช้เส้นทางหลีกเลี่ยงการจราจรติดขัดได้ แต่ในทางกลับกันไม่ได้มีการจัดการรายงานจราจรรอบมหาวิทยาลัย จึงทำให้ทางแยกรอบนอกเกิดการจราจรติดขัดมาก

1.3 รูปแบบทางเลือกที่ 3 (alternative routes) มีสภาพการจราจรติดขัดปานกลางเกือบทุกบริเวณทางทางเข้า–ออกและทางแยกหลัก เนื่องจากสถานการณ์ทางเลือกนี้ได้มีการเพิ่มเส้นทาง พร้อมกับการรายงานสภาพการจราจรของเหตุการณ์พิเศษ (ป้ายและเจ้าหน้าที่) จึงทำให้ผู้ใช้เส้นทางเลือกและรับรู้สถานการณ์ได้มากขึ้น และยังระบายปริมาณจราจรได้มากในเส้นทางที่เพิ่มขึ้น

1.4 รูปแบบทางเลือกที่ 4 (alternative intersection control) มีสภาพการจราจรติดขัดติดขัดปานกลางบริเวณภายในมหาวิทยาลัย และติดขัดมากบริเวณทางแยกบริเวณรอบมหาวิทยาลัยคล้ายกับทางเลือกที่ 2 เนื่องจากทางเลือกนี้ใช้ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ (Restricted crossing U–turn: RCUT) โดยไม่ใช้สัญญาณไฟจราจรในการควบคุมตามทางแยกบริเวณรอบมหาวิทยาลัย ซึ่งทำให้การไหลของจราจรไม่ต่อเนื่องบริเวณที่เป็นทิศทางเลี้ยวจากถนนสายรองเข้าสู่ถนนสายหลัก พร้อมทั้งกับเส้นทางโครงข่ายคงเดิมยิ่งส่งผลให้ทางเลือกในการเดินทางน้อย และเกิดการจราจรติดขัดอย่างรุนแรง

1.5 รูปแบบทางเลือกที่ 5 (alternative routes & alternative intersection control) มีสภาพการจราจรติดขัดปานกลางทุกจุดและดีกว่าทางเลือกอื่นๆ เนื่องจากมีการใช้ทั้งมาตรการการจัดการทางแยกแบบ RCUT และมาตรการการเพิ่มเส้นทางเลือกในการเดินทาง พร้อมทั้งรายงานสภาพการจราจรของเหตุการณ์พิเศษ (ป้าย และเจ้าหน้าที่) จึงทำให้ผู้ใช้เส้นทางสามารถรับรู้และเลือกการเดินทางที่สะดวกได้ และยังทำให้ปริมาณจราจรทั้งหมดมีการกระจายและรักษาความคล่องตัวได้ดีกว่าทางเลือกอื่น

ก. แบบจำลองโครงข่ายถนน



ข.ผลสภาพการจราจร

ภาพที่ 8 แบบจำลองรูปแบบทางเลือกที่ 1 (do nothing)

ก. แบบจำลองโครงข่ายถนน

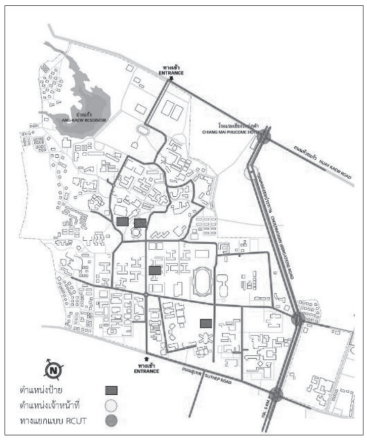
ข. ผลสภาพการจราจร

ภาพที่ 9 แบบจำลองรูปแบบทางเลือกที่ 2 (re–routing)

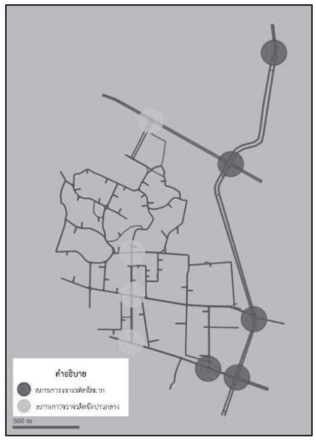
ก. แบบจำลองโครงข่ายถนน

ข. ผลสภาพการจราจร

ภาพที่ 10 แบบจำลองรูปแบบทางเลือกที่ 3 (alternative routes)



ก. แบบจำลองโครงข่ายถนน



ข. ผลสภาพการจราจร

ภาพที่ 11 แบบจำลองรูปแบบทางเลือกที่ 4 (alternative intersection control)

ก. แบบจำลองโครงข่ายถนน ข. ผลสภาพการจราจร

ภาพที่ 12 แบบจำลองรูปแบบทางเลือกที่ 5 (alternative routes & alternative intersection control)

2. ผลการประเมินระยะเวลาการระบายยานพาหนะในแต่ละรูปแบบทางเลือก

การวิเคราะห์ระยะเวลาที่ใช้ระบายยานพาหนะในแบบจำลองแต่ละสถานการณ์ทั้ง 5 สถานการณ์ พบว่า รูปแบบทางเลือกที่ 5 (alternative routes & alternative intersection control) การนำมาตรการการจัดการทางแยกแบบ RCUT และการเสนอทางเลือกการเดินทางเพิ่มขึ้น จะสามารถใช้เวลาในการระบายยานพาหนะสั้นที่สุด โดยใช้เวลาทั้งสิ้น 32 นาที รองลงมาเป็นรูปแบบทางเลือกที่ 3 (alternative route) รูปแบบทางเลือกที่ 2 (re–routing) รูปแบบทางเลือกที่ 4 (RCUT) และรูปแบบที่มีอยู่ปัจจุบัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

3. ผลการประเมินความจุของโครงข่ายในแต่ละสถานการณ์ทางเลือก

การประเมินความจุของโครงข่ายในแต่ละสถานการณ์ทางเลือก เป็นการหาค่าปริมาณจราจรที่มากที่สุดที่สามารถจุได้ในแบบจำลองโครงข่ายนั้นๆ โดยวิเคราะห์จากปริมาณจราจรที่เข้าและระบายออกจากระบบโครงข่าย ซึ่งในช่วงแรกปริมาณจราจรจะน้อยทำให้การระบายยานพาหนะรวดเร็ว ต่อมาเมื่อปริมาณจราจรมากขึ้นทำให้การระบายยานพาหนะช้าลง จนกระทั่งปริมาณจราจรเข้าระบบและปริมาณจราจรที่ระบายคงที่ โดยระบบกระแสจราจรในโครงข่ายยังคงไหลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจุดนี้จะเป็นค่าของปริมาณจราจรที่มากที่สุดที่โครงข่ายจุได้ จากการวิเคราะห์พบว่า สถานการณ์ทางเลือกที่ 5 (alternative routes & alternative intersection control) มีค่าความจุของโครงข่ายที่มากที่สุด เป็น 6,500 คันต่อชั่วโมง รองลงมาเป็นรูปแบบทางเลือกที่ 3 (Alternative route) รูปแบบทางเลือกที่ 2 (re–routing) รูปแบบทางเลือกที่ 4 (RCUT) และรูปแบบทางเลือกปกติ ซึ่งมีค่าความจุเป็น 4,900 คันต่อชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลค่าความจุของโครงข่ายและระยะเวลาที่ใช้ในการระบายยานพาหนะของแต่ละรูปแบบทางเลือก

รูปแบบ	รูปแบบการจัดการจราจรทางเลือก	ความจุโครงข่าย (คันต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)
1	do nothing	4,900	52
2	re–routing	5,700	39
3	alternative routes	6,300	35
4	alternative intersection control (RCUT)	5,200	48
5	alternative routes & alternative intersection control (RCUT)	6,500	32

สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะมาตรการจัดการจราจรในช่วงเหตุการณ์พิเศษ

งานวิจัยนี้สามารสรุปผลการศึกษาและเสนอรูปแบบการจัดการจราจรในช่วงเหตุการณ์พิเศษสำหรับพื้นที่ศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ผลการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการจราจรในช่วงเหตุการณ์พิเศษ

จากรูปแบบการจัดการจราจรทั้ง 5 รูปแบบ พบว่า รูปแบบการจัดการจราจรในแต่ละรูปแบบแบบในช่วงเหตุการณ์พิเศษนั้นให้ผลประสิทธิภาพการจราจรที่แตกต่างกัน ซึ่งรูปแบบทางเลือกที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ได้แก่ รูปแบบที่ 5 (รูปแบบการเพิ่มเส้นทางทางเลือกในการเดินทางและการควบคุมทางแยกด้วยรูปแบบทางแยกจำกัดการข้ามและกลับรถ RCUT) ซึ่งสามารถเพิ่มขนาดความจุของโครงข่ายถนนได้ถึง 6,500 คันต่อชั่วโมง และสามารถใช้ระยะเวลาในการระบายยานพาหนะออกจากมหาวิทยาลัยทั้งสิ้น 32 นาที เมื่อเทียบกับรูปแบบการจัดการจราจรที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งมีระดับความจุของโครงข่าย 4,900 คันต่อชั่วโมง และใช้ระยะเวลาในการระบายยานพาหนะทั้งสิ้น 52 นาที

ทั้งนี้การติดตามและรายงานนำเสนอสภาพการจราจรด้วยระบบ ITS รูปแบบต่างๆ ให้แก่ผู้ใช้เส้นทาง ยังช่วยผู้เดินทางสามารถวางแผนการเดินทางได้อย่างเหมาะสมมากยิ่งขึ้น ลดสภาพการจราจรที่ติดขัดบริเวณทางแยกต่างๆ ได้

2. เสนอมาตรการในการจัดการจราจรช่วงเหตุการณ์พิเศษ

แนวทางมาตรการเพิ่มเติมที่สามารถนำมาใช้ในการจัดการจราจรช่วงเหตุการณ์พิเศษ เพื่อให้ยานพาหนะเดินทางเข้า–ออกจากมหาวิทยาลัยได้รวดเร็ว สามารเสนอได้เป็นหมวดหมู่ ดังนี้

2.1 มาตรการในการจัดการด้านการจราจร เป็นมาตรการที่ช่วยเพิ่มความจุและความคล่องตัวของกระแสจราจรในโครงข่ายจราจร ได้แก่

- การปรับเปลี่ยนเส้นทางในการเดินทาง เป็นการปรับเปลี่ยนเส้นทางต่างๆในโครงข่ายให้เหมาะสมกับสภาพการจราจรในช่วงที่เกิดเหตุการณ์พิเศษ เช่น การกำหนดให้ยานพาหนะเดินทางในทิศทางเดียว (one–way) การปิดกั้นถนนบริเวณที่เกิดเหตุการณ์พิเศษ และ

การห้าม/บังคับทิศทางเลี้ยว เป็นต้น เพื่อลดความล่าช้าในการเดินทาง และเพิ่มความคล่องตัวให้แก่กระแสจราจรในโครงข่ายจราจรได้ ซึ่งมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เคยใช้มาตรการกำหนดให้ยานพาหนะเดินทางในทิศทางเดียว (one–way)

- การเพิ่มเส้นทางทางเลือกในการเดินทาง เป็นเส้นทางจัดไว้เพิ่มเติมสำหรับยานพาหนะที่ต้องการหลีกเลี่ยง หรือระบายยานพาหนะออกจากเหตุการณ์พิเศษ
- การจัดตั้งศูนย์การจัดการจราจร (traffic management centers) ติดตามสภาพการจราจรบนถนนในโครงข่ายแบบทันกาล (real time) โดยการใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อรักษาสภาพการจรจาจรในโครงข่ายจราจรให้มีความต่อเนื่อง และแก้ไขปัญหากระแสจราจรในโครงข่ายให้กลับสู่สภาพปกติได้อย่างเร็วที่สุด

2.2 มาตรการในการนำเสนอข้อมูลด้านการจราจร เป็นการนำเสนอข้อมูลการจราจรเพื่อให้ผู้ใช้เส้นทางรับรู้เหตุการณ์พิเศษสามารถวางแผนการเดินทางได้ด้วยความเข้าใจที่ และเหมาะสมกับสภาพการจราจรสำหรับช่องทางในการนำเสนอ ดังนี้

- การนำเสนอข้อมูลการจราจรผ่านสื่อสังคมออนไลน์ เป็นช่องทางที่สามารถเข้าถึงผู้ใช้รถ–ใช้ถนนได้เป็นอย่างดี และสามารถนำเสนอข้อมูลทั้งในขณะที่เกิดเหตุการณ์พิเศษ หรือก่อนช่วงเหตุการณ์พิเศษได้อย่างรวดเร็วทันกาล เช่น เจ้าหน้าที่ตำรวจจราจร จังหวัดเชียงใหม่ได้มีการอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในการติดตามสภาพการจราจร และนำเสนอข้อมูลผ่าน Facebook ของกลุ่มงานจราจร ทำให้ประชาชนทราบข้อมูลจราจรได้อย่างรวดเร็ว
- ป้ายจราจรอัจฉริยะ เป็นอุปกรณ์ด้านการจราจรที่นำเสนอข้อมูลจราจรบนโครงข่ายแบบทันกาล โดยข้อมูลที่ได้มาจากกล้องวงจรปิดที่ติดตั้งบนถนนและประเมินผลการจราจรด้วยซอฟแวร์ และแสดงผลจำแนกตามสีบนป้ายจราจรขนาดใหญ่เหนือถนน
- ป้ายอิเล็กทรอนิกส์แบบสลับข้อความได้ (variable message sign) เป็นป้ายนำเสนอข้อมูลให้แก่ผู้เส้นทาง หรือข้อมูลเกี่ยวกับเหตุการณ์ต่างๆ โดยป้ายชนิดนี้สามารถติดตั้งได้ทั้งบริเวณข้างทาง หรืออาจติดตั้งอยู่เหนือถนนในลักษณะเดียวกันกับป้ายจราจรอัจฉริยะ
- วิทยุสำหรับการจราจร เป็นช่องทางหนึ่งที่สำคัญต่อผู้ใช้รถยนต์ส่วนบุคคล ซึ่งมีสัดส่วนการใช้งานถึงร้อยละ 30 ของผู้เดินทางทั้งหมด และยังเป็นช่องทางที่มีความปลอดภัยไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุทางถนน แต่ยังไม่เคยใช้เพื่อนำเสนอข้อมูลด้านการจราจรแบบทันกาล (real time)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์บริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนทุนในการดำเนินงานโครงการการศึกษาลักษณะโครงข่ายจราจรและการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยด้านโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและเทคโนโลยีการขนส่ง (Green Infrastructure and Transportation Technology, GITT) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้ความอนุเคราะห์เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับให้งานวิจัยเสร็จสมบูรณ์ไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Chaipanha, W. (2010). **Karn wikhro tanglueak khong rabob chatkarn jarajon na boriwen hayaek (San jaopoe lukmuaeng) changwat Khon Kaen doi chai program Paramics**. (In Thai) [**Analysis of traffic management system alternatives at the five–leg junction (the city spiritual house) in the Khon Kaen City using Paramics**] (Master's thesis). Khon Kaen: Khon Kaen University.

Coifman, B., McCord, M., Mishalani, R. G., Iswalt, M., & Ji, Y. (2006). Traffic flow data extracted from imagery collected using a micro unmanned aerial vehicle. In Wang, C. P. K., Smith, L. B., Uzarski, R. D., & Wong, C. S. (Ed.) **Proceeding of the ninth international conference on applications of advanced technology in transportation** (pp. 298–303). Chicago: University of Illinois.

Dowling, R., Skabardonis, A., & Alexiadis, V. (2004). **Traffic analysis toolbox volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software**. Washington, D.C.: Office of Operations Federal Highway Administration.

Duives, D. C., Daamen, W., Hoogendoorn, S. (2012). Trajectory analysis of pedestrian crowd movements at a dutch music festival. In Weidmann, U., Kirsch, U., & Schreckenberg, M. (Ed.) **Conference Proceeding of Pedestrian and Evacuation Dynamics** (pp. 151–166). Switzerland: Springer International Publishing.

Elmitiny, N., Ramasamy, S., & Radwan, E. (2008). Emergency evacuation planning and preparedness of transit facilities: Traffic simulation modeling. In Miller, L. D, (Eds.) **The role of transit in emergency, special report 294** (pp. 121–126). Washington, D.C.: Transportation Research Board.

Fellendorf, M. (1994). VISSIM: A microscopic simulation tool to evaluate actuated signal control including bus priority. **Conference Proceeding of the 64th ITE Annual Meeting** (Session 32). N.P.: Dallas.

Hughes, W., Jagannathan, R., Sengupta, D., & Hummer, J. (2010). **Alternative intersection/ interchange: Informational Report (AIIR)**. Washington, D.C.: Federal Highway Administration Office of Safety, U.S. Department of Transportation.

Latoski, P. S., Dunn, M. W., Wagenblast, B., Randall, J., & Walker, D. M. (2010). **Managing travel for planned special events**. Washington, D.C.: Federal Highway Administration Office of Safety, U.S. Department of Transportation.

McNally, M. G., Jayakrishnan, R., & Cohen, M. I. (1993). Simulation of ATIS strategies to mitigate special event congestion. In Cohn, F. L, (Eds.) **Proceeding of Computing in Civil and Building Engineering** (pp. 583–590). USA.: ASCE.

Ott, S. E., Haley, R. L., Hummer, J. E., Foyle, R. S., & Cunningham, C. M. (2012). Safety effects of unsignalized superstreets in North Carolina. **Accident Analysis & Prevention**, 45, 572–579.

Planung Transport Verkehr AG [PTV]. (2015). **VISSIM 8 User Manual**. Germany: Author.

Sutheerakul, C., Kronprasert, N., Kaewmorachareon, M., Pichayapan, P., & Songchitruksa, P. (2017). Application of unmanned aerial vehicles to pedestrian traffic monitoring and management for Shopping Streets. **Transportation Research Procedia**, 25(2017), 1717–1734.

Transportation Research Board of The National Academy of Sciences. (2010). **HCM2010 highway capacity manual**. Washington, D.C.: Author.

Wichitphongsa, W., Praai, S., & Kronprasert, N. (2014) Application of traffic simulation models for intersection design: A case study of restricted crossing U–turn intersection in front of University of Phayao. In Subcommittee on Traffic and Transportation Engineering, The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage. (Ed.) **Proceeding of the 9th National Transport Conference**, Thailand (pp. 135–146). Bangkok: Faculty of Engineering, Kasetsart University.

Wojtowicz, J., & Wallace, W. A. (2010). Traffic management for planned special events using traffic microsimulation modeling and tabletop exercises. **Journal of Transportation Safety & Security**, 2(2), 102–121.

Zhang, W., & Kronprasert, N. (2013). Restricted crossing U–turn intersection design for improving safety and mobility at high–speed stop–controlled intersections. **Proceeding of International Conference on Road Safety and Simulation** (pp. 181–195). Rome, Italy: Roma Tre University.

Zhang, W., & Kronprasert, N. (2014). The ABCs of designing RCUTs. **Public Roads**, 78(2).