พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์บริเวณทางเข้าวงเวียนภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น

GAP-ACCEPTANCE BEHAVIOR OF MOTORCYCLISTS AT ROUNDABOUT APPROACHES IN KHON KAEN UNIVERSITY

อิศรศักดิ์ ไชยโคตร[1,*] วิชุดา เสถียรนาม[2] ธเนศ เสถียรนาม[3]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น
**Corresponding author; E-mail address: aisorasak.c@kkumail.com*

บทคัดย่อ

วงเวียนสมัยใหม่เป็นมาตรการควบคุมทางแยกที่มีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมพฤติกรรมการใช้ความเร็วของผู้ขับขี่และลดความขัดแย้งบริเวณทางแยกได้ อย่างไรก็ตาม กายภาพวงเวียนอาจไม่สามารถบังคับพฤติกรรมของรถขนาดเล็ก เช่น ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ซึ่งเลือกวิ่งได้ทุกตำแหน่งในทางช่องจราจร ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขนาดช่องว่างวิกฤตและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ในบริเวณทางเข้าวงเวียน การศึกษานี้ตรวจสอบพฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่ทางเข้า 14 ตำแหน่ง ในบริเวณวงเวียน 4 แห่ง ภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น ใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV) บันทึกสภาพการจราจร สังเกตและบันทึกข้อมูลการตัดสินใจของผู้ขับขี่ต่อการยอมรับหรือปฏิเสธช่องว่าง 813 ครั้ง วิเคราะห์ขนาดช่องว่างวิกฤตด้วยวิธีการของ Raff และใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกทวิอธิบายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับช่องว่าง ผลการศึกษาพบว่าช่องว่างวิกฤตของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์มีขนาด 2.63 วินาที โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลทำให้โอกาสยอมรับช่องว่างมากขึ้น ได้แก่ ขนาดช่องว่างที่ใหญ่ขึ้น การที่ผู้ขับขี่ที่เลือกเข้าวงเวียนในด้านไกลจมูกวงเวียนและเลือกชิดซ้ายในทางวิ่งวน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกาะกลางวงเวียนที่มีขนาดใหญ่ และรัศมีการเบนแนวทางเคลื่อนที่กว้าง ในขณะที่ปัจจัยที่มีอิทธิพลที่ทำให้การยอมรับช่องว่างลดลงคือการมีผู้โดยสารซ้อนท้าย และในกรณีที่รถคันหลังในช่องว่างเป็นรถยนต์

คำสำคัญ: ช่องว่างวิกฤต, การยอมรับช่องว่าง, วงเวียน, รถจักรยานยนต์

Abstract

Modern roundabouts are effective intersection control measures, especially for homogeneous lane-based traffic. However, Thailand's roundabout operates with heterogeneous traffic environments. Sharing the road with larger vehicles, smaller motorcycles are not forced by roundabout geometry and exhibit non-lane-based movements, which increases the conflict risk at roundabouts. Consequently, it is essential to comprehend the gap-acceptance behavior of these non-lane-based vehicles. Therefore, the objectives of this study are to identify the critical gap and factors affecting gap-acceptance behavior of motorcyclists. This study examined rider behavior at fourteen roundabout approaches at four roundabouts at Khon Kaen University. Unmanned aerial vehicles (UAVs) were used to video the movement of traffic. 813 data on gap acceptance were extracted. Raff's method was used to calculate the critical gap. A binary-logistic regression analysis was used to determine the variables influencing the motorcyclist's gap acceptance. According to the study's findings, the critical gap value was 2.63 seconds. Factors influencing the increase in gap-acceptance include larger gap sizes, the driver who chooses to enter the roundabout on the far side of the splitter islands and chooses to keep left in the circulating roadways, bigger island, and wider radius of deflections. While the factors influencing the decrease in gap acceptance are the presence of the pillion passengers and in the case of the rear car in the gap being a car. This research could contribute to the design and development of safer roundabouts that operate in non-lane-based traffic environments.

Keywords: critical gap, gap acceptance, roundabout, motorcycles

1. คำนำ

ความปลอดภัยทางถนนเป็นเรื่องที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะไม่เพียงส่งผลให้เกิดความสูญเสียแก่ชีวิต ร่างกายและทรัพย์สิน ยังมีผลกระทบต่อสังคมโดยรอบ [1-4] จากรายงานขององค์การอนามัยโลก [2] การชนบนถนนนับเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับที่ 8 ของคนทุกกลุ่มอายุทั่วโลก และประเทศไทยมีอัตราการเสียชีวิตบนท้องถนนสูงเป็นอันดับที่ 9 ของโลก โดยมี

ประมาณการผู้เสียชีวิต 32.7 คนต่อประชากรหนึ่งแสนคน หรือมีผู้เสียชีวิตเฉลี่ยสูงถึงปีละ 22,491 คน (60 คนต่อวัน)

ผู้ใช้รถจักรยานยนต์นับเป็นผู้ใช้ถนนกลุ่มเสี่ยงที่ต้องให้ความสำคัญ โดยจากสถิติข้อมูลผู้เสียชีวิตสะสม ปี 2565 จาก ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุเพื่อเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน (ThaiRSC) [1] พบว่าผู้เสียชีวิตบนถนนร้อยละ 81 ขับขี่หรือโดยสารรถจักรยานยนต์ ซึ่งในปี พ.ศ. 2562 มีรถประเภทนี้จดทะเบียนในประเทศ 21.13 ล้านคัน คิดเป็นร้อยละ 53.96 เมื่อเทียบกับรถจดทะเบียนสะสมประเภทอื่นตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ อัตราการเสียชีวิตที่สูงกว่าสัดส่วนรถจดทะเบียนมาก สะท้อนถึงความเสี่ยงของผู้ขับขี่กลุ่มนี้เมื่อต้องใช้ถนนปะปนกับรถประเภทอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณทางร่วมทางแยก

ทางแยกนับเป็นบริเวณวิกฤติบนโครงข่ายถนน การชนร้อยละ 6.95 บนโครงข่ายถนนของกระทรวงคมนาคมเกิดขึ้นในบริเวณนี้ [3] บนโครงข่ายทางหลวงแผ่นดิน อัตราการเสียชีวิตในบริเวณทางแยกและจุดเปิดเกาะกลางสูงถึงร้อยละ 6.5 และ 5.3 ตามลำดับ [4] ซึ่งถ้าพิจารณาเปรียบเทียบสัดส่วนการเกิดการชนและจำนวนการเสียชีวิตแล้ว จะพบว่าการชนบนทางแยกมีความรุนแรงและมีโอกาสสูญเสียกว่าบริเวณอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้ขับขี่กลุ่มเปราะบางเช่น ผู้ใช้รถจักรยานยนต์

วงเวียนสมัยใหม่นับเป็นมาตรการควบคุมทางแยกที่มีประสิทธิภาพสามารถควบคุมพฤติกรรมการใช้ความเร็วของผู้ขับขี่และลดความขัดแย้งบริเวณทางแยกได้ ตามกฎหมาย ผู้ขับขี่ที่จะเข้าสู่วงเวียนต้องให้ทางรถในวงเวียนไปก่อน เรขาคณิตของวงเวียน เช่นแนวทางราบของทางเข้า จมูกวงเวียน แนวขอบคันหินข้างทางและเกาะกลาง จะถูกออกแบบเพื่อบังคับควบคุมผู้ขับขี่ให้เคลื่อนที่ตามแนวทางวิ่งด้วยความเร็วที่เหมาะสม ชะลอความเร็วในช่วงปากทางเข้าสู่วงเวียน และช่วงที่เคลื่อนที่ในแนวโค้งขณะวิ่งวนในวงเวียน ซึ่งการชะลอความเร็วในบริเวณทางเข้าช่วยส่งเสริมพฤติกรรมการให้ทาง ช่วยให้ผู้ขับขี่เพิ่มความระมัดระวัง รอจังหวะ หรือ ช่องว่างที่เหมาะสมในการขับขี่เข้าสู่วงเวียน ซึ่งช่วยจะลดความขัดแย้งในการรวมกระแสจราจรในบริเวณทางเข้าวงเวียน

อย่างไรก็ตาม วงเวียนในประเทศไทยมีรถหลายประเภทใช้ร่วมกัน เรขาคณิตวงเวียนแม้สามารถควบคุมความเร็วและแนววิ่งของรถขนาดใหญ่อาจไม่สามารถบังคับควบคุมพฤติกรรมของผู้ขับขี่รถขนาดเล็ก เช่น ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากผู้ขับขี่กลุ่มนี้สามารถเลือกวิ่งได้ทุกตำแหน่งในทางช่องจราจร (non-lane-based movements) และไม่ถูกบังคับชะลอความเร็วด้วยแนวทางวิ่ง เช่น สามารถวิ่งตัดโค้งในแนวเส้นตรงได้ ดังนั้น ข้อมูลที่เกี่ยวเนื่องกับพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ใช้รถจักรยานยนต์ในบริเวณวงเวียนจึงเป็นข้อมูลที่มีจำเป็นในการออกแบบและดำเนินการวงเวียนให้เกิดความปลอดภัย

กฎการใช้วงเวียนคือให้รถในวงเวียนไปก่อน ดังนั้นพฤติกรรมการยอมรับช่องว่างในบริเวณทางเข้าวงเวียนเป็นพฤติกรรมที่มีความสำคัญ พฤติกรรมดังกล่าวเป็นกระบวนการตัดสินใจของผู้ขับขี่ที่กำลังจะเข้าสู่วงเวียน ผู้ขับขี่จะต้องพิจารณาช่องว่างระหว่างรถที่กำลังเคลื่อนที่ภายในวงเวียน ก่อนที่จะเลือกยอมรับหรือปฏิเสธช่องว่าง และเคลื่อนที่เข้าในวงเวียนในกรณีที่ยอมรับช่องว่าง โดย “ช่องว่างวิกฤต” คือช่องว่างที่เล็กที่สุดที่ผู้ขับขี่เต็มใจที่จะยอมรับ และรู้สึกว่าปลอดภัยแล้วถึงจะรวมเข้ากับการจราจรในวงเวียน ซึ่งไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง สังเกตได้เฉพาะช่องว่างจากที่ผู้ขับขี่ยอมรับหรือปฏิเสธเท่านั้น [6-7]

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาในการศึกษาการยอมรับช่องว่างในวงเวียน [8-12] พบข้อมูลพฤติกรรมของผู้ขับขี่รถนั่งส่วนบุคคลและรถบรรทุก ตามบริบทถนนและการจราจรในประเทศที่พัฒนาแล้ว อย่างไรก็ตามวงเวียนในประเทศไทยมีผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ใช้ร่วมกับผู้ขับขี่รถประเภทอื่น การที่ผู้ขับขี่กลุ่มนี้ไม่ถูกกายภาพวงเวียนบังคับแนววิ่ง อาจเพิ่มความเสี่ยงในการขัดแย้งในวงเวียน ดังนั้น จำเป็นต้องทราบข้อมูลพฤติกรรมของผู้ขับขี่กลุ่มนี้ ซึ่งการศึกษาที่ผ่านมาให้ข้อมูลอย่างจำกัด [9]

มหาวิทยาลัยขอนแก่นใช้วงเวียนควบคุมทางแยกบนถนนสายหลักและสายรอง โดยจากรายงานสรุปสถิติอุบัติเหตุทางถนนประจำปี2562-2563 รายงานการชนทั้งหมด 436 ครั้ง เกิดกับผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์และรถยนต์ร้อยละ 59 และร้อยละ 41 ตามลำดับ และจากสรุปสถิติสถานที่เกิดเหตุ วงเวียนนับเป็นสถานที่ที่มีการเกิดเหตุมากที่สุด โดยมีสัดส่วนมากถึงร้อยละ 13 และระบุไว้ว่าเป็นเหตุจากรถจักรยานยนต์ทั้งหมด [5]

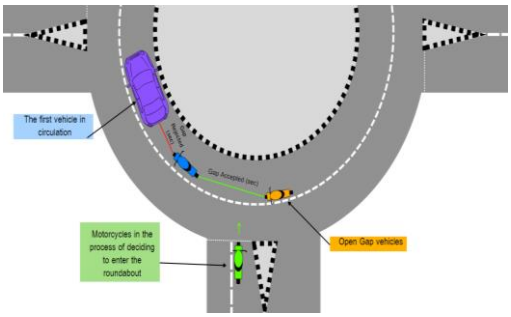
จากสถานการณ์ความจำเป็นและช่องว่างองค์ความรู้ดังกล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้ จึงสนใจศึกษาขนาดช่องว่างวิกฤติและปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ในบริเวณทางเข้าวงเวียน เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการออกแบบและพัฒนาวงเวียนในประเทศให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น

เนื้อหาในการนำเสนอของบทความนี้แบ่งเป็น 5 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 คำนำ ที่มาและความสำคัญของการศึกษา ส่วนที่2 การยอมรับช่องว่างในบริเวณวงเวียน รวมทั้งการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการยอมรับช่องว่างของรถในวงเวียน ส่วนที่ 3 วิธีการศึกษา ส่วนที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการศึกษา และส่วนที่ 5 สรุปผลการศึกษา รวมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไปในอนาคต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การยอมรับช่องว่างบริเวณวงเวียน

ตามกฎการใช้วงเวียน ซึ่งรถที่เข้าวงเวียนต้องให้ทางรถในวงเวียนไปก่อน ผู้ขับขี่ดังแสดงในรูปที่ 1 จะเข้าสู่วงเวียนก็ต่อเมื่อพิจารณาสถานการณ์ตรงหน้าแล้วยอมรับช่องว่าง ซึ่งช่องว่างดังกล่าวมักจะมีขนาดใหญ่พอ มีขนาดใหญ่กว่าหรือเท่ากับช่องว่างวิกฤต โดยผู้ขับขี่มักจะปฏิเสธช่องว่างขนาดเล็กและรอช่องว่างถัดไปที่มีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างวิกฤตเพื่อเข้าสู่วงเวียน



รูปที่ 1 การยอมรับและปฏิเสธช่องว่างของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน

โดยทั่วไป ช่องว่างวิกฤตสามารถถือเป็นเกณฑ์การตัดสินใจของผู้ขับขี่ ซึ่งกำหนดว่ารถที่จะเข้าสู่วงเวียนมีเวลาเพียงพอหรือไม่ สามารถเข้าสู่วงเวียนได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงพฤติกรรมของผู้ขับขี่รถแต่ละประเภทในแต่ละสภาพแวดล้อมนั้นแตกต่างกัน ดังนั้น ช่องว่างวิกฤตก็มีขนาดแตกต่างกันด้วย [6] นอกจากนั้น แม้ว่าวงเวียนสมัยใหม่จะได้รับการยอมรับมากขึ้น แต่ความไม่คุ้นเคยกับทางแยกประเภทนี้ก็ยังแพร่หลายอยู่ ความไม่คุ้นเคยนี้ส่งผลให้ผู้ขับขี่ตัดสินใจอย่างคาดเดาไม่ได้เกี่ยวกับการยอมรับช่องว่าง มีปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่ ซึ่งเพิ่มความยากลำบากในการตัดสินใจออกแบบ [8-10] โดย

Shaaban และคณะ [8] ได้เปรียบเทียบค่าช่องว่างวิกฤตระหว่างวงเวียน หนึ่ง สอง และสามช่องจราจรใน ประเทศกาตาร์ ผู้วิจัยได้ตั้งข้อสังเกตว่า ค่าช่องว่างวิกฤตของวงเวียนส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบจากหลายปัจจัย อาทิเช่น จำนวนช่องจราจร ความก้าวร้าวของผู้ขับขี่ในพื้นที่ ประเภทรถ และจำนวนช่องจราจรที่เข้าใกล้ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือเพื่อวัดและเปรียบเทียบค่าช่องว่างวิกฤตสำหรับวงเวียนในทั้งสามรูปแบบ ผลการศึกษาพบว่าค่าช่องว่างวิกฤตคือ 2.24, 2.55 และ 2.40 วินาที สำหรับวงเวียนหนึ่ง สอง และสามช่องจราจร ตามลำดับ ทั้งนี้ผลลัพธ์ยังชี้ให้เห็นว่า ประเภทของรถก็เป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าของช่องว่างวิกฤตมีค่าแตกต่างกัน

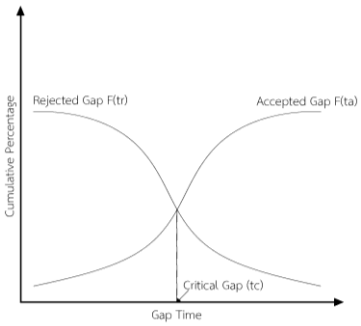
Kusuma และคณะ [9] ได้ทำการวิเคราะห์ช่องว่างวิกฤตของวงเวียนสองช่องจราจรแห่งหนึ่ง ในสตอกโฮล์ม ประเทศสวีเดน ผู้วิจัยได้ตั้งข้อสันนิษฐานว่าช่องว่างวิกฤตมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลกับจำนวนของผู้ขับขี่ในวงเวียน หรือความจุของวงเวียน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ช่องว่างวิกฤตยังขึ้นอยู่กับปัจจัย อื่นๆ เช่น ช่องจราจรเป้าหมาย (ใกล้หรือไกล) โดยช่องว่างวิกฤตที่เกิดจากช่องจราจรไกลนั้นมีค่าน้อยกว่าช่องจราจรใกล้ และขึ้นอยู่กับประเภทของรถในวงเวียนอีกด้วย โดยรถที่คู่กรณีที่มีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้ค่าช่องว่างวิกฤตมีขนาดเล็กลง

Rodgers และคณะ [10] ได้ประเมินผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยทางเรขาคณิตและการดำเนินงานต่าง ๆ ต่อพฤติกรรมการยอมรับช่องว่างสำหรับทางเข้าวงเวียนในเขตเมืองแอตแลนตา รัฐจอร์เจีย ศึกษาวงเวียน 12 แห่งเพื่อสังเกตปัจจัยทางกายภาพของวงเวียนให้มีความแตกต่างและหลากหลาย เช่น จำนวนขา จำนวนช่องจราจรหมุนเวียน การมีอยู่ของทางม้าลาย และอื่น ๆ ข้อมูลเชิงสังเกตการณ์ได้จากการบันทึกข้อมูลโดยโดรนบันทึกวิดีโอความละเอียดสูง ข้อมูลเหล่านี้ถูกใช้เพื่อสร้างแบบจำลองพฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง ด้วยการถดถอยโลจิสติกส์ทวิ ปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการยอมรับช่องว่าง ได้แก่ ปัจจัยด้านรูปทรงเรขาคณิต (ขนาดของวงเวียน ที่ใหญ่ขึ้นทำให้การยอมรับช่องว่างลดลง จำนวนขา และการมองเห็นไปยังทางเข้า) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (การมีเส้นสถานะของช่องจราจรทางเข้า การมีช่องทางเดินรถที่ขัดแย้งกัน การมีทางม้าลายบนเส้นทาง) และปัจจัยด้านการดำเนินการ (ความเร็วของรถที่เข้าใกล้) เป็นต้น

2.2 การประมาณค่าช่องว่างวิกฤต โดยวิธีของ Raff

การประมาณค่าช่องว่างวิกฤต โดยวิธีของ Raff เป็นหนึ่งในวิธีการประมาณค่าช่องว่างวิกฤตที่ได้รับความนิยม Milner [11] ได้ทำการปรับปรุงวิธีการของ Raff และได้ให้ข้อสรุปวิธีของ Raff สามารถใช้ได้ดีกับปริมาณจราจรน้อยถึงปานกลาง แต่ไม่เหมาะสมกับปริมาณจราหนาแน่น ซึ่งปริมาณจราจรในมหาวิทยาลัยขอนแก่นในช่วงเวลาเร่งด่วนมีปริมาณจราจรปานกลางเมื่อเทียบกับปริมาณจราจรภายนอกมหาลัยในช่วงเวลาเร่งด่วน โดยมีหลักการคือใช้การพิจารณาค่าช่องว่างวิกฤต (t_c) จากจุดตัดความสัมพันธ์การพล็อตกราฟระหว่างร้อยละการยอมรับช่องว่าง $F(t_a)$ สะสม และร้อยละการปฏิเสธช่องว่าง $F(t_r)$ สะสมแกน y กับขนาดของช่องว่างแกน x [12] ดังสมการที่ 1 และ รูปที่ 2

$$F(t_a)=1-F(t_r) \quad (1)$$



รูปที่ 2 การประมาณค่าช่องวิกฤตด้วยวิธีของ Raff

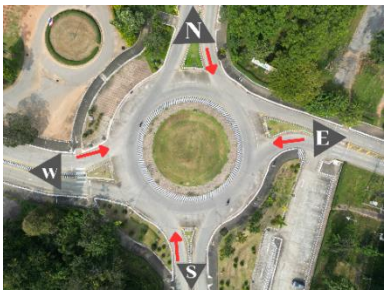
3. วิธีการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษา

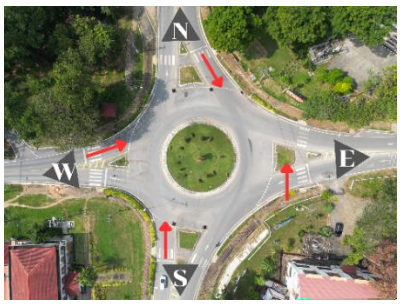
การศึกษานี้ได้เลือกวงเวียน 4 แห่ง ซึ่งตั้งอยู่ในเขตมหาวิทยาลัยขอนแก่นเป็นพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 3 วงเวียนศึกษาตั้งอยู่บนถนนสายหลักขนาด 2 ช่องจราจร ประกอบด้วย ก) วงเวียนบริเวณตึกอธิการบดี ข) วงเวียนบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ค) วงเวียนบริเวณหอพักชายที่16 และ ง) วงเวียนบริเวณคณะเทคนิคการแพทย์ ดังแสดงในรูปที่ 4



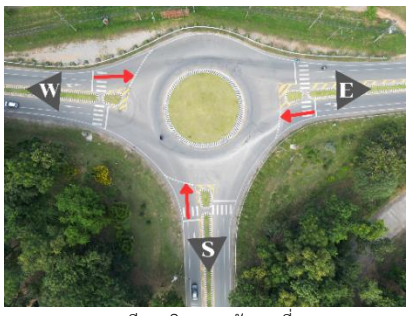
รูปที่ 3 ตำแหน่งพื้นที่ศึกษา



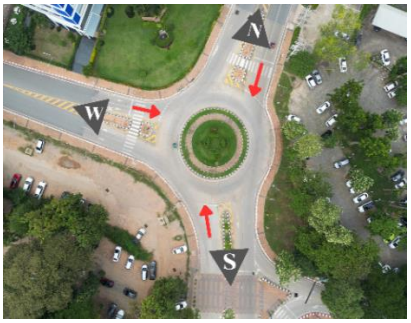
ก.วงเวียนบริเวณตึกอธิการบดี



ข.วงเวียนบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์



ค.วงเวียนบริเวณหอพักชายที่ 16



ง.วงเวียนบริเวณคณะเทคนิคการแพทย์

รูปที่ 4 พื้นที่ศึกษา

วงเวียนศึกษามีลักษณะทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากมหาวิทยาลัยขอนแก่นมีการจัดการทางแยกด้วยวงเวียนและ มีประชากรผู้ใช้รถใช้ถนนเป็นนักศึกษา ทำให้มีจำนวนผู้ใช้รถจักรยานยนต์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ตารางที่1 ลักษณะทางกายภาพของพื้นศึกษา

ลักษณะทางกายภาพของวงเวียน	ทิศทาง	วงเวียน			
		ก.	ข.	ค.	ง.
ขนาดความกว้างของถนนขาเข้าวงเวียน (ม.)	N	4	6.5	-	6.5
	S	4	6	5.2	7
	E	4.6	6.5	5.2	-
	W	5	6.5	6	5
รัศมีของถนนขาเข้าวงเวียน (ม.)	N	21.4	54.6	-	10.6
	S	16.4	21.5	29.7	29.7
	E	12.3	41	22.7	-
	W	18.9	32.4	87.9	16.9
จำนวนขาของวงเวียน	-	4	4	3	3
ขนาดความกว้างของถนนภายในวงเวียน (ม.)	-	8.5	11	12	6.5
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกาะกลางภายในวงเวียน (ม.)	-	34	24	26	22
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงเวียน (ม.)		51	46.4	46.5	35.3
รัศมีเบนแนวทางเคลื่อนที่ของรถที่เข้าสู่วงเวียน (ม.)**	N	34.5	47	-	249.8
	S	35.8	197.3	44.6	25.7
	E	36.9	69.4	45.6	-
	W	37.3	62.1	215.8	31.9

**วัดรัศมีของส่วนโค้งที่เว้นระยะห่างจากเส้นขอบถนนขาเข้า เส้นขอบของเกาะกลางวงเวียน และเส้นขอบถนนขาออกอย่างละ 1 ม.

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

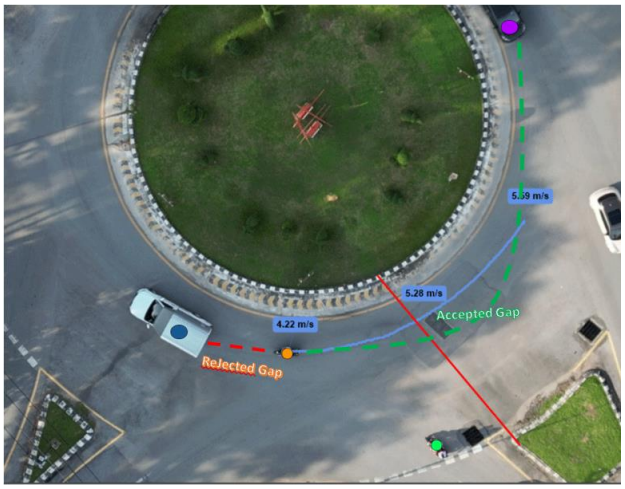
การศึกษานี้ การเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการบันทึกวิดีโอสภาพการจราจรในบริเวณวงเวียนศึกษา โดยอาศัยโดรนอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ถ่ายภาพทางอากาศความละเอียดสูง บันทึกวิดีโอที่ความละเอียด 2.7K ที่อัตรา 60 เฟรมต่อวินาที บันทึกวีดีโอที่ความสูงไม่เกิน 90 เมตร (300 ฟุต) เหนือพื้นดิน โดยตั้งมุมเงยของกล้องที่ 90 องศา ตั้งฉากกับวงเวียน ทำการบันทึกวิดีโอการจราจรครอบคลุมทั้งวงเวียน ซึ่งสามารถบันทึกพฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียนได้อย่างชัดเจน

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจการเกิดการยอมรับช่องว่างของช่วงเวลาเร่งด่วนและไม่เร่งด่วน พบว่าช่วงไม่เร่งด่วนไม่เกิดการยอมรับช่องว่างหรือเกิดขึ้นน้อยอันเนื่องจากปริมาณจราจรเบาบางจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ร่วมด้วย ดังนั้นจึงทำการบันทึกในช่วงเวลาเร่งด่วน เช้า (08:00-10:00) เย็น (16:00-18:00 น.) ของวันธรรมดา ความยาววิดีโอ 1 ชั่วโมงในแต่ละพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีข้อมูลการยอมรับช่องว่างเพียงพอต่อการนำไปวิเคราะห์ ขณะบันทึก ผู้บันทึกข้อมูลต้องสวมเสื้อจราจรสะท้อนแสง

ตลอดเวลา และมีระยะห่างที่เหมาะสมกับวงเวียน เพื่อไม่ให้ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ในวงเวียนเสียสมาธิและ/หรือมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของผู้ขับขี่ตำแหน่งดังกล่าว และนักบินจะต้องมีแนวการมองเห็นที่ชัดเจนสำหรับทั้งโดรนและวงเวียน เพื่อความปลอดภัย

3.3 การบันทึกข้อมูล

การศึกษานี้บันทึกข้อมูลจากการสังเกตพฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์บริเวณทางเข้าวงเวียน 14 ตำแหน่ง โดยนำข้อมูลที่บันทึกวิดีโอการจราจรแล้วนำข้อมูลไปประมวลผลในโปรแกรม Kinovea โดยโปรแกรม Kinovea คือโปรแกรมสำเร็จรูปด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาที่สามารถใช้ในการสังเกตเส้นทางการเคลื่อนไหวของวัตถุหรือข้อต่อของร่างกาย การวัดเวลา การวัดระยะทาง การวัดความเร็ว เป็นต้นซึ่งผู้วิจัยได้นำมาประยุกต์ใช้ในการ บันทึกการยอมรับช่องว่างซึ่งเป็นข้อมูลเชิงเวลาและข้อมูลความเร็วยานพาหนะในวงเวียนโดยใช้ความสามารถในการติดตามวัตถุของตัวโปรแกรม โดยผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความแม่นยำของความเร็วที่วัดได้จากการติดตามวัตถุของโปรแกรมและทำการตรวจสอบด้วยวิธี spot speed ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันแต่อย่างใด



รูปที่ 5 ตัวอย่างสถานการณ์ในการบันทึกข้อมูลการยอมรับและปฏิเสธช่องว่าง

ตัวอย่างสถานการณ์ การยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียนดังแสดงในรูปที่ 5 สามารถบันทึกข้อมูลที่สังเกตได้ดังนี้ ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์จุดสีเขียว หยุดรอที่ทางเข้าวงเวียนเมื่อมีรถเคลื่อนที่ต่อเนื่องกันในวงเวียนสองคันขึ้นไป ผู้ขับขี่ปฏิเสธช่องว่างที่ 1 ขนาด 2 วินาที ของรถยนต์จุดสีน้ำเงินคันที่ 1 กับรถจักรยานยนต์จุดสีส้มคันที่ 2 ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์จุดสีเขียวที่ทางเข้าเริ่มเร่งรถเข้าสู่วงเวียน คือ ยอมรับช่องว่างที่2 ขนาด 4 วินาที ระหว่างรถจักรยานยนต์จุดสีส้มคันที่ 2 กับรถยนต์คันที่ 3 โดยมีเส้น yield line เส้นสีแดง อ้างอิงที่บริเวณจมูกวงเวียนเป็นตัวเริ่มจับเวลา และ หยุดเวลา เพื่อบันทึกขนาดของช่องว่างระหว่างรถที่เคลื่อนที่ต่อเนื่องกันในวงเวียน

นอกจากนี้ข้อมูลขนาดของช่องว่างที่ถูกยอมรับและปฏิเสธสามารถใช้ในการประมาณค่าช่องว่างวิกฤตของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน และทำการบันทึกข้อมูลปัจจัยที่สังเกตได้ ซึ่งพฤติกรรมที่สนใจคือ พฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง โดยตัดสินใจยอมรับ/ปฏิเสธ แต่ละช่องว่าง โดยแบ่งข้อมูลจากข้อมูลที่สังเกตได้สี่กลุ่มซึ่งได้จากการทบทวนวรรณกรรม [8-10] และที่สนใจศึกษา ได้แก่ ด้านผู้ขับขี่ สภาพการจราจร และกายภาพวงเวียน ทั้งนี้ตัวแปรด้านผู้ขับขี่ควรระบุ เพศ อาชีพ และอายุ อยู่ด้วยแต่เนื่องจากการศึกษานี้บันทึกโดยใช้โดรนทำให้มีข้อจำกัดในการสังเกตรายละเอียดเหล่านี้ เมื่อเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวแปรที่สังเกตได้เหล่านี้มีความเพียงพอต่อการนำไปวิเคราะห์ต่อ โดยมีรายละเอียดตัวแปร นิยาม และการให้รหัสตัวแปรในแต่ละกลุ่มดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การตั้งรหัสตัวแปรและตัวแปรที่สังเกตได้

กลุ่มตัวแปร	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย/รหัส	ที่มา
ด้านผู้ขับขี่	อุปกรณ์ความปลอดภัย	การสวมหมวกนิรภัยที่ได้จากการสังเกต	0 ไม่สวมหมวกนิรภัย 1 สวมหมวกนิรภัย	ที่สนใจศึกษา
	ผู้โดยสาร	การมีผู้โดยสารซ้อนขณะขับขี่รถจักรยานยนต์	0 ไม่มีผู้โดยสาร 1 มีผู้โดยสาร	ที่สนใจศึกษา
	ตำแหน่งของรถที่ทางวิ่งในวงเวียน	ตำแหน่งของรถจักรยานยนต์ในทางวิ่งวนเมื่อเริ่มเข้าสู่วงเวียน	0 ขับขี่ในช่องจราจร 1 ขอบด้านซ้ายของทางวิ่งวน	ที่สนใจศึกษา
	ตำแหน่งของรถที่ทางเข้าวงเวียน	ตำแหน่งเมื่อผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์มาถึงที่ทางเข้าวงเวียน	0 ด้านใกล้จมูกวงเวียน 1 ด้านไกลจมูกวงเวียน	Kusuma และคณะ [9]
สภาพการจราจร	ความเร็วของรถที่เข้าใกล้	ความเร็วของรถในวงเวียนที่ทำให้เกิดช่องว่าง	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	Rodgers และคณะ [10]
	ประเภทของรถ	ประเภทรถคันหลังในช่องว่าง	0 รถจักรยานยนต์ 1 รถยนต์	Shaaban และคณะ [8]
	ขนาดช่องว่าง	ขนาดช่องว่างเชิงเวลาระหว่างรถ 2 คันที่ต่อเนื่องเนื่องกัน	วินาที	
กายภาพวงเวียน	ขนาดความกว้างของถนนภายใน	ขนาดความกว้างของถนนภายในวงเวียน	เมตร	Rodgers และคณะ [10]
	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกาะ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกาะกลางภายในวงเวียน	เมตร	
	ขนาดความกว้างของถนนขาเข้า	ขนาดความกว้างของถนนขาเข้าวงเวียน	เมตร	

ตารางที่ 2 การตั้งรหัสตัวแปรและตัวแปรที่สังเกตได้ (ต่อ)

กลุ่มตัวแปร	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย/รหัส	ที่มา
กายภาพวงเวียน	รัศมีของถนนขาเข้า	รัศมีของถนนขาเข้าวงเวียน	เมตร	Rodgers และคณะ [10]
	จำนวนขาของวงเวียน	จำนวนขาของวงเวียน	จำนวนขาของวงเวียน วงเวียน 3ขา วงเวียน4ขา	
	ทิศทางของขาวงเวียน	ทิศทางของขาวงเวียนตามเข็มทิศ	ทิศทางของขาวงเวียนตามเข็มทิศ N, S, E, W	
	Radius of deflection	รัศมีการเบนแนวทางเคลื่อนที่	เมตร	ที่สนใจศึกษา

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้วิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของการยอมรับช่องว่างของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน 833 ครั้ง เพื่อแสดงลักษณะของกลุ่มตัวอย่างและพฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง จัดการข้อมูลขนาดช่องว่างที่ถูกยอมรับและปฏิเสธด้วยแผนภาพแสดงการกระจายข้อมูลแบบกล่อง (Box plot) แล้วคัดเลือกข้อมูลการยอมรับช่องว่างที่มีขนาดใหญ่กว่าปกติออกจากกระบวนการดังกล่าว คงเหลือข้อมูลการยอมรับและปฏิเสธช่องว่าง จำนวน 813 ครั้ง

การศึกษานี้ประมาณค่าช่องว่างวิกฤต โดยวิธีของ Raff และสร้างแบบจำลองอธิบายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับช่องว่างด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โลจิสติกส์ทวิ (Binary Logistic Regression : BL) ซึ่งกำหนดให้ y คือการยอมรับ/ปฏิเสธช่องว่าง และ x คือปัจจัยที่สนใจ (ตารางที่ 2) โดยวิธีการนี้เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจาก ตัวแปรตามที่สนใจ คือ พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างที่ผู้ขับขี่แสดงออกได้เพียง 2 กรณีคือ ยอมรับและปฏิเสธ จึงมีความเหมาะสมในการนำมาวิเคราะห์

เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่สนใจแต่ละตัวกับการยอมรับช่องว่างของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน โดยทดสอบตัวแปรด้วยเทคนิคการทดสอบเพียร์สันไคสแควร์ (Pearson Chi-square test) และพัฒนาแบบจำลอง ในการวิเคราะห์โลจิสติกส์ทวิ ตัวแปร y จะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 และมีความสัมพันธ์กับตัวแปรต้นในรูปคล้ายตัว S ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2

โดยการนำเข้าข้อมูลของการศึกษานี้ y คือการยอมรับช่องว่างของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน โดย y มีค่าเป็น 0 คือผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ปฏิเสธช่องว่างนั้น ในทางกลับกันเมื่อ y มีค่าเป็น 1 คือผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ยอมรับช่องว่างนั้น ส่วนผลการวิเคราะห์ค่า y คือความน่าจะเป็นที่ผู้ขับรถจักรยานยนต์จะยอมรับช่องว่าง

$$P(y) = \frac{e^{b_0+b_1x_1+\ldots+b_px_p}}{1+e^{b_0+b_1x_1+\ldots+b_px_p}} \quad (2)$$

เมื่อ $P(y)$ คือความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์, x คือตัวแปรตาม, p คือจำนวนตัวแปรต้น และ b คือสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ของตัวแปรต้น โดยตัวแปรต้นต้องไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างกัน นั่นคือ Tolerance มีค่าใกล้ 1และ Variance inflation Factor (VIF) มีค่าน้อยกว่า 10 [13] จากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรต้นที่ไม่เป็นเชิงเส้น จึงทำการปรับให้อยู่ในรูปเชิงเส้น โดยเขียนให้อยู่ในรูปของ odds หรือ odd ratio ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างความน่าจะเป็นของการไม่เกิดเหตุการณ์ ได้ดังนี้

$$\text{odd} = \frac{p(y)}{Q(y)} \quad (3)$$

ค่าของ odds แสดงถึงโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ เป็นกี่เท่าของโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์ที่สนใจ การเขียนโมเดลโลจิสติกส์จะอยู่ในรูป log(odds) เรียกว่า logit หรือ logistic response function ซึ่งเขียนในรูปสมการดังนี้

$$\log\left(\frac{p(y)}{Q(y)}\right) = \log\left(\frac{p(y)}{1-p(y)}\right) = U$$

$$U = b_0+b_1x_1+\ldots+b_px_p \quad (4)$$

เมื่อแทนค่า U ในสมการที่ 1 จะได้ดังสมการที่ 5

$$P(y) = \frac{e^U}{1+e^U} \quad (5)$$

4. ผลและการวิเคราะห์ผลการศึกษา

4.1 สถิติเชิงพรรณา

จากข้อมูลการยอมรับและปฏิเสธช่องว่าง 813 ครั้ง ในบริเวณทางเข้าวงเวียน 14 ขา สามารถสรุปสถิติเชิงพรรณาของปัจจัยที่สังเกตได้ โดยแสดงสัดส่วนปัจจัยเชิงคุณภาพ ได้แก่ อุปกรณ์ความปลอดภัย ผู้โดยสาร ลักษณะของช่องว่างที่ยอมรับ ตำแหน่งของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน และประเภทของรถ แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัจจัยเชิงปริมาณ ได้แก่ ความเร็วของรถที่ทางเข้าวงเวียน และขนาดช่องว่าง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สถิติเชิงพรรณนา

		วงเวียน														
		ก.				ข.				ค.			ง.			
		N	S	E	W	N	S	E	W	S	E	W	N	S	W	รวม
จำนวนช่องว่าง (ครั้ง)		8	64	39	21	89	74	70	75	127	30	62	42	38	74	813
		ร้อยละ														
การยอมรับช่องว่าง	ปฏิเสธ	38	55	74	67	76	51	77	73	87	83	19	31	53	77	66
	ยอมรับ	62	45	26	33	24	49	23	27	13	17	81	69	47	23	34
การสวมหมวกนิรภัย	ไม่สวม	100	83	80	95	55	65	76	65	70	63	81	83	92	66	72
	สวม	0	17	20	5	45	35	24	35	30	37	19	17	8	34	28
ผู้โดยสาร	ไม่มี	75	89	67	100	82	77	94	89	78	70	87	81	90	87	84
	มี	25	11	33	0	18	23	6	11	22	30	13	19	10	13	16
ตำแหน่งของรถที่ทางวิ่งในวงเวียน	ในช่องจราจร	100	64	85	76	88	85	99	95	99	83	26	43	95	99	83
	ขอบซ้ายทางวิ่งวน	0	36	15	24	12	15	1	5	1	17	74	57	5	1	17
ตำแหน่งของรถที่ทางเข้าวงเวียน	ใกล้จุมูกวงเวียน	63	25	31	10	92	31	70	64	78	30	23	24	34	32	50
	ไกลจุมูกวงเวียน	37	75	69	90	8	69	30	36	22	70	77	76	66	68	50
ประเภทรถคันหลังในช่องว่าง	รถจักรยานยนต์	25	64	62	62	64	57	73	88	59	77	60	67	42	74	65
	รถยนต์	75	36	38	38	36	43	27	12	41	23	40	33	58	26	35
ความเร็วรถ (กม./ชม.)	ค่าเฉลี่ย	19.9	18.2	23.3	20.5	17.9	18.5	23.8	24.9	21.2	18.4	19.7	14.7	14.3	17.2	19.8
	S.D.	1.6	3.2	3.0	2.0	3.7	3.3	4.0	4.9	3.4	3.4	3.3	4.0	2.7	3.3	4.6
ขนาดช่องว่างที่ปฏิเสธ (วินาที)	ค่าเฉลี่ย	2.70	1.44	1.73	1.65	1.89	1.95	1.55	1.56	1.85	1.67	1.86	1.76	2.29	1.76	1.77
	S.D.	1.23	0.83	0.90	0.50	0.76	0.87	0.79	0.76	0.76	0.81	0.91	0.67	0.69	0.84	0.81
ขนาดช่องว่างที่ยอมรับ (วินาที)	ค่าเฉลี่ย	5.42	3.36	3.50	3.89	4.54	4.40	4.00	4.25	3.91	4.73	2.82	3.13	4.99	4.42	3.84
	S.D.	1.43	1.64	0.85	1.22	1.17	1.68	1.21	1.50	1.40	2.04	1.67	2.01	1.98	1.78	1.75

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาข้อมูลการตัดสินใจของผู้ขับขี่ในภาพรวม พบว่า ส่วนใหญ่ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียนเลือกปฏิเสธช่องว่าง คิดเป็น 66 เปอร์เซ็นต์ของช่องว่างที่สังเกต ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ส่วนใหญ่ไม่สวมหมวกนิรภัย และไม่มีผู้โดยสาร คิดเป็น 72 และ 84 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในบริเวณทางเข้า ผู้ขับขี่เลือกตำแหน่งด้านใกล้และไกลจุมูกวงเวียนโดยในสัดส่วนเท่ากัน แต่ส่วนมากเลือกขับขี่ในช่องจราจรเมื่อเข้าสู่ทางวิ่งวนในวงเวียน ก่อนเข้าสู่วงเวียน ผู้ขับขี่มีความเร็วเฉลี่ย 19.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (S.D.=4.6) และขนาดของช่องว่างที่ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ยอมรับและปฏิเสธโดยเฉลี่ยคือ 3.84 วินาที (S.D.=1.75) และ 1.77 วินาที (S.D.=0.81) ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาแต่ละทางเข้า พบว่าในบริเวณวงเวียน ค ทิศมุ่งตะวันตก และวงเวียน ง ทิศมุ่งเหนือ ซึ่งเป็นวงเวียน 3 ขา ผู้ขับขี่มักเลือกเข้าวงเวียนในด้านไกลจุมูกวงเวียนและเลือกขับขี่ชิดขอบซ้ายของทางวิ่งวน ทั้งนี้ เนื่องในขาดังกล่าวมีทางเข้ากว้าง และมีรัศมีเบนแนวทางเคลื่อนที่ของรถเข้าสู่วงเวียนกว้างกว่าทิศทางอื่นๆ การเลือกตำแหน่งด้านซ้ายไกลจุมูกวงเวียนและเปิดช่องจราจรด้านซ้ายเพิ่มใหม่ทำให้ผู้ขับขี่สามารถเข้าสู่วงเวียนได้โดยไม่ถูกกายภาพวงเวียนบังคับและไม่ต้องรอจังหวะช่องว่างของรถในทางวิ่งวนในวงเวียน

4.2 ขนาดช่องว่างวิกฤต

จากการประมาณค่าช่องว่างวิกฤตโดยวิธีของ Raff ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าค่าช่องว่างวิกฤตมีค่าเท่ากับ 2.63 วินาที โดยเมื่อแยกพิจารณาในสถานการณ์ที่ผู้ขับขี่คันหลังในช่องว่างเป็นรถยนต์และรถจักรยานยนต์ พบว่าช่องว่างวิกฤตมีค่า 2.86 และ 2.35 วินาทีตามลำดับ



รูปที่ 6 ค่าช่องว่างวิกฤต

4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับช่องว่าง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่สนใจกับการยอมรับช่องว่างของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียนทีละคู่ตัวแปร ผลการวิเคราะห์เพียร์สันไคสแควร์พบว่า ตัวแปรอิสระ 9 ตัว มีความสัมพันธ์กับการยอมรับช่องว่างของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียนอย่างมีนัยสำคัญ โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลทำให้โอกาสในการยอมรับช่องว่างเพิ่มขึ้น ได้แก่ ลักษณะของช่องว่างที่ยอมรับ (p-value = <0.001) ตำแหน่งของรถจักรยานยนต์ที่

ทางเข้าวงเวียน (p-value = <0.001) ขนาดของช่องว่าง (p-value = <0.001) รัศมีของถนนขาเข้า (p-value = <0.001) ประเภทของรถ (p-value = <0.001) ขนาดความกว้างของถนนขาเข้า (p-value = 0.032) และ Radius of deflection (p-value = <0.001) ในขณะที่ปัจจัยที่ลดการยอมรับช่องว่าง ได้แก่ ขนาดความกว้างของถนนภายในวงเวียน (p-value = 0.011) และความเร็วของรถในวงเวียน (p-value = <0.001)

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโลจิสติกส์ทวิเพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับช่องว่างด้วยการตรวจสอบความเชื่อถือได้ของ Model ในสมการที่ตั้งขึ้น โดย การเปรียบเทียบค่าทำนายกับค่าจริง ซึ่งกำหนดค่า Cut value = 0.5 พบว่าข้อมูลจริงเป็น ปฏิเสธช่องว่างจำนวน 534 ครั้งแต่เมื่อมีการใช้สมการที่ตั้งขึ้นมา จะสามารถทำนายว่าเป็น ปฏิเสธช่องว่าง จำนวน 496 ครั้ง นั่นคือทำนายถูกร้อยละ 92.9 และเมื่อข้อมูลจริงเป็น การยอมรับช่องว่าง จำนวน 279 ครั้ง และเมื่อใช้สมการที่สร้างขึ้นมา ทำนายว่า เป็นการยอมรับช่องว่าง 223 ครั้ง นั่นคือทำนายถูกต้องร้อยละ 79.9 ส่งผลให้ภาพรวมของแบบจำลองมีความถูกต้องร้อยละ 88.4 นอกจากนี้ยังมีค่า R^2 ของ Cox & Snell และ Nagelkerke ซึ่งเป็นค่าที่แสดงสัดส่วนหรือร้อยละของการที่ตัวแปรอิสระทุกตัวในสมการสามารถอธิบายการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจในสมการ ในส่วนนี้ Cox & Snell R^2 (R^2_{CS}) = 0.543 หมายความว่าตัวแปรอิสระ 7 ตัว สามารถอธิบายโอกาสที่ผู้ขับขี่จะยอมรับช่องว่างได้ร้อยละ 54.3 และค่า Nagelkerke R^2 (R^2_N) = 0.750 หมายความว่า ตัวแปรอิสระ 7 ตัว สามารถอธิบายโอกาสที่ผู้ขับขี่จะยอมรับช่องว่างได้ร้อยละ 75.0

เมื่อพิจารณาอิทธิพลจากตัวแปรอิสระอื่นร่วมด้วย การศึกษานี้พัฒนาแบบจำลองโลจิสติกส์เพื่อแสดงอิทธิพลของปัจจัยด้านต่างๆ ต่อการยอมรับช่องว่างของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียนโดยใช้วิธี forward Method [14] ดังแสดงในตารางที่ 4 จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร พบว่าตัวแปรในแบบจำลองที่พบมีค่า Tolerance เข้าใกล้ 1 และ VIF < 10 ดังนั้นไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นเกิดขึ้นในแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4 ปัจจัยทุกกลุ่มที่พิจารณามีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลเชิงบวกหรือส่งเสริมให้เกิดการยอมรับช่องว่าง ได้แก่ การเปิดช่องจราจรใหม่ทางด้านซ้ายของทางวิ่งวน ตำแหน่งของรถจักรยานยนต์ที่ด้านไกลจุมกวงเวียน ขนาดช่องว่างที่ใหญ่ขึ้น และ Radius of deflection ในขณะที่ปัจจัยที่ขัดขวางการยอมรับช่องว่าง ได้แก่ การมีผู้โดยสารซ้อนท้าย และ การมีรถยนต์ในวงเวียนเป็นรถคันหลังในช่องว่าง โดยมีรายละเอียดของปัจจัยในแต่ละด้านดังนี้

ในกลุ่มปัจจัยด้านผู้ขับขี่ การศึกษานี้พบว่า อุปกรณ์ความปลอดภัย หรือการสวมหมวกนิรภัยไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการยอมรับช่องว่าง แต่เมื่อผู้ขับขี่มีผู้โดยสารซ้อนท้ายร่วมด้วยจะทำให้โอกาสที่จะปฏิเสธช่องว่างสูงกว่า การไม่มีผู้โดยสารซ้อนท้าย 0.384 เท่า หรือ เมื่อมีผู้โดยสารมีโอกาสที่ผู้ขับขี่จะยอมรับช่องว่างลดลงร้อยละ 61.6 ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการมีผู้โดยสารทำให้รถจักรยานยนต์มีน้ำหนักมากขึ้นและการออกตัวของรถจักรยานยนต์ช้าลงส่งผลให้ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ต้องการช่องว่างที่มีขนาดใหญ่กว่าผู้ขับขี่ที่ไม่มีผู้โดยสาร

นอกจากนั้น ผู้ขับขี่ที่มีตำแหน่งไกลจุมกวงเวียนและมีตำแหน่งด้านขอบซ้ายของทางวิ่งวนจะมีโอกาสยอมรับช่องว่างสูงกว่าผู้ขับขี่ที่มีตำแหน่งใกล้จุมกวงเวียน และวิ่งในทางวิ่งวน 2.520 เท่า และ 26.665 เท่า ตามลำดับ ทั้งนี้ อาจเนื่องจาก ผู้ขับขี่ในแนวการเคลื่อนที่นี้สามารถหลบหลีกความขัดแย้งในทางวิ่งวนได้ จึงมีโอกาสยอมรับช่องว่างสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Shaaban และ Kusuma [8-9]

ในกลุ่มปัจจัยด้านสภาพการจราจร การศึกษานี้พบว่า ความเร็วของรถที่เข้าใกล้วงเวียนไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน แต่ประเภทรถคันหลังในช่องว่างที่เป็นรถยนต์จะทำให้โอกาสที่จะปฏิเสธช่องว่างสูงกว่า ประเภทรถคันหลังในช่องว่างเป็นรถจักรยานยนต์ 0.294 เท่า หรือ ประเภทรถคันหลังในช่องว่างเป็นรถยนต์มีโอกาสที่ผู้ขับขี่จะยอมรับช่องว่างลดลงร้อยละ 70.6 ทั้งนี้ อาจเนื่องจากขนาดของรถคู่กรณีที่เปิดช่องว่างที่มีขนาดใหญ่กว่าทำให้ผู้ขับขี่ตระหนักถึงความรุนแรงของอันตรายที่เกิดจากการชนมากกว่า ซึ่งตรงข้ามกับผลการศึกษาของ Kusuma [9]

นอกจากนั้น การศึกษานี้ยังพบว่า ขนาดช่องว่าง มีผลต่อการยอมรับช่องว่าง โดยเมื่อช่องว่างมีขนาดใหญ่ขึ้น 1 วินาที มีโอกาสที่ผู้ขับขี่จะยอมรับช่องว่างสูงขึ้น 7.877 เท่า เนื่องจากขนาดช่องว่างที่ใหญ่ขึ้นทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกปลอดภัยในการยอมรับช่องว่างมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Rodgers [10]

ในกลุ่มปัจจัยด้านกายภาพวงเวียน การศึกษานี้พบว่า ขนาดความกว้างของถนนภายในวงเวียน ขนาดความกว้างของถนนขาเข้า รัศมีของถนนขาเข้า จำนวนขาของวงเวียน และทิศทางของขาวงเวียน ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน อย่างไรก็ตาม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกาะกลางวงเวียน ที่เพิ่มขึ้น 1 เมตร ส่งผลให้ผู้ขับขี่มีโอกาสยอมรับช่องว่างสูงขึ้น 1.074 เท่า แตกต่างจากผลการศึกษาของ Rodgers [10] อาจเนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกาะกลางของวงเวียนที่มีขนาดใหญ่ทำให้ระยะการรับรู้ของผู้ขับขี่รู้สึกปลอดภัยกว่าเมื่อ มองว่ารถที่เคลื่อนที่ในวงเวียนใช้เวลาการเคลื่อนที่มากกว่า ในความเร็วที่เท่ากันเมื่อเทียบกับวงเวียนขนาดเล็กกว่า

นอกจากนี้ การศึกษานี้พบว่า Radius of deflection หรือ รัศมีการเบนแนวทางเคลื่อนที่ ที่เพิ่มขึ้น 1 เมตร มีโอกาสที่ผู้ขับขี่จะยอมรับช่องว่างสูงขึ้น 1.009 เท่า เนื่องจากเมื่อผู้ขับขี่เข้าสู่วงเวียนด้วยแนวการเคลื่อนที่ที่ค่อนข้างตรงผ่านวงเวียน ไม่ต้องเคลื่อนที่ในลักษณะเส้นโค้ง จะมีอิสระในการเข้าสู่วงเวียนมากขึ้น ทำให้โอกาสในการยอมรับช่องว่างสูงขึ้น ยอมรับช่องว่างง่ายขึ้น

ผลการศึกษานี้ให้ข้อสังเกตถึงบริบทการรับรู้และการตัดสินใจของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่บริเวณทางเข้าวงเวียนในเขตมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในด้านผู้ขับขี่ ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่มีผู้โดยสารซ้อนท้ายซึ่งลดความสามารถในการยอมรับช่องว่างมักเลือกปฏิเสธช่องว่าง ผู้ขับขี่ที่เลือกเข้าวงเวียนในด้านไกลจุมกวงเวียนและเลือกชิดซ้ายในทางวิ่งวนจะยอมรับช่องว่างมากกว่าตามช่องจราจรเดิมเมื่อต้องการอยู่ในวงเวียนต่อ ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวอาจเกิดจากผู้ขับขี่พยายามหลีกเลี่ยงการเผชิญหน้ากับรถในกระแสจราจรในวง

เวียน และ และเลือกอยู่ในตำแหน่งที่สามารถเข้าสู่วงเวียนได้อย่างอิสระมากขึ้น

ในด้านสภาพการจราจร ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียนมักปฏิเสธช่องว่างที่เกิดจากประเภทรถคันหลังในช่องว่างเป็นรถยนต์ และผู้ขับขี่มักเลือกช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวอาจเกิดจาก ผู้ขับขี่มีความตระหนักถึงความรุนแรงของอันตรายที่เกิดจากการชนกับรถที่มีขนาดใหญ่กว่าและเลือกขนาดช่องว่างที่ใหญ่ทำให้รู้สึกถึงความปลอดภัยในการที่จะยอมรับ

ในด้านกายภาพวงเวียนผู้ขับขี่มีแนวโน้มที่จะยอมรับช่องว่างมากขึ้นในวงเวียนที่มีรัศมีการเบนแนวทางการเคลื่อนที่ค่อนข้างเป็นเส้นตรง ทำให้ผู้ขับขี่จะยอมรับช่องว่างและเข้าสู่วงเวียนได้ง่ายขึ้น

ตารางที่ 4 แบบจำลองโลจิสติกส์แสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับช่องว่างของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน

	ปัจจัย	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	Collinearity Statistics	
								Tolerance	VIF
ด้านผู้ขับขี่	ผู้โดยสาร	-0.956	0.354	7.306	1	0.007	0.384	0.974	1.026
	ตำแหน่งของรถจักรยานยนต์ในทางวิ่งวน	3.283	0.381	74.153	1	<0.001	26.665	0.646	1.549
	ตำแหน่งของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน	0.924	0.279	10.992	1	<0.001	2.520	0.748	1.337
สภาพการจราจร	ประเภทของรถ	-1.226	0.296	17.165	1	<0.001	0.294	0.845	1.184
	ขนาดช่องว่าง	2.064	0.165	156.097	1	<0.001	7.877	0.848	1.179
กายภาพวงเวียน	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกาะ	0.071	0.035	4.011	1	0.045	1.074	0.687	1.455
	Radius of deflection	0.008	0.002	19.724	1	<0.001	1.009	0.687	1.455
ค่าคงที่		-9.188	1.149	63.987	1	<0.001	0.000		
-2 log likelihood		409.122							
Cox & Snell R Square		0.543							
Nagelkerke R Square		0.750							

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้พบว่าการ ความเร็วของรถที่เข้าใกล้ ขนาดความกว้างของถนนภายในวงเวียน ขนาดความกว้างของถนนขาเข้า รัศมีของถนนขาเข้า จำนวนขาของวงเวียน และทิศทางของขาวงเวียน ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน

ทั้งนี้ผู้วิจัยสังเกตเห็นถึง ความเร็วของรถในวงเวียน มีรูปแบบความเร็วไม่แตกต่างกัน ซึ่งแตกต่างจากสมมติฐานเดิมที่กำหนดไว้ และงานวิจัยที่ผ่านมา [10] อาจเนื่องจากถูกเรขาคณิตของวงเวียนบังคับให้มีความเร็วที่ต่ำ ทำให้ความเร็วของรถที่เข้าใกล้ไม่มีอิทธิพลต่อการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน และกายภาพของวงเวียนต่างๆ มีลักษณะการออกแบบตามมาตรฐานใกล้เคียงกัน ทำให้ไม่มีอิทธิพลต่อการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียน แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกาะกลางวงเวียนที่ใหญ่ขึ้นทำให้ผู้ขับขี่มักจะยอมรับช่องว่าง ซึ่งแตกต่างจากสมมติฐานเดิมที่กำหนดไว้ และงานวิจัยที่ผ่านมา Rodgers [10] อาจเพราะการศึกษานี้ทำในบริบทของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งผู้ขับขี่โดยมากเป็นนักศึกษาและบุคลากร ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างที่อาจไม่สามารถสะท้อนลักษณะผู้ขับขี่โดยทั่วไป

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาค่าช่องว่างวิกฤตของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียนและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่ การเก็บข้อมูลในบริเวณทางเข้าวงเวียนภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่นทั้งหมด 14 จุด จาก 4 วงเวียน ได้แก่ วงเวียนบริเวณตึกอธิการบดี วงเวียนบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ วงเวียนบริเวณหอพักชายที่ 16 วงเวียนบริเวณคณะเทคนิคการแพทย์ บันทึกข้อมูลพฤติกรรมการยอมรับช่องว่างที่ทางเข้าวงเวียน โดยใช้ โดรน UAV สังเกตและบันทึกข้อมูลการตัดสินใจของผู้ขับขี่ต่อการยอมรับหรือปฏิเสธช่องว่าง 813 ครั้ง วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาประมาณค่าช่องว่างวิกฤตซึ่งเป็นช่องว่างที่เล็กที่สุดที่ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์จะยอมรับ ด้วยวิธีของ raff ทำการทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรด้วยเทคนิคการทดสอบเพียร์สันไคสแควร์ และใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยทวิเพื่ออธิบายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับช่องว่าง

ผลการศึกษาพบว่า ค่าช่องว่างวิกฤตของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ในบริเวณทางเข้าวงเวียนมีค่าเท่ากับ 2.63 วินาที โดยช่องว่างวิกฤติเมื่อรถคู่กรณีเป็นรถจักรยานยนต์และรถยนต์มีค่า 2.35 และ 2.86 ตามลำดับโดยผลของค่าช่องว่างวิกฤตในการศึกษานี้สามารถนำไปอ้างอิง หรือใช้ในการเปรียบเทียบและเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการตรวจสอบความจุและความล่าช้าของวงเวียนต่อไปได้ ผลจากแบบจำลองโลจิสติกส์แบบทวิอธิบายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับช่องว่าง ประกอบด้วย ปัจจัยด้านผู้ขับขี่ สภาพการจราจร และกายภาพวงเวียน โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลทำให้โอกาสยอมรับช่องว่างมากขึ้น คือ ผู้ขับขี่ที่เลือกเข้าวงเวียนในด้านไกลจมูกวงเวียนและเลือกชิดซ้ายในทางวิ่งวน ขนาดของช่องว่างใหญ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกาะกลางวงเวียนที่มีขนาดใหญ่ และรัศมีการเบนแนวทางเคลื่อนที่กว้าง ในขณะที่ปัจจัยที่มีอิทธิพลที่ทำให้การยอมรับช่องว่างลดลงคือ การมีผู้โดยสารซ้อนท้าย และในกรณีที่รถคันหลังในช่องว่างเป็นรถยนต์

ปัจจัยที่อธิบายพฤติกรรมการยอมรับช่องว่างที่พบในการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการปรับปรุงกายภาพเพื่อความปลอดภัยใน

บริเวณวงเวียนในเขตมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยถนนในวงเวียนบริเวณหอพักชายที่ 16 จากทิศตะวันตกทางเข้าวงเวียนสู่ทางออกวงเวียนทิศตะวันออก และ วงเวียนบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จากทางเข้าวงเวียนทิศใต้สู่ทางออกวงเวียนทิศเหนือ มีรัศมีการเบนแนวทางเคลื่อนที่ ค่อนข้างที่จะเป็นเส้นตรง ซึ่งอาจทำให้ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์มีอิสระต่อการเลือกตำแหน่งในการยอมรับช่องว่างและเข้าสู่วงเวียน ได้โดยง่าย และบริเวณดังกล่าวไม่ถูกเรขาคณิตของวงเวียนบังคับแนวทางวิ่ง อาจทำให้เกิดการขัดแย้งกันและนำมาสู่การชนที่รุนแรงในวงเวียนได้ ดังนั้นควรพิจารณาปรับปรุงเรขาคณิตในบริเวณทางเข้าวงเวียนให้สามารถควบคุมแนวทางวิ่งของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ได้

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผลการศึกษานี้ทำขึ้นในบริบทถนนในมหาวิทยาลัย ซึ่งอาจมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากระบบถนนวงเวียนทั่วไป และสนใจศึกษาเพียงการยอมรับช่องว่างของรถจักรยานยนต์ที่ทางเข้าวงเวียนโดยอยู่ในขอบเขตการจราจรที่เป็นเนื้อเดียว ดังนั้น เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับการยอมรับช่องว่างของรถจักรยานยนต์ที่วงเวียนมากขึ้น ควรมีการเพิ่มพื้นที่ศึกษาให้มากขึ้นและมีลักษณะรูปแบบของวงเวียนและสภาวะการจราจรที่หลากหลาย และควรคำนึงถึงปัจจัยและตัวแปรอื่นๆที่ไม่สังเกตเห็น ทั้งในด้านลักษณะของผู้ขับขี่ ที่อาจส่งผลต่อการยอมรับช่องว่างได้ และตำแหน่งการยอมรับช่องว่างอื่นๆ ที่นอกเหนือจากทางเข้า มุมมองหรือทัศนวิสัยในการเข้าสู่วงเวียน ซึ่งจะส่งผลให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของรถจักรยานยนต์ที่วงเวียน และนำไปปรับปรุงออกแบบวงเวียนให้มีประสิทธิภาพและความปลอดภัยยิ่งขึ้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุ เพื่อเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน.(2565). *อุบัติเหตุทางถนนประเทศไทย ThaiRSC,* ค้นเมื่อ 14 ธันวาคม 2565, แหล่งที่มา http://www.thairsc.com

[2] World Health Organization (2018) *GLOBAL STATUS REPORT ON ROAD SAFETY* Geneva, Switzerland., pp.4-10.

[3] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจรสำนักแผนความปลอดภัย (2562). *รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนนของกระทรวงคมนาคม 2562.* สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจรสำนักแผนความปลอดภัย,หน้า 62.

[4] กรมทางหลวง (2563). *อุบัติเหตุจราจรบนทางหลวงแผ่นดิน ปี 2563.* สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, หน้า 5-17.

[5] สำนักงานรักษาความปลอดภัยและการจราจร มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2563). *รายงานสรุปสถิติสถานที่เกิดอุบัติเหตุ ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2562-2563.* ค้นเมื่อ 8 เมษายน 2566, แหล่งที่มา https://sd.kku.ac.th/home/mis-services/statistic/statistic-accident

[6] Jamal, A., Ijaz, M.; Almosaeah, M., Al-Ahmadi, H.M., Zahid, M., Ullah, I., Mamlook, R.E.A. (2022) Implementing the Maximum Likelihood Method for Critical Gap Estimation under Heterogeneous Traffic Conditions. *Sustainability*, pp.2.

[7] Guo R, Liu L, Wang W (2019) Review of Roundabout Capacity Based on Gap Acceptance. *Hindawi Journal of Advanced Transportation Volume* 2019, pp.2-3.

[8] Cole D Fitzpatrick, Abrams D., Tang Y., Knodler M. (2013) Spatial and Temporal Analysis of Driver Gap Acceptance Behavior at Modern Roundabouts. *Transportation Research Record Volume 2383,* Issue 1, pp.14-20.

[9] Shaaban K, Hassan H (2022) Critical Gap Comparison between One-, Two-, and Three-Lane Roundabouts in Qatar. *Sustainability 2020, Vol. 12,* pp.4232.

[10] Kusuma A, Koutsopoulos H (2011) Critical Gap Analysis of Dual Lane Roundabouts. 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service Stockholm, Sweden, June 28-July 1, 2011 Procedia - Social and Behavioral Sciences, pp.709-717.

[11] Rodgers M. O., Gbologah F., Wei A. (2022) Evaluation of Factors Influencing Roundabout Performance in Atlanta. *Transportation Research Record Volume 2676,* Issue 9, pp.216 – 229.

[12] Miller, A. J. (1972). Nine Estimators of gap-acceptance parameters. Publication of: Traffic Flow and Transportation. (Ed. Newell). *Proceedings International Symposium on the Theory of Traffic flow and Transportation*, *American Elsevier Publishg Co.*, pp.215-35

[13] Troutbeck, R.J.(2016). Revised Raff's Method for Estimating Critical Gaps. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp.1–9.

[14] Wanishbuncha K, Wanishbuncha T.Using SPSSfor Windows analyzingdata.Bangkok: (2018) *Samlada, Thai.*

[15] Pinyo T. (2019) The Study on the Report of the Logistic Regression Analysis. *Results in Research Work Humanities, Social Sciences and arts Volume 12* Number 5 September – October 2019, pp.548.