

พฤติกรรมการใช้ความเร็วและการตัดสินใจของผู้ขับขี่ที่เข้าทางแยกในช่วง สัญญาณไฟเหลือง: กรณีศึกษาทางแยกความเร็วสูงสภาพการจราจร แบบผสมในเขตเมือง

Driver's Speed and Stop/go Decision During the Onset of Yellow: A High-Speed Urban Mixed Traffic Intersection Case Study

ศิวะ บัวโฮม (Siwa Buahom)^{1*} ดร.วิชุดา เสถียรนาม (Dr.Wichuda Satiennam)**

ดร.ธเนศ เสถียรนาม (Dr.Thaned Satiennam)***

(Received: April 5, 2019; Revised: May 31, 2019; Accepted: June 10, 2019)

บทคัดย่อ

ช่วงเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟเป็นช่วงเวลาคับขันซึ่งมีความเสี่ยงในการชนที่ทางแยกสูง การศึกษานี้ศึกษาพฤติกรรมการใช้ความเร็วและการตัดสินใจหยุด/ไปของผู้ขับขี่ที่เข้าสู่ทางแยกในช่วงเวลาไฟเหลือง การศึกษานี้ใช้กล้องวิดีโอแบบทอปวิวจากมุมสูงเพื่อศึกษาพฤติกรรมของผู้ขับขี่ 824 คน ที่เข้าสู่ทางแยกความเร็วสูงขนาดใหญ่ในเขตเมืองซึ่งมีสภาพการจราจรแบบผสม ผลการศึกษาพบว่าความเร็วรถเข้าทางแยกศึกษามีค่าต่ำกว่าความเร็วรถเข้าแยกซึ่งจำกัดความเร็วที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเท่ากันในประเทศ ผู้ขับขี่รถยนต์และรถจักรยานยนต์มีพฤติกรรมการเข้าทางแยกที่แตกต่างกัน ทั้งในเรื่องการเลือกใช้ความเร็ว และการตัดสินใจหยุด/ไป โดยผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์มักจะเลือกใช้ความเร็วต่ำกว่า และมีแนวโน้มที่จะตัดสินใจข้ามทางแยกเมื่ออยู่ไกลจากเส้นหยุดกว่ารถยนต์ หรือแม้เมื่อตกอยู่ในเขตหนีเลี้ยวปะทะจะชนบริเวณปากทางเข้าทางแยก ผลการศึกษาชี้ให้เห็นความเสี่ยงต่อการชนและการบาดเจ็บสาหัสในกลุ่มผู้ใช้รถจักรยานยนต์ที่ใช้นถนนปะปนกับรถยนต์ด้วยความเร็วสูงบริเวณทางแยก และเสนอให้มีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นด้านความปลอดภัยของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์

ABSTRACT

The signal transition period is the critical time at the signalized intersection. This study reveals driver's approaching speed and stop/go decisions during the onset of yellow light. The top-view video camera is used to record 824 driver's behavior approaching to the high-speed urban signalized intersection. The results found that the vehicles' approaching speed in this study is lower than those in the developed country, with the same speed limit of 80 km/hr. The behavior of passenger cars and motorcyclists are different both in terms of speed choices and stop/go decisions. The motorcyclists have a lower approaching speed. They are more likely to decide to pass the intersection although they have longer distance behind the stop line or trapped in the intersection's dilemma zones. This study points out that the motorcyclists are vulnerable road user with high risk exposure and severity in high-speed mixed traffic intersection and suggest that further researches are needed to cope with these highlighted safety problems.

คำสำคัญ: เขตหนีเลี้ยวปะทะ จะชน ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ การชนบนถนน

Keywords: Dilemma zone, Motorcyclist, Road crash

¹ Correspondent author: martsiwabuahom@gmail.com

*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ในประเทศไทย การตายจากอุบัติเหตุถนนเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไข จากการรายงานของ World Health Organization (WHO) ปี 2015 พบว่าประเทศไทยมีอัตราการตายจากอุบัติเหตุสูงถึง 36.2 คนต่อแสนประชากร ซึ่งจัดอยู่ในอันดับสองของโลก [1] หนึ่งในนั้นคือการชนกันที่ทางแยกในกรณีทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร แม้จังหวะสัญญาณไฟจราจรจะช่วยแยกรถให้ผ่านทางแยกคนละเวลา (Time separation) แต่การชนยังมักจะเกิดขึ้นในช่วงเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ (Transition period) ซึ่งนับเป็นช่วงเวลาคับขันซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อผู้ขับขี่ เพราะเมื่อสัญญาณไฟเหลืองปรากฏขึ้น ผู้ขับขี่ที่กำลังเข้าทางแยกจะต้องตัดสินใจว่าจะหยุดหรือผ่านทางแยกไป การออกแบบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม จะช่วยให้ผู้ขับขี่กลุ่มนี้สามารถหยุดก่อนเส้นหยุดได้อย่างนุ่มนวลหรือขับผ่านทางแยกได้อย่างปลอดภัยก่อนที่จะสัญญาณไฟแดงจะปรากฏขึ้น ตรงกันข้าม หากออกแบบสัญญาณไฟไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดเขตอันตรายปะทะที่ทางแยก (Dilemma zone) ผู้ขับขี่ที่ตกอยู่ในสถานการณ์นี้จะไม่สามารถหยุดได้ทันก่อนถึงเส้นหยุดหรือไปไม่พ้นทางแยกก่อนสัญญาณไฟแดงจะปรากฏขึ้น สถานการณ์ที่ผู้ขับขี่ไม่มีทางเลือกที่ปลอดภัยนี้ อาจส่งผลต่อการแสดงพฤติกรรมเสี่ยงในลักษณะต่างๆ และอาจจะนำไปสู่การชนท้ายในบริเวณเข้าทางแยก หรือการชนด้านข้างบริเวณกลางทางแยกได้

ในทางทฤษฎี ช่วงเวลาเปลี่ยนจังหวะสัญญาณที่เหมาะสมขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ความเร็วของรถที่เข้าสู่ทางแยก ความหน่วงในการเบรกรถ และสภาพทางแยก วิธีการคำนวณเวลาสัญญาณไฟในปัจจุบันพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานพฤติกรรมของผู้ขับขี่ในต่างประเทศ บนสมมติฐานของลักษณะผู้ขับขี่ใช้ถนน ลักษณะสภาพถนน และสภาพการจราจรในประเทศที่พัฒนาแล้ว ซึ่งยวดยานที่เข้าสู่ทางแยกสัญญาณไฟในเขตเมืองมีลักษณะใกล้เคียงกัน มีขนาด น้ำหนัก และความเร็วที่ไม่แตกต่างกันมากนัก (Homogeneous characteristics) [2-3] ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากความพยายามในการออกแบบและดำเนินการระบบถนนตามหน้าที่ในการให้บริการ (Functional classifications) ควบคุมการเชื่อมต่อถนนประเภทต่างๆ เข้าด้วยกันตามลำดับชั้นที่เหมาะสม ควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินสองข้างทาง ควบคุมประเภทรถและความเร็วที่สอดคล้องกับบริบทและหน้าที่ของถนนประเภทนั้นๆ อย่างไรก็ตาม ถนนในประเทศไทยไม่มีการวางแผนและดำเนินการระบบถนนในลักษณะดังกล่าว ปัจจุบัน ถนนสายหลักในเขตเมืองให้บริการการเคลื่อนที่และการเข้าออกสองข้างทางไปพร้อมๆ กัน มีการพัฒนาที่ดินตามแนวสองข้างถนนและเชื่อมต่อถนนสายย่อยสองข้างทางเข้าสู่ถนนสายหลัก ขาดประสิทธิภาพการควบคุมประเภทและความเร็วรถ เช่น ตามกฎหมายยังคงบังคับความเร็วจำกัดในเขตเมืองไว้สูงถึง 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รวมทั้งมีผู้ใช้ถนนที่มีความเสี่ยงสูงต่อการบาดเจ็บ (Vulnerable road users) เช่น ผู้ใช้รถจักรยานยนต์และคนเดินเท้า ใช้ถนนปะปนกับรถบรรทุกและยวดยานอื่นๆ ซึ่งใช้ถนนด้วยความเร็วสูง ภายใต้บริบทถนนที่แตกต่างกันนี้ การนำวิธีการจากต่างประเทศมาใช้โดยตรง อาจไม่สามารถอำนวยความสะดวกปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่ในช่วงเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟในบริเวณทางแยกในเขตเมืองได้

ภายใต้บริบทและข้อจำกัดดังกล่าว จำเป็นอย่างยิ่งที่วิศวกรผู้ออกแบบถนน ควรมีข้อมูลด้านพฤติกรรมการขับขี่ รวมทั้งปัจจัยพื้นฐานต่างๆ ในการออกแบบภายใต้บริบทของการจราจรในประเทศ ดังนั้นการศึกษานี้จึงสนใจศึกษาพฤติกรรมการใช้ความเร็วเข้าทางแยกและการตัดสินใจหยุด/ไปของผู้ขับขี่ที่เข้าสู่ทางแยกในช่วงเวลาไฟเหลืองในสภาพการจราจรแบบผสม เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้วิธีการจากต่างประเทศในการออกแบบสัญญาณไฟในเขตเมืองในประเทศไทยให้สามารถอำนวยความสะดวกปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่

ทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมา

1. สัญญาณไฟเหลืองและไฟแดงทุกด้าน

ช่วงเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม ต้องถูกออกแบบให้เอื้อต่อการเคลื่อนที่ผ่านทางแยก และปกป้องผู้ขับขี่ไม่ให้เกิดการชนในช่วงการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ (Transition period) ผู้ออกแบบจะต้องออกแบบไฟเหลืองให้ผู้ขับขี่สามารถรับรู้และตัดสินใจหยุดหรือผ่านทางแยกได้ ป้องกันการชนท้ายบริเวณก่อนถึงทางแยก และออกแบบไฟแดงทุกด้านเพื่อเคลียร์รถบริเวณทางแยกให้หมดก่อนที่สัญญาณไฟเขียวจังหวะต่อไปจะปรากฏ เพื่อป้องกันไม่ให้รถในจังหวะต่อไปมาชนข้าง

ITE [2] ได้แนะนำสูตรในการคำนวณเวลาสัญญาณไฟเหลืองดังสมการที่ (1) และเวลาไฟแดงทุกด้านดังสมการที่ (2)

$$y = t + \frac{v}{2a+2Gg} \quad \text{สมการที่ (1)}$$

เมื่อ y คือ ความยาวช่วงเวลาไฟเหลือง (วินาที) t คือ ระยะเวลาการตอบสนองของผู้ขับขี่ (แนะนำให้ใช้ 1 วินาที) v คือ ความเร็วเข้าสู่ทางแยก (เมตร/วินาที) a คือ อัตราหน่วงของผู้ขับขี่ (แนะนำให้ใช้ 3.4 เมตร/วินาที²) g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (10 เมตร/วินาที²) และ G คือ เปอร์เซ็นต์ความชันเข้าสู่ทางแยก (เปอร์เซ็นต์/100, ลงเนิน G เป็นลบ)

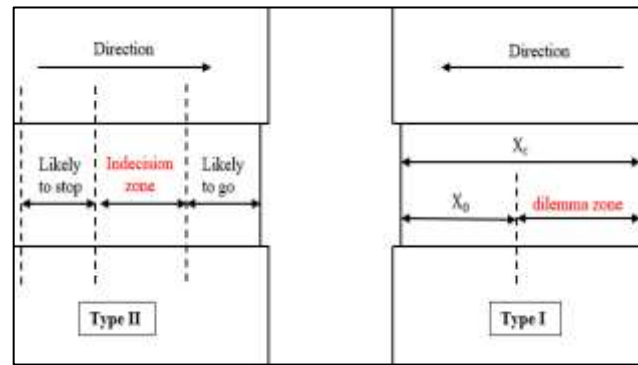
$$r = \frac{W+L}{v} \quad \text{สมการที่ (2)}$$

เมื่อ r คือ ความยาวช่วงเวลาไฟแดงทุกด้าน (วินาที) W คือ ระยะทางข้ามแยก โดยวัดจากเส้นหยุดถึงตำแหน่งไกลที่สุดที่ไม่มีการขัดแย้งของจราจรจากทิศทางอื่น (เมตร) L คือ ความยาวยานพาหนะ (เมตร) และ v คือ ความเร็วออกแบบ (เมตร/วินาที)

2. เขตหนีเสือปะจระเข้

เมื่อขับรถเข้าใกล้ทางแยกในช่วงท้ายไฟเขียว และไฟเหลืองปรากฏขึ้น ระยะเวลาไฟเหลืองที่พึงประสงค์ต้องเอื้อให้ผู้ขับขี่ที่ยังอยู่ไกลจากเส้นหยุดควรสามารถหยุดรถหลังเส้นหยุดได้อย่างนุ่มนวล ไม่ถูกรถที่ตามหลังมาชนท้าย ส่วนผู้ขับขี่ที่อยู่ใกล้เส้นหยุด ไม่สามารถหยุดรถอย่างปลอดภัย ก็ควรสามารถผ่านทางแยกไปด้วยความเร็วคงที่ (ตามความเร็วที่ออกแบบ) ก่อนที่ไฟแดงจะปรากฏ [4]

ระยะเวลาไฟเหลืองที่ไม่เหมาะสม อาจส่งผลให้ผู้ขับขี่ติดอยู่ในสถานการณ์ที่ไม่มีทางเลือก สัญญาณไฟเหลืองปรากฏขึ้นในตำแหน่งที่ไม่สามารถหยุดรถได้ทันอย่างปลอดภัย และในขณะเดียวกันก็ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกได้ทันก่อนไฟแดงจะปรากฏ สถานการณ์ที่ผู้ขับขี่ หยุดไม่ได้ ไปไม่ทัน นี่ขึ้นกับความเร็ว และสามารถวิเคราะห์ได้ภายใต้ชื่อ เขตหนีเสือปะจระเข้ (Dilemma zone type 1) ซึ่งขึ้นอยู่กับการเร็วเข้าทางแยกและพารามิเตอร์ต่างๆของทางแยก ดังแสดงในสมการที่ (3) และ (4) ซึ่งทางแยกนั้นจะมีเขตหนีเสือปะจระเข้เกิดขึ้นเมื่อระยะ X_c มากกว่า X_0 โดยจะเกิดเขตหนีเสือปะจระเข้บนช่วงถนนจากระยะ X_0 ไปจนถึง X_c ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เขตหนีเลี้ยวปะทะประเภทที่ 1 และ 2

$$X_c = v_0 \delta_1 + \frac{v_0^2}{2a_1} \quad \text{สมการที่ (3)}$$

$$X_0 = v_0 \tau - w - L \quad \text{สมการที่ (4)}$$

เมื่อ X_c คือ ระยะทางจากเส้นหยุดที่น้อยที่สุดที่รถจะสามารถหยุดได้อย่างสบาย (เมตร) X_0 คือ ระยะทางจากเส้นหยุดที่มากที่สุดที่รถจะสามารถผ่านทางแยกไปได้ก่อนหมดเวลาไฟเหลือง (เมตร) v_0 คือ ความเร็วเข้าสู่ทางแยก (เมตร/วินาที) δ_1 คือ ระยะเวลาการตอบสนองของผู้ขับขี่ (วินาที) a_1 คือ อัตราหน่วงของผู้ขับขี่ (เมตร/วินาที²) τ คือ ระยะเวลาไฟเหลือง (วินาที) w คือ ความกว้างของทางแยก (เมตร) และ L คือ ความยาวของรถ (เมตร)

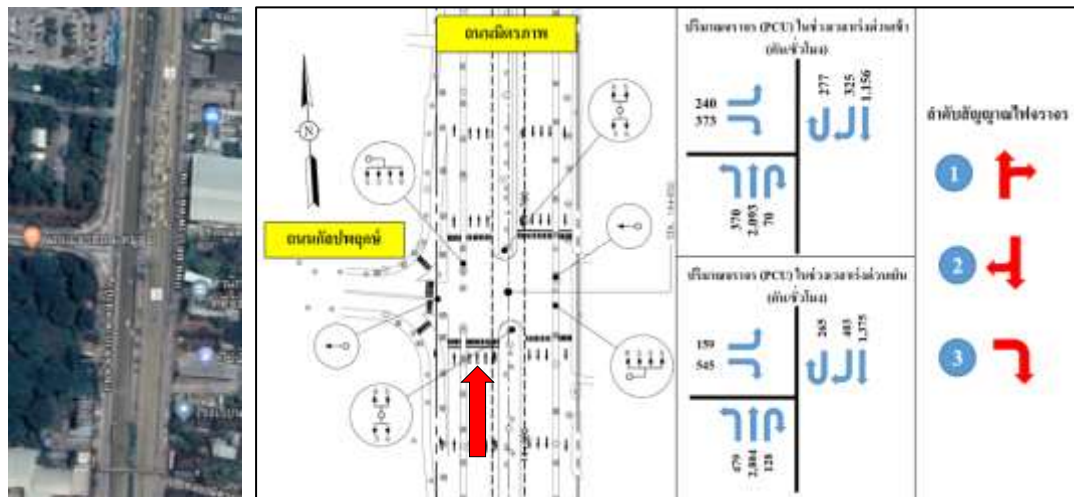
งานวิจัยที่ผ่านมา ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้ขับขี่ในเขตหนีเลี้ยวปะทะ เช่น พบว่าผู้ขับขี่ส่วนใหญ่จะตกอยู่ในเขตหนีเลี้ยวปะทะเมื่อใช้ความเร็วสูงเข้าทางแยก [5] สามารถนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยผู้ขับขี่ที่ตกอยู่ในเขตหนีเลี้ยวปะทะที่ทางแยกได้ในลักษณะต่างๆ เช่น การใช้ระบบการเตือนผู้ขับขี่ที่ตกอยู่ในเขตหนีเลี้ยวปะทะแบบระบุตำแหน่งลงบนพื้นถนนและการใช้สัญญาณเตือนแบบไฟกระพริบ โดยผลจากการศึกษาในเครื่องทดลอง (Simulator) พบว่าวิธีนี้ช่วยลดความเสี่ยงในการชนท้ายและการฝ่าไฟแดงได้เป็นอย่างดี [6] การติดตั้งกล้องตรวจจับและสัญญาณไฟกระพริบเพื่อเตือนผู้ขับขี่ โดยผลการสังเกตพฤติกรรมการขับขี่พบว่า การติดตั้งกล้องตรวจจับและสัญญาณไฟกระพริบล่วงหน้าช่วยเพิ่มโอกาสในการหยุดที่ทางแยก [7] การติดตั้งระบบการตรวจจับและเตือนผู้ขับขี่ (Detection-Control System, D-CS) ที่เข้าสู่ทางแยกความเร็วสูงในเขตชนบท ผลจากการทดลองใช้ระบบนี้แสดงให้เห็นว่า หลังจากใช้งานระบบ การฝ่าไฟแดง และยานพาหนะที่ตกอยู่ในเขตหนีเลี้ยวปะทะลดลงถึง 68% และ 57 % ตามลำดับ [8] นอกจากนี้ งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการเสนอมาตรการเพื่อลดการฝ่าไฟเหลืองในกลุ่มผู้ขับขี่ที่ไม่มีเจตนาในการฝ่าฝืน รวมไปถึงการตกอยู่ในเขตหนีเลี้ยวปะทะโดยการใช้ระบบสัญญาณไฟอัจฉริยะ [9]

วิธีการวิจัย

1. สถานที่ศึกษา

การศึกษานี้เลือกสามแยกสัญญาณไฟจราจรบนถนนมิตรภาพในเขตเมืองขอนแก่นเป็นสถานที่ศึกษา หน้าตัดถนนสายหลักช่วงก่อนเข้าทางแยกมีลักษณะขยายเต็ม (Ultimate cross-section) บนเขตทางขนาด 60 เมตร แต่ละทิศทาง มีจำนวนช่องจราจรในทางหลัก 4 ช่องจราจร และมีจำนวนช่องจราจรในทางคู่ขนาน 2 ช่อง

จราจร และเพิ่มช่องจราจรสำหรับรถเลี้ยวขวาบริเวณทางแยก 1 ช่องจราจร จำกัดความเร็วที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สภาพการจราจรเป็นแบบผสมมีรถจักรยานยนต์ใช้ทางร่วมกับรถยนต์ ความคุมทางแยกด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาคงที่และมีการแสดงตัวเลขนับเวลาถอยหลัง สัญญาณไฟเหลืองยาว 5 วินาที ไฟแดงทุกด้านยาว 2 วินาที รอบสัญญาณไฟ 130 วินาที และระยะทางข้ามแยกบนทางหลัก 32 เมตร และมีข้อมูลภาพถ่ายทางแยก [10] ปริมาณจราจร [11] และจังหวะสัญญาณไฟ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ทางแยกศึกษา

2. การเก็บข้อมูลพฤติกรรมรถจักรยานยนต์

การศึกษานี้ติดตั้งกล้องวิดีโอบนเสาสูงเพื่อบันทึกข้อมูลการจราจรบนสะพานลอยที่ระดับความสูง 8 เมตร ห่างจากเส้นหยุดที่ทางแยก 160 เมตร ช่วงเวลาในการบันทึกข้อมูลเป็นช่วงกลางวันในเวลาไม่เร่งด่วน (8:30-16:30 น.) เป็นระยะเวลา 5 วัน จากข้อมูลที่บันทึกได้จะเลือกสังเกตพฤติกรรมของรถยนต์และรถจักรยานยนต์ที่อยู่ภายในระยะ 150 เมตรจากเส้นหยุดในช่วงสัญญาณไฟเหลืองปรากฏ เฉพาะกลุ่มผู้ขับขี่ทางตรงในช่องจราจรหลักที่มุ่งเหนือ โดยจะทำการสังเกตชนิดรถ ระยะห่างจากเส้นหยุดเมื่อไฟเหลืองปรากฏ ความเร็วรถ และพฤติกรรมการตัดสินใจหยุดหรือผ่านทางแยกไป ในการระบุตำแหน่งของรถเมื่อสัญญาณไฟเหลืองปรากฏจะอ้างอิงกับตำแหน่งจุดสังเกตทุกระยะ 10 เมตรที่ติดตั้งไว้บนขอบคันหิน ในระยะ 150 เมตรจากเส้นหยุด ดังแสดงในภาพที่ 3 และหาเวลาที่รถผ่านตำแหน่งอ้างอิงจากการย้อนดูภาพวิดีโอความละเอียด 25 เฟรมต่อวินาที เพื่อใช้ในการคำนวณความเร็วรถ



ภาพที่ 3 มุมมองการติดตั้งกล้องเก็บข้อมูลและจุดอ้างอิงในสนาม

การวิเคราะห์ข้อมูล

ความเร็วเข้าสู่ทางแยกของรถแต่ละคันคำนวณได้จากจำนวนเฟรมที่รถเดินทางผ่านตำแหน่งอ้างอิง ในช่วง 100-150 เมตร จากเส้นหยุด คำนวณเวลาเดินทางเข้าสู่ทางแยกจากความเร็วและระยะทาง ภายใต้สมมติฐานว่า ผู้ขับขี่ไม่หยุดที่ทางแยกและใช้ความเร็วคงที่ในการผ่านทางแยก คำนวณเขตหนีเสือปะจระเข้โดยกำหนดระยะเวลารับรู้และตัดสินใจ 1 วินาที สำหรับถนนในเขตเมือง และอัตราหน่วงในการหยุด 3.4 เมตร/วินาที ตามสมการที่ (3) และ (4) โดยเขตหนีเสือปะจระเข้จะถูกคำนวณใน 2 กรณี กรณีที่ 1 คำนวณโดยใช้ความเร็วจำกัด (80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) เป็นตัวแทนของความเร็วรถเข้าสู่ทางแยก และกรณีที่ 2 คำนวณโดยใช้ความเร็วของรถแต่ละคัน โดยรถจะตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้ก็ต่อเมื่อ ตำแหน่งของรถคันนั้นเมื่อสัญญาณไฟเหลืองขึ้นอยู่ระหว่างช่วงระยะทาง x_0 ไปจนถึง x_c

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

จากการสำรวจพฤติกรรมของรถที่เข้าสู่ทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเหลือง ได้ข้อมูลความเร็วรถเข้าสู่ทางแยก พฤติกรรมการตัดสินใจของผู้ขับขี่ และลักษณะการเกิดเขตหนีเสือปะจระเข้ที่ทางแยก ดังนี้

1. ความเร็วรถเข้าสู่ทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเหลือง

รถที่เข้าสู่ทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเหลือง 824 คันมีความเร็ว ดังแสดงในตารางที่ 1 จากตารางพบว่าความเร็วสูงสุด ความเร็วเฉลี่ย ความเร็วที่ 15 และ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ ของรถทั้งหมดมีค่า 112 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 64 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 75 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ในภาพรวมค่าความเร็วรถเฉลี่ยและความเร็วรถที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ มีค่าน้อยกว่าความเร็วจำกัดในเขตเมืองที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ($64 < 75 < 80$ กิโลเมตรต่อชั่วโมง) อย่างไรก็ตาม ความเร็วเข้าสู่ทางแยกมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูง แสดงถึงการใช้ความเร็วเข้าสู่ทางแยกที่หลากหลาย

ตารางที่ 1 ความเร็วรถเข้าสู่ทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเหลืองนอกช่วงเวลาเร่งด่วน

	ความเร็วเข้าทางแยก (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		
	รถยนต์	รถจักรยานยนต์	รถทั้งหมด
จำนวน (คัน)	593	231	824
ค่าสูงสุด	112	100	112
ค่าต่ำสุด	27	32	27
ค่าเฉลี่ย	65	60	64
ค่าที่ 15 เปอร์เซนต์ไทล์	53	45	50
ค่าที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์	82	75	75
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	13	14	14

เมื่อเปรียบเทียบความเร็วของรถยนต์จากกรณีศึกษากับผลการศึกษาความเร็วรถในสหรัฐอเมริกา [3] พบว่า ที่ความเร็วจำกัดเดียวกัน ผู้ขับขี่เข้าทางแยกในสหรัฐอเมริกาใช้ความเร็วเข้าแยกสูงกว่าในพื้นที่ศึกษามาก โดยความเร็วรถเข้าแยกเฉลี่ยในสหรัฐอเมริกามีค่าใกล้เคียงกับความเร็วจำกัด (ความเร็วจำกัด 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วเข้าทางแยกเฉลี่ย 81 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) และความเร็วรถที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์มีค่ามากกว่า

ความเร็วจำกัดมาก (ความเร็วจำกัด 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง, ความเร็วเข้าทางแยกเฉลี่ย 92 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ผลการศึกษาในส่วนนี้ตั้งข้อสังเกตว่า ที่ความเร็วจำกัดเดียวกัน พฤติกรรมการใช้ความเร็วเข้าทางแยกของรถในต่างประเทศอาจมีความแตกต่างกับพฤติกรรมการขับขี้นในประเทศไทย

นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความเร็วรถยนต์และรถจักรยานยนต์ซึ่งวิ่งปะปนกัน ในทางแยก ศึกษา จากตารางพบว่า รถยนต์มีความเร็วเข้าทางแยกเฉลี่ยแตกต่างกับรถจักรยานยนต์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($t = 4.731$, $p\text{-value} = 0.000$) โดยรถยนต์ใช้ความเร็วเฉลี่ยเข้าทางแยกสูงกว่ารถจักรยานยนต์ ($65 > 60$ กิโลเมตรต่อชั่วโมง) จากข้อมูลดังกล่าว หากพิจารณาบนพื้นฐานของระบบที่ปลอดภัย (Safe system concept) ความเร็วรถและความเร็วจำกัดในปัจจุบัน ไม่สอดคล้องกับความสามารถในการรับแรงของร่างกายมนุษย์ ซึ่งผู้ขับขี่จะเพิ่มขีดนิรภัยในรถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะเริ่มเสี่ยงต่อการบาดเจ็บสาหัสเมื่อถูกชนจากทางด้านข้างที่ความเร็วมากกว่า 50 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง ในขณะที่ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์เริ่มเสี่ยงต่อการบาดเจ็บสาหัสเมื่อถูกชนที่ความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง และไม่มีโอกาสรอดชีวิตที่ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [4] ดังนั้น จากข้อมูลพฤติกรรมการขับขี้น และความสามารถในการรับแรงของร่างกายมนุษย์ ความเร็วจำกัดในปัจจุบันที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมการขับขี้น และไม่อำนวยความสะดวกต่อผู้เดินทาง

2. พฤติกรรมการตัดสินใจหยุด/ไปที่ทางแยก

เมื่อผู้ขับขี้นเข้าสู่ทางแยกขณะที่สัญญาณไฟเหลืองปรากฏ ผู้ขับขี้นจะต้องตัดสินใจว่าจะหยุดหรือจะขับผ่านทางแยก ข้อมูลความเร็วรถ ระยะห่างจากเส้นหยุด และเวลาห่างจากเส้นหยุดของผู้ขับขี้น ดังแสดงในตารางที่ 2

เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของผู้ขับขี้นที่ตัดสินใจหยุดและตัดสินใจขับผ่านทางแยก พบว่า พบว่ากลุ่มที่ตัดสินใจไป ใช้ความเร็วเข้าแยกมากกว่ากลุ่มผู้ตัดสินใจหยุด ไม่ว่าจะใช้รถยนต์ ($70 > 62$ กม./ชม.) หรือใช้รถจักรยานยนต์ ($64 > 56$ กม./ชม.) มีระยะทางจากเส้นหยุดเฉลี่ยน้อยกว่ากลุ่มผู้ตัดสินใจหยุด ไม่ว่าจะใช้รถยนต์ ($34 < 96$ เมตร) หรือใช้รถจักรยานยนต์ ($42 < 101$ เมตร) และมีเวลาห่างจากเส้นหยุดน้อยกว่ากลุ่มที่ตัดสินใจหยุดทั้งผู้ใช้รถยนต์ ($1.8 < 5.7$ วินาที) และผู้ใช้รถจักรยานยนต์ ($2.4 < 6.8$ วินาที) ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อไฟเหลืองปรากฏขณะผู้ขับขี้นอยู่ใกล้ทางแยกด้วยความเร็วสูง ผู้ขับขี้นมักจะตัดสินใจขับผ่านทางแยก ในทางตรงข้ามกลุ่มผู้ขับขี้นที่อยู่ห่างทางแยกและใช้ความเร็วต่ำกว่ามักจะตัดสินใจหยุด

เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของผู้ขับขี้นรถยนต์และรถจักรยานยนต์ พบว่า ผู้ใช้รถยนต์มีความเร็วเข้าแยกเฉลี่ยสูงกว่าผู้ใช้รถจักรยานยนต์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งในกลุ่มที่ตัดสินใจหยุด ($62 > 56$ กม./ชม.) และตัดสินใจไป ($70 > 64$ กม./ชม.) ในส่วนระยะทางจากเส้นหยุด พบว่าผู้ใช้รถยนต์มีระยะทางจากเส้นหยุดเฉลี่ยน้อยกว่ารถจักรยานยนต์อย่างมีนัยสำคัญ ($34 < 42$ เมตร) ในส่วนระยะเวลาเดินทางถึงเส้นหยุดเฉลี่ย พบว่า ผู้ใช้รถยนต์มีระยะเวลาเดินทางถึงเส้นหยุดน้อยกว่าผู้ใช้รถจักรยานยนต์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($5.7 < 6.8$ วินาที และ $1.58 < 2.4$ วินาที ในกลุ่มที่หยุดและไป ตามลำดับ)

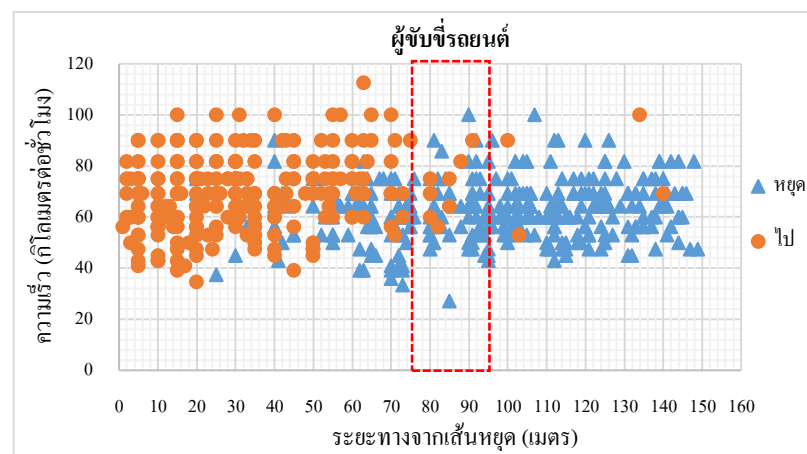
การที่ผู้ขับขี้นรถยนต์แสดงพฤติกรรมที่เสี่ยงต่อการถูกชนท้ายกว่ารถจักรยานยนต์ ด้วยการหยุดเมื่ออยู่ใกล้ทางแยกกว่าและเมื่อมีความเร็วสูงกว่า อาจมีสาเหตุจากสมรรถนะรถและการประเมินความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของคนขับ เพราะรถยนต์มีความสามารถในการเบรกดีกว่ารถจักรยานยนต์ และผู้ขับขี้นอาจรับรู้ถึงโอกาสและความรุนแรงในการถูกชนท้ายน้อยกว่าผู้ขับขี้นรถจักรยานยนต์ ซึ่งต้องรับแรงกระแทกโดยตรง อย่างไรก็ตามในกลุ่มผู้ขับขี้นที่ตัดสินใจไป เป็นที่น่ากังวลว่า ผู้ขับขี้นรถจักรยานยนต์ตัดสินใจไป แม้จะอยู่ไกลกว่า และวิ่งช้ากว่ารถยนต์ ($42 > 34$ เมตร และ $64 < 70$ กม./ชม.) พฤติกรรมดังกล่าวของผู้ขับขี้นรถจักรยานยนต์ เสี่ยงต่อการชนด้านข้างที่บริเวณกลางทางแยกหากผู้ขับขี้นกลุ่มนี้ไม่สามารถผ่านทางแยกไปได้ก่อนที่รถในจังหวะอื่นจะเข้าสู่ทางแยก

ตารางที่ 2 ความเร็วรถเข้าสู่แยก ระยะห่างจากเส้นหยุด และเวลาเดินทางถึงเส้นหยุด ของรถที่ตัดสินใจ หยุด/ไป ในช่วงสัญญาณไฟเหลือง

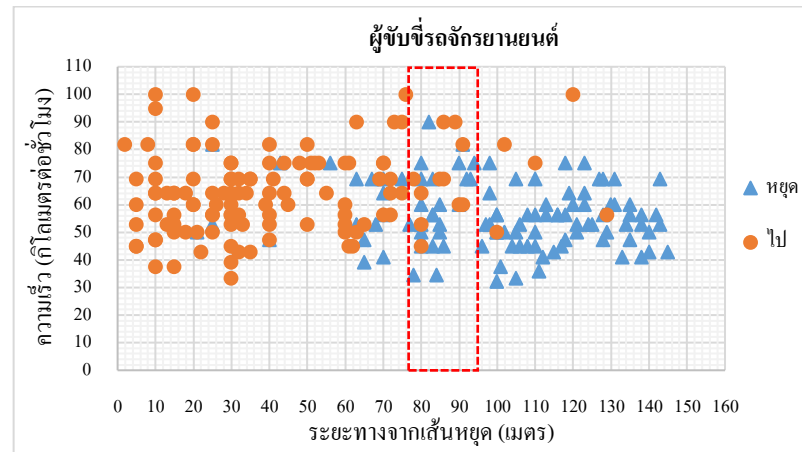
	หยุด				ไป			
	รถยนต์	จักรยานยนต์	t	sig.	รถยนต์	จักรยานยนต์	t	sig.
	(N=339)	(N=108)			(N=254)	(N=123)		
ความเร็วเข้าแยกเฉลี่ย (กม./ชม.)	62	56	4.935	0.000	70	64	3.289	0.001
ระยะทางจากเส้นหยุดเฉลี่ย (เมตร)	96	101	-1.530	0.127	34	42	-2.932	0.004
เวลาเดินทางถึงเส้นหยุดเฉลี่ย (วินาที)	5.7	6.8	-4.433	0.000	1.8	2.4	-4.008	0.000

3. เขตหนีเสือปะจระเข้

เมื่อทำการตรวจสอบเขตหนีเสือปะจระเข้ของทางแยก ตามสมการที่ (3) และ (4) โดยใช้ค่าความเร็วจำกัด 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในการคำนวณ พบว่า ภาพภาพและรอบสัญญาณไฟในปัจจุบัน ทำให้ทางแยกนี้มีเขตหนีเสือปะจระเข้เกิดขึ้นที่ระยะ 74-95 เมตร และ 77-95 เมตร จากเส้นหยุดสำหรับรถยนต์และรถจักรยานยนต์ตามลำดับ เมื่อพล็อตกราฟการกระจายของพฤติกรรมการตัดสินใจ (หยุด/ไป) ความเร็วรถ และระยะห่างจากเส้นหยุด และเขตหนีเสือปะจระเข้ สามารถแสดงผู้ขับที่รถยนต์และรถจักรยานยนต์ที่ตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้ ดังแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5 ตามลำดับ โดยพบว่าร้อยละ 12.3 ของผู้ขับที่รถยนต์และ ร้อยละ 15.6 ของผู้ขับที่รถจักรยานยนต์ตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้เมื่อเข้าสู่ทางแยก จากภาพจะสังเกตได้ว่าผู้ขับที่กลุ่มนี้ซึ่งตกอยู่ในสถานการณ์หยุดไม่ได้ ไปไม่ทัน มักเลือกที่จะหยุดที่ทางแยก

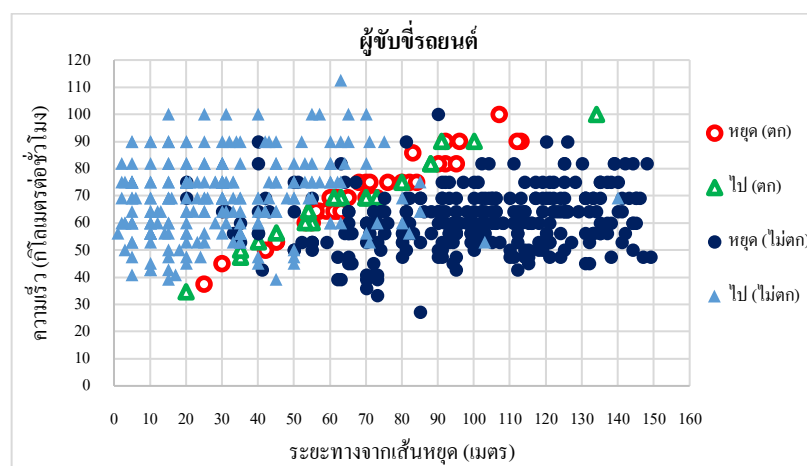


ภาพที่ 4 การตัดสินใจหยุด/ผ่านทางแยกของผู้ขับที่รถยนต์และเขตหนีเสือปะจระเข้(กรณีที่ 1)

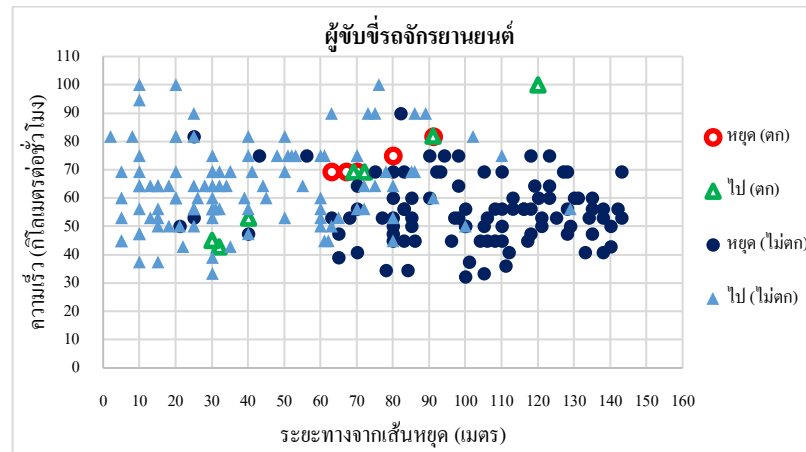


ภาพที่ 5 การตัดสินใจหยุด/ผ่านทางแยกของผู้ขับขีรถจักรยานยนต์และเขตหนีเสือปะจระเข้(กรณีที่ 1)

ผลการสำรวจความเร็วรถเข้าสู่ทางแยกพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูง แสดงถึงการใช้ความเร็วเข้าสู่ทางแยกที่หลากหลาย ดังนั้น เมื่อทดลองใช้ความเร็วรถแต่ละคันแทนค่าความเร็วจำกัดในการตรวจสอบเขตหนีเสือปะจระเข้ พบว่า ภาพภาพและรอบสัญญาณไฟในปัจจุบันทำให้ทางแยกนี้มีเขตหนีเสือปะจระเข้เกิดขึ้นเกือบทั่วบริเวณทางเข้าแยก (ที่ระยะ 20-133 เมตร และ 30-120 เมตร จากเส้นหยุด สำหรับรถยนต์และรถจักรยานยนต์ ตามลำดับ) โดยเมื่อพล็อตแผนภาพการกระจายของพฤติกรรมการตัดสินใจ (หยุด/ไป) ความเร็วรถ และระยะห่างจากเส้นหยุด สามารถแสดงผู้ขับขีรถยนต์และรถจักรยานยนต์ที่ตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้ ดังแสดงใน ภาพที่ 6 และ ภาพที่ 7 ตามลำดับ โดยในกรณีนี้ ร้อยละ 9.9 ของผู้ขับขีรถยนต์และร้อยละ 5.2 ของผู้ขับขีรถจักรยานยนต์ตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้เมื่อเข้าสู่ทางแยก



ภาพที่ 6 การตัดสินใจหยุด/ไปของผู้ขับขีรถยนต์เมื่อตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้(กรณีที่ 2)



ภาพที่ 7 การตัดสินใจหยุด/ไปของผู้ขับขีรถจักรยานยนต์เมื่อตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้ (กรณีที่ 2)

จะเห็นได้ว่าเมื่อคำนวณเขตหนีเสือปะจระเข้จากความเร็วรถแต่ละคัน (กรณีที่ 2) ผู้ขับขีที่ตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้จะกระจายทั่วบริเวณเข้าทางแยก ซึ่งการตัดสินใจหยุดหรือไปของผู้ขับขีจะส่งผลต่อความเสี่ยงในการเกิดการชนท้ายตลอดช่วงทางแยก สัดส่วนการตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้ตามความเร็วจำกัดและความเร็วแต่ละคันดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พฤติกรรมของผู้ขับขีในเขตหนีเสือปะจระเข้

เขตหนีเสือปะจระเข้		รถยนต์			รถจักรยานยนต์		
		หยุด (%)	ไป (%)	รวม (%)	หยุด (%)	ไป (%)	รวม (%)
กรณีที่ 1 : ความเร็วจำกัด	ไม่ตก	46.5	41.2	87.7	35.9	48.5	84.4
	ตก	10.6	1.7	12.3	10.8	4.8	15.6
กรณีที่ 2 : ความเร็วรถแต่ละคัน	ไม่ตก	50.8	39.3	90.1	44.6	50.2	94.8
	ตก	6.4	3.5	9.9	2.2	3.0	5.2

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การหยุด/ไป ของรถที่ตกอยู่ภายในเขตหนีเสือปะจระเข้ดังแสดงในตารางที่ 3 ข้อมูลชุดนี้แสดงให้เห็นว่า ผู้ขับขีรถยนต์มีสัดส่วนการเลือกหยุดมากกว่าผู้ขับขีรถจักรยานยนต์ ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศ ซึ่งพบว่ารถยนต์มีความน่าจะเป็นในการหยุดมากกว่ารถจักรยานยนต์ [10] ในทางตรงกันข้าม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ผู้ใช้รถจักรยานยนต์ ซึ่งเป็นผู้ใช้นกลุ่มเสี่ยง แสดงพฤติกรรมเสี่ยงสูงกว่าผู้ใช้รถยนต์ โดยเลือกที่จะผ่านทางแยกไปเมื่อตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้สำรวจพฤติกรรมการใช้ความเร็วเข้าทางแยกและพฤติกรรมการตัดสินใจหยุด/ไป ของผู้ขับขีที่เข้าสู่ทางแยกในช่วงเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจร โดยใช้กรณีศึกษาเป็นในทางแยกขนาดใหญ่ในเขตเมืองซึ่งรถใช้ความเร็วสูง (จำกัดความเร็วที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ภายใต้สภาพการจราจรแบบผสม

ผลการสังเกตพฤติกรรมของรถ 824 คันที่เข้าสู่ทางแยกในช่วงเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ พบว่า ความเร็วรถที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์มีค่าน้อยกว่าความเร็วจำกัด ความเร็วรถเข้าสู่ทางแยกในกรณีศึกษานี้มีค่าต่ำกว่า ความเร็วรถเข้าสู่ทางแยกที่จำกัดความเร็วเดียวกันในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์จะ เลือกใช้ความเร็วที่ต่ำกว่าผู้ขับขี่รถยนต์ในการเข้าสู่ทางแยก

ในส่วนพฤติกรรมในการเลือกหยุดหรือผ่านทางแยก ผลการศึกษาพบว่า ในภาพรวมผู้ขับขี่ที่อยู่ใกล้ทาง แยกและขับด้วยความเร็วสูงขณะที่ไฟเหลืองปรากฏมักจะตัดสินใจขับผ่านทางแยก ในทางตรงข้าม กลุ่มผู้ขับ ขี่ที่อยู่ห่างทางแยกและใช้ความเร็วต่ำจะตัดสินใจหยุด ความเร็วและตำแหน่งของผู้ขับขี่ทั้งสองกลุ่มมีความ แตกต่างกัน ผู้ขับขี่รถยนต์หยุดเมื่ออยู่ใกล้ทางแยกกว่าและเมื่อมีความเร็วสูงกว่า ในขณะที่รถจักรยานยนต์ ตัดสินใจไป แม้จะอยู่ไกลกว่า และวิ่งช้ากว่ารถยนต์

นอกจากนั้น เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาวิเคราะห์เขตหนีเสือปะจระเข้ที่ทางแยก ผลการศึกษา พบว่าสภาพทางแยก เวลาตอบสนองสัญญาณไฟ และพฤติกรรมการใช้ความเร็วเข้าสู่ทางแยกในปัจจุบัน ทำให้มีเขต หนีเสือปะจระเข้ตลอดช่วงบริเวณทางเข้าทางแยก (20-133 เมตรจากเส้นหยุด) โดยร้อยละ 9.9 ของผู้ขับขี่รถยนต์ และร้อยละ 5.2 ของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ที่เข้าสู่ทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเหลืองปรากฏตกอยู่ในเขตหนีเสือ ปะจระเข้ ซึ่งในทางทฤษฎี ผู้ขับขี่กลุ่มนี้จะไม่สามารถหยุดได้ทันอย่างปลอดภัย หรือขับผ่านทางแยกได้อย่าง ปลอดภัยก่อนที่จะไฟแดงจะปรากฏ ซึ่งผลจากการสำรวจพบว่า ผู้ใช้รถจักรยานยนต์ แสดงพฤติกรรมเสี่ยงสูงกว่า ผู้ใช้รถยนต์ โดยเลือกที่จะผ่านทางแยกไปเมื่อตกอยู่ในสถานการณ์นี้

ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า พฤติกรรมการขับขี่และสิ่งแวดล้อมในการขับขี่ในประเทศไทย แตกต่างจากต่างประเทศ ดังนั้น ต้องมีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการควบคุมทางแยกให้เหมาะสมกับบริบทพื้นที่ แท่นการนำมาใช้โดยตรงตามที่ปฏิบัติในปัจจุบัน ควรต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยและตัวแปรต่างๆ ที่ เกี่ยวข้องกับการออกแบบสัญญาณไฟเพื่อรองรับพฤติกรรมขับขี่ภายใต้สภาพการจราจรแบบผสมใน ประเทศไทย นอกจากนี้ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าความปลอดภัยของกลุ่มผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์เป็นประเด็นที่ ต้องให้ความสำคัญ เนื่องจากผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์มีพฤติกรรมที่แตกต่างจากรถยนต์ในการเข้าสู่ทางแยก ทั้งใน ด้านความเร็วที่ใช้ และการตัดสินใจหยุด/ไป เนื่องจากผู้ใช้นกลุ่มนี้มีแนวโน้มที่จะตัดสินใจข้ามทางแยก แม้ อยู่ไกลกว่าและวิ่งช้ากว่ารถยนต์ หรือแม้เมื่อตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความปลอดภัยแล้ว พฤติกรรมที่แตกต่างกันสร้างความเสี่ยงอย่างมากในการเกิดอุบัติเหตุที่ทางแยก โดยเฉพาะหากเกิดกับ รถจักรยานยนต์จะมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ดังนั้น ควรมีการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมในเรื่องพฤติกรรมขับขี่ ในทางแยกประเภทต่างๆ ในบริบทเมืองและชนบท พร้อมทั้งหามาตรการและแนวทางในการแยกผู้ขับขี่ที่มี ความแตกต่างกันออกจากกัน (Separation) หรือมาตรการจำกัดความเร็วรถและการบังคับใช้กฎหมายที่เหมาะสม ในการควบคุมความเร็วรถให้สามารถใช้ถนนร่วมกันอย่างปลอดภัย (Integration)

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization (WHO). Global Status Report on Road safety 2015. Geneva, Switzerland; 2015.
2. ITE Technical Council Committee 4a-16, Proposed recommended practice - Determining vehicle signal change intervals. ITE Journal; 1989.



3. Transportation Research Board (TRB). NCHRP Report 731: Guidelines for Timing Yellow and All-Red Intervals at Signalized Intersections [Internet]. 2012. 93 p. Available from:
http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_731.pdf.
4. Satiennam W, Satiennam T. Sustainable Transportation Engineering: Theory and practice in developing countries. KKU Printing; 2018.
5. Papaioannou P. Driver behaviour, dilemma zone and safety effects at urban signalised intersections in Greece. *Accid Anal Prev*. 2007;39(1):147–158.
6. Wu Y, Abdel-Aty M, Ding Y, Jia B, Shi Q, Yan X. Comparison of proposed countermeasures for dilemma zone at signalized intersections based on cellular automata simulations. *Accid Anal Prev* [Internet]. 2018;116(September 2017):69–78. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.09.009>.
7. Savolainen PT, Sharma A, Gates TJ. Driver decision-making in the dilemma zone – Examining the influences of clearance intervals, enforcement cameras and the provision of advance warning through a panel data random parameters probit model. *Accid Anal Prev* [Internet]. 2016;96:351–360. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2015.08.020>.
8. Zhang W, Olarte R. Operational Evaluation of Detection-Control System, A Dilemma Zone Protection Technology. *Procedia - Soc Behav Sci* [Internet]. 2012;48:3307–3316. Available from:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187704281203039X>.
9. Lin X, Cheng L. Engineering Countermeasures to Reducing Unintentional Yellow-light Running Owing to Dilemma Zone. *Procedia - Soc Behav Sci* [Internet]. 2013;96(Cictp):900–904. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.103>.
10. Sustainable Infrastructure Research and Development Center (SIRDC), Khon Kean University. Study of public transport system and environmental impact in Khon Kaen province; 2016. Thai.
11. Khon Kean University. Khon Kaen university health science center traffic and parking study; 2018. Thai.
12. Pathivada BK, Perumal V. Analyzing dilemma driver behavior at signalized intersection under mixed traffic conditions [Internet]. Vol. 60, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2019. p. 111–120. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369847818300871?dgcid=author>.