บทความวิจัย

พฤติกรรมการตัดสินใจหยุดหรือผ่านบริเวณสามแยกในช่วงสัญญาณไฟเหลืองที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบก่อนไฟเหลือง

คุณานนท์ ฉนานุกูล วิชุดา เสถียรนาม* และ ธเนศ เสถียรนาม
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 1439 5568 อีเมล: k.wichuda@gmail.com
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.07.006
รับเมื่อ 3 ตุลาคม 2565 แก้ไขเมื่อ 13 ธันวาคม 2565 ตอบรับเมื่อ 27 ธันวาคม 2565 เผยแพร่ออนไลน์ 23 กรกฎาคม 2567
© 2024 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมการตัดสินใจของผู้ขับขี่ในช่วงสัญญาณไฟเหลือง ในบริเวณสามแยกสัญญาณไฟจราจรที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบก่อนไฟเหลือง การศึกษานี้สำรวจลักษณะการควบคุมการจราจรในบริเวณสามแยกสี่แห่งในเขตเมืองนครราชสีมา สังเกตพฤติกรรมของผู้ขับขี่รถนั่งส่วนบุคคล จำนวน 535 คัน ที่เข้าสู่ทางแยกในขณะที่สัญญาณไฟเหลืองปรากฏ ผลการศึกษาพบว่า รถใช้ความเร็วสูงเข้าสู่ทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเหลือง ทุกแห่งมีความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์สูงกว่าความเร็วจำกัด 3–40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผู้ขับขี่ร้อยละ 45 ที่อยู่ในระยะ 100 เมตร จากทางแยกเมื่อสัญญาณไฟเหลืองปรากฏตกอยู่ภายในเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 ในกลุ่มนี้ผู้ขับขี่ส่วนมาก (ร้อยละ 66) เลือกผ่านทางแยกไป ทางแยกที่เพิ่มจังหวะสัญญาณไฟเขียวกระพริบไว้ก่อนสัญญาณไฟเหลืองมีขนาดเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 หรือเขตไม่แน่ใจกว้างกว่าและมีตำแหน่งเริ่มหยุดใกล้เส้นหยุดกว่าทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟปกติ

คำสำคัญ: พฤติกรรมของผู้ขับขี่ เขตหนีเสือปะจระเข้ สัญญาณไฟเขียวกระพริบ

การอ้างอิงบทความ: คุณานนท์ ฉนานุกูล, วิชุดา เสถียรนาม และ ธเนศ เสถียรนาม, "พฤติกรรมการตัดสินใจหยุดหรือผ่านบริเวณสามแยกในช่วงสัญญาณไฟเหลืองที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบก่อนไฟเหลือง," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 34, ฉบับที่ 4, หน้า 1–13, เลขที่บทความ 244-106392, ต.ค.–ธ.ค. 2567.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 34 ฉบับที่ 4 ต.ค.–ธ.ค. 2567
The Journal of KMUTNB., Vol. 34, No. 4, Oct.–Dec. 2024

Research Article

STOP/GO Decisions During The Onset of Yellow Light at T-Intersections with Flashing Green before Amber

Kunanon Chananukool, Wichuda Satiennam* and Thaned Satiennam
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 1439 5568, E–mail: k.wichuda@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.07.006
Received 3 October 2022; Revised 13 December 2022; Accepted 27 December 2022; Published online: 23 July 2024
© 2024 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This study revealed and compared the driver's stop/go decision during the on-set of yellow light at three-legs signalized intersections with flashing green before amber. Signal timing studies were conducted at 4 urban signalized intersections located in Nakhon Ratchasima. The behavior of 535 passenger car drivers, approaching the intersection during the on-set of yellow, was observed. The results revealed that approaching speeds are rather high. The 85th percentile speed for all approaches was higher than the speed limit of 60 Kph. During the onset of yellow, 45% of drivers within 100 m from the stop line were in the type I dilemma zone. The majority (66%) of them had crossing decisions. Intersections with flashing green devices had larger type II dilemma zone and closer stopping decisions than the typical intersection.

Keywords: Driver Behaviors, Dilemma Zone, Flashing Green

Please cite this article as: K. Chananukool, W. Satiennam and T. Satiennam, "STOP/GO decisions during the onset of yellow light at T-Intersections with flashing green before amber," *The Journal of KMUTNB*, vol. 34, no. 4, pp. 1–13, ID. 244-106392, Oct.–Dec. 2024 (in Thai).

1. บทนำ

ความสูญเสียจากการชนบนถนนนับเป็นปัญหาที่มีความสำคัญในประเทศไทย จากการจัดลำดับโดยองค์การอนามัยโลก ประเทศไทยมีอัตราการเสียชีวิตบนถนนเป็นอันดับ 9 ของโลก ด้วยอัตราสูงถึง 32.5 คนต่อแสนประชากร [1] โดยมีทางร่วมทางแยกเป็นหนึ่งในบริเวณที่เสี่ยงต่อการชน เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่กระแสจราจรจากถนนหลายสายมารวมเข้าด้วยกัน ตัดกัน และแยกออกจากกัน

โดยทั่วไป สามแยกนับเป็นรูปแบบทางแยกที่ค่อนข้างปลอดภัยเมื่อเทียบกับสี่แยก จำนวนจุดขัดแย้งที่น้อยกว่าสะท้อนถึงโอกาสในการเผชิญเหตุที่ต่ำกว่าในบริเวณสี่แยก และเมื่อรถมีปริมาณเพิ่มขึ้น ระบบควบคุมทางแยกด้วยสัญญาณไฟจราจรจะสามารถช่วยเหลืองานในการตัดสินใจของผู้ขับขี่ สัญญาณไฟจราจรจะช่วยจัดจังหวะให้รถผ่านทางแยกคนละช่วงเวลาโดยไม่ต้องตัดสินใจเลือกช่องว่างที่ปลอดภัยด้วยตนเอง ช่วยจัดลำดับการเคลื่อนที่ของรถในแต่ละทิศทาง ให้ผ่านทางแยกตามจังหวะสัญญาณไฟเขียว และหยุดรอในช่วงสัญญาณไฟแดง ลดโอกาสในการตัดสินใจเลือกช่องว่างพลาด ภายใต้สมมติฐานว่าผู้ขับขี่จะปฏิบัติตามสัญญาณไฟจราจรอย่างเคร่งครัด

แม้ระบบสัญญาณไฟจราจรจะช่วยควบคุมความขัดแย้งและลดงานและความผิดพลาดในการตัดสินใจของผู้ขับขี่ อย่างไรก็ตาม ความขัดแย้งและการชนยังอาจเกิดขึ้นในระหว่างการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจร เนื่องจากในจังหวะที่ไฟเขียวสิ้นสุดและสัญญาณไฟเหลืองปรากฏขึ้น ผู้ขับขี่ที่กำลังเข้าทางแยกในทิศทางนั้นจะต้องตัดสินใจผ่านทางแยกไปหรือจะหยุดรถ ซึ่งโดยทั่วไป ผู้ขับขี่ที่อยู่ใกล้ทางแยกและขับรถด้วยความเร็วสูงมักจะตัดสินใจขับผ่านทางแยก ในขณะที่กลุ่มผู้ขับขี่ที่อยู่ห่างทางแยกและใช้ความเร็วต่ำ มักจะตัดสินใจหยุด {Formatting Citation}, [3] งานในการตัดสินใจนี้จะยากขึ้น ซับซ้อนขึ้น และคาดเดาได้ยากขึ้น ในบริเวณทางแยกที่มีเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 (Dilemma Zone Type I; Type I DZ) ซึ่งกายภาพและระบบการจราจรที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ผู้ขับขี่มีโอกาสตกอยู่ในสถานการณ์ที่ไม่มีทางเลือกที่ปลอดภัย กล่าวคือ ไม่มีโอกาสเลือกหยุดรถได้ทันอย่างนุ่มนวล และในขณะเดียวกันไม่มีโอกาสขับด้วยความเร็วคงที่ผ่านพ้นทางแยกไปก่อนที่ไฟแดงจะปรากฏ การเบรกรถกระทันหันจากทางเลือกแรกอาจทำให้ถูกรถที่ตามหลังมาชนท้าย ในขณะที่การเร่งให้พ้นทางแยกในทางเลือกหลังก็อาจถูกรถที่ข้ามทางแยกในจังหวะต่อไปชนข้างได้ ซึ่งทั้งสองทางเลือกล้วนอาจนำไปสู่การชนที่รุนแรงที่ทางแยก

เนื่องจากไฟเขียวกระพริบเป็นส่วนหนึ่งของเวลาไฟเขียว และเป็นการให้สัญญาณเตือนล่วงหน้าว่าไฟเขียวกำลังจะสิ้นสุดลงและไฟเหลืองกำลังจะเริ่มขึ้นเพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุการชนข้างที่ทางแยก บางประเทศจึงได้ปรับช่วงท้ายสัญญาณไฟเขียวให้เป็นสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (Flashing Green) แต่ในทางปฏิบัติผู้ขับขี่ยังควรต้องผ่านทางแยกไปเหมือนในช่วงสัญญาณไฟเขียว [3], [4] ข้อมูลจากงานวิจัยในต่างประเทศให้ข้อสังเกตที่สำคัญจากประสบการณ์ในการติดตั้งไฟเขียวกระพริบว่า สัญญาณไฟเขียวกระพริบช่วยลดขนาดของเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 ซึ่งลักษณะดังกล่าวช่วยให้ผู้ขับขี่มีโอกาสเลือกหยุดหรือผ่านทางแยกไปได้อย่างปลอดภัยมากขึ้น ซึ่งผลในเชิงบวกนี้ให้ประโยชน์ในลักษณะเดียวกันกับการขยายเวลาสัญญาณไฟเหลือง [4] อย่างไรก็ตาม ผู้ขับขี่มีพฤติกรรมการหยุดก่อนเวลา (Early Stops) เพิ่มขึ้นในบริเวณทางแยกที่ติดตั้งไฟเขียวกระพริบ [3]–[5] ซึ่งสัญญาณไฟเขียวกระพริบกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองในการตัดสินใจเร็วขึ้นกว่าที่ควร ทำให้มีการตัดสินใจหยุดอย่างไม่เหมาะสมเกิดมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งการตัดสินใจหยุดเมื่อผู้ขับขี่มีตำแหน่งเข้าใกล้เส้นหยุดที่ทางแยก รูปแบบการตัดสินใจนี้สร้างความขัดแย้งระหว่างรถที่ตัดสินใจหยุดและรถที่ตัดสินใจไม่หยุด ลักษณะดังกล่าวเพิ่มโอกาสในการชนท้ายที่ทางแยก [6], [7] และเมื่อมีสัญญาณไฟเขียวกะพริบ ผู้ขับขี่ส่วนใหญ่จะเริ่มตัดสินใจหยุด/ไปเมื่อเริ่มไฟเขียวกระพริบ แทนที่จะเริ่มตัดสินใจขณะเริ่มไฟเหลือง [8] และสัญญาณไฟเขียวกระพริบขยายโซนตัวเลือกในการตัดสินใจหยุด/ไป หรือ เขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 (Dilemma Zone Type II or Indecision Zone; Type II DZ) ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งผลในเชิงลบนี้อาจทำให้ผู้ขับขี่ที่ขับ

ตามมาคาดเดาการตัดสินใจของรถคันด้านหน้าได้ยากขึ้นว่าจะหยุดหรือไป ซึ่งอาจเพิ่มความเสี่ยงในการชนท้ายที่ทางแยกได้ [5], [7], [9]

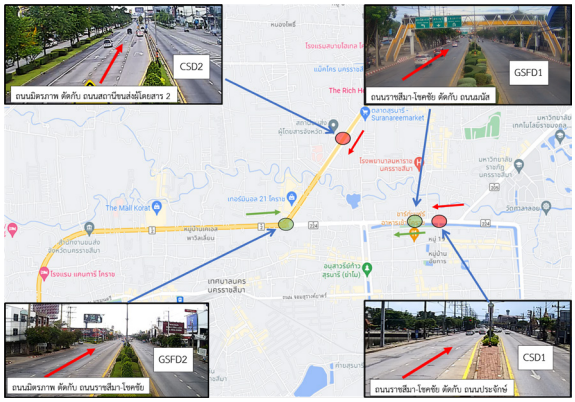
จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยในต่างประเทศให้ข้อสรุปที่สอดคล้องกันว่าไฟเขียวกระพริบไม่ช่วยเพิ่มความปลอดภัยและยังอาจลดความปลอดภัยที่ทางแยก อย่างไรก็ตาม ระบบสัญญาณไฟนี้กลับเป็นที่นิยมและมักได้รับการสนับสนุนจากผู้ขับขี่ [4]

ในประเทศไทย ทางแยกในเขตเมืองภูมิภาคเริ่มมีการติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบในช่วงท้ายสัญญาณไฟเขียว ซึ่งเท่าที่ผู้วิจัยได้ทำการสืบค้น ยังไม่พบข้อมูลพฤติกรรมของผู้ขับขี่ในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับในการตอบสนองของผู้ขับขี่ต่อระบบสัญญาณไฟดังกล่าว ดังนั้น การศึกษานี้จึงสนใจศึกษาพฤติกรรมการตัดสินใจของผู้ขับขี่ในบริเวณสามแยกที่มีการติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบก่อนสัญญาณไฟเหลือง และมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการตัดสินใจหยุดหรือผ่านทางแยกของผู้ขับขี่และพฤติกรรมการตัดสินใจหยุดหรือผ่านทางแยกภายในเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 ในกรณี ความเร็วของแต่ละคัน และขนาดของเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 ในรูปแบบเวลาเดินทาง โดยมีสมมติฐานงานวิจัย คือ ความแตกต่างของพฤติกรรมการตัดสินใจหยุดหรือข้ามทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเหลืองของผู้ขับขี่รถยนต์ ในบริเวณทางสามแยกที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบเพื่อสร้างข้อมูลเบื้องต้น ให้สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณามาตรการอำนวยความปลอดภัยในบริเวณสามแยกสัญญาณไฟจราจรในเขตเมืองต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาประกอบด้วยสามแยกสัญญาณไฟจราจรจำนวน 4 แห่ง ในเขตเมืองนครราชสีมา ประกอบด้วยทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (Green Signal Flashing Device; GSFD) 2 แห่ง ได้แก่ 1) ทางแยกถนนราชสีมา-โชคชัยตัดกับถนนมนัส (GSFD1) และ 2) ทางแยกถนนมิตรภาพตัดกับ ถนนราชสีมา-โชคชัย (GSFD2) และ



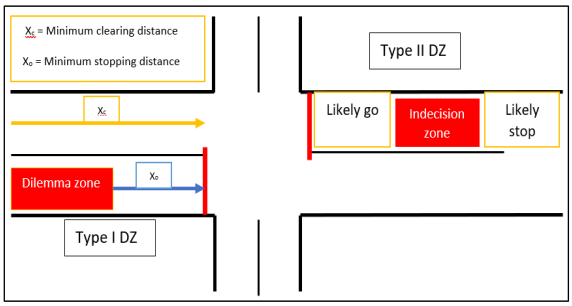
รูปที่ 1 ตำแหน่งทางแยก และ ทิศทางการจราจรที่สังเกต

ทางแยกที่ไม่ได้ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (Common Signal Device; CSD) 2 แห่ง ได้แก่ 1) ทางแยกถนนราชสีมา-โชคชัยตัดกับถนนประจักษ์ (CSD1) และ 2) ทางแยกถนนมิตรภาพตัดกับถนนสถานีขนส่งผู้โดยสาร (CSD2) ทางแยกศึกษาทั้ง 4 แห่ง มีตำแหน่งที่ตั้ง และทิศทางที่เลือกเพื่อศึกษาพฤติกรรมของผู้ขับขี่ แสดงดังรูปที่ 1 โดยสามารถสรุปข้อมูลกายภาพของทิศทางที่สังเกต และลักษณะการควบคุมจราจรที่ทางแยก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กายภาพของทิศทางที่สังเกต และลักษณะการควบคุมจราจร

ทางแยก	CSD1	CSD2	GSFD1	GSFD2
จำนวนช่องจราจร/ทิศทางที่สนใจ	3 (E-W)	3 (NE-SW)	3 (E-W)	3 (W-E)
จังหวะสัญญาณไฟ (จังหวะ)	3	3	3	3
รอบสัญญาณไฟ (วินาที)	126	158	140	192
ระยะเวลาไฟเขียว (วินาที)	50	60	45	50
ระยะเวลาไฟเขียวกระพริบ (วินาที)	-	-	5	5
ระยะเวลาไฟเหลือง (วินาที)	3	4	3	2
ระยะเวลาไฟแดงทุกด้าน (วินาที)	3	3	3	3
ความเร็วจำกัด (กม./ชม.)	60	60	60	60
ระยะข้ามแยก (เมตร)	35.5	46	33	59

รูปที่ 2 มุมมองการติดกล้องเก็บข้อมูลและจุดอ้างอิง



รูปที่ 3 เขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 และ 2

2.2 การสำรวจและการเก็บข้อมูล

การศึกษานี้บันทึกสภาพจราจรและพฤติกรรมของผู้ขับขี่ด้วยกล้องวิดีโอ โดยติดตั้งกล้องไว้กับเสาไฟส่องสว่างที่ระดับความสูง 6 เมตร ซึ่งช่วยให้สามารถมองเห็นโคมสัญญาณไฟจราจร สภาพการจราจรในทิศทางที่สังเกต และหมุดอ้างอิงระยะทาง ในช่วง 100 เมตร ก่อนถึงเส้นหยุด ดังแสดงดังรูปที่ 2

การศึกษานี้บันทึกพฤติกรรมของผู้ขับขี่รถยนต์นั่งในช่วงวันธรรมดา ในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ระหว่างเวลา 8:30–16:30 น. เป็นเวลา 1 วัน ข้อมูลที่สนใจได้แก่ การตัดสินใจของคนขับ (หยุดหรือข้ามทางแยกไป) ตำแหน่งรถและความเร็วรถขณะที่สัญญาณไฟเหลืองปรากฏขึ้น โดยจะเลือกสังเกตเฉพาะพฤติกรรมการตัดสินใจหยุดหรือผ่านทางแยกของกลุ่มผู้ขับขี่ในทิศทางตรงข้ามทางแยก ที่ปรากฏอยู่ในระยะทาง 100 เมตร จากเส้นหยุดขณะที่สัญญาณไฟเหลืองปรากฏ ในการระบุตำแหน่งของรถเมื่อสัญญาณไฟเหลืองปรากฏจะอ้างอิงกับตำแหน่งจุดสังเกตทุกระยะ 10 เมตร และบันทึกเวลาที่รถผ่านตำแหน่งอ้างอิงระยะ 10 เมตร จากการย้อนดูภาพวีดีโอที่มีรายละเอียด 25 เฟรมต่อวินาที เพื่อใช้ในการคำนวณความเร็วรถ

จากข้อมูล การตัดสินใจของคนขับระยะทางจากตำแหน่งรถถึงเส้นหยุดและความเร็วรถที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า สามารถคำนวณหาเวลาเดินทางของรถคันดังกล่าวถึงเส้นหยุด จากระยะทางถึงเส้นหยุดและความเร็วภายใต้สมมติฐานว่าผู้ขับขี่ที่ใช้ความเร็วคงที่เข้าทางแยกเมื่อสัญญาณไฟเหลืองปรากฏ

ผู้วิจัยสังเกตพฤติกรรมของผู้ขับขี่รถยนต์นั่ง 535 คัน ที่เข้าสู่ทางแยกเมื่อสัญญาณไฟเหลืองปรากฏ ในช่วงเวลา 100 56 103 และ 103 รอบสัญญาณไฟ ในบริเวณทางแยก GSFD1 GSFD2 CSD1 และ CSD2 ตามลำดับรายละเอียดผู้ขับขี่รถยนต์แต่ละแยกในรอบ 1 วัน สรุปได้ดังนี้

ทางแยก	จำนวน(คัน)
CSD1	144
CSD2	96
GSFD1	158
GSFD2	137
รวม	535

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลความเร็วและตำแหน่งของผู้ขับขี่ในแต่ละทางแยกเมื่อสัญญาณไฟเหลืองปรากฏ และแสดงแผนภาพการตัดสินใจของผู้ขับขี่ร่วมกับข้อมูลระยะทางจากเส้นหยุดและความเร็วรถขณะที่สัญญาณไฟเหลืองปรากฏ คำนวณระยะเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 (Type I DZ) แสดงดังรูปที่ 3 เพื่อตรวจสอบว่าผู้ขับขี่ตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้หรือไม่ และแสดงสถานการณ์นี้ร่วมกับแผนภาพการตัดสินใจข้างต้น เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการตัดสินใจหยุดในสถานการณ์ต่าง ๆ

เขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 สามารถคำนวณได้โดยจากสมการที่ (1) และ สมการที่ (2) โดย X_c คือ ระยะทางจากเส้นหยุดที่น้อยที่สุดที่รถจะสามารถหยุดได้อย่าง

สบาย (เมตร) V_0 คือ ความเร็วเข้าสู่ทางแยก (เมตร/วินาที) δ คือ ระยะเวลาการตอบสนองของผู้ขับขี่ (วินาที) a คือ อัตราหน่วงของผู้ขับขี่ (เมตร/วินาที^{2}) X_0 คือ ระยะทางสูงสุดที่รถสามารถผ่านทางแยกเมื่อเริ่มสัญญาณไฟเหลืองโดยไม่ต้องเร่งความเร็ว (เมตร) τ คือ ระยะเวลาไฟเหลือง (วินาที) W คือ ความกว้างของทางแยก (เมตร) L คือ ความยาวของยานพาหนะ (เมตร) ดังนี้

$$X_c = v_0\delta + \frac{{v_0}^2}{2a} \quad (1)$$

$$X_0 = v_0\tau - (w - L) \quad (2)$$

ในการคำนวณเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 จะคำนวณใน 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ใช้ค่าความเร็วจำกัดเป็นความเร็วรถเข้าสู่ทางแยก และในกรณีที่ 2 ใช้ความเร็วรถแต่ละคันเมื่อไฟเหลืองปรากฏเป็นความเร็วรถเข้าสู่ทางแยก โดยเมื่อกำหนด δ เท่ากับ 1 วินาที และ a เท่ากับ 3.4 เมตร/วินาที^{2} และแทนค่าต่าง ๆ จากตารางที่ 1 โดยพิจารณาเฉพาะเวลาไฟเหลืองไม่รวมระยะเวลาไฟแดงทุกด้าน คำนวณค่า X_C และ X_O โดยถ้า $X_C \leq X_O$ รถคันนั้นจะไม่ตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้ และหาก $X_C > X_O$ รถคันนั้นจะตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้ [2]

ในส่วนของเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 หรือโซนไม่แน่ใจสะท้อนพฤติกรรมการตัดสินใจของผู้ขับขี่เมื่อสัญญาณไฟเหลืองปรากฏ โดยในการศึกษานี้จะใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกแบบทวิภาคฯ และความน่าจะเป็น ดังสมการที่ (3) และ (4) ซึ่งวัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้เพื่อให้สามารถคาดการณ์ความน่าจะเป็นของผู้ขับขี่ในการหยุดหรือผ่านทางแยกในพื้นที่ที่กำหนด เนื่องจากผู้ขับขี่พบสัญญาณสีเหลืองขณะใกล้ถึงทางแยก มีทางเลือกสองทางว่าจะผ่านหรือหยุดที่ทางแยก การถดถอยโลจิสติกแบบทวิภาคสามารถอธิบายพฤติกรรมนี้ได้ดีขึ้นในฐานะฟังก์ชันของตัวแปรอธิบายต่าง ๆ ทางเลือกของผู้ขับขี่นั้นสัมพันธ์กันทางสถิติกับคุณลักษณะของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของพวกเขา [10] ความน่าจะเป็นของผู้ขับขี่โดยค่า P_i คือการหยุดที่ทางแยกนั้นได้รับจาก:

$$P_i(Stop) = \frac{1}{1 + \exp(-U_i)} \quad (3)$$

ฟังก์ชันยูทิลิตี้ของทางเลือกสามารถแสดงเป็น:

$$U_{ji} = \beta_0 + \beta_{j1}x_{j1} + \beta_{j2}x_{j2} + \ldots + \beta_{jn}x_{jn} \quad (4)$$

เมื่อ U_{ji} คือ ยูทิลิตี้ของผู้ขับขี่ (i) การเลือกทางเลือก (j), j คือ ทางเลือก (หยุดหรือไป) n คือ จำนวนตัวแปรอิสระ และ β คือ สัมประสิทธิ์แบบจำลอง

หลังจากหาค่าความน่าจะเป็นจากใช้แบบจำลองจะนำไปพลอตเป็นกราฟเพื่อหาขอบเขตของเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 ซึ่งจะกำหนดจากช่วงโอกาสในการหยุดที่ 10–90 เปอร์เซ็นต์ในรูประยะทางและเวลาเดินทางถึงเส้นหยุด

3. ผลการทดลอง

3.1 ระยะทางจากเส้นหยุด ความเร็วรถ และการตัดสินใจของผู้ขับขี่

จากการสำรวจข้อมูลผู้ขับขี่ 535 คน ที่อยู่ในระยะ 100 เมตร

จากเส้นหยุดในขณะที่สัญญาณไฟเหลืองปรากฏในช่วง 362 รอบสัญญาณไฟ สามารถสรุปข้อมูลตำแหน่งของผู้ขับขี่ซึ่งแสดงด้วยระยะห่างจากเส้นหยุดที่ทางแยก ความเร็วที่ใช้ในขณะที่ไฟเหลืองปรากฏ และการตัดสินใจหยุดหรือผ่านทางแยกไปของผู้ขับขี่ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ในขณะที่ไฟเหลืองปรากฏ แต่ละทางแยกมีลักษณะการกระจายตำแหน่งของรถในระยะ 100 เมตร จากเส้นหยุดในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ในด้านความเร็วรถ ผู้ขับขี่ใช้ความเร็วค่อนข้างสูงเข้าสู่ทางแยกในทุกทางแยก ความเร็วรถมีลักษณะการกระจายที่ค่อนข้างกว้าง (S.D. = 12.05–18.13) ทางแยก 3 แห่ง มีความเร็วเฉลี่ยสูงกว่าความเร็วจำกัด (60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) และทุกแห่งมีความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์สูงกว่าความเร็วจำกัด โดยเฉพาะ CSD2 ซึ่งผู้ขับขี่ใช้ความเร็วเข้าสู่ทางแยกสูงมาก

ตารางที่ 2 ตำแหน่งรถ ความเร็วรถ และการตัดสินใจของผู้ขับขี่

การตัดสินใจในสถานการณ์ต่าง ๆ		ทั้งหมด N = 535	ทางแยก			
			CSD1 N = 144	CSD2 N = 96	GSFD1 N = 158	GSFD2 N = 137
ระยะทางจากเส้นหยุด (เมตร)	Mean. (S.D.)	48 (28.35)	48 (27.93)	50 (28.09)	47 (27.47)	46 (29.72)
	Min.	0	0	2	0	0
	85^{th}	82	85	81	82	85
	Max.	100	100	98	95	100
ความเร็ว (กม./ชม.)	Mean. (S.D.)	61 (18.23)	63 (14.26)	79 (15.78)	48 (12.05)	62 (18.13)
	Min.	27	36	41	27	32
	85^{th}	82	77	100	63	82
	Max.	120	90	120	77	108
การตัดสินใจของผู้ขับขี่	หยุด	293 (55%)	58 (40%)	29 (30%)	117 (74%)	89 (65%)
	ไป	242 (45%)	86 (60%)	67 (70%)	41 (26%)	48 (35%)
	รวม	535 (100%)	144 (100%)	96 (100%)	158 (100%)	137 (100%)

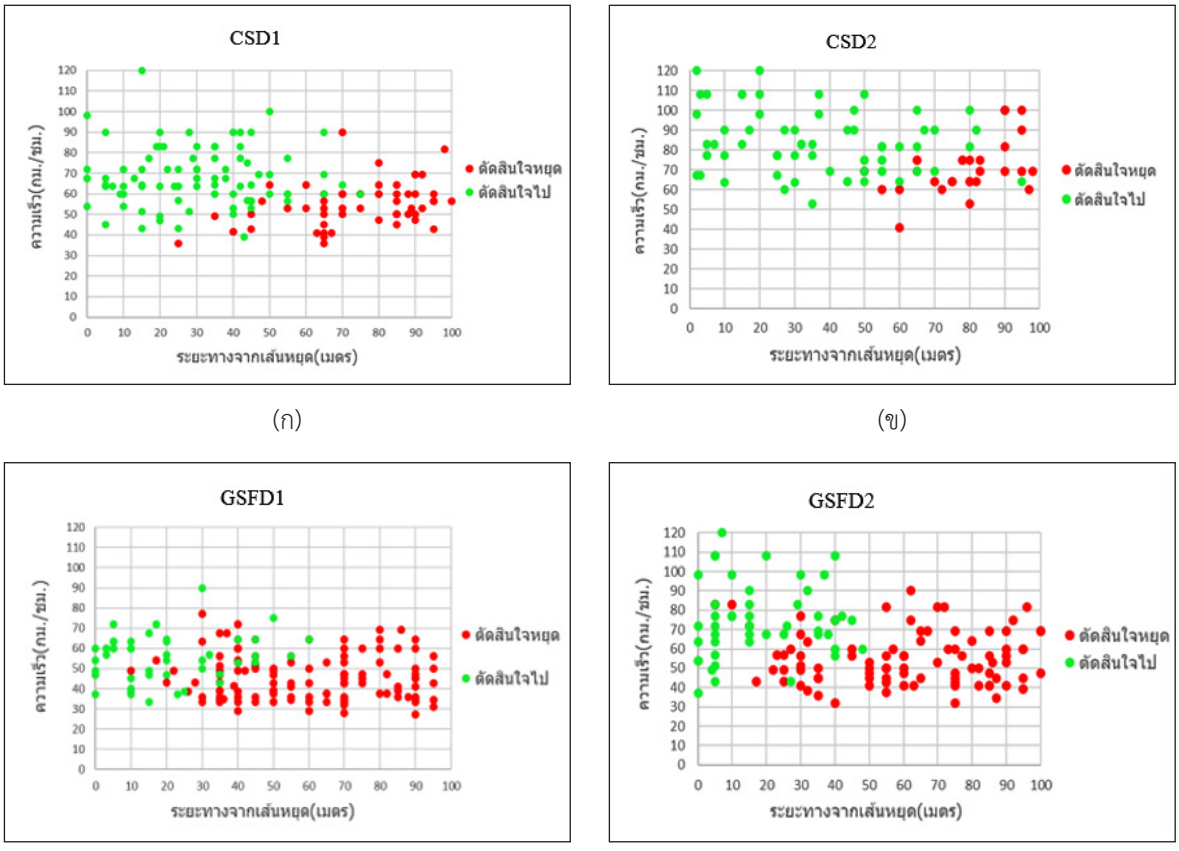
เมื่อพิจารณาลักษณะการตัดสินใจ ผู้ขับขี่ที่อยู่ในระยะ 100 เมตรจากเส้นหยุดเมื่อสัญญาณไฟเหลืองปรากฏ ร้อยละ 55 ตัดสินใจหยุดและร้อยละ 45 ตัดสินใจผ่านทางแยกไปเป็นที่สังเกตว่า ผู้ขับขี่ในบริเวณสามแยกที่ไม่ได้ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (CSD) มีสัดส่วนการหยุดค่อนข้างน้อยและส่วนมากจะเลือกผ่านทางแยกไป (ร้อยละ 60 และ 70 สำหรับ CSD 1 และ CSD 2 ตามลำดับ) ในทางตรงกันข้าม ผู้ขับขี่มีแนวโน้มจะตัดสินใจหยุดค่อนข้างมากในบริเวณทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (เลือกหยุดร้อยละ 74 และ 65 สำหรับ GSFD1 และ GSFD2 ตามลำดับ)

เมื่อนำข้อมูลระยะทางจากเส้นหยุดและความเร็วรถขณะที่สัญญาณไฟเหลืองปรากฏ มาแสดงร่วมกับลักษณะการตัดสินใจของผู้ขับขี่ สามารถแสดงแผนภาพการตัดสินใจในแต่ละทางแยก ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งในภาพรวมพบว่าผู้ขับขี่ที่เข้าใกล้ทางแยก มีระยะทางจากเส้นหยุดน้อย และใช้ความเร็วสูง มักจะตัดสินใจผ่านทางแยกไป ในขณะที่ผู้ขับขี่ที่อยู่ห่างออกไป (ระยะทางจากเส้นหยุดมาก) และใช้ความเร็วต่ำมักจะตัดสินใจหยุดรถที่ทางแยก ซึ่งสอดคล้องกับผลจากงานวิจัยที่ผ่านมา [2], [3]

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการตัดสินใจของผู้ขับขี่ในบริเวณทางแยกที่ไม่มี/มีสัญญาณไฟเขียวกระพริบ จากแผนภาพตำแหน่งเริ่มหยุดของผู้ขับขี่มีตำแหน่งที่ค่อนข้างแตกต่างกัน โดยสามแยกที่ไม่ได้ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (CSD) มีตำแหน่งเริ่มหยุดห่างจากเส้นหยุดที่ทางแยกกว่าในบริเวณสามแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (GSFD)

3.2 เขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 และการตัดสินใจของผู้ขับขี่

ผลในส่วนนี้อธิบายผลกระทบของเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 ต่อการตัดสินใจของผู้ขับขี่ โดยเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 สะท้อนสภาพบริเวณที่ผู้ขับขี่ไม่มีทางเลือกที่ปลอดภัย ตกอยู่ในสถานการณ์ที่ไม่สามารถหยุดรถได้อย่างนุ่มนวล หรือไม่สามารถเคลื่อนพ้นทางแยกได้ด้วยความเร็วคงที่ก่อนที่ไฟแดงจะปรากฏ

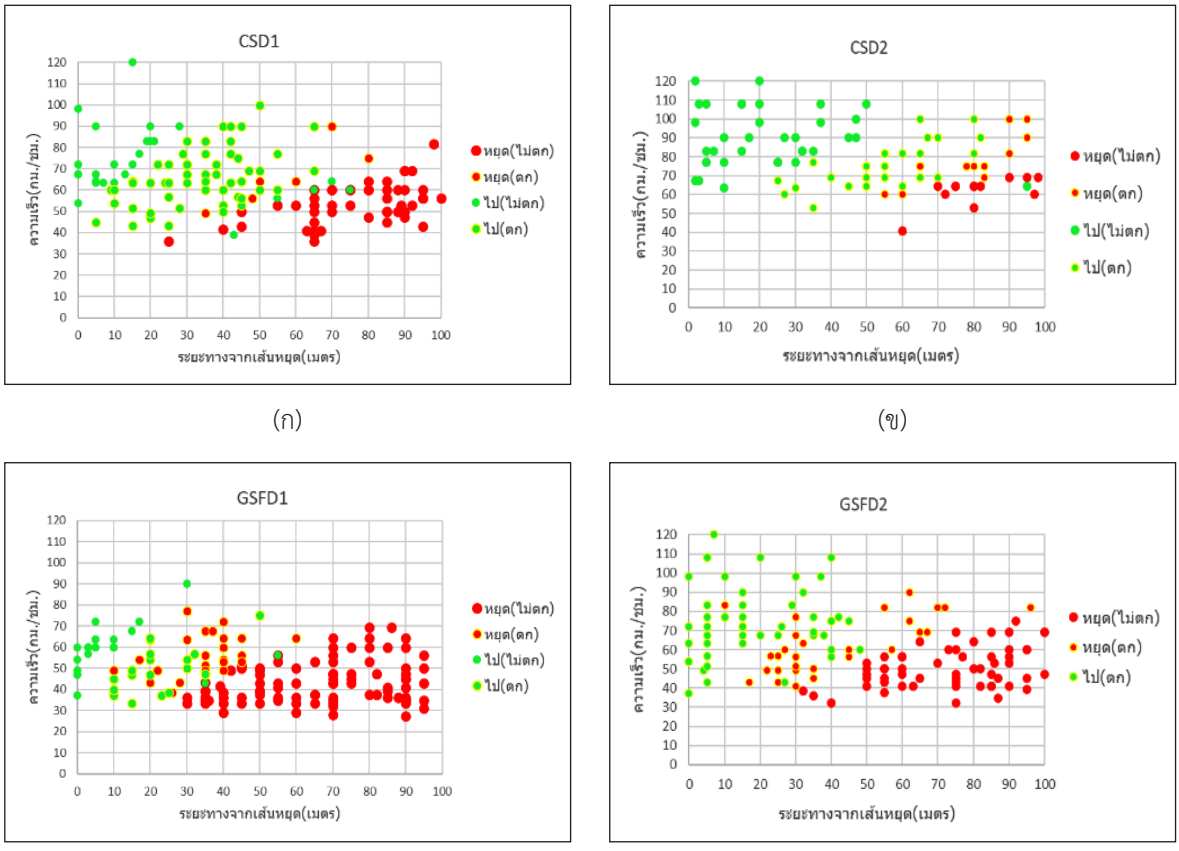


รูปที่ 4 ระยะทางจากเส้นหยุด ความเร็ว และการตัดสินใจหยุดหรือผ่านทางแยกเมื่อเหลืองปรากฏ ((ก) และ (ข) ทางแยกที่ไม่ได้ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (Common Signal Device; CSD)) ((ค) และ (ง) ทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (Green Signal Flashing Device; GSFD))

เมื่อพิจารณาระยะเขตหนีเสือปะจระเข้ในกรณีที่ 1 ตามความเร็วจำกัด (60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) การศึกษานี้พบว่าทุกทางแยกศึกษามีเขตหนีเสือปะจระเข้เกิดขึ้น มีขนาดตั้งแต่ 42–89 เมตร โดยที่ทางแยก GSFD2 มีเขตหนีเสือปะจระเข้กว้างถึง 89 เมตร เนื่องจากทางแยกนี้มีเวลาไฟเหลืองเพียง 2 วินาที ผนวกกับระยะข้ามแยกที่กว้างถึง 59 เมตร ซึ่งกว้างกว่าทางแยกอื่นมาก

อย่างไรก็ตาม ระยะทางที่คำนวณได้ในกรณีที่ 1 อาจจะไม่สามารถสะท้อนสภาพบริเวณที่ผู้ขับขี่ตกอยู่ในสถานการณ์หยุดไม่ได้หรือไปได้แต่ไม่พ้น เนื่องจากสถิติเชิงพรรณนาของความเร็วชี้ให้เห็นว่ารถมีความเร็วเข้าทางแยกที่แตกต่างกันมาก และมีความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ต่างจากความเร็วจำกัดที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วที่ใช้ในการคำนวณ ดังนั้น เมื่อคำนวณระยะนี้ตามความเร็วของรถแต่ละคัน (กรณีที่ 2) สามารถแสดงขอบเขตและขนาดเขตหนีเสือปะจระเข้ในแต่ละทางแยก ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งระยะทางดังกล่าว อยู่ในระยะ 100 เมตรจากเส้นหยุดในทุกทางแยก

เมื่อพิจารณาระยะเขตหนีเสือปะจระเข้และตำแหน่งของผู้ขับขี่จะสามารถระบุสถานการณ์ของผู้ขับขี่ได้ว่าในขณะที่ไฟเหลืองปรากฏนั้น ผู้ขับขี่อยู่ในตำแหน่งก่อนถึงเขตหนีเสือปะจระเข้ ตกในเขตหนีเสือปะจระเข้ หรือเลยออกจากเขตหนีเสือปะจระเข้แล้ว และสามารถแสดงแผนภาพตำแหน่งของ



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 5 สถานการณ์ในการตกในเขตหนีเสือปะจระเข้ ประเภทที่ 1 กรณีที่ 2 และการตัดสินใจของผู้ขับขี่ ((ก) และ (ข) ทางแยกที่ไม่ได้ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (Common Signal Device; CSD)) ((ค) และ (ง) ทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (Green Signal Flashing Device; GSFD))

ผู้ขับขี่ ความเร็วรถ สถานการณ์ของผู้ขับขี่ ร่วมกับการตัดสินใจหยุด/ไป แสดงดังรูปที่ 5 และสามารถสรุปสัดส่วนการตัดสินของผู้ขับขี่ในแต่ละสถานการณ์ในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 เขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 กรณีที่ 2

เขตหนีเสือปะจระเข้ ประเภทที่ 1 กรณีที่ 2 (ความเร็วรถแต่ละคัน)		**ทางแยก**			
		CSD1	CSD2	GSFD1	GSFD2
ระยะทางจากเส้นหยุด	จุดเริ่มต้น (ม.)	80	95	60	72
	จุดสิ้นสุด (ม.)	5	25	10	0
	ขนาด (ม.)	75	70	50	72

ตารางที่ 4 ในภาพรวม ลักษณะการควบคุมทางแยกในปัจจุบันทำให้ผู้ขับขี่ที่อยู่ในระยะ 100 เมตรจากเส้นหยุดที่ทางแยกเมื่อไฟเหลืองปรากฏ เมื่อพิจารณาการตัดสินใจเฉพาะในกลุ่มผู้ขับขี่ที่ตกอยู่ภายในเขตหนีเสือปะจระเข้ ซึ่งคิดเป็น 47% 49% 30% และ 58% ที่ CSD1 CSD2 GSFD1 และ GSFD2 ตามลำดับ การศึกษานี้พบว่า ผู้ขับขี่ที่ CSD1 CSD2 GSFD1 และ GSFD2 ตัดสินใจไป 90% 66% 43% และ 60% ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าทางแยก CSD1 และ GSFD1 เป็นสามแยกที่มีกายภาพและรอบสัญญาณไฟจราจรคล้ายคลึงกัน ตั้งอยู่บนถนนเส้นเดียวกันในพื้นที่ใกล้เคียงกัน และเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 4 สถานการณ์ของผู้ขับขี่ และการตัดสินใจหยุดหรือไป

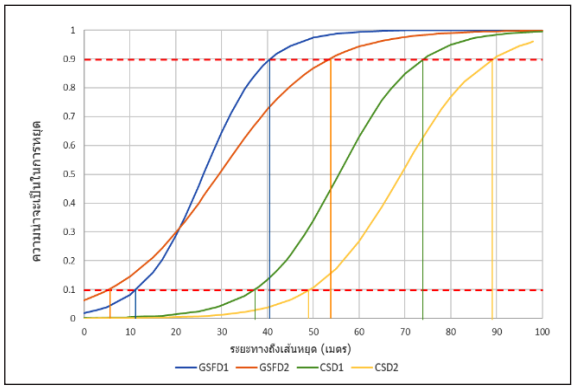
การตัดสินใจในสถานการณ์ต่าง ๆ	ทั้งหมด (N = 535)		ทางแยก			
			CSD1 (N = 144)	CSD2 (N = 96)	GSFD1 (N = 158)	GSFD2 (N = 137)
ก่อนเข้าเขตหนีเสือปะจระเข้	**ทั้งหมด**	**218 (41%)**	**55 (38%)**	**14 (15%)**	**92 (58%)**	**57 (42%)**
	- หยุด	210 (96%)	50 (91%)	13 (93%)	90 (98%)	57 (100%)
	- ไป	8 (4%)	5 (9%)	1 (7%)	2 (2%)	0 (0%)
ภายในเขตหนีเสือปะจระเข้	**ทั้งหมด**	**241 (45%)**	**67 (47%)**	**47 (49%)**	**47 (30%)**	**80 (58%)**
	- หยุด	82 (34%)	7 (10%)	16 (34%)	27 (57%)	32 (40%)
	- ไป	159 (66%)	60 (90%)	31 (66%)	20 (43%)	48 (60%)
เลยจากเขตหนีเสือปะจระเข้	**ทั้งหมด**	**76 (14%)**	**22 (15%)**	**35 (36%)**	**19 (12%)**	**0 (0%)**
	- หยุด	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	- ไป	76 (100%)	22 (100%)	35 (100%)	19 (100%)	0 (0%)

แต่ผู้ขับขี่มีลักษณะการตัดสินใจเลือกในสถานการณ์ที่ตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้ แตกต่างกันมาก โดยผู้ขับขี่เกือบทั้งหมด (90%) ที่ CSD1 เลือกผ่านทางแยกไป ในขณะที่ผู้ขับขี่ ส่วนมากที่ GSFD1 (57%) เลือกหยุดที่ทางแยก

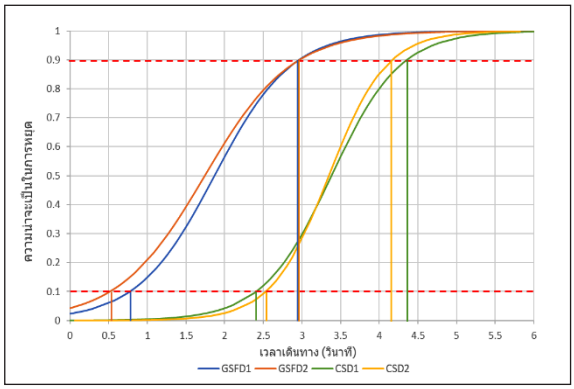
แม้ผลในส่วนนี้สะท้อนให้เห็นว่า สถานการณ์ที่ผู้ขับขี่ตกในเขตหนีเสือปะจระเข้ และลักษณะของสัญญาณไฟอาจส่งอิทธิพลต่อการตัดสินใจของผู้ขับขี่ อย่างไรก็ตามเขตหนีเสือปะจระเข้ในกรณีคำนวณขึ้นบนสมมติฐานว่า ผู้ขับขี่ตัดสินใจเลือกในขณะที่ไฟเหลืองปรากฏ ซึ่งอาจไม่ถูกต้องในกรณีที่มีสัญญาณไฟเขียวกระพริบเตือนผู้ขับขี่ก่อนไฟเหลืองปรากฏ ดังนั้น ในบริเวณ GSFD เขตหนีเสือปะจระเข้ที่คำนวณได้อาจไม่สามารถสะท้อนสภาพการณ์หยุดไม่ได้ ไปไม่ทันของผู้ขับขี่

3.3 เขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 และการตัดสินใจของผู้ขับขี่

ผลในส่วนนี้แสดงเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 หรือเขตไม่แน่ใจในบริเวณทางแยกศึกษา เขตไม่แน่ใจสะท้อนพฤติกรรมการตัดสินใจหยุดของผู้ขับขี่ แสดงขอบเขตพื้นที่ที่มีความน่าจะเป็นในการหยุดระหว่าง 0.1 ถึง 0.9 จากการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการหยุดด้วยการสร้างแบบจำลองการถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี ได้ระยะเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 ในรูปแบบระยะทางจากเส้นหยุด และเวลาการเดินทางจากเส้นหยุด ดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6 และความน่าจะเป็นในการหยุดของผู้ขับขี่ ดังแสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7



รูปที่ 6 ความน่าจะเป็นในการหยุดของผู้ขับขี่เมื่อเข้าสู่ทางแยกในช่วงไฟเหลืองปรากฏในรูปแบบระยะทาง



รูปที่ 7 ความน่าจะเป็นในการหยุดของผู้ขับขี่เมื่อเข้าสู่ทางแยกในช่วงไฟเหลืองปรากฏในรูปเวลาเดินทาง

ตารางที่ 5 เขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 ในรูปแบบระยะทาง

เขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2		ทางแยก			
		CSD1	CSD2	GSFD1	GSFD2
ระยะทางจากเส้นหยุด (เมตร)	จุดเริ่มต้น	74	89	41	54
	จุดสิ้นสุด	37	49	11	5
	ขนาด (ม.)	37	40	30	49

ตารางที่ 6 เขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 ในรูปเวลาเดินทาง

เขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2		ทางแยก			
		CSD1	CSD2	GSFD1	GSFD2
เวลาเดินทางจากเส้นหยุด (วินาที)	จุดเริ่มต้น	4.36	4.17	2.96	2.97
	จุดสิ้นสุด	2.41	2.53	0.78	0.52
	ขนาด (วินาที)	1.95	1.64	2.18	2.45

จากตารางที่ 5 และรูปที่ 6 เขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 ในรูปแบบระยะทาง ทางแยกไฟเขียวธรรมดา CSD1 มีเขตนี้ขนาด 37 เมตร ตั้งแต่ระยะ 74 ถึง 37 เมตร จากเส้นหยุด CSD2 มีเขตนี้ขนาด 40 เมตร ตั้งแต่ระยะ 89 ถึง 49 เมตร จากเส้นหยุด ส่วนทางแยกที่ติดตั้งไฟเขียวกระพริบ GSFD1 มีเขตนี้ขนาด 30 เมตร ตั้งแต่ระยะ 41 ถึง 11 เมตร จากเส้นหยุด GSFD2 มีเขตนี้ขนาด 49 เมตร ตั้งแต่ระยะ 54 ถึง 5 เมตร จากเส้นหยุด อย่างไรก็ตามเนื่องจากความเร็วรถเข้าทางแยกในการศึกษานี้มีกระจายตัวค่อนข้างกว้าง ดังนั้นเวลาในการเดินทางซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเร็วและระยะทางควรจะสามารถทำนายความน่าจะเป็นในการหยุดได้จากแม่นยำกว่าการทำนายจากระยะทางเพียงปัจจัยเดียว ซึ่งสอดคล้องกับผลจากงานวิจัย [11] ซึ่งสรุปว่า ขอบเขตของเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 ถูกกำหนดได้อย่างแม่นยำที่สุดโดยใช้เวลาเดินทางจากเส้นหยุด

จากตารางที่ 6 เขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 ในรูปแบบเวลาเดินทาง ทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวธรรมดา CSD1 มีขนาด 1.95 วินาที ตั้งแต่ 4.36 วินาที ถึง 2.41 วินาที ถึงเส้นหยุด CSD2 มีขนาด 1.64 วินาที ตั้งแต่ 4.17 วินาทีถึง 2.53 วินาที ถึงเส้นหยุด ในบริเวรทางแยกที่ติดตั้งไฟเขียวกระพริบ GSFD1 มีขนาด 2.18 วินาทีตั้งแต่ 2.96 วินาทีถึง 0.78 วินาทีถึงเส้นหยุดและ GSFD2 มีขนาด 2.45 วินาทีตั้งแต่ 2.97 วินาทีถึง 0.52 วินาทีถึงเส้นหยุด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบขนาดความกว้างของเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 การศึกษานี้พบว่า ทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (GSFD) มีขนาดเขตนี้กว้างกว่าทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวธรรมดา (CSD) โดยขยายเพิ่มขึ้นประมาณ 0.8 วินาที

รูปที่ 7 แสดงแผนภาพการตัดสินใจของผู้ขับขี่ และเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 ในรูปเวลาเดินทางถึง

เส้นหยุด จากภาพเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 พบว่า จุดสิ้นสุดของ CSD1 CSD2 GSFD1 และ GSFD2 มีค่า 2.41 2.53 0.78 และ 0.52 วินาที ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวจุดสิ้นสุดของ GSFD มีตำแหน่งใกล้เส้นหยุดของทางแยกมากกว่า CSD และมีตำแหน่งใกล้เส้นหยุดมากเกินไป เนื่องจากตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่มีผู้ขับขี่เริ่มหยุด ดังนั้นในสถานการณ์ที่ผู้ขับขี่ต้องการเวลาในการรับรู้และตัดสินใจ 0.5–1 วินาที และต้องการเวลาอีกช่วงในการหยุดรถ ผู้ขับขี่ที่มีเวลาเพียง 0.52–0.78 วินาที ก่อนถึงเส้นหยุด ไม่ควรจะสามารถตัดสินใจหยุดและหยุดรถได้ทัน ดังนั้นมีความเป็นไปได้ว่าการตัดสินใจเลือกหยุดรถของผู้ขับขี่ที่ GSFD บางส่วนอาจเกิดขึ้นก่อนที่สัญญาณไฟเหลืองจะปรากฏ อาจเกิดขึ้นตั้งแต่ผู้ขับขี่ได้รับข้อมูลจากสัญญาณไฟเขียวกระพริบ

นอกจากนั้นผู้ขับขี่บางส่วนในบริเวณทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ อาจเริ่มตัดสินใจเลือกตั้งแต่พบสัญญาณไฟเขียวกระพริบ การตัดสินใจหยุดหรือไปเกิดขึ้นก่อนที่สัญญาณไฟเหลืองจะปรากฏ ดังนั้น ในบริเวณทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ การสมมติฐานว่าผู้ขับขี่เริ่มตัดสินใจในขณะที่ไฟเหลืองปรากฏอาจไม่สมเหตุสมผล และทำให้ระยะเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 ที่คำนวณได้คลาดเคลื่อนจากสถานการณ์จริง

4. อภิปรายผลและสรุป

ตำแหน่งรถ ความเร็วรถ และการตัดสินใจของผู้ขับขี่ (ตารางที่ 2) ในส่วนการใช้ความเร็วสูงเข้าสู่ทางแยก พบว่า มีทางแยก 3 แห่ง มีความเร็วรถเฉลี่ยสูงกว่าความเร็วจำกัด (60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) และทุกแห่งมีความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์สูงกว่าความเร็วจำกัด 3–40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และในส่วนการตัดสินใจของผู้ขับขี่ในภาพรวม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า บริเวณทางที่ไม่ได้ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวธรรมดา (CSD) มีสัดส่วนการตัดสินใจหยุดน้อยกว่า และมีตำแหน่งที่รถเริ่มหยุดขยับห่างจากทางแยกกว่าสามแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (GSFD) ซึ่งสอดคล้องและยืนยันผลการศึกษาในต่างประเทศ [6], [9] ซึ่งข้อมูลนี้อาจจะกระตุ้นการตอบสนองในการตัดสินใจหยุดเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟเขียวธรรมดาซึ่งไม่มีการให้ข้อมูลเตือนล่วงหน้า

จากตารางที่ 4 พบว่า ทุกทางแยกมีเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 1 กรณีที่ 2 เกิดขึ้น โดยผู้ขับขี่ ร้อยละ 45 ตกอยู่ในเขตนี้เมื่อสัญญาณไฟเหลืองปรากฏ และส่วนมาก (ร้อยละ 66) เลือกผ่านทางแยกไป โดยทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวธรรมดามีการตัดสินใจไปถึง ร้อยละ 66–90 แต่ในทางกลับกันทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบมีการตัดสินใจไปผู้ขับขี่ตัดสินใจไป ร้อยละ 43–60 สรุปได้ว่าพฤติกรรมการตัดสินใจของผู้ขับขี่ที่ตกอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้บริเวณทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบเลือกหยุดที่ทางแยก

เขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 ในรูปแบบเวลาเดินทาง (ตารางที่ 6) พบว่า ทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวกระพริบ (GSFD) มีขนาดเขตหนีเสือปะจระเข้ประเภทที่ 2 หรือเขตไม่แน่ใจ 2.18–2.45 วินาที กว้างกว่าทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟเขียวธรรมดา(CSD) 1.64–1.95 (ทาง 3 แยก และทาง 4 แยก ตามลำดับ) โดยขยายเพิ่มขึ้นประมาณ 0.8 วินาที สอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมาในอดีต โดยกล่าวว่าสถานการณ์ที่โซนไม่แน่ใจมีขนาดใหญ่ขึ้น และการที่ผู้ขับขี่อาจเลือกหยุดรถแม้พบไฟเหลืองในขณะที่อยู่ใกล้เส้นหยุด อาจทำให้ผู้ขับขี่ที่ขับตามมาคาดเดาการตัดสินใจของรถคันด้านหน้าได้ยากขึ้นว่าจะหยุดหรือไป สถานการณ์ดังกล่าวอาจเพิ่มความเสี่ยงในการชนท้ายที่ทางแยกได้ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสภาพความปลอดภัยที่ทางแยก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณทางแยกศึกษาซึ่งผู้ขับขี่ใช้ความเร็วค่อนข้างสูงเข้าสู่ทางแยกในช่วงเวลาไฟเหลือง [3], [8], [9]

การศึกษานี้แม้ให้ข้อมูลในเบื้องต้นที่เป็นประโยชน์สามารถสะท้อนพฤติกรรมของผู้ขับขี่ในบริเวณทางแยกศึกษา อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณและระยะเวลาในการศึกษา การศึกษานี้สุ่มเลือกทางแยกศึกษาจำนวน 4 ทางแยก ซึ่งอาจยังไม่สามารถเป็นตัวแทนของพฤติกรรมของผู้ขับขี่บริเวณสามแยกในเขตเมืองได้ และต้องการพื้นที่ศึกษาเพิ่มเติม คือ เพิ่มทางแยกที่เป็นทางสี่แยก พฤติกรรมการตัดสินใจของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ในเขตเมือง เนื่องจาก

ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์อาจมีพฤติกรรมที่แตกต่างจากรถยนต์ในการเข้าทางแยก และการตอบสนองของของผู้ขับขี่รวมไปถึงระยะเวลารับรู้และตัดสินใจ และอัตราการเปลี่ยนความเร็วรถเพื่อรองรับพฤติกรรมการขับขี่ภายใต้สภาพ การจราจรแบบผสมในประเทศไทย เพื่อประโยชน์ต่องานวิจัยในอนาคต [12]

เอกสารอ้างอิง

[1] World Health Organization, "Global status report on road safety 2018," World Health Organization, vol. 151, no. 2, 2018.

[2] S. Buahome, T. Satiennam, and W. Satiennam, "Driver's speed and stop/go decision during the onset of yellow: a high-speed urban mixed traffic intersection case study," *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, vol. 20, no. 1, 2020 (in Thai).

[3] H. Köll, M. Bader, and K. W. Axhausen, "Driver behaviour during flashing green before amber: A comparative study," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 36, no. 2, pp. 273–280, 2004.

[4] R. Factor, J. N. Prashker, and D. Mahalel, *"The flashing green light paradox," Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 15, no. 3, pp. 279–288, 2012.

[5] H. Huang, D. Wang, L. Zheng, and X. Li, "Evaluating time-reminder strategies before amber: Common signal, green flashing and green countdown," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 71, pp. 248–260, 2014.

[6] D. Mahalel, D. Zaidel, and T. Klein, "Driver's decision process on termination of the green light," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 17, no. 5, pp. 373–380, 1985.

[7] M. S. Short, G. A. Woelfl, and C. J. Chang, "Effects of traffic signal installation on accidents," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 14, no. 2, pp. 135–145, 1982.

[8] K. Tang, Y. Xu, P. Wang, and F. Wang, "Impacts of flashing green on dilemma zone behavior at high-speed intersections: Empirical study in China," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 141, no. 7, p. 04015005, 2015.

[9] R. N. Mussa, C. J. Newton, J. S. Matthias, E. K. Sadalla, and E. K. Burns, "Simulator evaluation of green and flashing amber signal phasing," *Transportation Research Record*, no. 1550, pp. 23–29, 1997.

[10] B. K. Pathivada and V. Perumal, "Analyzing dilemma driver behavior at signalized intersection under mixed traffic conditions," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 60, pp. 111–120, 2019.

[11] J. Bonneson, D. Middleton, K. Zimmerman, and H. Charara, "Intelligent detection-control system for rural signalized intersections," Texas Department of Transportation, Austin, TX, U.S.A. Rep. No. FHWA/TX03/4022-2, 2002.

[12] L. F. Mannering and S. S. Washburn, *Principles of highway engineering and traffic analysis*. John Wiley & Sons, 2020.