

ปัจจัยการจัดกลุ่มและแนวคิดการออกแบบกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษเพื่อรองรับระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (M-Flow) บนทางพิเศษฉลองรัช

Grouping Factors and Physical Design Concepts of Toll Plazas for Supporting the Multi-Lane Free Flow (M-Flow) Toll System on the Chalong Rat Expressway

ธนุฒิ กล่อมระนง^{1*} ธนพร กรวิงษ์² เสาวณี ศรีสุวรรณ³ นันทวรรณ พิทักษ์พานิช⁴ และ เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร⁵

^{1,2,3,4,5} กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310

*Corresponding author; E-mail address: engineering54@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการทางพิเศษแห่งประเทศไทยอยู่ระหว่างดำเนินการติดตั้งระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (M-Flow) เพื่อใช้บนโครงข่ายทางพิเศษ ทำให้ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษในปัจจุบันซึ่งมีจำนวนมากต้องได้รับการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพเพื่อรองรับการใช้งานระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ M-Flow บทความนี้จะนำเสนอปัจจัยการจัดกลุ่มและแนวคิดการออกแบบทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ เพื่อรองรับระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ M-Flow บนทางพิเศษฉลองรัช จำนวนทั้งสิ้น 14 ด่านฯ ซึ่งสามารถจัดได้เป็น 5 กลุ่ม โดยการจัดกลุ่มด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้พิจารณาจากลักษณะทางกายภาพที่คล้ายคลึงกันใน 5 ปัจจัยได้แก่ รูปแบบการให้บริการ รูปร่างและลักษณะทางกายภาพ จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ปริมาณจราจร และระดับการให้บริการ ซึ่งผลการจัดกลุ่มมีตัวแทนด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษทั้งหมด 7 ด่านฯ ใน 5 กลุ่มถูกนำมาเป็นต้นแบบสำหรับการออกแบบทางกายภาพเพื่อกำหนดตำแหน่งช่อง M-Flow ที่เหมาะสมที่สุด โดยการกำหนดช่อง M-Flow นี้พิจารณาการออกแบบจาก 3 แนวทางคือ ลักษณะทางกายภาพที่รองรับระบบเก็บค่าผ่านทางแบบผสมผสาน ลักษณะทางกายภาพที่สอดคล้องกับการทำงานของระบบ M-Flow และลักษณะทางกายภาพที่สอดคล้องกับระบบเก็บค่าผ่านทางเดิมและความปลอดภัยของพนักงานเก็บค่าผ่านทาง

คำสำคัญ: ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ, การออกแบบกายภาพ, ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ M-Flow

Abstract

At present, the Expressway Authority of Thailand (EXAT) is under an installation of the Multi-Lane Free Flow (M-Flow) toll collection system on the expressway network. The physical characteristics of many current toll gates must be improved to support the use of the M-Flow toll system. This paper aims to present the grouping factors and physical design concepts of the compiled toll gates on the Chalong Rat Expressway to support the M-Flow system. The fourteen toll plazas on the Chalong Rat Expressway were compiled and divided into five groups based on five factors of similar physical characteristics, namely service system, shape and physical characteristics, number of toll lanes, traffic volume, and level of service. As a result, a total of seven

toll gates representing those five groups will be used for the physical design model to determine the optimal M-Flow lane position, considering the design from three concepts; physical characteristics that support the integrated toll collection system, physical characteristics consistent with the operation of the M-Flow system, and physical characteristics consistent with the traditional toll system and safety of toll collectors.

Keywords: Toll Plazas, Physical Design, Multi-Lane Free Flow (M-Flow)

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) มีโครงข่ายทางพิเศษครอบคลุมพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ทั้งหมด 8 สายทาง ซึ่งมีระยะทางทั้งสิ้น 224.6 กิโลเมตร และมีการให้บริการระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษ 2 รูปแบบตามลักษณะการชำระค่าผ่านทาง คือ ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (Manual Toll Collection; MTC) ซึ่งมีอัตราการให้บริการสูงสุด 400 คันต่อชั่วโมงต่อช่องทาง และระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection; ETC) ซึ่งมีอัตราการให้บริการสูงสุด 800 คันต่อชั่วโมงต่อช่องทาง แต่อย่างไรก็ตามระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีอยู่เดิมทั้ง 2 รูปแบบไม่เพียงพอสำหรับการให้บริการสำหรับผู้ใช้งาน เนื่องจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ทำให้จำนวนยานพาหนะที่ใช้บริการทางพิเศษเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้นถึง 1,905,131 เที่ยวต่อวัน ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัดของยานพาหนะบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ [1] ด้วยเหตุนี้กระทรวงคมนาคมจึงมีนโยบายให้ กทพ. ในฐานะหน่วยงานที่สร้าง และบำรุงรักษาทางพิเศษ ตลอดจนดำเนินงานหรือธุรกิจเกี่ยวกับทางพิเศษ เร่งดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าว และเพิ่มความคล่องตัวสำหรับการเดินทางบนทางพิเศษให้แก่ผู้ใช้บริการตลอดเส้นทาง โดยหนึ่งในนโยบายที่สำคัญ คือ การศึกษาและพัฒนาระบบจัดเก็บค่าผ่านทางแบบไม่มีไม้กั้น หรือระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (M-Flow) ซึ่งเป็นระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติรูปแบบใหม่ โดยต้องมีการศึกษาและออกแบบกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีอยู่เดิมเพื่อกำหนดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางระบบ M-Flow ในแต่ละด่านตามลักษณะทางกายภาพในปัจจุบัน ให้สามารถรองรับการให้บริการ ลดปัญหาการติดขัดบริเวณหน้าด่าน และกระแสจราจรใกล้เคียงกับการไหลอย่างอิสระ (Free Flow) มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยการจัดกลุ่มของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ เพื่อรองรับระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (M-Flow) บนทางพิเศษฉลองรัช
2. ศึกษาแนวความคิดการออกแบบกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ เพื่อกำหนดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษระบบ M-Flow ให้สามารถรองรับระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (M-Flow) บนทางพิเศษฉลองรัช

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการนำเสนอปัจจัยการจัดกลุ่มและแนวความคิดการออกแบบกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษระบบ M-Flow ในแต่ละด่านตามลักษณะทางกายภาพในปัจจุบัน บนทางพิเศษฉลองรัช

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย

ปัจจุบันทางพิเศษของการทางพิเศษแห่งประเทศไทยได้ก่อสร้างทางพิเศษและเปิดให้บริการแล้วจำนวน 8 สายทาง ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล โดยมีระบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษ 2 ระบบ ดังนี้ [2]

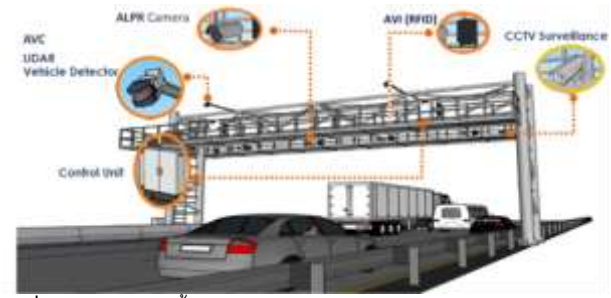
2.1.1 ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (Manual Toll Collection; MTC) เป็นระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ใช้พนักงาน โดยยานพาหนะจำเป็นต้องหยุดนิ่ง เพื่อชำระเงินสดให้กับพนักงาน และไม้กั้นจะเปิดให้ยานพาหนะวิ่งผ่านไป

2.1.2 ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection; ETC) เป็นระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ไม่ใช้พนักงาน โดยยานพาหนะจำเป็นต้องชะลอความเร็ว เพื่อชำระเงินผ่านบัตร Easy Pass และไม้กั้นจะเปิดให้ยานพาหนะวิ่งผ่านไป

2.2 ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (M-Flow)

ระบบจัดเก็บค่าผ่านทางแบบไม่มีไม้กั้น หรือระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (M-Flow) เป็นระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติรูปแบบใหม่ ที่มีอัตราการให้บริการมากกว่า 1,200 คันต่อชั่วโมง และสามารถรองรับความเร็วยานพาหนะได้ถึง 160 กม./ชม. โดยใช้เทคโนโลยีระบบปัญญาประดิษฐ์ในรูปแบบการอ่านป้ายทะเบียนรถอัตโนมัติ (Automatic License Plate Recognition; ALPR) ร่วมกับระบบตรวจจ้ยานพาหนะอัตโนมัติ (Automatic Vehicle Identification; AVI) เพื่อใช้ตรวจสอบยานพาหนะและระบุตัวตนของผู้ใช้บริการ ในการเรียกเก็บค่าผ่านทางพิเศษภายหลังการใช้บริการ (Post-Paid) [3-4]

อุปกรณ์ที่ติดตั้งในช่องทาง (Lane) สำหรับตรวจจ้ยานพาหนะและระบุตัวตนผู้ใช้บริการที่ใช้ช่องทางระบบ M-Flow แบบอัตโนมัติดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ในระดับช่องทาง (Lane) ของระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (M-Flow)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการให้บริการของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ เพื่อเป็นแนวคิดพื้นฐานในการจัดกลุ่มและออกแบบกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ เพื่อกำหนดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางระบบ M-Flow ที่เหมาะสมในแต่ละด่านฯ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

Kim, B. J. [5] ได้ศึกษาการไหลของกระแสจราจร (Traffic Flow) สำหรับการออกแบบด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ (Toll Plaza) ณ พื้นที่ทางตะวันออกของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษใน North Carolina ผ่านแบบจำลองเชิงตัวเลข ด้วยการจำลองปริมาณจราจร พบว่าการเลือกช่องทางให้บริการชำระค่าผ่านทางที่เหมาะสม อัตราการเก็บค่าผ่านทางด้วยระบบอัตโนมัติ (ETC) และจำนวนตู้เก็บค่าผ่านทาง (Toll Booth) มีผลต่อการไหลของกระแสจราจร (Traffic Flow) และสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้ เช่น ความยาวแถวคอยสูงสุด (Maximum Queue Length) และระยะเวลาการรอสูงสุด (Maximum Waiting Time)

Chintaman, S. B., Yogeshwar, V. N., และ Ashish, D. [6] ได้ศึกษาความล่าช้าของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ (Toll Plaza) ภายใต้สภาพการจราจรที่ปะปนกัน (Mixed Traffic) ของประเทศอินเดีย ได้แก่ เวลาให้บริการและเวลารอ (Service Time and Waiting Time) การเร่งความเร็ว และการชะลอความเร็ว ผ่านแบบจำลองเชิงตัวเลข พบว่าระดับการให้บริการ (LOS) และจำนวนตู้เก็บค่าผ่านทาง (Toll Booth) มีผลโดยตรงต่อปริมาณความล่าช้าของยานพาหนะและระบบการชำระค่าผ่านทางพิเศษ

ธีรณัย อินดี และจรัส พิทักษ์ศฤงคาร [7] ได้ศึกษาการจัดการสภาพจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง เพื่อรองรับปริมาณจราจรในปี พ.ศ.2570 โดยวิเคราะห์การจัดวางตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) ตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) ให้มีความผสมผสานกับตำแหน่งช่องผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) ผ่านโปรแกรม VISSIM ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า หากติดตั้งระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) จำนวน 9 ช่อง อยู่กึ่งกลางของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ผสมผสานกับตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) จำนวน 2 ตู้ สามารถแก้ไขปัญหาการติดขัดของการจราจร และรองรับปริมาณจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดงในปี พ.ศ. 2570 ได้

Ümitcan, Ö., Mustafa, G., และ Göker, A. [8] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษ (Toll Booth) แบบไม่มีไม้กั้น ในด้านของเวลาล่าช้า (Delay Time) และเวลาในการเดินทาง (Travel Time) เปรียบเทียบกับตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษ (Toll Booth) แบบไม่มีไม้กั้น บนทางหลวง Northern Marmara ประเทศตุรกี โดยใช้โปรแกรม VISSIM ซึ่งจากผล

การศึกษาพบว่าความล่าช้า (Delay Time) และเวลาในการเดินทาง (Travel Time) ของตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษ (Toll Booth) แบบไม่มีไม้กั้นลดลงจากตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษ (Toll Booth) แบบมีไม้กั้นเป็นเวลา 390 วินาที และ 182 วินาที ตามลำดับ นอกจากนี้การเพิ่มขนาดและการลดจำนวนของตู้เก็บค่าผ่านทางแบบไม่มีไม้กั้น มีผลทำให้เกิดคอขวดของการจราจร (Traffic Bottleneck)

Vittorio, A., Michael, F., และ Giuseppe, M. [9] ได้ศึกษาด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีระบบชำระค่าผ่านทางแบบผสมผสานทั้งรูปแบบ Manual Collection System (MCS) และ Electronic Toll Collection (ETC) ที่มีอัตราส่วนแตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์การไหลของยานพาหนะ (Vehicular Flow) ที่ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ผ่านแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค พบว่าปริมาณจราจรบริเวณขาเข้า พฤติกรรมของผู้ขับขี่ ยานพาหนะ และลักษณะทางกายภาพ มีผลต่อแถวคอยของยานพาหนะ ในช่วงปรับช่องจราจร (Transitional Lane) ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถในการให้บริการของด่านเก็บค่าผ่านทางแบบ Electronic Toll Collection (ETC) เนื่องจากการติดขัดของจราจรบริเวณหน้าด่าน ดังนั้น ควรวางแผนการจัดการจราจรและออกแบบการจัดวางระบบชำระค่าผ่านทางแบบผสมผสาน ทั้งรูปแบบ Manual Collection System (MCS) และ Electronic Toll Collection (ETC) ร่วมกับระบบอื่นๆ เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว

Diaz, C., Madrigal, J., Mappala, A., Palmiano, H., และ Sigua, R. [10] ได้ศึกษาการจัดสรรช่องทางการเก็บค่าผ่านทางอิเล็กทรอนิกส์ ระหว่างระบบ Manual และระบบ E-Pass บนทางพิเศษ South Luzon ประเทศฟิลิปปินส์ เพื่อเพิ่มเวลาในการให้บริการ (Service Time) และลดความล่าช้า (Delay Time) พบว่าการจัดสรรช่องทางการระบบ Manual และระบบ E-Pass ควรมีความสอดคล้องกับปริมาณและสัดส่วนของผู้ใช้งาน โดยการปรับสัดส่วนระบบ E-Pass ที่เพิ่มขึ้นสามารถลดความล่าช้าทั้งหมดของระบบ และสามารถเพิ่มความจุของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้พิจารณาเลือกทางพิเศษคลองรัช ที่มีการดำเนินงานระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (M-Flow) ตลอดทั้งเส้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยทางพิเศษคลองรัชเป็นทางยกระดับขนาด 6 ช่องจราจร ระยะทางรวม 28.2 กิโลเมตร และมีด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษรวมจำนวน 14 ด่าน ได้แก่ ด่านฯ จตุโชติ ด่านฯ สุขาภิบาล 5-1 ด่านฯ สุขาภิบาล 5-2 ด่านฯ อางณรงค์ 2 ด่านฯ พระโขงน ด่านฯ พัฒนาการ 1 ด่านฯ พัฒนาการ 2 ด่านฯ พระราม 9-1 ด่านฯ พระราม 9-2 ด่านฯ ประชาอุทิศ ด่านฯ ลาดพร้าว ด่านฯ โยธินพัฒนา ด่านฯ รามอินทรา และด่านฯ รามอินทรา 1



รูปที่ 2 แผนที่โครงข่ายทางพิเศษ (Expressway Network)

3.2 การสำรวจเพื่อสอบทวนการออกแบบลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ในทางพิเศษคลองรัช

การสำรวจลักษณะทางกายภาพทางพิเศษคลองรัช สำหรับการดำเนินการระบบ M-Flow เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางและปริมาณจราจรในปัจจุบัน เช่น ตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางเดิม ระยะในการติดตั้งเสาจราจร รูปแบบเครื่องหมายจราจรบนพื้นทาง พฤติกรรมของกระแสนจราจร ปริมาณจราจรในช่วงเวลาเร่งด่วนบริเวณหน้าด่านฯ และข้อจำกัดในการดำเนินงานต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การสำรวจเพื่อสอบทวนออกแบบกายภาพด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

3.3 แนวคิดการดำเนินการจัดกลุ่มด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

การออกแบบกายภาพด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ บนโครงข่ายทางพิเศษ ให้สามารถรองรับการใช้งานระบบ M-Flow จำเป็นต้องมีการศึกษาและลงสำรวจลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษในปัจจุบัน รวมถึงข้อจำกัดด้านพื้นที่และโครงสร้างของทางพิเศษของแต่ละด่าน เพื่อใช้พิจารณาถึงความเหมาะสมของตำแหน่งช่อง M-Flow ที่จะเพิ่มขีดความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากจำนวนด่านที่ค่อนข้างมาก จึงต้องมีการพิจารณาจัดกลุ่มด่าน ที่มีลักษณะกายภาพและการให้บริการคล้ายคลึงกัน เพื่อคัดเลือกตัวแทนด่านของแต่ละกลุ่มมาใช้ในการออกแบบกายภาพ โดยการคัดเลือกตัวแทนด่านจะอาศัยวิธีการจัดกลุ่ม

(Grouping) และแยกประเภท (Clustering) ตามเกณฑ์การพิจารณาทั้ง 5 เกณฑ์ที่สอดคล้องกับลักษณะกายภาพและการให้บริการในปัจจุบันของทางพิเศษ ดังนี้

3.3.1 รูปแบบการให้บริการของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

รูปแบบการให้บริการของด่านฯ สามารถแบ่งตามรูปแบบของการจัดเก็บค่าผ่านทางได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

- ระบบเปิด (Open System) มีการให้บริการบนทางพิเศษฉลองรัชและทางพิเศษเฉลิมมหานคร
- ระบบปิด (Close System) มีการให้บริการบนทางพิเศษบูรพาวิถีและทางพิเศษกาญจนาภิเษก

3.3.2 รูปร่างและลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

ลักษณะทางกายภาพของด่านฯ ดังแสดงในรูปที่ 4 สามารถแบ่งตามรูปแบบของทิศทางการจราจรบริเวณช่องเก็บค่าผ่านทางได้เป็น 4 รูปแบบ ได้แก่

- รูปร่างตัว I (I-Shape)
- รูปร่างตัว Y (Y-shape)
- รูปร่างตัว X (X-shape)
- ลักษณะเป็นชั้น (Staggered Toll)



รูปที่ 4 รูปร่างและลักษณะกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

3.3.3 จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ดังแสดงในรูปที่ 5 สามารถแบ่งตามขนาดด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

- ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษขนาดเล็กซึ่งมีจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางน้อยกว่า 5 ช่อง
- ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษขนาดกลางซึ่งมีจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางอยู่ระหว่าง 5-8 ช่อง
- ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษขนาดใหญ่ซึ่งมีจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางมากกว่า 8 ช่อง



รูปที่ 5 ขนาดด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

3.3.4 ปริมาณจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง

ปริมาณจราจรบริเวณด่านแสดงให้เห็นถึงความต้องการใช้ทางพิเศษ โดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak Hour) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของด่านตามข้อมูลปริมาณจราจรได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

- ด่านเก็บค่าผ่านทางปริมาณจราจรต่ำ (ปริมาณจราจรต่ำกว่า 3,000 คัน/ชั่วโมง)
- ด่านเก็บค่าผ่านทางที่มีปริมาณจราจรปานกลาง (ปริมาณจราจรอยู่ระหว่าง 3,000 - 5,000 คัน/ชั่วโมง)
- ด่านเก็บค่าผ่านทางที่มีปริมาณจราจรหนาแน่น (ปริมาณจราจรมากกว่า 5,000 คัน/ชั่วโมง)

3.3.5 ระดับการให้บริการของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ (Level of Service: LOS)

ระดับการให้บริการของด่านฯ สามารถวิเคราะห์ได้จากสัดส่วนระหว่างปริมาณจราจรต่อความจุ (V/C Ratio) ของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ซึ่งจะสะท้อนถึงระดับการให้บริการ (Level of Service: LOS) ของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษในแต่ละพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของด่านฯ ตามข้อมูลระดับการให้บริการของด่านได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

- ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ไม่มีความติดขัด (LOS: A-B)
- ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีความติดขัดปานกลาง (LOS: C-D)
- ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีความติดขัดมาก (LOS: E-F)

ตารางที่ 1 ระดับการให้บริการ (Level of Server: LOS) ของช่องทางพิเศษ [11]

| ความหนาแน่นของทางพิเศษ (pc/mi/ln) | V/C Ratio | Level of Service (LOS) | คำอธิบาย |
|-----------------------------------|------------|------------------------|-----------------------------|
| 0-11 | 0-0.30 | A | การจราจรมีการไหลแบบอิสระ |
| >11-18 | 0.301-0.50 | B | การจราจรมีการไหลแบบคล่องตัว |
| >18-26 | 0.501-0.71 | C | การจราจรมีการไหลแบบชะลอตัว |
| >26-35 | 0.711-0.89 | D | การจราจรมีการไหลแบบหนาแน่น |
| >35-45 | 0.891-1.00 | E | สภาพการไหลของการจราจรติดขัด |
| >45 | > 1.00 | F | ปริมาณจราจรมากกว่าความจุ |

3.4 แนวคิดการออกแบบกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

ความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ มีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการให้บริการ (Service Rate) ของด่าน ซึ่งแนวโน้มการออกแบบลักษณะกายภาพของหน้าด่านในปัจจุบันมักจะเป็นพื้นที่ขยายออกด้านข้าง เพื่อให้สามารถรองรับแถวคอยที่เกิดขึ้นอย่างไรก็ตาม ในกรณีของด่านที่ตั้งอยู่บนทางยกระดับที่มีข้อจำกัดในการขยายเขตทางด้านข้าง เช่น ทางพิเศษฉลองรัช ทางพิเศษพาววิถี และทางพิเศษกาญจนาภิเษก ทำให้การดำเนินการออกแบบกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษในปัจจุบัน จากระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (Manual Toll Collection; MTC) และระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection; ETC) ไปสู่ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (M-Flow) ต้องได้รับการออกแบบให้มีความเหมาะสม ผสมผสาน และเพียงพอสำหรับการเดินทางของผู้ใช้บริการ รวมทั้งกระแสการจราจรต้องสามารถเดินทางผ่านได้อย่างอิสระ หรือใกล้เคียงกับการไหลอย่างอิสระ (Free Flow) มากที่สุด

สำหรับหลักการออกแบบลักษณะทางกายภาพทั่วไป (Typical Layout) และแนวทางการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ได้พิจารณาปัจจัยที่สำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

3.4.1 ลักษณะทางกายภาพที่รองรับระบบเก็บค่าผ่านทางแบบพิเศษ ผสมผสาน (Mixed Mode)

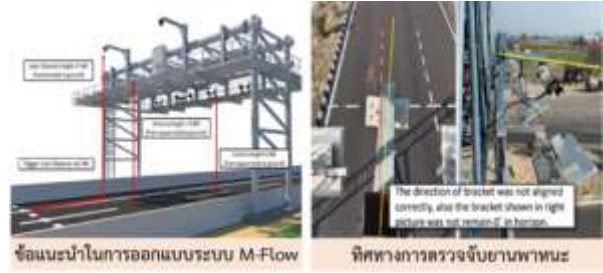
เป็นการออกแบบที่มีการคำนึงถึงความสามารถในการรองรับการชำระค่าผ่านทางที่หลากหลายรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยเฉพาะระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเดิมที่ให้บริการในปัจจุบัน (MTC และ ETC) เนื่องจากการดำเนินงานในระยะแรกมีปริมาณผู้ใช้บริการของระบบ M-Flow อาจจะไม่สูงมาก ดังนั้น ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ จึงยังคงมีความจำเป็นที่จะต้องรองรับระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษรูปแบบเดิม ร่วมกับระบบ M-Flow ด้วย



รูปที่ 6 ตัวอย่างรูปแบบของระบบ M-Flow สำหรับด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

3.4.2 ลักษณะทางกายภาพที่สอดคล้องกับการทำงานของระบบ M-Flow

เป็นการออกแบบให้ระบบเก็บค่าผ่านทางรูปแบบใหม่สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการออกแบบลักษณะทางกายภาพของด่านจะพิจารณา เพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพในการตรวจจับยานพาหนะ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบอ่านป้ายทะเบียนรถอัตโนมัติ (Automated License Plate Recognition) อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบจำแนกประเภทพาหนะอัตโนมัติ (LIDAR Vehicle Detector) และอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบบันทึกเหตุการณ์ที่ช่องทาง (Digital Video Enforcement System) เพื่อลดข้อจำกัดในการทำงานของระบบ M-Flow ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การออกแบบที่สอดคล้องกับการทำงานของระบบ M-Flow

3.4.3 ลักษณะทางกายภาพที่สอดคล้องกับระบบเก็บค่าผ่านทางเดิม และความปลอดภัยของพนักงานเก็บค่าผ่านทาง

เป็นการออกแบบให้สอดคล้องกับการทำงานของระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเดิม เพื่อให้ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเดิมที่ให้บริการในปัจจุบัน (MTC และ ETC) สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการออกแบบลักษณะทางกายภาพจะป้องกันพฤติกรรมกรมการขับซึ่มึงประสงค์ เช่น การเปลี่ยนช่องจราจรกะทันหัน และการแทรกคิวช่องเก็บค่าผ่านทางประเภทอื่นๆ ซึ่งเป็นการเพิ่มความปลอดภัยแก่พนักงานเก็บค่าผ่านทางด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ตัวอย่างการออกแบบที่สอดคล้องกับการทำงานของระบบเดิมและความปลอดภัย

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการสำรวจด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ บนทางพิเศษฉลองรัช

การสำรวจด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษของทางพิเศษฉลองรัช สำหรับการดำเนินการระบบ M-Flow สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลักคือ การสำรวจลักษณะทางกายภาพของด่านฯ ได้แก่ รูปร่าง ขนาดของด่านฯ และจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทาง และการสำรวจปริมาณจราจรของด่านฯ ขาเข้า ในช่วงเวลาเร่งด่วน 7.00-8.00 น. เพื่อวิเคราะห์ระดับการให้บริการ (Level of Service) ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

4.1.1 การสำรวจลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ บนทางพิเศษฉลองรัช

ตารางที่ 2 ผลการสำรวจลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ บนทางพิเศษฉลองรัช

| ด่านฯ บนทางพิเศษฉลองรัช | รูปร่างและลักษณะกายภาพของด่านฯ | ขนาดด่านฯ | จำนวนช่อง ETC | จำนวนช่อง MTC |
|-------------------------|--------------------------------|-----------|---------------|---------------|
| อางนรงค์ 2 (บางนา) | I | S | 2 | 2 |
| อางนรงค์ 2 (ท่าเรือ) | I | S | 2 | 2 |
| พระโขนง | I | M | 2 | 3 |
| พัฒนาการ 1 | I | S | 2 | 2 |
| พัฒนาการ 2 | I | S | 2 | 2 |
| พระราม 9-1 | x | L | 4 | 4 |

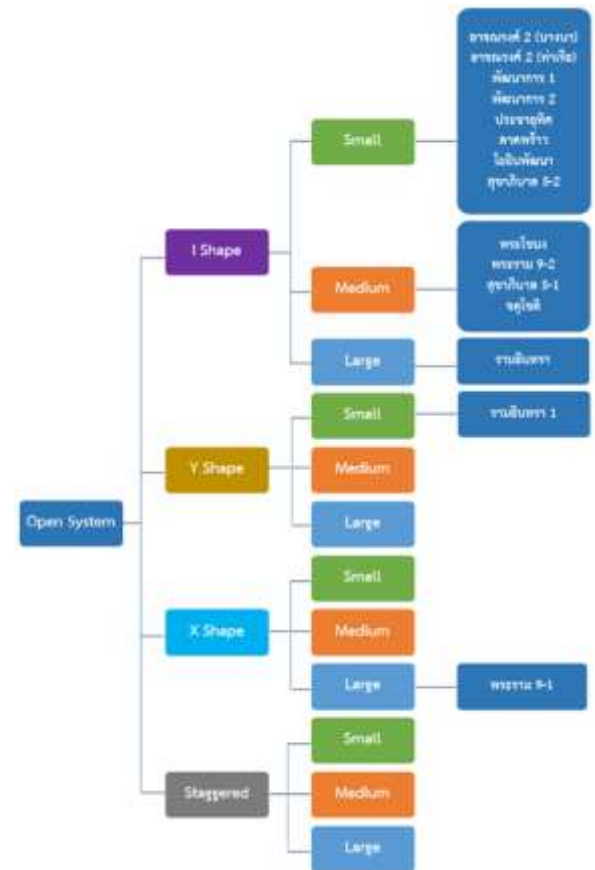
| ด้านฯ บนทางพิเศษฉลองรัช | รูปร่างและลักษณะกายภาพของด้านฯ | ขนาดด้านฯ | จำนวนช่อง ETC | จำนวนช่อง MTC |
|-------------------------|--------------------------------|-----------|---------------|---------------|
| พระราม 9-2 | I | M | 2 | 3 |
| ประชาอุทิศ | I | S | 2 | 2 |
| ลาดพร้าว | I | S | 2 | 2 |
| โยธินพัฒนา | I | S | 2 | 2 |
| รามอินทรา | I | L | 2 | 6 |
| รามอินทรา 1 | Y | S | 2 | 2 |
| สุขาภิบาล 5-1 | I | M | 2 | 4 |
| สุขาภิบาล 5-2 | I | S | 2 | 1 |
| จตุโชติ | I | M | 2 | 4 |

4.1.2 การสำรวจปริมาณจราจรของด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ขาเข้าในช่วงเวลาเร่งด่วน บนทางพิเศษฉลองรัช
ตารางที่ 3 ผลการสำรวจปริมาณจราจรของด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ขาเข้าในช่วงเวลาเร่งด่วน บนทางพิเศษฉลองรัช

| ด้านฯ บนทางพิเศษฉลองรัช | จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ | ปริมาณจราจรบริเวณด้านฯ | V/C | LOS |
|-------------------------|------------------------------|------------------------|------|-----|
| อาจณรงค์ 2 (บางนา) | 4 | 844 | 0.32 | B |
| อาจณรงค์ 2 (ท่าเรือ) | 4 | 651 | 0.25 | A |
| พระโขนง | 5 | 1,042 | 0.34 | B |
| พัฒนาการ 1 | 4 | 873 | 0.34 | B |
| พัฒนาการ 2 | 4 | 739 | 0.28 | A |
| พระราม 9-1 | 8 | 2,800 | 0.54 | C |
| พระราม 9-2 | 5 | 1,522 | 0.49 | B |
| ประชาอุทิศ | 4 | 1,121 | 0.43 | B |
| ลาดพร้าว | 4 | 1,154 | 0.44 | B |
| โยธินพัฒนา | 4 | 1,481 | 0.37 | B |
| รามอินทรา | 8 | 1,200 | 0.27 | A |
| รามอินทรา 1 | 4 | 1,200 | 0.46 | B |
| สุขาภิบาล 5-1 | 6 | 1,244 | 0.36 | B |
| สุขาภิบาล 5-2 | 3 | 1,118 | 0.52 | C |
| จตุโชติ | 6 | 3,188 | 0.91 | E |

4.2 ผลการจัดกลุ่มด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ และการคัดเลือกด้านตัวแทนบนทางพิเศษฉลองรัช

สำหรับการจัดกลุ่มด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ บนทางพิเศษฉลองรัชจำนวนทั้งหมด 14 ด้าน มีการพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพที่คล้ายคลึงกัน 5 ปัจจัยได้แก่ รูปแบบการให้บริการ รูปร่างและลักษณะทางกายภาพ จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ปริมาณจราจร และระดับการให้บริการ โดยพบว่าสามารถจัดไปเป็น 5 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งมีด้านตัวแทนดังแสดงในตารางที่ 4 ที่มีลักษณะกายภาพที่คล้ายคลึงกัน 5 ปัจจัยจะถูกนำมาเป็นต้นแบบสำหรับการออกแบบทางกายภาพ เพื่อกำหนดตำแหน่งช่อง M-Flow ที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 9 ผลการจัดกลุ่มของด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ บนทางพิเศษฉลองรัช

ตารางที่ 4 ผลการคัดเลือกด้านตัวแทนของด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ บนทางพิเศษฉลองรัช

| ด้านตัวแทน | รูปร่างด้านฯ | ขนาดด้านฯ | จำนวนช่อง | LOS |
|--------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----|
| อาจณรงค์ 2 - ฝั่งขาเข้าบางนา | I | S | 4 | B |
| อาจณรงค์ 2 - ฝั่งขาเข้าท่าเรือ | I | S | 4 | A |
| สุขาภิบาล 5-2 | I | S | 3 | D |
| สุขาภิบาล 5-1 | I | M | 6 | B |
| จตุโชติ | I | M | 6 | E |
| รามอินทรา | I | L | 8 | A |
| รามอินทรา 1 | Y | S | 4 | B |
| พระราม 9-1 | X | L | 8 | C |

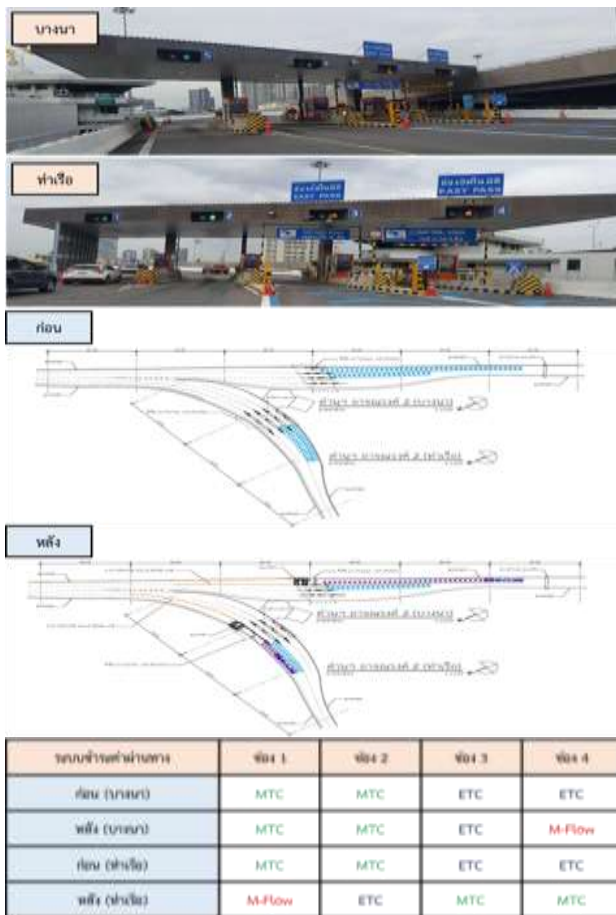
4.3 ผลการออกแบบกายภาพของด้านตัวแทน บนทางพิเศษฉลองรัช

สำหรับหลักการออกแบบลักษณะทางกายภาพของด้านตัวแทน มีการพิจารณาจากปัจจัยที่สำคัญ 3 แนวทางคือ ลักษณะทางกายภาพที่รองรับระบบเก็บค่าผ่านทางแบบผสมผสาน ลักษณะทางกายภาพที่สอดคล้องกับการทำงานของระบบ M-Flow และลักษณะทางกายภาพที่สอดคล้องกับระบบเก็บค่าผ่านทางเดิมและความปลอดภัยของพนักงานเก็บค่าผ่านทาง ซึ่งสามารถกำหนดตำแหน่งช่อง M-Flow ที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละด้านตัวแทน นอกจากนี้ช่อง M-Flow ที่ถูกกำหนดต้องไม่ลดระดับการให้บริการของด้าน และสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้นได้ ซึ่งสามารถสรุปตำแหน่งช่อง M-Flow ของด้านตัวแทนได้ดังนี้

4.3.1 ด้านฯ อาจณรงค์ 2

สำหรับด้านฯ อาจณรงค์ 2 ดังแสดงในรูปที่ 10 สามารถกำหนดช่อง M-Flow ฝั่งขาเข้าบางนาในช่องทางเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ 4 โดยแทนที่

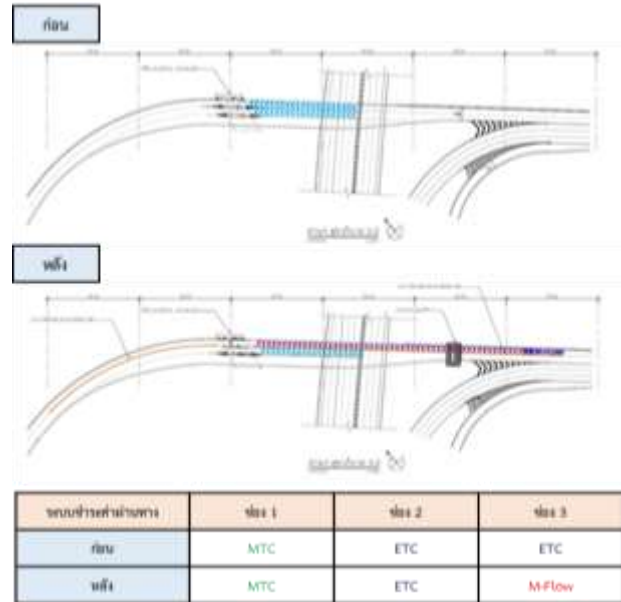
ช่องระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) จำนวน 1 ช่อง และกำหนดช่อง M-Flow ฝั่งขาเข้าท่าเรือในช่องทางเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ 1 โดยแทนที่ช่องระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) จำนวน 1 ช่อง



รูปที่ 10 การออกแบบกายภาพของด่านฯ อางณรงค์ 2

4.3.2 ด่านฯ สุขาภิบาล 5-2

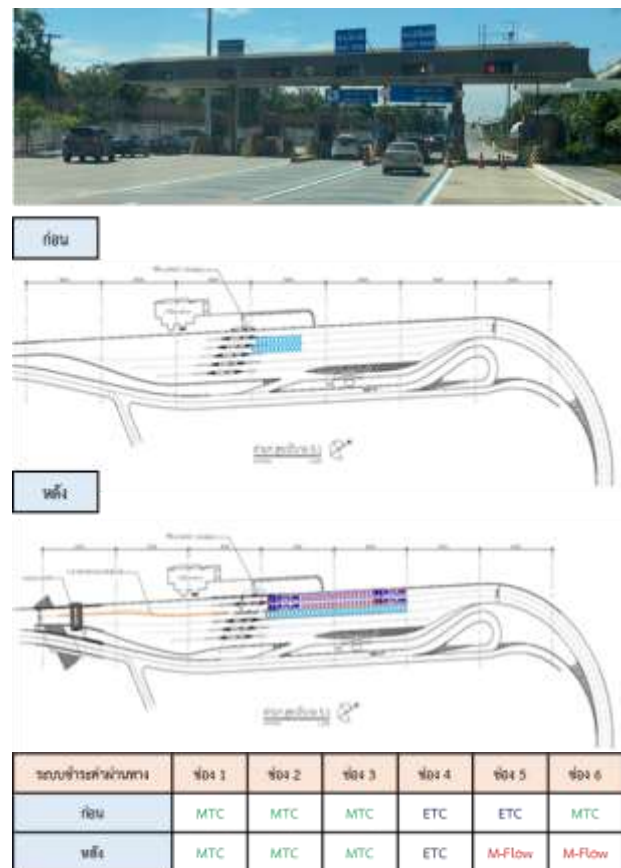
สำหรับด่านฯ สุขาภิบาล 5-2 ดังแสดงในรูปที่ 11 สามารถกำหนดช่อง M-Flow ในช่องทางเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ 3 โดยแทนที่ช่องระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) จำนวน 1 ช่อง



รูปที่ 11 การออกแบบกายภาพของด่านฯ สุขาภิบาล 5-2

4.3.3 ด่านฯ สุขาภิบาล 5-1

สำหรับด่านฯ สุขาภิบาล 5-1 ดังแสดงในรูปที่ 12 สามารถกำหนดช่อง M-Flow ในช่องทางเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ 5 และ 6 โดยแทนที่ช่องระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) จำนวน 1 ช่อง และช่องระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) จำนวน 1 ช่อง



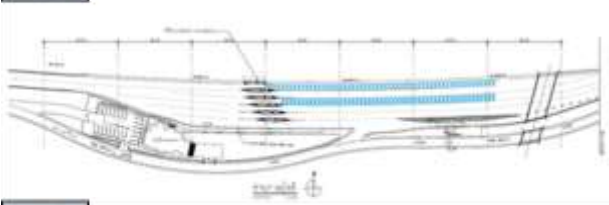
รูปที่ 12 การออกแบบกายภาพของด่านฯ สุขาภิบาล 5-1

4.3.4 ด่านฯ จตุโชติ

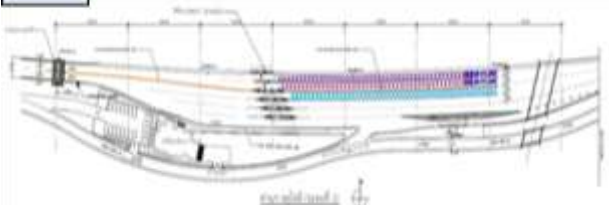
สำหรับด่านฯ จตุโชติ ดังแสดงในรูปที่ 13 สามารถกำหนดช่อง M-Flow ในช่องทางเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ 5 และ 6 โดยแทนที่ช่องระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) จำนวน 1 ช่อง และช่องระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) จำนวน 1 ช่อง



ก่อน



หลัง



| ระบบชำระค่าผ่านทาง | ช่อง 1 | ช่อง 2 | ช่อง 3 | ช่อง 4 | ช่อง 5 | ช่อง 6 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ก่อน | MTC | MTC | MTC | ETC | MTC | ETC |
| หลัง | MTC | MTC | MTC | ETC | M-Flow | M-Flow |

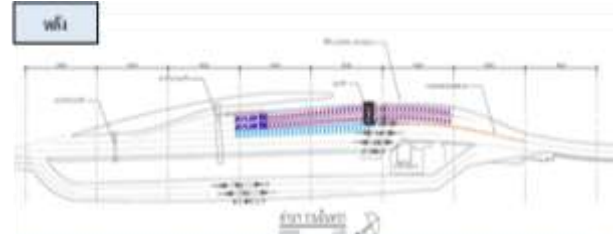
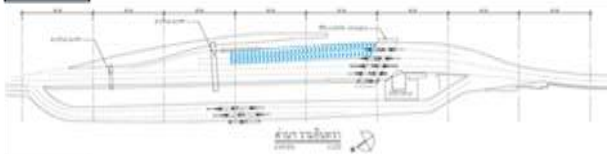
รูปที่ 13 การออกแบบกายภาพของด่านฯ จตุโชติ

4.3.5 ด่านฯ รามอินทรา

สำหรับด่านฯ รามอินทรา ดังแสดงในรูปที่ 14 สามารถกำหนดช่อง M-Flow ในช่องทางเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ 1 และ 2 โดยแทนที่ช่องระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) จำนวน 2 ช่อง



ก่อน



| ระบบชำระค่าผ่านทาง | ช่อง 1 | ช่อง 2 | ช่อง 3 | ช่อง 4 | ช่อง 5 | ช่อง 6 | ช่อง 7 | ช่อง 8 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ก่อน | ETC | ETC | MTC | MTC | MTC | MTC | MTC | MTC |
| หลัง | M-Flow | M-Flow | ETC | MTC | MTC | MTC | MTC | MTC |

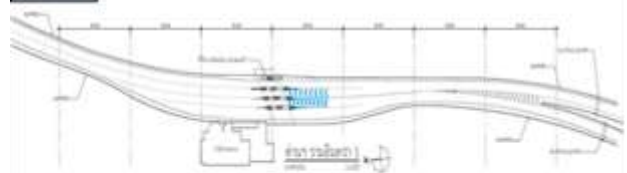
รูปที่ 14 การออกแบบกายภาพของด่านฯ รามอินทรา

4.3.6 ด่านฯ รามอินทรา 1

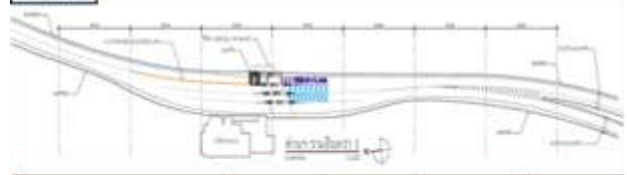
สำหรับด่านฯ รามอินทรา 1 ดังแสดงในรูปที่ 15 สามารถกำหนดช่อง M-Flow ในช่องทางเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ 4 โดยแทนที่ช่องระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) จำนวน 1 ช่อง



ก่อน



หลัง



| ระบบชำระค่าผ่านทาง | ช่อง 1 | ช่อง 2 | ช่อง 3 | ช่อง 4 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| ก่อน | MTC | ETC | ETC | MTC |
| หลัง | MTC | ETC | ETC | M-Flow |

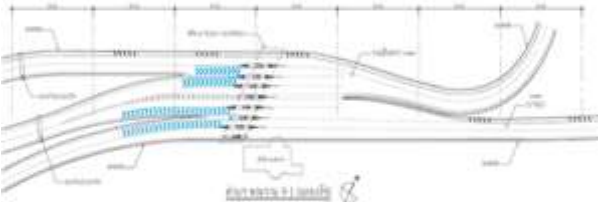
รูปที่ 15 การออกแบบกายภาพของด่านฯ รามอินทรา 1

4.3.7 ด่านฯ พระราม 9-1

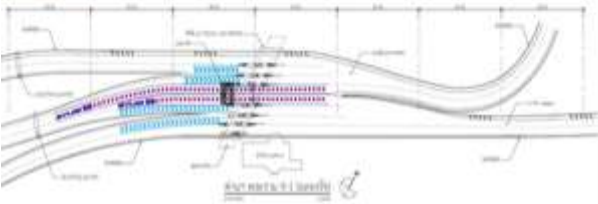
สำหรับด่านฯ พระราม 9-1 ดังแสดงในรูปที่ 16 สามารถกำหนดช่อง M-Flow ในช่องทางเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ 4 และ 5 โดยแทนที่ช่องระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) จำนวน 2 ช่อง



ก่อน



หลัง



| ระบบชำระค่าผ่านทาง | ช่อง 1 | ช่อง 2 | ช่อง 3 | ช่อง 4 | ช่อง 5 | ช่อง 6 | ช่อง 7 | ช่อง 8 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ก่อน | MTC | ETC | ETC | MTC | MTC | ETC | ETC | MTC |
| หลัง | MTC | ETC | ETC | M-Flow | M-Flow | ETC | ETC | MTC |

รูปที่ 16 การออกแบบกายภาพของด่านฯ พระราม 9-1

5. สรุปผลการศึกษา

บทความนี้เป็นการนำเสนอแนวคิดการออกแบบกายภาพด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ บนทางพิเศษฉลองรัช เพื่อใช้พิจารณาความเหมาะสมของตำแหน่งช่อง M-Flow ให้สามารถรองรับปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามจำนวนด่านฯ ที่ค่อนข้างมากบนโครงข่ายทางพิเศษ ทำให้ต้องมีการพิจารณาจัดกลุ่มด่านที่มีลักษณะกายภาพคล้ายคลึงกัน เพื่อคัดเลือกด่านตัวแทนของแต่ละกลุ่มมาใช้ออกแบบกายภาพ และประเมินประสิทธิภาพด้านจราจรของด่านด้วยแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคต่อไป ซึ่งจากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าผลการจัดกลุ่มด่านมีตัวแทนด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษทั้งหมด 7 ด่านใน 5 กลุ่ม ถูกนำมาเป็นต้นแบบสำหรับการออกแบบทางกายภาพ ได้แก่ ด่านฯ อางจรรย์ค์ ด่านฯ สุขาภิบาล 5-2 ด่านฯ สุขาภิบาล 5-1 ด่านฯ จตุโชติ ด่านฯ รามอินทรา ด่านฯ รามอินทรา 1 ด่านฯ พระราม 9-1 ซึ่งตำแหน่งช่อง M-Flow ที่เหมาะสมส่วนใหญ่จะอยู่แทนที่ช่อง ETC เดิม เนื่องจากยานพาหนะสามารถเดินทางผ่านได้ใกล้เคียงกับการไหลอย่างอิสระ (Free Flow) การตัดกันของกระแสจราจร (Conflict) กับระบบเดิมบริเวณหน้าด่านฯ ต่ำ และสามารถส่งเสริมการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับในระบบ M-Flow ได้ดี รวมทั้งมีความปลอดภัยกับพนักงานเก็บค่าผ่านทางมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณพนักงานและลูกจ้างการทางพิเศษแห่งประเทศไทยทุกท่านที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2564). รายงานสถิติปริมาณจราจรรายได้ค่าผ่านทางพิเศษและอุบัติเหตุบนทางพิเศษ. การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, หน้า 27.
- [2] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2558). คู่มือการใช้งานการทางพิเศษ. การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, หน้า 19.
- [3] Zhang, B., Li, J., Zhang, M., Li, Q., Xue, J., Zhang, W., Gao, W., H, B. and Yu, X. (2013). *Multi-Lane Free Flow Electronic Toll Collection System Arranged on Side of Road*. Beijing Sutong Technology Co., Ltd., pp.1-16.
- [4] Ru, N., He, S., Zhou, W., Huang, R., Zhang, J. and Wu, R. (2015). *Multi-Lane Free Flow (MLFF) Electronic Toll Collection (ETC) Lane System and License Plate Identification Method*. Beijing Shenzhen Genvict Technologies Co., Ltd., pp.1-14.
- [5] Kim, B. J. (2011). Conceptualization of traffic flow for designing toll plaza configuration: A case study using simulation with estimated traffic volume. *The International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications, and Practice*, 18, pp. 51-57.
- [6] Chintaman, S. B., Yogeshwar, V. N. and Ashish, D. (2022). Delay modelling at manually operated toll plazas under mixed traffic conditions. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 11, pp. 17-31.
- [7] ชีร์ดนัย อินดี และจรัส พิทักษ์ศฤงคาร (2564). การวิเคราะห์ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบผสมผสานโดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค: กรณีศึกษาด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, ปีที่ 38, ฉบับที่ 1, หน้า 2-14.
- [8] Ümitcan, Ö., Mustafa, G. and Göker, A. (2022). Examination of delay and travel time at highway toll booths using a micro simulation program: example of northern marmara highway kurnaköy toll booth. *International Journal of Scientific Research and Management*, 5, pp. 1-11.
- [9] Vittorio, A., Michael, F. and Giuseppe, M. (2001). A microscopic traffic simulation model for the evaluation of toll station systems. *2001 IEEE Intelligent Transportation Systems, Oakland, USA*, 25-29 August 2001, pp.692-697.
- [10] Diaz, C., Madrigal, J., Mappala, A., Palmiano, H. and Sigua, R. (2005). Allocation of electronic toll collection lanes at toll plazas considering social optimization of service times and delay. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, pp. 1496-1509.
- [11] Transportation Research Record. (2016). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Record Business, pp.259.