

การออกแบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงที่วงเวียน: กรณีศึกษาวงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตย

ROUNDAABOUT METERING SIGNAL DESIGN:

A CASE STUDY OF DEMOCRACY MONUMENT ROUNDAABOUT

นิวัฒน์ สุรโชติเกรียงไกร¹ และอำพล การณสุนทวงษ์²
Niwat Surachodkriangkrai¹ and Ampol Karoonsoontawong²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงที่วงเวียนเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพให้กับวงเวียนเดิมที่มีปริมาณการจราจรสูงและมีรูปแบบการไหลที่ไม่สมดุล ทำให้ไม่สามารถควบคุมด้วยหลักการให้ทางของวงเวียนได้ งานวิจัยนี้ได้เลือกวงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตยที่ปัจจุบันได้ใช้ระบบสัญญาณไฟจราจร เป็นกรณีศึกษาด้วยการติดตั้งสัญญาณไฟในเส้นทางเข้าสู่วงเวียนทิศทางหลัก และติดตั้งขดลวดตรวจจับ (Loop Detector) ได้ผิวจราจรในเส้นทางเข้าสู่วงเวียนในทิศทางรองโดยจะทำงานเมื่อแถวคอยของรถในทิศทางรองยาวถึงระยะที่ได้ติดตั้งขดลวดตรวจจับ (Loop Detector) ทั้งนี้ เพื่อสร้างช่องว่างในกระแสจราจรในวงเวียนให้รถในเส้นทางรองสามารถเข้าสู่วงเวียนได้ จากนั้นทำการทดสอบด้วยโปรแกรมแบบจำลองการจราจร TSIS-CORSIM ที่ระยะต่างๆ ของการติดตั้งขดลวดตรวจจับ เพื่อหาระยะที่ให้ค่าประสิทธิภาพการจราจรที่ดีที่สุด (ค่าความเร็วเฉลี่ย ค่าความล่าช้ารวม และค่าการเคลื่อนตัว) ทั้งในเวลาเร่งด่วนและนอกเวลาเร่งด่วน โดยพบว่า ที่ระยะการติดตั้งขดลวดตรวจจับ (Loop Detector) 120 ฟุต (36.58 เมตร) นั้น ให้ค่าประสิทธิภาพดีที่สุด วงเวียนที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงที่ระยะการติดตั้งขดลวดตรวจจับที่ให้ค่าประสิทธิภาพดีที่สุดนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับวงเวียนที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรพบว่า มีความล่าช้ารวมน้อยกว่า ความเร็วเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าโดยการเคลื่อนที่โดยรวมของรถมีค่าสูงกว่า ผลจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า สัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงเป็นทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพให้กับวงเวียนที่มีปริมาณรถจำนวนมากและมีรูปแบบการไหลที่ไม่สมดุลได้

คำสำคัญ: ขดลวดตรวจจับ รูปแบบการไหลที่ไม่สมดุล วงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง

Abstract

This thesis studies the roundabout metering signal design to improve the efficiency of the existing roundabout with high and unbalanced traffic flows, which are not appropriate for yield principle in traditional roundabouts. The Democracy Monument roundabout, which currently has

¹ นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, Master students of Engineering in the field of Civil Engineering Technology, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, E-mail: Niwat_sura@yahoo.com

² รองศาสตราจารย์ โครงการเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, Associate Professor, Civil Engineering Technology Program, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, E-mail: ampol.kar@kmutt.ac.th

traffic signals, is chosen as a case study. The traffic signal is installed in the main roadway approach, and the loop detector is installed underneath the pavement surface in the minor roadway approach. The traffic signal turns red when the queue length in the minor roadway approach reaches the loop detector, so that the acceptable traffic gaps will be created in the roundabout for the vehicles in the minor roadway approach to merge in. Different locations of installed loop detector are tested in the TSIS-CORSIM simulation software in order to determine the optimal location based on the traffic efficiency (average speed, total delay and movement) in the system during both peak period and off-peak period. The optimal location is 120 feet (36.58 meters) upstream from the stop line. The roundabout metering signal with the optimal location of loop detector yields better total delay, worse average speed and higher movement when compared with the existing roundabout with traffic signals. The roundabout metering signal is demonstrated to be an alternative to improve traffic efficiency at roundabout with high and unbalanced traffic flows.

Keywords: Loop detector, Metering Signal, The Democracy Monument Roundabout, Unbalanced flow pattern

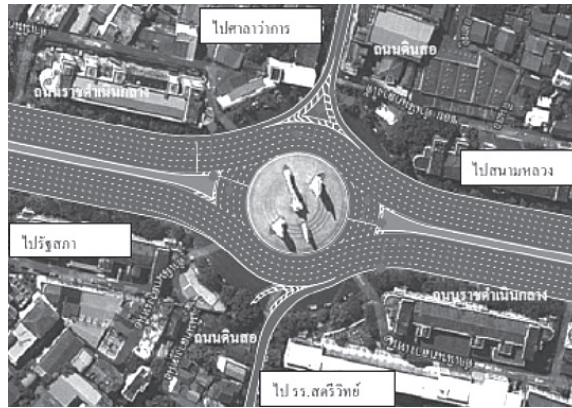
บทนำ

ประเทศไทยได้รับเอาแนวคิดการสร้างวงเวียนเพื่อจัดการจราจรบริเวณทางแยกตั้งแต่ในสมัยรัชกาลที่ 5 โดยเป็นวงเวียนในสมัยแรกที่เรียกว่า Rotary ซึ่งมีขนาดใหญ่ และมักเป็นที่ตั้งของอนุสาวรีย์ที่สำคัญๆ ดังเช่น วงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตย วงเวียน 22 กรกฎาคม, วงเวียนอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ เป็นต้น วงเวียนดังกล่าวผ่านการใช้งานมาจนถึงปัจจุบันที่มีปริมาณการจราจรจำนวนมาก จึงพบว่า วงเวียนขนาดใหญ่ที่มีอยู่ในกรุงเทพมหานคร ใช้ระบบสัญญาณไฟจราจรเพื่อการควบคุมการจราจรในวงเวียน โดยที่สภาพทางกายภาพยังเป็นวงเวียนอยู่ ประกอบกับวงเวียนหลายแห่งมีรูปแบบไหลของกระแสจราจรที่มีปริมาณไม่สมดุลกัน (Unbalanced Flow Patterns) คือ มีปริมาณการจราจรสูงมากในทิศทางหลัก แต่มีปริมาณการจราจรในทางสายรองน้อยกว่าในสัดส่วนที่สูง ทำให้รถในทางสายรองไม่สามารถเข้าสู่วงเวียนได้ หากไม่มีการใช้สัญญาณไฟจราจรควบคุม วงเวียนที่มีการติดตั้งระบบสัญญาณไฟทุกทิศทางโดยไม่มีการปรับปรุงทางกายภาพให้เป็นทางแยกเช่นนี้ อาจไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพ

แก่วงเวียน จึงพิจารณาเลือกกรณีศึกษาเป็นวงเวียนที่มีลักษณะการไหลแบบไม่สมดุลอย่างชัดเจน และปัจจุบันมีการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรโดยยังคงลักษณะทางกายภาพเป็นวงเวียนเช่นเดิม ทั้งนี้ได้เลือกอนุสาวรีย์ประชาธิปไตยที่มีสภาพปัญหาตรงกับเงื่อนไขข้างต้นเป็นกรณีศึกษา เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจราจร (ลดความล่าช้า เพิ่มความเร็วเฉลี่ย) โดยใช้หลักการของวงเวียนตามกายภาพที่เป็นอยู่ แต่เพิ่มเติมระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงเพื่อสร้างช่องว่าง (Gap) ขึ้นในกระแสจราจรในวงเวียน ให้รถในสายรองสามารถเข้าสู่วงเวียนได้

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ (Performance) ของการจัดการจราจรด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงกับสัญญาณไฟจราจรที่ใช้ในสนาม และเปรียบเทียบกับเมื่อใช้การควบคุมโดยหลักการให้ทางเพื่อสรุปการเป็นแนวทางหนึ่งของการแก้ปัญหาการจราจรในวงเวียนที่มีสภาพปัญหาลักษณะเดียวกันต่อไป



รูปที่ 1 ถนนราชดำเนินกลางตัดกับถนนดินสอบริเวณวงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตย

ทบทวนวรรณกรรม

การศึกษานี้อ้างอิงทฤษฎีในหลายส่วน ทั้งในส่วนของการศึกษาทฤษฎีวงเวียน สัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง และการสร้างแบบจำลองการจราจร เป็นต้น โดยแยกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

หลักการของวงเวียน

วงเวียนเป็นรูปแบบการควบคุมทางแยกที่ไม่มีระบบสัญญาณไฟ แต่ใช้หลักของลำดับความสำคัญในการจัดการจราจร โดยหลักการของวงเวียนสมัยใหม่ ได้ตั้งขึ้นเมื่อปี 1960 ที่ประเทศอังกฤษ กฎสำหรับวงเวียนสมัยใหม่นี้ คือ Yield At Entry หรือ การให้รถในวงเวียนไปก่อน นั่นคือ การจัดลำดับให้กระแสดำเนินการในวงเวียน (Circulating Flow) มีความสำคัญสูงกว่ากระแสจราจรบริเวณทางเข้าวงเวียน (Entering Flow) ดังนั้น ความจุของวงเวียนจึงขึ้นอยู่กับจำนวนและรูปแบบของช่องว่างที่เกิดขึ้นในกระแสจราจรในวงเวียน รวมทั้งการยอมรับช่องว่างที่เกิดขึ้นเพื่อเข้าสู่วงเวียนของรถบริเวณทางเข้าวงเวียน Highway Capacity Manual (HCM, 2000: 45-47) ไม่มีในบรรณานุกรม จึงนิยามความจุของวงเวียนคือ ความจุที่ทางเข้าวงเวียนหรือ Approach Capacity โดยได้แยกวิธีการหาความจุของวงเวียนออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ วิธี Empirical Model ได้จากการเก็บข้อมูลในสนามเป็นวิธีที่พิจารณาถึงกายภาพของวงเวียนที่มีผลต่อประสิทธิภาพ ได้แก่ ความจุ ความล่าช้า และอีกวิธี คือ Analytical Models เป็นวิธีที่อิง Gap

Acceptance Theory โดยวิธี Empirical Model ซึ่งเป็นวิธีที่ดีกว่าแต่ต้องเก็บข้อมูลจำนวนมากเพื่อนำมาวิเคราะห์ และเหมาะกับวงเวียนที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น ส่วนวิธี Analytical Models เป็นวิธีที่เหมาะสมกับปริมาณการจราจรทั่วไป งานวิจัยนี้ศึกษาการควบคุมการจราจรในวงเวียนทั้งรูปแบบของสัญญาณไฟจราจรและสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง ซึ่งเป็นการศึกษาที่ใช้หลัก Gap Acceptance Theory ดังนั้น การวิจัยนี้จึงศึกษาประสิทธิภาพของวงเวียนด้วย Analytical Models

ช่องว่างที่ยอมรับได้สำหรับวงเวียน

ช่องว่าง (Gap) คือ ระยะที่วัดจากกันชนหลังของรถคันหน้า ถึงกันชนหน้าของรถคันที่ตามมา แต่จะเป็นที่ช่องว่างที่ยอมรับได้หรือไม่ขึ้นกับรถที่รอเข้าสู่วงเวียน หากยอมรับไม่ได้รถก็จะหยุดรอต่อไป เรียกช่องว่างนั้นว่า ช่องว่างที่ปฏิเสธ (Rejected Gap) ช่องว่างที่มีระยะสั้นที่สุดที่ผู้ขับขี่สามารถยอมรับได้ เรียกว่าค่าช่องว่างวิกฤต (Critical Gap) และค่าช่องว่างที่มีระยะสั้นกว่าช่องว่างวิกฤตนี้ จะโดนปฏิเสธจากผู้ขับขี่ทั้งหมด ช่องว่างในกระแสจราจรมีความแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะการกระจายตัวของรถ ซึ่งใช้ค่า Headway หรือ ระยะเวลานับจากเมื่อรถคันแรกผ่านจุดๆ หนึ่ง ไปจนถึงเมื่อรถคันที่ตามมาผ่านจุดเดียวกันกับรถคันแรก เป็นส่วนสำคัญต่อการพิจารณาความจุของวงเวียน โดยพบว่าความจุของทางแยก เมื่อการกระจายตัวของ Headway

ในกระแสรถ เป็นแบบสลับ มีค่าน้อยกว่า เมื่อกระแสจราจรมีการรวมตัวเป็นกลุ่ม ถึง 25-30% (Irvana & Randahl, 2010: 11-13) ดังนั้น รูปแบบการกระจายตัวของ Headway ในวงเวียนหากมีการจัดให้เกิดการรวมเป็นกลุ่ม ไม่กระจายแบบสลับจะทำให้เกิดช่องว่างที่ยอมรับได้มากขึ้น ส่งผลต่อความจุของรถในด้านเข้าสู่วงเวียนให้เพิ่มมากขึ้น

รูปแบบการไหลของกระแสจราจรที่ไม่สมดุล

Akcelik (2004) ได้นำเสนอบทความในงาน The Institute of Transportation Engineers 2004 Annual Meeting โดยได้กล่าวถึงผลการศึกษาปัจจัยด้านรูปแบบการไหลของกระแสจราจรที่ไม่สมดุล หรือ Unbalanced Flow Patterns ในวงเวียนเป็นผลมาจากความต้องการการเดินทางจากจุดเริ่มต้น (Origins) ไปยังจุดหมาย (Destinations) มีปริมาณสูงมากในทิศทางหนึ่งของวงเวียนและมากกว่าในทิศทางถัดไปของวงเวียนอย่างชัดเจนส่งผลให้รถในทิศทางถัดไปไม่สามารถเข้าสู่วงเวียนได้ เป็นปัจจัยสำคัญต่อความจุและระดับบริการของวงเวียน

ทั้งนี้ปัจจัยด้านรูปแบบการไหลของกระแสจราจรที่ไม่สมดุลนี้ มิได้นำมาพิจารณาในทฤษฎีการหาความจุของวงเวียนที่มีอยู่ทั้งสองทฤษฎีหลัก คือ ทฤษฎีการยอมรับช่องว่าง (Gap Acceptance Theory) ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ใช้ใน HCM, AUSROADS, NAASRA และทฤษฎี Linear Regression Models ซึ่งใช้การเก็บข้อมูลทางกายภาพวงเวียนเป็นหลัก ได้รับการพัฒนาโดย TRL (UK) โดยทั้งสองทฤษฎีให้ผลการคำนวณไม่ตรงกันอีกด้วย Rahmi Akcelik (2004: 31) ไม่มีบรรณานุกรม ได้ตั้งข้อสังเกตว่าอาจเป็นเพราะทั้งสองทฤษฎีมิได้พิจารณาปัจจัยด้านรูปแบบการไหลของกระแสจราจรที่ไม่สมดุล (Unbalanced Flow Patterns) ร่วมด้วยนั่นเอง

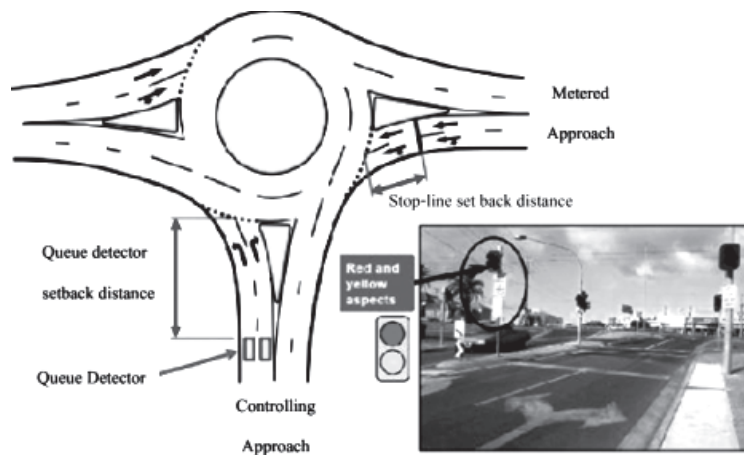
สัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงในวงเวียน

Akcelik, (2005) ได้นำเสนอบทความในงาน TRB National Roundabout Conference มีใจความสำคัญว่า สภาพการจราจรของวงเวียนในระหว่างช่วงเวลาเร่ง

ด่วนที่มีปริมาณการจราจรสูงและมีรูปแบบการไหลของปริมาณจราจรไม่สมดุลกันระหว่างเส้นทางหลักและเส้นทางรอง ส่งผลให้เกิดแถวคอยสะสมและความล่าช้าในเส้นทางสายรองของวงเวียน การควบคุมวงเวียนด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วนโดยการติดตั้งเสาสัญญาณที่เส้นทางด้านหลัก เพื่อสร้างช่องว่างในกระแสรถในวงเวียน จึงเป็นมาตรการที่คุ้มค่า ประหยัดกว่าการเปลี่ยนแปลงการควบคุมให้เป็นสัญญาณไฟโดยสมบูรณ์

Natalozio (2005) ได้นำเสนอบทความในงาน The Institute of Transportation Engineers 2004 Annual Meeting โดยได้นำเสนอการศึกษาวงเวียนที่ใช้ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงในช่วงเวลาเร่งด่วน โดยใช้ The Part-time Metering signal model ที่พัฒนาโดย Akcelik and Associates Pty Ltd. ใช้ข้อมูลจากวงเวียนต่างๆ ในหลายประเทศ ทดลองหาค่าความจุและประสิทธิภาพเมื่อไม่ใช้ และใช้ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง พบว่า ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงจะมีประโยชน์ต่อการควบคุมการจราจรในวงเวียนเมื่อปริมาณรถรวมระหว่างปริมาณรถที่ทางเข้าวงเวียนและปริมาณรถในวงเวียนที่ด้านนั้นมีค่าประมาณ 1300-1400 คัน/ชม. และระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงจะเริ่มมีประโยชน์น้อยลงเมื่อปริมาณจราจรรวมดังกล่าวมีค่าประมาณ 1550-1650 คัน/ชม.

Akcelik (2011) ได้นำเสนอบทความในงาน 6th International Symposium on Highway Capacity And Quality Of Service มีใจความว่า การควบคุมวงเวียนด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง สามารถช่วยสร้างช่องว่างในกระแสรถภายในวงเวียน ช่วยแก้ปัญหาแถวคอยสะสมยาวและความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากรูปแบบการไหลที่ไม่สมดุล โดยได้แสดงส่วนประกอบการประมาณการค่าความจุ ค่าประสิทธิภาพ โดยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงในวงเวียนมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้ (ดูรูปที่ 2 ประกอบ)



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง

(ที่มา: ดัดแปลงจาก Rahmi Akcelik, 2011, Roundabout metering signals: capacity, performance and timing”, 6th International Symposium On Highway Capacity And Quality Of Service’P. 3)

Metered Approach คือ เส้นทางเข้าสู่ด้านที่ติดตั้งสัญญาณไฟแดงเป็นเส้นทางด้านที่มีปริมาณการจราจรเข้าสู่วงเวียนสูง

Controlling Approach คือ เส้นทางเข้าสู่วงเวียนที่ตรวจจับความยาวของแถวคอยด้วยขดลวดตรวจจับด้าน Controlling Approach นี้จะได้ประโยชน์จากการหยุดรถในด้าน Metered Approach

Queue Detector Setback Distance คือ ระยะความยาวของแถวคอยที่ต้องการตรวจจับเพื่อส่งสัญญาณไปยังด้าน Metered Approach

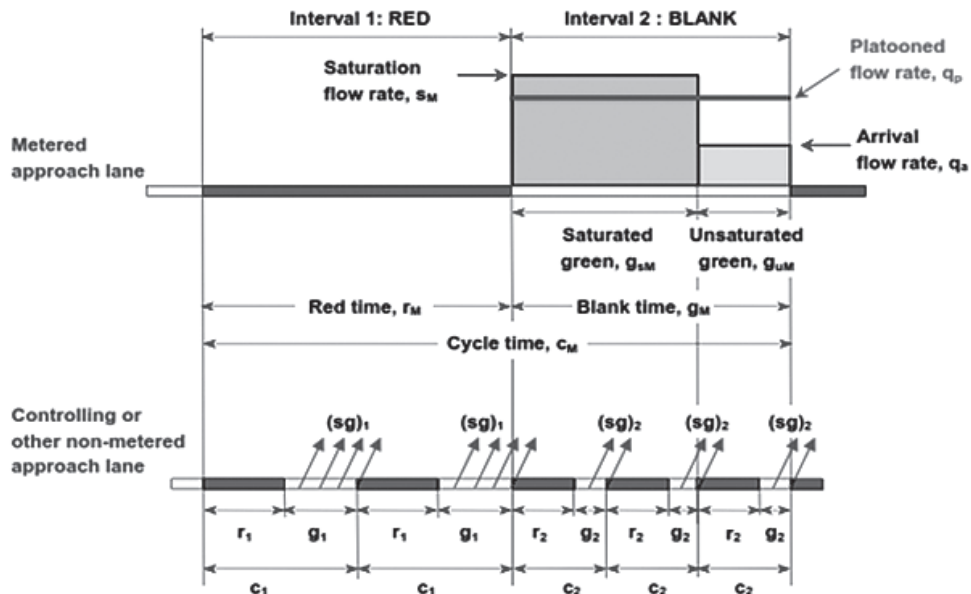
Stop Setback Distance คือ ระยะร่นจากเส้นให้ทางบริเวณทางเข้าวงเวียนเป็นจุดที่ติดตั้งสัญญาณไฟแบบมิเตอร์ริงซึ่งมีระยะไม่น้อยกว่า 3 เมตร

หลักการของวงเวียนที่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง คือ การสร้างช่องว่างที่รถจะสามารถยอมรับได้ ในกระแสจราจรภายในวงเวียน พิจารณารูปที่ 3 ประกอบ จะพบว่าในช่วงที่ Metered Approach ได้รับสัญญาณไฟแดง (Interval 1: Red) จะเกิดช่องว่างในกระแสจราจรในวงเวียนที่รถในด้าน Controlling Approach สามารถผ่านเข้าวงเวียนได้โดยมีความจุเท่ากับ $(sg)_1$ (จากรูปที่ 3 แสดงตัวอย่าง $(sg)_1$ เท่ากับ 4 คัน) และในช่วงที่ Metered Approach ไม่มีสัญญาณไฟใดๆ (Interval 2: Blank) จะเกิดช่องว่าง

ในกระแสจราจรในวงเวียน ที่รถในด้าน Controlling Approach สามารถผ่านเข้าวงเวียนได้ โดยมีความจุเท่ากับ $(sg)_2$ (จากรูปที่ 3 แสดงตัวอย่าง $(sg)_2$ เท่ากับ 2 คัน) โดยที่ $(sg)_1$ มีค่ามากกว่า $(sg)_2$

การสร้างแบบจำลองการจราจรแบบวงเวียนด้วยโปรแกรม TSIS-CORSIM

สำหรับการศึกษาการออกแบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงที่วงเวียนนี้ ใช้เครื่องมือในการสร้างแบบจำลองการจราจรที่วงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตย คือ โปรแกรมสร้างแบบจำลอง TSIS-CORSIM Version 6.3 ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้โปรแกรมนี้จำลองการจราจรของวงเวียนมาแล้ว AARON ELIAS (2009: 48-56) ได้ทำการวิจัยการสร้างแบบจำลองการจราจรวงเวียนด้วยโปรแกรม TSIS-CORSIM ได้สรุปว่า โปรแกรมสร้างแบบจำลองการจราจร TSIS-CORSIM เป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในอเมริกา แต่ยังไม่มีความรู้ข้อมูลการจำลองวงเวียนมากพอ ซึ่งจากการวิจัยพบว่า โปรแกรม TSIS-CORSIM สามารถสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์วงเวียนได้ โดยจะต้องทำการเปลี่ยนค่าที่โปรแกรมตั้งไว้ เช่น การยอมรับช่องว่าง เป็นต้น ทั้งนี้ ความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองยังขึ้นกับช่วงเวลา และเส้นทางเข้าสู่วงเวียนในแต่ละด้านอีกด้วย



รูปที่ 3 รูปแบบการไหลของกระแสจราจรเมื่อควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง

(ที่มา: ดัดแปลงจาก Rahmi Akcelik, 2011, "Roundabout metering signals: capacity, performance and timing", 6th International Symposium On Highway Capacity And Quality Of Service, P. 3)

ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาแนวทางการใช้สัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง หรือ Metering Signal ในวงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตย ใช้การจำลองการจราจรเพื่อวัดผลประสิทธิภาพ ได้แก่ ความเร็วเฉลี่ย ความล่าช้ารวมของรถทั้งแบบจำลอง และค่าเฉลี่ยความล่าช้าจากการควบคุมทางแยก (Control Delay) เป็นต้น โดยโปรแกรม TSIS-CORSIM Version 6.3 เพื่อให้ครอบคลุมการศึกษา จึงต้องจำลองการจราจรวงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตย ใน 3 กรณีหลัก คือ

1. การจำลองการจราจรวงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตยในสภาพปัจจุบัน (มีสัญญาณไฟจราจร)
2. การจำลองการจราจรวงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตยเมื่อใช้สัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง โดยแบบจำลองนี้ จะทำการตั้งค่าระยะการตรวจจับความยาวแถวคอยต่างๆ จำนวน 4 ค่า เพื่อหาค่าที่ทำให้ประสิทธิภาพของวงเวียนสูงสุด
3. การจำลองการจราจรวงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตยภายใต้การควบคุมด้วยกฎการให้ทางของ

วงเวียน โดยใช้ปริมาณการจราจรในปัจจุบัน
ขั้นตอนการศึกษาจึงประกอบไปด้วย

1. การพัฒนาแบบจำลองด้วย CORSIM

การจำลองการจราจรในวงเวียนด้วยโปรแกรม TSIS-CORSIM มีความยุ่งยากกว่าการจำลองทางแยกทั่วไป กล่าวคือ กระแสจราจรทุกทิศทางในแต่ละด้านของวงเวียนจะเข้าสู่วงเวียนและออกจากวงเวียนที่ด้านต่างๆ ตามจุดประสงค์การเดินทาง ทำให้มีการรวมกันของกระแสจราจรจากด้านต่างๆ ของวงเวียนและอาจทำให้กระแสจราจรบางส่วนถูกส่งออกจากวงเวียนไม่ตรงกับจุดประสงค์การเดินทาง รูปที่ 4 แสดงลักษณะของการรวมกระแสจราจรที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่ารถในทิศทางไปตรงจากทิศทางมุ่งสู่ทิศเหนือ (T_N) เมื่อเข้าสู่วงเวียนจะรวมกระแสกับรถในทิศทางไปตรงจากทิศทางมุ่งสู่ทิศตะวันตก (T_W) และจะออกจากวงเวียนที่ Node 3 ทำให้กระแสจราจร (T_N) เดินทางผิดจุดประสงค์ที่จะต้องออกจากวงเวียนที่ Node 9 การจำลองการจราจรในวงเวียนจึงต้องสร้างเงื่อนไขในการเลี้ยวโดยให้กระแสจราจร (T_N) แปลงเป็นกระแส

1.2 ความเร็วที่การไหลอิสระ (Free Flow Speed)

พื้นที่วงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตยมีการจำกัดความเร็ว การตั้งค่าในแบบจำลองจึงเป็นดังนี้

ถนนราชดำเนิน 40 mph (64 kph)

ถนนดินสอ 30 mph (48 kph)

ในวงเวียน 30 mph (48 kph)

1.3 การกระจายตัวของรถที่เข้าสู่วงเวียน

ใช้ลักษณะการกระจายตัวแบบ Erlang Distribution Shape Parameter “a” =1 ซึ่งอ้างอิงจาก Elias, (2009: 48-49) ที่ได้ศึกษาการจำลองวงเวียนด้วยโปรแกรม TSIS-CORSIM

1.4 ค่าการยอมรับช่องว่างในวงเวียน

การตั้งค่าการยอมรับช่องว่างในวงเวียนอ้างอิงจากการศึกษาของ Elias (2009: 53-54) เช่นเดียวกัน

2. การสอบเทียบแบบจำลอง (Calibrate Model)

ข้อมูลในสนามที่นำมาสอบเทียบ ได้แก่ ข้อมูลปริมาณรถออกจากวงเวียนในแต่ละทิศทาง โดยทำการประมวลผลโปรแกรม TSIS-CORSIM จำนวน 30 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยจำนวนรถออกในแต่ละทิศทาง และหาร้อยละความคลาดเคลื่อน ซึ่งได้แสดงดังตารางที่ 2 สำหรับช่วงเร่งด่วน และสำหรับช่วงนอกเวลาเร่งด่วน

ตารางที่ 2 ผลการสอบเทียบปริมาณรถออกจากวงเวียนในแต่ละทิศทาง

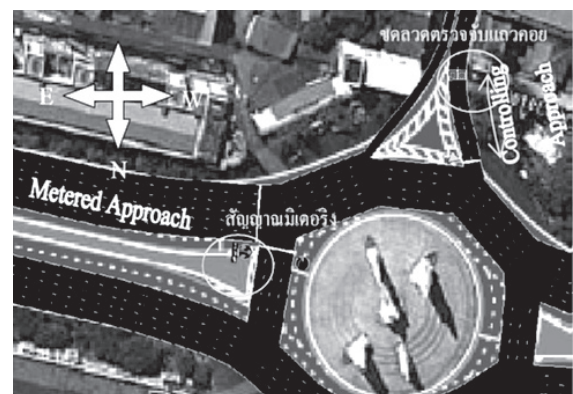
ช่วงเวลาเร่งด่วน			
ทิศทาง	ข้อมูลรถออกในสนาม	ข้อมูลรถออกจากแบบจำลอง	%Error รถออก
รวม	5762	5756	-0.10%
EB	1721	1754	+1.92%
WB	2575	2562	-0.50%
NB	230	214	-6.96%
SB	1236	1226	-0.81%
		sum error	- 6.35%

ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน			
ทิศทาง	ข้อมูลรถออกในสนาม	ข้อมูลรถออกจากแบบจำลอง	%Error รถออก
รวม	5903	5919	+0.27%
EB	2199	2252	+2.41%
WB	2571	2562	-0.35%
NB	280	277	-1.07%
SB	853	828	-2.93%
		sum error	-1.94%

จากตารางที่ 2 จะพบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสามารถนำแบบจำลองไปวิเคราะห์ต่อไปได้

3. การสร้างระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงในแบบจำลอง

จากแบบจำลองที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว นำมาเปลี่ยนการควบคุมโดยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง โดยใช้ถนนราชดำเนินกลางด้านตะวันออกเป็น Metered Approach ที่จะติดตั้งเสาสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง เนื่องจากเป็นด้านที่มีการจราจรสูง ในด้าน Controlling Approach ใช้ถนนดินสอด้านทิศใต้เนื่องจากเป็นถนนสายรอง โดยทำการติดตั้งขดลวดตรวจจับที่ระยะต่างๆ



รูปที่ 6 แบบจำลองที่ติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง

4. การจำลองการจราจรในวงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตยภายใต้กฎการให้ทาง

ใช้แบบจำลองที่ผ่านการสอบเทียบแล้วเพื่อปรับรูปแบบการควบคุมโดยเอาระบบสัญญาณไฟจราจรออกและกำหนดให้ควบคุมด้วยการให้ทางในทุกเส้นทางเข้าสู่วงเวียน โดยไม่เปลี่ยนแปลงปัจจัยอื่นๆ

5. การวางแผนดำเนินการกับแบบจำลองเพื่อเตรียมข้อมูลในการวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลแบ่งเป็นสองช่วงเวลา คือ

- ช่วงเวลาเร่งด่วน ช่วง 7.00-8.00 น.
- ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน ช่วง 9.00-10.00 น.

ในแต่ละช่วงเวลาทำการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบดังนี้

1. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในภาพรวมทั้งแบบจำลองระหว่างเมื่อควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมีเตอร์ริงที่ระยะการติดตั้งขดลวดตรวจจับความยาวแถวคอย ดังนี้

1. ระยะการติดตั้ง Loop Detector ที่ระยะ 30 ฟุต หรือ 9.14 เมตร
2. ระยะการติดตั้ง Loop Detector ที่ระยะ 60 ฟุต หรือ 18.28 เมตร
3. ระยะการติดตั้ง Loop Detector ที่ระยะ 120 ฟุต หรือ 36.58 เมตร
4. ระยะการติดตั้ง Loop Detector ที่ระยะ 180 ฟุต หรือ 54.86 เมตร กับเมื่อควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบเดิม โดยค่าที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความเร็วเฉลี่ย และค่าความล่าช้ารวมของรถทั้งแบบจำลอง

2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้งในภาพรวม และแยกสายหลักและสายรองเมื่อมีการควบคุมทางแยกด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมีเตอร์ริงที่ระยะการติดตั้งขดลวดตรวจจับที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด และเมื่อมีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบเดิม กับเมื่อควบคุมด้วยหลักการให้ทางของวงเวียน โดยค่าที่นำมาวิเคราะห์แยกสายหลักและสายรอง ได้แก่ ค่าเฉลี่ยความล่าช้าจากการควบคุมทางแยก

ผลการศึกษา

นำแบบจำลองมาทำการประมวลผลด้วยการประมวลผลโปรแกรม TSIS-CORSIM จำนวน 30 ครั้ง นำผลด้านประสิทธิภาพมาหาค่าเฉลี่ยตามแผนดำเนินการทดลอง ดังนี้

1. การวิเคราะห์ในภาพรวมเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมการจราจรด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมีเตอร์ริงที่ระยะการติดตั้งขดลวดตรวจจับค่าต่างๆ กับสัญญาณไฟจราจรแบบเดิม

จากผลด้านประสิทธิภาพที่ศึกษาในภาพรวมของแบบจำลองคือ ค่าความเร็วเฉลี่ย (ไมล์/ชม.) และค่าความล่าช้ารวมของรถทั้งแบบจำลอง (คัน-นาทึ่) พบว่าสำหรับการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมีเตอร์ริงนั้น ค่าระยะการติดตั้งขดลวดตรวจจับที่ระยะ 120 ฟุตให้ค่าความเร็วเฉลี่ยและความล่าช้ารวมดีกว่าที่การติดตั้งระยะอื่นๆ ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ที่กล่าวมาข้างต้น

2. การวิเคราะห์แยกสายหลักและสายรองเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมการจราจรด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมีเตอร์ริง กับสัญญาณไฟจราจรแบบเดิม

จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ผ่านมาทำให้ได้ค่าระยะการติดตั้งขดลวดตรวจจับ ที่ระยะ 120 ฟุตให้ผลด้านประสิทธิภาพดีกว่าที่ระยะอื่นๆ จึงใช้ค่าการควบคุมนี้เป็นตัวแทนของการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมีเตอร์ริงซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับการควบคุมด้วยกฎการให้ทางในวงเวียน ร่วมกับแนวทางการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเพื่อนำไปสู่การสรุปการเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาวงเวียนที่มีปัญหาด้านความจุ โดยได้ประมวลผลแบบจำลองแต่ละรูปแบบการควบคุมจำนวน 30 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพที่สนใจ ทั้งความเร็วเฉลี่ย ความล่าช้ารวมของรถทั้งแบบจำลอง และค่าเฉลี่ยความล่าช้าจากการควบคุมทางแยก โดยทำการวิเคราะห์ทั้งในช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงนอกเวลาเร่งด่วน ได้ผลการประมวลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 แสดงผลประสิทธิภาพการควบคุมการจราจรด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงที่ระยะการติดตั้งขวลวดตรวจจับค่าต่างๆ กับสัญญาณไฟจราจรแบบเดิม (ทั้งช่วงเร่งด่วนและช่วงนอกเวลาเร่งด่วน)

ช่วงเวลาเร่งด่วน						ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน					
ประสิทธิภาพ	ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง				ควบคุมด้วยสัญญาณไฟแบบเดิม	ประสิทธิภาพ	ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง				ควบคุมด้วยสัญญาณไฟแบบเดิม
	ติดตั้ง	ติดตั้ง	ติดตั้ง	ติดตั้ง			ติดตั้ง	ติดตั้ง	ติดตั้ง	ติดตั้ง	
	Detector ที่ระยะ 30 ฟุต	Detector ที่ระยะ 60 ฟุต	Detector ที่ระยะ 120 ฟุต	Detector ที่ระยะ 180 ฟุต			Detector ที่ระยะ 30 ฟุต	Detector ที่ระยะ 60 ฟุต	Detector ที่ระยะ 120 ฟุต	Detector ที่ระยะ 180 ฟุต	
ความเร็วเฉลี่ย ไมล์/ชม. (กม./ชม.)	16.602 (26.72)	16.730 (26.92)	17.836 (28.70)	15.602 (25.11)	20.079 (32.31)	ความเร็วเฉลี่ย ไมล์/ชม. (กม./ชม.)	16.510 (26.57)	16.953 (27.28)	16.964 (27.30)	16.736 (26.93)	24.011 (38.64)
ความล่าช้ารวม คัน-นาที	24.007	22.971	11.439	32.871	55.077	ความล่าช้ารวม คัน-นาที	26.628	22.701	22.563	24.670	42.361

ตารางที่ 4 แสดงผลประสิทธิภาพการควบคุมการจราจรด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง และสัญญาณไฟจราจรแบบเดิม กับการควบคุมด้วยกฎการให้ทางในวงเวียน (ทั้งช่วงเร่งด่วนและช่วงนอกเวลาเร่งด่วน)

ช่วงเวลาเร่งด่วน			แนวทางการแก้ปัญหา		ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน			แนวทางการแก้ปัญหา	
ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ	ขอบเขต การพิจารณา	ควบคุม โดยกฎ การให้ทางในวงเวียน	การควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบเดิมในสนาม	การควบคุมด้วยสัญญาณไฟมิเตอร์ริงที่ระยะ Detector 120 ฟุต	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ	ขอบเขต การพิจารณา	ควบคุม โดยกฎ การให้ทางในวงเวียน	การควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบเดิมในสนาม	การควบคุมด้วยสัญญาณไฟมิเตอร์ริงที่ระยะ Detector 120 ฟุต
ความเร็วเฉลี่ย ไมล์/ชม. (กม./ชม.)	ภาพรวมทั้งแบบจำลอง	14.675 (23.612)	20.079 (32.314)	17.836 (28.704)	ความเร็วเฉลี่ย ไมล์/ชม. (กม./ชม.)	ภาพรวมทั้งแบบจำลอง	15.457 (24.87)	24.011 (38.642)	16.964 (27.301)
ความล่าช้ารวม คัน-นาที		39.1403	55.077	11.439	ความล่าช้ารวม คัน-นาที		37.55	42.361	22.563
Control Delay (วินาที/คัน)	สายหลัก (Link 20-2)	1.143	11.000	12.980	Control Delay (วินาที/คัน)	สายหลัก (Link 20-2)	3.247	10.900	9.030
	สายรอง (Link 14-5)	55.37	18.797	25.220		สายรอง (Link 14-5)	88.64	16.533	24.987

อภิปราย

1. อภิปรายผลการวิเคราะห์ในภาพรวม

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในภาพรวมทั้งแบบจำลองค่าความเร็วเฉลี่ยและความล่าช้ารวมทั้งแบบจำลองให้ผลสอดคล้องกันทั้งในช่วงเวลาเร่งด่วนและนอกเวลาเร่งด่วน โดยมีข้อสังเกตว่าผลด้านความเร็วเฉลี่ยและความล่าช้ารวมของการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงที่ระยะการติดตั้งขดลวดตรวจจับค่าต่างๆ 4 ค่านั้นให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระยะการติดตั้ง 60 ฟุต และที่ระยะติดตั้ง 120 ฟุต ที่ให้ค่าความล่าช้ารวม 22.701 ค้าน-นาทิจ และ 22.563 ค้าน-นาทิจ ตามลำดับ (ดูตารางที่ 3 ประกอบ) ขณะที่ในช่วงเวลานั้นให้ค่าแตกต่างกันชัดเจน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาข้อแตกต่างของปริมาณการจราจรในช่วงเร่งด่วนและนอกเวลาเร่งด่วนนั้น พบว่าปริมาณการจราจรในสายรองด้าน Controlling Approach มีปริมาณรถ 1029 PCU/ชม. และ 691 PCU/ชม. ตามลำดับ ในขณะที่ในสายหลักด้าน Metered Approach มีปริมาณจราจรในช่วงเวลาเร่งด่วน คือ 1658 PCU/ชม. นอกช่วงเวลาเร่งด่วนมีปริมาณ 2322 PCU/ชม. พิจารณาเป็นสัดส่วนของปริมาณรถสายรองต่อสายหลักทั้งสองช่วงเวลาพบว่า ในช่วงเวลาเร่งด่วนมีสัดส่วน 0.62 ขณะที่นอกเวลาเร่งด่วนมีสัดส่วนเพียง 0.297 จึงสามารถสรุปได้ว่า ระยะการติดตั้งขดลวดตรวจจับที่ระยะต่างๆ กันจะให้ผลประสิทธิภาพแตกต่างกันไม่มากนักสำหรับปริมาณรถที่มีสัดส่วนของรถในสายรองต่อรถในสายหลักที่มีค่าน้อยๆ และจะเห็นผลแตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อปริมาณรถมีสัดส่วนรถในสายรองต่อสายหลักที่มีค่าเข้าใกล้ 1 อย่างไรก็ตามทั้งสองช่วงเวลาได้ผลระยะการติดตั้งขดลวดตรวจจับที่ให้ประสิทธิภาพโดยรวมดีที่สุดสำหรับการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงที่ระยะ 120 ฟุต เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับ การควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบเดิมในสนามพบว่า การควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงมีค่าความล่าช้ารวมน้อยกว่า แต่กลับมีค่าความเร็วเฉลี่ยของรถน้อยกว่าการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบเดิม เมื่อพิจารณาผลประสิทธิภาพด้านอื่นประกอบ ได้แก่

ค่าอัตราส่วนเวลาการเคลื่อนที่ของรถต่อเวลาทั้งหมด (Move/Total) พบว่า เมื่อควบคุมการจราจรด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงมีค่าสูงกว่าเมื่อควบคุมด้วยสัญญาณไฟแบบปกติ โดยมีค่า 0.829 และ 0.527 ตามลำดับ นั่นคือ การควบคุมการจราจรด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงนั้น รถส่วนใหญ่ในระบบมีการเคลื่อนตัวตลอดเวลาด้วยความเร็วไม่สูงนัก ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการควบคุมทางแยกด้วยหลักให้ทางรถในวงเวียน นั่นเอง

2. อภิปรายผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแนวทางการแก้ปัญหาทั้งสองแนวทางกับการควบคุมด้วยกฎการให้ทางทั้งในภาพรวม และแยกสายหลัก สายรอง

จากการประมวลผลทั้ง 30 ครั้งและหาค่าเฉลี่ยค่าประสิทธิภาพที่ทำการศึกษาคพบว่า ในภาพรวมแนวทางการแก้ปัญหาทั้งสองแนวทางคือการใช้สัญญาณไฟจราจรแบบเดิมในสนาม และการใช้สัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง ให้ค่าความเร็วเฉลี่ยที่สูงกว่าการควบคุมด้วยกฎการให้ทางในวงเวียน โดยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบเดิมมีความเร็วเฉลี่ยสูงกว่าระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง ทั้งในช่วงเร่งด่วนและนอกเวลาเร่งด่วน สำหรับค่าความล่าช้ารวมของรถในแบบจำลองพบว่า การควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงให้ค่าความล่าช้ารวมน้อยกว่าทั้งการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบเดิมในวงเวียนและเมื่อควบคุมด้วยกฎการให้ทาง เป็นที่น่าสังเกตว่า แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่วงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตยด้วยการติดตั้งไฟสัญญาณจราจรนั้น มีค่าความล่าช้ารวมมากกว่าการควบคุมด้วยกฎการให้ทางในวงเวียนอีกด้วย ทั้งนี้ เนื่องจากการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรนั้นมีการแบ่งรอบสัญญาณล่วงหน้า ซึ่งในแต่ละรอบสัญญาณจะต้องมีการหยุดรอสัญญาณ นั่นเอง

ในส่วนของการพิจารณาแยกสายหลักที่ใช้เป็น Metered Approach และสายรองที่ใช้เป็น Controlling Approach การควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงนั้น พบว่า ก่อนใช้แนวทางแก้ปัญหาทั้งสองแนวทาง วงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตยใช้กฎการให้ทางในวงเวียน ซึ่งด้วยปริมาณรถจำนวนมากใน

สายหลัก (ราชดำเนินกลาง) ทำให้รถในสายรอง (ถนนดินสอ) ไม่สามารถเข้าสู่วงเวียนได้จึงสะสมเป็นแถวคอยยาวมาก เมื่อพิจารณาผลการประมวลแบบจำลองจึงพบว่าค่าเฉลี่ยความล่าช้าจากการควบคุมทางแยก ที่สายรองมีค่าสูงถึง 55.37 วินาที/คัน ในช่วงเร่งด่วน และ 88.64 วินาที/คัน นอกช่วงเวลาเร่งด่วน ขณะที่สายหลักมีค่าเพียง 1.143 วินาที/คัน ในช่วงเร่งด่วน และ 3.247 วินาที/คัน นอกช่วงเวลาเร่งด่วน

เมื่อใช้แนวทางแก้ปัญหาด้วยแนวทางทั้งสองพบว่าสามารถลดค่าเฉลี่ยความล่าช้าจากการควบคุมทางแยก ในทางรองลงได้ทั้งสองแนวทาง คือ ลดลงเป็น 18.797 วินาที/คัน ในช่วงเร่งด่วน และ 16.533 วินาที/คัน นอกช่วงเวลาเร่งด่วน สำหรับแนวทางการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร และลดลงเป็น 25.220 วินาที/คัน ในช่วงเร่งด่วน และ 24.987 วินาที/คัน นอกช่วงเวลาเร่งด่วน สำหรับแนวทางการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริง ในขณะที่สายหลัก ค่าเฉลี่ยความล่าช้าจากการควบคุมทางแยก มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งในช่วงเวลาเร่งด่วน และนอกช่วงเวลาเร่งด่วนสำหรับทั้งสองแนวทาง ดังแสดงในตารางที่ 4

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์และอภิปรายทำให้สามารถ

สรุปได้ว่าแนวทางการใช้สัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงในวงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตยสามารถเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาได้ โดยเป็นแนวทางที่ประหยัดด้วยการติดตั้งเสาสัญญาณเพียงตำแหน่งเดียว ร่วมกับขดลวดตรวจจับได้ผิวจราจรด้านถนนสายรอง ทั้งนี้ มิได้หมายความว่าจะสามารถนำมาใช้ในปัจุบันได้ เนื่องจากมีการใช้ระบบสัญญาณไฟจราจรในแก้ปัญหามาเป็นระยะเวลานาน ซึ่งผู้ใช้รถมีความเคยชินกับระบบไฟสัญญาณจราจร รวมทั้งหลักการด้านการใช้ความเร็วที่ระบบไฟสัญญาณจราจรออกแบบมาเพื่อให้รถผ่านรอบสัญญาณไฟเขียวให้มากที่สุด การหันมาใช้ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงที่อิงหลักการเดิม คือ การให้ทางในวงเวียน จึงไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ปัจจุบันของวงเวียนอนุสาวรีย์ประชาธิปไตย ทั้งนี้ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะเปรียบเทียบให้เห็นว่าระบบสัญญาณไฟจราจรแบบมิเตอร์ริงสามารถเป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาให้กับวงเวียนที่มีปัญหาด้านความจุได้ โดยยังใช้หลักการเดิมของวงเวียน คือ การให้ทางอยู่ และประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าแนวทางอื่น งานวิจัยนี้จึงสามารถนำไปเป็นแนวทางสำหรับการแก้ปัญหาวงเวียนอื่นๆ ที่ยังไม่มีการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร โดยใช้ข้อมูลต่างๆ ของวงเวียนนั้นในการวิเคราะห์ประกอบการพิจารณา

บรรณานุกรม

- Akcelik, R. (2004). Roundabout With Unbalance Flow Patterns. *The Institute of Transportation Engineers 2004 Annual Meeting*, 1-4 August 2004 Lake Buena Vista Florida. USA.
- Akcelik, R. (2005). Capacity And Performance Analysis Of Roundabout Metering Signals. *TRB National Roundabout Conference*, 22-25 May 2005 Vail Colorado. USA.
- Akcelik, R. (2011). Roundabout metering signals: capacity, performance and timing. *6th International Symposium on Highway Capacity And Quality Of Service*. Transportation Research Board, 28 June to 1 July 2011 Stockholm. Sweden.
- Elias, A. (2009). *Roundabout Modeling In Corsim*. The Master Of Engineering, Faculty Of Civil Engineering. University Of Florida. USA.

- Irvana, J. & Randahl, S. (2010). *Analysis of gap acceptance in a saturated two-lane roundabout and implementation of critical gaps in VISSIM*. Thesis of Traffic and Roads Department of Technology and Society, Faculty of Engineering. Lund University, Sweden.
- Natalozio, E. (2005). Roundabouts with Metering Signals. *The Institute of Transportation Engineers 2005 Annual Meeting*, 7-10 August 2005 Melbourne. Australia.
- TRB. (2000). *Highway Capacity Manual 2000*. Washington D.C., USA: The Transportation Research Board.



Niwat Surachodkriangkrai received his Bachelor Degree of Civil Engineering from Prince of Songkla University in 1999. In 2013, he received the Degree of the Master of Engineering in the field of Civil Engineering Technology, major in Traffic and Transportation Engineering from King Mongkut's University of Technology Thonburi. He is currently a civil engineer at Department of Highway.



Ampol Karoonsoontawong is an Associate Professor of Department of Civil Engineering at King Mongkut's University of Technology Thonburi. He received his B.Eng. from Chulalongkorn University with Honors in 1997. He received his M.S. and Ph.D. in Transportation Engineering in 2002 and 2006, respectively, from The University of Texas at Austin, USA. Dr. Ampol is interested in transportation network modeling, logistical distribution network optimization, and applied operations research.