# การประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร

โดย

นายเฉลิมวิชญ์ กุลศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาคณิตศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

# การประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร

โดย
นายเฉลิมวิชญ์ กุลศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาคณิตศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

# AN APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN TRAFFIC SIGNAL CONTROL

By

MR. Chalermwit KUNSIRI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (MATHEMATICS STUDY)

Department of MATHEMATICS

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2017

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อ | การประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร |
| โดย | เฉลิมวิชญ์ กุลศิริ |
| สาขาวิชา | คณิตศาสตร์ศึกษา แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต |
| อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก | อาจารย์ ดร. สุภาพ เกิดแสง |

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

---------- คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

พิจารณาเห็นชอบโดย

---------- ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. ภาสวรรณ นพแก้ว )

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. สุภาพ เกิดแสง )

---------- ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รตินันท์ บุญเคลือบ )

57316304 : คณิตศาสตร์ศึกษา แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : ฟัซซีลอจิก, การควบคุมสัญญาณไฟจราจร

นาย เฉลิมวิชญ์ กุลศิริ: การประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร. สุภาพ เกิดแสง

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างต้นแบบสำหรับการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรสำหรับแยกเดี่ยวที่เป็นอิสระจากแยกอื่นๆ โดยมีการเก็บข้อมูลการจราจร และข้อมูลทางกายภาพที่เกี่ยวข้องของสี่แยกสนามจันทร์ ในอำเภอเมืองนครปฐม เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของระบบที่สร้างขึ้น โดยมีการทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบอื่นๆ อีก 5 แบบ ซึ่งรวมไปถึงการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ผลของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพภายในระบบจำลองการจราจรเสมือนพบว่าระบบฟัซซีลอจิกที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ดีกว่าระบบอื่นๆ ที่นำมาทดสอบ และสามารถนำไปใช้ได้จริงเพื่อแก้ปัญหาจราจรติดขัด และทดแทนการใช้เจ้าพนักงานจราจรในชั่วโมงเร่งด่วน

มหาวิทยาลัยศิลปากร

57316304 : Major (MATHEMATICS STUDY)
Keyword : FUZZY LOGIC, TRAFFIC SIGNAL CONTROL

MR. CHALERMWIT KUNSIRI : AN APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN TRAFFIC SIGNAL CONTROL THESIS ADVISOR : SUPAP KIRTSAENG, Ph.D.

In this research, we design a model for applying fuzzy logic to traffic light control in single isolated intersections. Traffic data and other related physical data of Sanam Chandra Intersection, in Muang Nakhonpathom, were collected. The model designed was applied to the intersection to test for efficiency. Five other systems of traffic light control were tested for comparison, including the system currently in used at the intersection.

The comparison test was done in a traffic simulation based on the collected traffic data. The result shows that the model designed is the most efficient among the other systems tested. It can be applied to the intersection to reduce traffic congestion and reduce the need of traffic officer during rush hours.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ ดร.สุภาพ เกิดแสง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำ ปรึกษา แก้ไขในส่วนบกพร่องต่างๆ และช่วยเติมเต็มความรู้จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ภาสวรรณ นพแก้ว และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รตินันท์ บุญเคลือบ ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ทุกท่านที่ได้ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณพ่อแม่และครอบครัวที่คอยดูแลและสนับสนุนการศึกษา จนทำให้ประสบความสำเร็จได้ในวันนี้

เฉลิมวิชญ์ กุลศิริ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

# สารบัญ

**หน้า**

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา ..... 2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา ..... 2
1.4 ขอบเขตการศึกษา ..... 2
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ..... 3
2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ..... 3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ..... 4
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย ..... 12
3.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล ..... 13
3.2 ระบบอนุมานเชิงฟัซซีของการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ..... 25
3.3 ขั้นตอนการทดสอบชุดของฟัซซีเซต ..... 29
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ..... 32
4.1 การทดสอบระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยระบบฟัซซี ..... 32
4.2 การทดสอบประสิทธิภาพชุดของฟัซซีเซตในทางทฤษฎี ..... 34

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ..... 40
5.1 สรุป อภิปรายผล ..... 40
5.2 ข้อเสนอแนะ ..... 41
5.3 การนำไปประยุกต์ใช้ ..... 41
รายการอ้างอิง ..... 43
ภาคผนวก ..... 44
ประวัติผู้เขียน ..... 59

# สารบัญตาราง

**หน้า**

ตารางที่ 1 ข้อมูลระยะเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียว .....14

ตารางที่ 2 อัตรารถเข้าของสี่แยกสนามจันทร์ .....16

ตารางที่ 3 อัตรารถออกของสี่แยกสนามจันทร์.....17

ตารางที่ 4 ข้อมูลความยาวรถ และช่องว่างระหว่างรถสองคัน .....20

ตารางที่ 5 ความยาวถนนสูงสุดที่ใช้นับปริมาณรถ และจำนวนแถวของรถที่จอดคอยไฟแดง .....22

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ 5 แบบ .....33

มหาวิทยาลัยศิลปากร

# สารบัญรูป

**หน้า**

รูปที่ 1 กราฟของฟัซซีเซต $A$ ..... 5
รูปที่ 2 ระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี ..... 6
รูปที่ *3* กราฟของฟัซซีเซต $SH$ และ $LH$ ..... 7
รูปที่ 4 กราฟของฟัซซีเซต $SB$ และ $LB$ ..... 8
รูปที่ 5 กราฟของฟัซซีเซตผลลัพธ์ $SS$ และ $LS$ ..... 8
รูปที่ 6 กราฟของฟัซซีเซตผลลัพธ์สำหรับการพยากรณ์ลักษณะต้นไม้ ..... 10
รูปที่ 7 แผนที่สี่แยกสนามจันทร์ ..... 13
รูปที่ 8 การจราจรในสี่แยกสนามจันทร์ ..... 14
รูปที่ 9 จังหวะไฟจราจรของสี่แยกสนามจันทร์ ..... 15
รูปที่ 10 ตำแหน่งจุดติดตั้งตัวนับปริมาณรถ ..... 19
รูปที่ 11 รถที่จอดคอยไฟแดงที่สี่แยกสนามจันทร์ ..... 21
รูปที่ 12 จุดกลับรถบนถนนทรงพลหน้ามหาวิทยาลัยศิลปากร ..... 22
รูปที่ 13 ทางเข้าออกโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศิลปากรบนถนนราชมรรคาใน ..... 23
รูปที่ 14 จุดกลับรถบนถนนราชวิถี ..... 23
รูปที่ 15 สามแยกบนถนนยิงเป้า ..... 24
รูปที่ 16 ระบบอนุมานเชิงฟัซซีของการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ..... 25
รูปที่ 17 ฟัซซีเซตของรถน้อยและรถมากในแยกที่ 1 และ 4 ..... 26
รูปที่ 18 ฟัซซีเซตของรถน้อยและรถมากในแยกที่ 2 และ 3 ..... 26
รูปที่ 19 ฟัซซีเซตของการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวน้อยและมาก ..... 27
รูปที่ 20 ฟัซซีเซตในกลุ่ม $sv$ และ $se$ ..... 30
รูปที่ 21 ฟัซซีเซตในกลุ่ม $lv$ และ $le$ ..... 31

รูปที่ 22 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยเวลาคอยของรถ (นาที/คัน) 5 แบบ จำนวน 20, 50 และ 100 รอบ .....33
รูปที่ 23 เครื่องนับปริมาณรถ .....41
รูปที่ 24 การติดตั้งเครื่องนับปริมาณรถ .....42
รูปที่ 25 ราคาและงบประมาณของเครื่องนับปริมาณรถ .....42

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการคมนาคมโดยรถยนต์และรถจักรยานยนต์มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดการติดขัดของการจราจรบนท้องถนนโดยเฉพาะในเมืองใหญ่ ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาจราจรติดขัดดังกล่าว โดยใช้สี่แยกสนามจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม เป็นกรณีศึกษา สี่แยกดังกล่าวมีที่ตั้งอยู่ใกล้กับสถานที่สำคัญต่างๆ เช่น พระราชวังสนามจันทร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศิลปากร จึงทำให้การจราจรที่สี่แยกสนามจันทร์ติดขัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาหลังเลิกเรียน เราจึงได้คิดหาวิธีช่วยลดปัญหาการจราจรติดขัดที่สี่แยกสนามจันทร์ด้วยการนำฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เข้ามาช่วยควบคุมสัญญาณไฟจราจรของสี่แยกสนามจันทร์

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นระบบตรรกศาสตร์ที่ถูกพัฒนาต่อยอดมาจากตรรกศาสตร์แบบเดิม โดยเพิ่มจากตรรกศาสตร์แบบเดิมที่มีค่าความจริงเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น ให้สามารถมีค่าความจริงอยู่ระหว่างจริงกับเท็จได้ด้วย ฟัซซีลอจิกถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.1965 โดย Lotfi Zadeh และได้มีการขยายผลโดยนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกลต่างๆ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ และรวมไปถึงการควบคุมระบบจราจร โดยการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในด้านการจราจรมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ งานวิจัยของ Jarkko Niittymaki ซึ่งใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร

วิทยานิพนธ์นี้นำฟัซซีลอจิกและระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี (Mamdani's Fuzzy Inference System) มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรและทำการทดสอบระบบควบคุมบนแบบจำลองการจราจรที่สร้างขึ้น โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบกับวิธีการควบคุมการจราจรในระบบอื่นๆ รวมถึงค้นหาค่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการควบคุมการจราจรที่สี่แยกสนามจันทร์ ทั้งนี้งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการการจราจรในแยกอื่นๆ ได้อีกด้วย

**1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา**

1. เพื่อประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร
2. เพื่อสร้างแบบจำลองการจราจรที่สามารถนำไปใช้ในการประยุกต์ฟัซซีลอจิกกับแยกอื่นๆ ได้

**1.3 สมมติฐานของการศึกษา**

ฟัซซีลอจิกสามารถนำมาช่วยลดปัญหาจราจรติดขัดได้ โดยใช้วิเคราะห์หาเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวและสีแดงที่เหมาะสมในสถานการณ์ของแต่ละช่วงเวลา

**1.4 ขอบเขตการศึกษา**

ศึกษาการจราจร และการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของสี่แยกสนามจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม เขียนโปรแกรมจำลองการจราจรของสี่แยกสนามจันทร์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้สร้างระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรด้วยฟัซซีลอจิกที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

# บทที่ 2
# วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยได้ทำการศึกษาจากงานวิจัย 3 ชิ้น คือ งานวิจัยเรื่อง Signal Control Using Fuzzy Logic กับงานวิจัยเรื่อง General Fuzzy Rule Base for Isolated Traffic Signal Control –Rule Formulation โดย Jarkko Niittymaki และงานวิจัยเรื่อง A Fuzzy Logic Controller for Traffic Junction Signal โดย Chih-Hsun Chou

งานวิจัยของ Jarkko Niittymaki (1998) มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาทฤษฎีทั่วไปของตรรกศาสตร์แบบฟัซซี สำหรับใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเพื่อสร้างระบบความรู้ผู้เชี่ยวชาญของการควบคุมแบบฟัซซีโดยใช้การจำลองสถานการณ์และมีการทดลองภาคสนาม

ในงานวิจัยชิ้นดังกล่าวมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้ 1. วิเคราะห์การจราจรโดยแบ่งระดับการจราจร เป็น 3 ระดับ คือ หนาแน่น ปกติ และน้อย 2. วิเคราะห์การเพิ่มเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวจากข้อมูลในการวิเคราะห์การจราจร 3. จำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม HUTSIM ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองสถานการณ์ที่พัฒนาจาก Helsinki University of Technology เพื่อตัดสินใจเลือกเพิ่มเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวที่เหมาะสม 4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการควบคุมยานพาหนะแบบเดิมโดยมีการทดสอบภาคสนามกับแยก Helsinki City

ในปี 2000 Jarkko Niittymaki ทำการวิจัยเพิ่มเติมโดยมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร Jarkko Niittymaki สร้างกฎฟัซซีทั่วไป ที่สามารถนำไปใช้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรกับแยกอื่นๆ ได้ด้วย งานวิจัยชิ้นนี้ Jarkko Niittymaki หาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการจราจร และใช้สร้างกฎฟัซซีเพื่อช่วยในการแก้ปัญหาการจราจรติดขัด

ส่วนงานวิจัยโดย Chih-Hsun Chou (2001) มีการออกแบบตัวควบคุมด้วยการเปรียบเทียบการจำลองสถานการณ์โดยใช้ระบบตัดสินใจเชิงฟัซซี (Fuzzy Inference System) ที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 แบบ คือ Mamdani, Nakatsuyami, Favilla และ Preposed

Chih-Hsun Chou มีขั้นตอนการดำเนินงานคือ 1. จำลองสถานการณ์ด้านสิ่งแวดล้อม 2. ออกแบบตัวควบคุมโดยการเปรียบเทียบการจำลองสถานการณ์ 3. ทดสอบเพิ่มเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวที่ได้จากการเปรียบเทียบการจำลองสถานการณ์ 4. นำมาปรับใช้กับแยกจราจรที่ติดกันหลายแยก และจำนวนหลายช่องทางเดินรถ จากผลการวิจัยพบว่าระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี่ สามารถนำมาใช้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

### 2.2.1 ฟัซซีเซต (Fuzzy set)

ฟัซซีเซต เป็นเซตที่ถูกพัฒนามาจากเซตแบบปกติกล่าวคือ ในกรณีของเซตแบบปกติจะมีฟังก์ชันลักษณะเฉพาะ (Characteristic function) ซึ่งให้ค่าเป็น $0$ หรือ $1$ อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ส่วนฟัซซีเซตจะมีฟังก์ชันลักษณะเฉพาะที่มีค่าอยู่ในช่วง $[0,1]$ โดยจะเรียกฟังก์ชันลักษณะเฉพาะของฟัซซีเซตว่า ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) และเรียกเซต $X$ ว่าเป็นเอกภพสัมพัทธ์ของฟัซซีเซต $A$

**บทนิยาม 2.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก**ของฟัซซีเซต $A$ คือฟังก์ชัน $\mu_A: X \to [0,1]$ โดยค่าของฟังก์ชัน $\mu_A(\mathrm{x})$ ที่ได้จะแสดงระดับความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต $A$ สำหรับตัวแปร $\mathbf{X}$

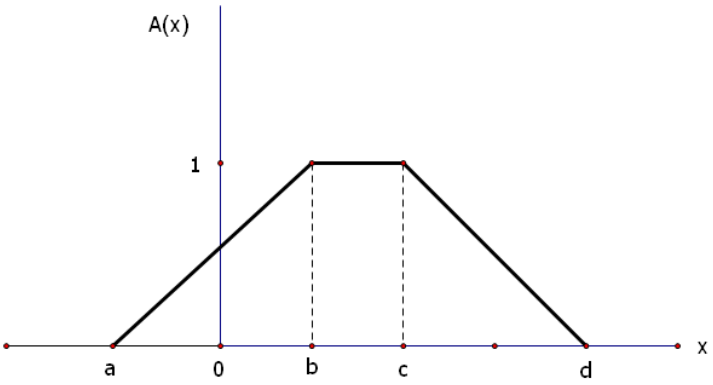
เพื่อความสะดวกอาจเขียนแทน $\mu_A$ โดยใช้สัญลักษณ์ $A$ และพิจารณาว่า $A: X \to [0,1]$ เป็นฟัซซีเซต ซึ่งค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต $A$ สำหรับตัวแปร $\mathbf{X}$ หรือระดับความเป็นสมาชิกของ $A$ เขียนแทนด้วย $A(x)$

**บทนิยาม 2.2** ให้ $A$ และ $B$ เป็นฟัซซีเซตซึ่งมี $X$ เป็นเอกภพสัมพัทธ์ นิยาม **คอมพลีเมนต์ (Complement) ยูเนียน (Union)** และ**อินเตอร์เซกชัน (Intersection)** ให้เป็นฟัซซีเซตเขียนแทนด้วย $\overline{A}$, $A \cup B$ และ $A \cap B$ โดย

$$\overline{A}(x) = 1 - A(x)$$
$$(A \cup B)(x) = \max\{A(x), B(x)\}$$
$$(A \cap B)(x) = \min\{A(x), B(x)\}$$

สำหรับทุกๆ $x \in X$

โดยทั่วไปฟัซซีเซตมีรูปแบบที่หลากหลายแต่ในการประยุกต์ใช้เพื่อการควบคุมสัญญาณไฟจราจร จะใช้ฟัซซีเซตซึ่งมีลักษณะกราฟของฟัซซีเซตคล้ายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งมีลักษณะกราฟของฟัซซีเซตดังต่อไปนี้




รูปที่ 1 กราฟของฟัซซีเซต $A$

$$A(x) = \begin{cases} 0, & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a < x \le b \\ 1, & b < x \le c \\ \dfrac{d-x}{d-c}, & c < x \le d \\ 0, & x > d \end{cases}$$

เพื่อความกระชับจะเขียนแทนฟัซซีเซต $A$ ข้างต้นโดยใช้สัญลักษณ์ $[a, b, c, d]$ ซึ่งมี $a, b, c, d$ เป็นค่าบนโดเมนของฟังก์ชัน $A$ ที่เป็นจุดวิกฤตของฟังก์ชันเราเรียกชุดตัวเลขนี้ว่า **ฟัซซีนัมเบอร์ (Fuzzy number)** ของฟัซซีเซต $A$

### 2.2.2 ระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี

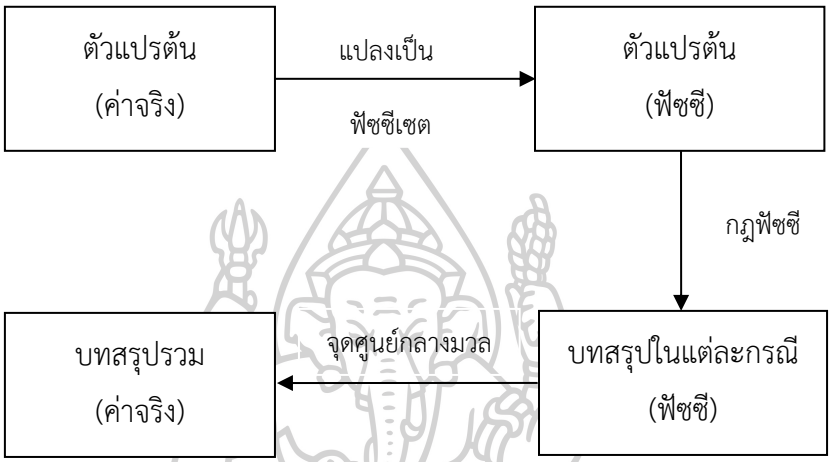
ระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี คือ ระบบการพยากรณ์โดยใช้กฎฟัซซี ซึ่งเป็นประพจน์ในรูป “ถ้า – แล้ว” โดยสังเคราะห์มาจากความรู้ผู้เชี่ยวชาญ (Expert’s knowledge) การทำงานตามระบบอนุมานมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำค่าตัวแปรต้น (ค่าจริง) ที่ได้มาแปลงให้อยู่ในรูปฟัซซีเซต

ขั้นตอนที่ 2 นำฟัซซีเซตที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาทำการวินิจฉัยโดยใช้กฎฟัซซี

ขั้นตอนที่ 3 นำบทสรุปในแต่ละกรณีจากขั้นตอนที่ 2 มารวมกันโดยใช้วิธีการหาจุดศูนย์กลางมวล (Center of mass)

ขั้นตอนที่ 4 นำบทสรุปรวมที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ไปใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาด้านต่างๆ




รูปที่ 2 ระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี

เพื่อสร้างความเข้าใจเบื้องต้นในกระบวนการของระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี จะยกตัวอย่างการประยุกต์ดังนี้

**ตัวอย่างที่ 2.1** สร้างระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานีเพื่อพิจารณาความใหญ่ของต้นไม้ (ซึ่งอาจมีผลกับการประมาณการให้น้ำที่เหมาะสม) โดยสมมติให้ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความใหญ่ของต้นไม้มีเพียง ความสูง และความยาวรอบโคนต้นไม้ กำหนดให้ต้นไม้ที่มีความสูงไม่เกิน 2 เมตรเป็นต้นไม้ที่มีความสูงน้อย และต้นไม้ที่มีความสูง 6 เมตรถึง 10 เมตรเป็นต้นไม้ที่มีความสูงมากและกำหนดให้ความยาวรอบโคนไม่เกิน 0.5 เมตรเป็นต้นไม้ที่มีความยาวรอบโคนน้อย และต้นไม้ที่มีความยาวรอบโคน 1.5 เมตรถึง 2.5 เมตร เป็นต้นไม้มีมีความยาวรอบโคนมาก ซึ่งในที่นี้จะทำการประเมินขนาดของต้นไม้ต้นหนึ่งซึ่งมีความสูง 4 เมตรและมีความยาวรอบโคน 1 เมตร ผู้เชี่ยวชาญโดยทั่วไปอาจอนุมานได้ดังนี้

1. ถ้าต้นไม้มีความสูงน้อย และ มีความยาวรอบโคนน้อย แล้ว เป็นต้นไม้เล็ก
2. ถ้าต้นไม้มีความสูงมาก และ มีความยาวรอบโคนมาก แล้ว เป็นต้นไม้ใหญ่

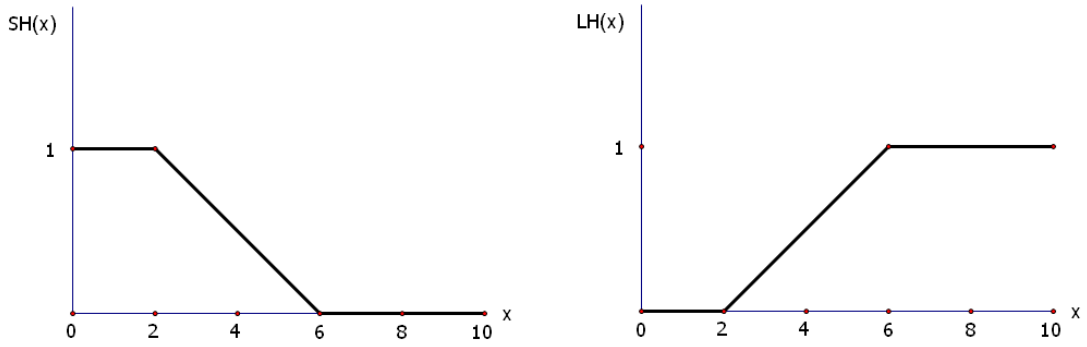
3. ถ้าต้นไม้มีความสูงน้อย และ มีความยาวรอบโคนมาก แล้ว ไม่สามารถสรุปได้ว่าต้นไม้เล็กหรือใหญ่

4. ถ้าต้นไม้มีความสูงมาก และ มีความยาวรอบโคนน้อย แล้ว ไม่สามารถสรุปได้ว่าต้นไม้เล็กหรือใหญ่

เพราะฉะนั้นจะได้กฎฟัซซีสำหรับการพยากรณ์ลักษณะของต้นไม้ คือ กฎข้อที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ว่าการอนุมานในข้อ 3 และ 4 ไม่สามารถหาข้อสรุปที่ชัดเจนได้ จึงนำเพียงการอนุมานข้อ 1 และ 2 มาสร้างกฎฟัซซี จะได้ว่าตัวแปรต้นในการประเมินขนาดของต้นไม้ คือ ความสูงและความยาวรอบโคน ทำให้ได้ฟัซซีเซตที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ทั้งหมด 6 เซต คือ ฟัซซีเซตความสูงน้อย $(SH)$ ฟัซซีเซตความสูงมาก $(LH)$ ฟัซซีเซตความยาวรอบโคนน้อย $(SB)$ ฟัซซีเซตความยาวรอบโคนมาก $(LB)$ ฟัซซีเซตต้นไม้เล็ก $(SS)$ และฟัซซีเซตต้นไม้ใหญ่ $(LS)$ ซึ่งจากช่วงข้อมูลของตัวแปรต้นสามารถนิยามฟัซซีเซตทั้งหมด 6 เซต ดังนี้

$$SH(x) = \begin{cases} 1 & , \quad x \leq 2 \\ \dfrac{6-x}{4} & , \quad 2 < x < 6 \\ 0 & , \quad x \geq 6 \end{cases} \qquad LH(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 2 \\ \dfrac{x-2}{4} & , \quad 2 < x < 6 \\ 1 & , \quad x \geq 6 \end{cases}$$

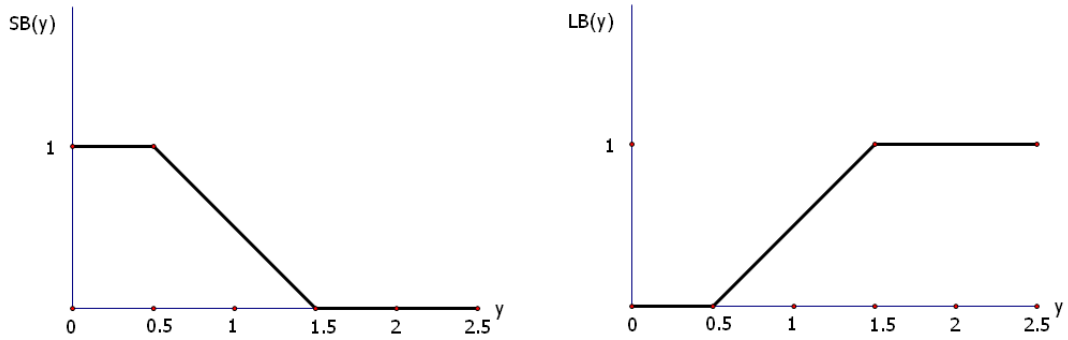
ทำให้ได้ว่า ฟัซซีเซต $SH$ และ $LH$ มีลักษณะกราฟของฟัซซีเซตดังต่อไปนี้ โดย $x$ มีหน่วยเป็นเมตร




รูปที่ *3* กราฟของฟัซซีเซต $SH$ และ $LH$

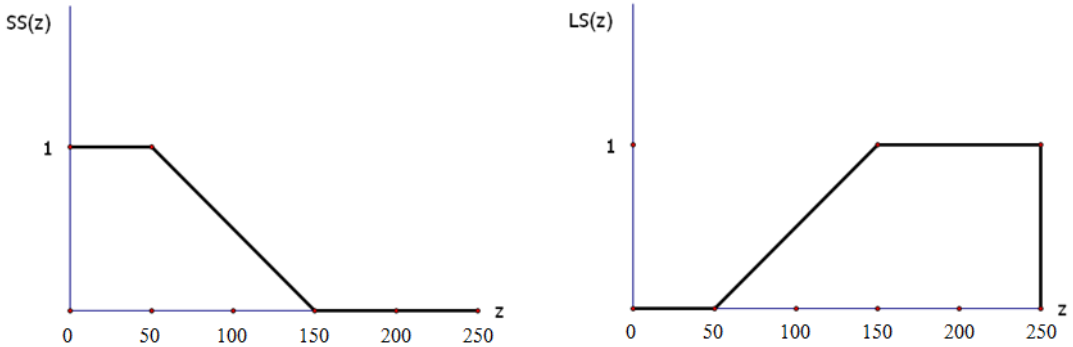
$$SB(y) = \begin{cases} 1 & , \quad y \le 0.5 \\ 1.5 - y & , \quad 0.5 < y < 1.5 \\ 0 & , \quad y \ge 1.5 \end{cases} \qquad LB(y) = \begin{cases} 0 & , \quad y \le 0.5 \\ y - 0.5 & , \quad 0.5 < y < 1.5 \\ 1 & , \quad y \ge 1.5 \end{cases}$$

ทำให้ได้ว่า ฟัซซีเซต $SB$ และ $LB$ มีลักษณะกราฟของฟัซซีเซตดังต่อไปนี้ โดย $y$ มีหน่วยเป็นเมตร




รูปที่ 4 กราฟของฟัซซีเซต $SB$ และ $LB$

เราอาจพิจารณาลักษณะต้นไม้ได้จากสมการ $\mathrm{S} = \mathrm{H} \cdot \mathrm{B} \cdot 10$ ซึ่งเป็นค่าประมาณปริมาณน้ำสำหรับรดต้นไม้ในแต่ละครั้ง เมื่อพิจารณาค่าน้อยสุดและค่ามากสุดของ $H \in [0,10]$ และ $B \in [0,2.5]$ จะได้ว่า $S_{\min} = H_{\min} \cdot B_{\min} \cdot 10 = 0 \cdot 0 \cdot 10 = 0$ และ $S_{\max} = H_{\max} \cdot B_{\max} \cdot 10 = 10 \cdot 2.5 \cdot 10 = 250$ ทำให้เราสามารถสร้าง $SS$ และ $LS$ ซึ่งเป็นฟัซซีเซตผลลัพธ์ในการพยากรณ์ โดยให้ค่า $\mathbf{Z}$ แทนปริมาณน้ำที่ใช้รดต้นไม้ได้ดังนี้




รูปที่ 5 กราฟของฟัซซีเซตผลลัพธ์ $SS$ และ $LS$

ต่อไปจะหาค่าความเป็นสมาชิกของ $SH, LH, SB$ และ $LB$ เพื่อนำไปใช้หาค่าน้ำหนักของกฎฟัซซีทั้ง 2 ข้อโดยค่าดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดระดับค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตผลลัพธ์ $SS$ และ $LS$

จากข้อมูลต้นไม้ต้นหนึ่งซึ่งมีความสูง 4 เมตรและมีความยาวรอบโคน 1 เมตร โดยบทนิยามของ $SH, LH, SB$ และ $LB$ ทำให้ได้ว่า

$$SH(4) = \frac{6-4}{4} = 0.5\,, LH(4) = \frac{4-2}{4} = 0.5\,,$$

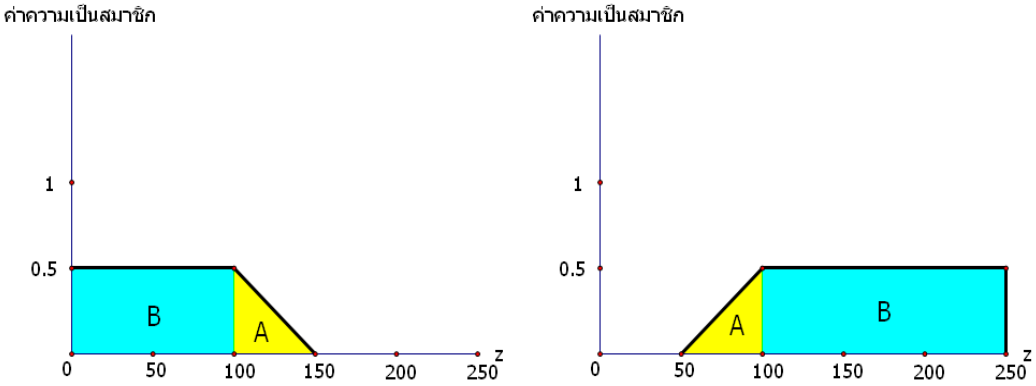
$$SB(1) = 1.5 - 1 = 0.5 \quad \text{และ} \quad LB(1) = 1 - 0.5 = 0.5$$

เนื่องจากกฎฟัซซีนั้นเป็นประพจน์ที่อยู่ในรูป “ถ้า–แล้ว” และฟัซซีเซตในกฎนั้นเชื่อมด้วยคำว่า“และ” ซึ่งในทางคณิตศาสตร์ หมายถึง อินเตอร์เซกชัน เพราะฉะนั้นจะหาค่าน้ำหนักของกฎฟัซซีได้โดยบทนิยามอินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต ทำให้ได้ว่า

กฎข้อ 1 ถ้าต้นไม้มีความสูงน้อย และ มีความยาวรอบโคนน้อย แล้ว เป็นต้นไม้เล็ก มีค่าน้ำหนักของกฎฟัซซี เท่ากับ $\min\{SH(4), SB(1)\} = \min\{0.5\,, 0.5\} = 0.5$

กฎข้อ 2 ถ้าต้นไม้มีความสูงมาก และ มีความยาวรอบโคนมาก แล้ว เป็นต้นไม้ใหญ่ มีค่าน้ำหนักของกฎฟัซซี เท่ากับ $\min\{LH(4), LB(1)\} = \min\{0.5\,, 0.5\} = 0.5$

ต่อไปจะพิจารณาค่าน้ำหนักของกฎจะเห็นว่า กฎข้อที่ 1 มีค่าน้ำหนักของกฎเท่ากับ $0.5$ ทำให้ได้ว่าค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต $SS$ เท่ากับ $0.5$ ทำให้ได้พื้นที่ใต้กราฟ $SS$ ตั้งแต่ค่าความเป็นสมาชิก $0.5$ ลงมา และกฎข้อที่ 4 มีค่าน้ำหนักของกฎเท่ากับ $0.5$ ทำให้ได้ว่าค่าความเป็นสมาชิกของ ฟัซซีเซต $LS$ เท่ากับ $0.5$ ทำให้ได้พื้นที่ใต้กราฟ $LS$ ตั้งแต่ค่าความเป็นสมาชิก $0.5$ ลงมา เพราะฉะนั้นจะได้ฟัซซีเซตผลลัพธ์ที่ใช้ในการพยากรณ์ต้นไม้ต้นหนึ่งซึ่งมีความสูง 4 เมตรและมีความยาวรอบโคน 1 เมตร มีลักษณะดังต่อไปนี้ (รูปที่ 6)




(a) (b)

รูปที่ 6 กราฟของฟัซซีเซตผลลัพธ์สำหรับการพยากรณ์ลักษณะต้นไม้

เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้ยังคงเป็นฟัซซีเซต เราสามารถแปลงค่าดังกล่าวเป็นค่าพยากรณ์ ซึ่งการแปลงค่าดังกล่าวนั้นมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ คือ **วิธีการหาจุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass)** ซึ่งสูตรการหาจุดศูนย์กลางมวลของรูปที่ 6 หาได้โดยสมการนี้

$$Center\ of\ mass = \frac{\sum(Center\ of\ mass_i \cdot Area_i)}{\sum Area_i}$$

เมื่อ $Center\ of\ mass_1$ คือ จุดศูนย์กลางมวลของรูปสามเหลี่ยม $A$, $Center\ of\ mass_2$ คือ จุดศูนย์กลางมวลของรูปสี่เหลี่ยม $B$, $Area_1$ คือ พื้นที่ของรูปสามเหลี่ยม $A$ และ $Area_2$ คือ พื้นที่ของรูปสี่เหลี่ยม $B$ ดังรูปที่ 6 (a)

$$Center\ of\ mass_1 = 100 + \frac{1}{3}(100 - 50) = 116\frac{2}{3}$$
$$Center\ of\ mass_2 = \frac{0+100}{2} = 50$$
$$Area_1 = \frac{1}{2}(50)(0.5) = 12.5 \text{ และ } Area_2 = (100)(0.5) = 50$$

ดังนั้นสำหรับรูปที่ 6 (a) จะได้

$$Center\ of\ mass = \frac{\left(116\frac{2}{3}\right)(12.5) + (50)(50)}{12.5 + 50} = \frac{3958.33}{62.5} \approx 63.33$$

ในทำนองเดียวกันสำหรับรูปที่ 6 (b) จะได้

$$Center\ of\ mass_1 = 50 + \frac{2}{3}(100 - 50) = 83\frac{1}{3}$$
$$Center\ of\ mass_2 = \frac{250+100}{2} = 175$$
$$Area_1 = \frac{1}{2}(50)(0.5) = 12.5 \text{ และ } Area_2 = (150)(0.5) = 75$$

จึงได้ว่า

$$Center\ of\ mass = \frac{\left(83\frac{1}{3}\right)(12.5) + (175\ )(75)}{12.5 + 75} = \frac{1416.7}{87.5} \approx 161.90$$

เมื่อพิจารณาให้กราฟรูปที่ 6 (a) และรูปที่ 6 (b) เป็นเสมือนแผ่นโลหะ ค่าที่จะใช้เป็นผลลัพธ์ของกฎฟัซซี คือ จุดศูนย์กลางของมวลที่เป็นผลรวมของแผ่นโลหะทั้งสองนี้ ดังนั้นจุดศูนย์กลางมวลของผลรวมของมวลจากรูปที่ 6 (a) และรูปที่ 6 (b) สามารถคำนวณได้ดังนี้

จากรูปที่ 6 (a) ได้ $Center\ of\ mass = 63.33$ และ $Area = 12.5 + 50 = 62.5$

จากรูปที่ 6 (b) ได้ $Center\ of\ mass = 161.90$ และ $Area = 12.5 + 75 = 87.5$

เพราะฉะนั้นจุดศูนย์กลางมวลรวม

$$\frac{(63.33)(62.5) + (161.9)(87.5)}{62.5 + 87.5} = \frac{18124.38}{150} \approx 120.83$$

ค่าที่ได้นี้ คือ ค่าของผลลัพธ์ของการประเมินขนาดของต้นไม้ตามกระบวนการฟัซซี ซึ่งสามารถนำค่าที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้กับการตัดสินใจ เช่น การประเมินปริมาณน้ำที่ต้องรดต้นไม้ หรือการตัดสินใจอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับขนาดของต้นไม้ได้

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

ในการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร เราได้กำหนดขั้นตอนดำเนินการวิจัยซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยซึ่งได้นำเสนอไว้ในบทที่ 2 โดยข้อมูลที่ศึกษาเกี่ยวข้องกับระบบจราจรและฟัซซีลอจิก เพื่อนำมาใช้ประเมินหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องสำหรับการเก็บข้อมูลที่สี่แยกสนามจันทร์ต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยเก็บข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับสี่แยกสนามจันทร์ เช่น ข้อมูลแผนที่ทางอากาศของสี่แยก ชื่อถนนทั้ง 4 ทิศ ข้อมูลเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวที่เปิดอยู่ของสี่แยกในแต่ละแยกจราจร ข้อมูลจังหวะการปล่อยรถของสี่แยก ข้อมูลอัตรารถเข้า-ออก ข้อมูลความยาวของรถ และช่องว่างระหว่างรถสองคัน เมื่อได้ข้อมูลดังกล่าวแล้วจะนำข้อมูลนี้ไปสร้างชุดคำสั่งเพื่อวิเคราะห์หาชุดของฟัซซีเซตที่ดีที่สุดสำหรับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่สี่แยกสนามจันทร์ในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบชุดของฟัซซีเซต เราจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ชุดฟัซซีเซตที่แตกต่างกันการทดสอบจะใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์หาชุดของฟัซซีเซตที่ทำให้เวลาคอยสัญญาณไฟสีแดงของรถยนต์โดยเฉลี่ยมีค่าที่น้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพชุดของฟัซซีเซต จากขั้นตอนที่แล้วเราได้ชุดของฟัซซีเซตที่ดีที่สุดแล้วนำระบบที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 มาทดสอบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในรูปแบบอื่นๆอีก 4 วิธี คือ

1. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวเท่ากันทุกแยกตลอดทั้งวัน

2. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวคงตัวตลอดทั้งวันโดยระยะเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวในแต่ละแยกสอดคล้องกับปริมาณรถที่วิ่งผ่านในแยกนั้นๆ

3. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยกำหนดเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวตามสัดส่วนปริมาณรถรวมในแต่ละแยก ณ เวลานั้นๆ

4. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบที่ใช้ในปัจจุบันของสี่แยกสนามจันทร์

โดยจะอธิบายรายละเอียดของรูปแบบการจัดการสัญญาณไฟแบบต่างๆ เพิ่มเติมในหัวข้อถัดไป

## 3.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

### 3.1.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสี่แยกสนามจันทร์

สี่แยกสนามจันทร์ตั้งอยู่ในตำบลสนามจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม มีแยกในทิศเหนือ คือ ถนนราชมรรคาใน เป็นทางเข้าพระราชวังสนามจันทร์ แยกในทิศตะวันออก คือ ถนนราชวิถี แยกในทิศตะวันตก คือ ถนนทรงพล และแยกในทิศใต้ คือ ถนนยิงเป้า

รูปที่ 7 แผนที่สี่แยกสนามจันทร์

รูปที่ 8 การจราจรในสี่แยกสนามจันทร์

เวลาการเปิดสัญญาณไฟจราจรสี่แยกสนามจันทร์เป็นไฟจราจรที่ตั้งค่าไว้เป็นแบบอัตโนมัติมีค่าคงตัวโดยข้อมูลที่สังเกตจากสถานที่จริงพบข้อมูลระยะเวลาการเปิดปิดสัญญาณไฟเขียวแบ่งเป็น 2 ชุดดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลระยะเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียว
(สำรวจในช่วงวันที่ 12 มีนาคม – 2 สิงหาคม 2559)

| แยกที่ | เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียว ชุดที่ 1 (วินาที) | เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียว ชุดที่ 2 (วินาที) |
|---|---|---|
| 1 (ทิศเหนือ) | 15 | 20 |
| 2 (ทิศตะวันตก) | 51 | 56 |
| 3 (ทิศตะวันออก) | 49 | 55 |
| 4 (ทิศใต้) | 35 | 45 |

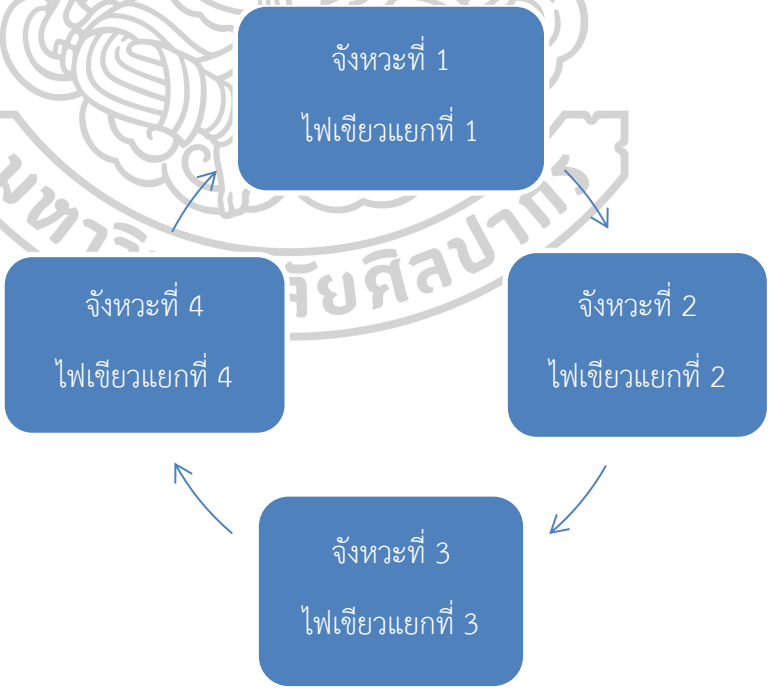
ในเบื้องต้นพบว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ได้แก่

1. ตัวแปรต้น คือ ปริมาณรถในแต่ละแยก และอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของรถ
2. ตัวแปรตาม คือ เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวในแต่ละแยก

**3.1.2 จังหวะไฟจราจรของสี่แยกสนามจันทร์**

งานวิจัยชิ้นนี้ช่วงเวลา 1 รอบสัญญาณไฟจราจร หมายถึง เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรในทั้งสี่แยกจนกระทั่งกลับมาสู่สถานะเดิมเป็นครั้งแรก ซึ่งใน 1 รอบสัญญาณไฟจราจรจะประกอบไปด้วยสถานะหรือจังหวะของสัญญาณไฟที่แตกต่างกัน 4 จังหวะคือ จังหวะที่ 1 จังหวะที่ 2 จังหวะที่ 3 และจังหวะที่ 4 ซึ่งจังหวะที่ 1 คือ ช่วงระยะเวลาที่แยกที่ 1 เปิดไฟเขียว และจังหวะอื่นๆ ก็เป็นไปในลักษณะเดียวกัน ตามลำดับ

การนำระบบการอนุมานแบบแมมดานีมาใช้คำนวณเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวของสี่แยกสนามจันทร์เป็นดังนี้ ในจังหวะที่ 1 ซึ่งคือระหว่างที่เปิดไฟเขียวในแยกที่1 ระบบไฟจราจรจะมีการพิจารณาเวลาเปิดไฟเขียวในแยกถัดไป โดยพิจารณาจากปริมาณรถในแยกอื่นๆ และดำเนินการในลักษณะเดียวกันนี้ต่อไปในแยกอื่นๆ ตามลำดับดังแผนภาพดังนี้




รูปที่ 9 จังหวะไฟจราจรของสี่แยกสนามจันทร์

### 3.1.3 ข้อมูลอัตรารถเข้า-ออก ของสี่แยกสนามจันทร์

เนื่องจากการควบคุมสัญญาณไฟจราจรจำเป็นต้องสัมพันธ์กับปริมาณรถที่เข้า-ออกในแต่ละแยกโดยกำหนดบทนิยามของอัตรารถเข้า-ออก ดังนี้

**บทนิยาม อัตรารถเข้าแยกที่ $k$** คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนรถที่เข้ามาต่อท้ายแถวรอสัญญาณไฟในแยกที่ $k$ ใน 1 นาที

**อัตรารถ ออกแยกที่ $k$** คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนรถที่วิ่งออกจากแยกที่ $k$ ใน 1 นาที เมื่อได้สัญญาณไฟเขียว

เราได้ทำการสำรวจการจราจรที่สี่แยกสนามจันทร์ โดยได้เก็บข้อมูลอัตรารถเข้า-ออก ด้วยวิธีสุ่มตัวอย่างจากการเข้าสำรวจใน 6 ช่วงเวลา ระหว่าง 8.00-18.00 น. ช่วงเวลาละ 3 ครั้ง ตั้งแต่วันที่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2559 ถึง วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2559 ซึ่งข้อมูลในแต่ละแยกเป็นดังนี้

ตารางที่ 2 อัตรารถเข้าของสี่แยกสนามจันทร์

| **ตัวอย่างที่** | อัตรารถเข้าแยกที่ 1 (คัน/นาที) | อัตรารถเข้าแยกที่ 2 (คัน/นาที) | อัตรารถเข้าแยกที่ 3 (คัน/นาที) | อัตรารถเข้าแยกที่ 4 (คัน/นาที) | ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 9 | 33 | 17 | 17 | 07.00-08.00 น. |
| **2** | 14 | 16 | 19 | 15 | 07.00-08.00 น. |
| **3** | 6 | 25 | 13 | 10 | 07.00-08.00 น. |
| **4** | 1 | 7 | 7 | 7 | 09.00-10.00 น. |
| **5** | 1 | 9 | 13 | 8 | 09.00-10.00 น. |
| **6** | 0 | 8 | 16 | 6 | 09.00-10.00 น. |
| **7** | 1 | 9 | 10 | 9 | 11.00-12.00 น. |
| **8** | 0 | 9 | 12 | 8 | 11.00-12.00 น. |
| **9** | 1 | 6 | 11 | 6 | 11.00-12.00 น. |
| **10** | 0 | 12 | 7 | 7 | 13.00-14.00 น. |
| **11** | 1 | 10 | 9 | 5 | 13.00-14.00 น. |

ตารางที่ 2 อัตรารถเข้าของสี่แยกสนามจันทร์ (ต่อ)

| **ตัวอย่างที่** | อัตรารถเข้าแยกที่ 1 (คัน/นาที) | อัตรารถเข้าแยกที่ 2 (คัน/นาที) | อัตรารถเข้าแยกที่ 3 (คัน/นาที) | อัตรารถเข้าแยกที่ 4 (คัน/นาที) | ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล |
|---|---|---|---|---|---|
| **12** | 0 | 11 | 11 | 5 | 13.00-14.00 น. |
| **13** | 0 | 14 | 10 | 4 | 15.00-16.00 น. |
| **14** | 1 | 16 | 17 | 6 | 15.00-16.00 น. |
| **15** | 0 | 16 | 16 | 7 | 15.00-16.00 น. |
| **16** | 5 | 16 | 10 | 16 | 17.00-18.00 น. |
| **17** | 6 | 20 | 8 | 11 | 17.00-18.00 น. |
| **18** | 2 | 16 | 20 | 11 | 17.00-18.00 น. |

ตารางที่ 3 อัตรารถออกของสี่แยกสนามจันทร์

| **ตัวอย่างที่** | อัตรารถออกแยกที่ 1 (คัน/นาที) | อัตรารถออกแยกที่ 2 (คัน/นาที) | อัตรารถออกแยกที่ 3 (คัน/นาที) | อัตรารถออกแยกที่ 4 (คัน/นาที) | ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 18 | 62 | 30 | 30 | 07.00-08.00 น. |
| **2** | 21 | 42 | 50 | 27 | 07.00-08.00 น. |
| **3** | 29 | 68 | 44 | 30 | 07.00-08.00 น. |
| **4** | 9 | 49 | 66 | 28 | 09.00-10.00 น. |
| **5** | 7 | 71 | 62 | 29 | 09.00-10.00 น. |
| **6** | 6 | 60 | 56 | 29 | 09.00-10.00 น. |
| **7** | 9 | 76 | 56 | 43 | 11.00-12.00 น. |
| **8** | 12 | 53 | 56 | 30 | 11.00-12.00 น. |
| **9** | 15 | 46 | 71 | 30 | 11.00-12.00 น. |
| **10** | 6 | 60 | 39 | 30 | 13.00-14.00 น. |

ตารางที่ 3 อัตรารถออกของสี่แยกสนามจันทร์ (ต่อ)

| **ตัวอย่างที่** | อัตรารถออกแยกที่ 1 (คัน/นาที) | อัตรารถออกแยกที่ 2 (คัน/นาที) | อัตรารถออกแยกที่ 3 (คัน/นาที) | อัตรารถออกแยกที่ 4 (คัน/นาที) | ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล |
|---|---|---|---|---|---|
| **11** | 12 | 64 | 51 | 24 | 13.00-14.00 น. |
| **12** | 6 | 65 | 55 | 23 | 13.00-14.00 น. |
| **13** | 12 | 60 | 60 | 27 | 15.00-16.00 น. |
| **14** | 15 | 52 | 78 | 25 | 15.00-16.00 น. |
| **15** | 12 | 52 | 65 | 25 | 15.00-16.00 น. |
| **16** | 21 | 38 | 58 | 23 | 17.00-18.00 น. |
| **17** | 27 | 67 | 42 | 23 | 17.00-18.00 น. |
| **18** | 30 | 41 | 48 | 25 | 17.00-18.00 น. |

จากข้อมูลที่ได้สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของอัตรารถเข้าในแต่ละวัน โดยได้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังนี้

$$\mu_{I1} = 3 \quad \mu_{I2} = 14 \quad \mu_{I3} = 13 \quad \mu_{I4} = 9$$
$$\sigma_{I1} = 3.88 \quad \sigma_{I2} = 6.82 \quad \sigma_{I3} = 4.06 \quad \sigma_{I4} = 3.87$$

เมื่อ $\mu_{Ik}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอัตรารถเข้าของสี่แยกสนามจันทร์ในแยกที่ $k$ โดยที่ $k \in \{1,2,3,4\}$

$\sigma_{Ik}$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรารถเข้าของสี่แยกสนามจันทร์ในแยกที่ $k$ โดยที่ $k \in \{1,2,3,4\}$

ในทำนองเดียวกันจะได้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรารถออกดังนี้

$$\mu_{O1} = 15 \quad \mu_{O2} = 57 \quad \mu_{O3} = 55 \quad \mu_{O4} = 28$$
$$\sigma_{I1} = 7.90 \quad \sigma_{I2} = 11.01 \quad \sigma_{I3} = 11.45 \quad \sigma_{I4} = 4.61$$

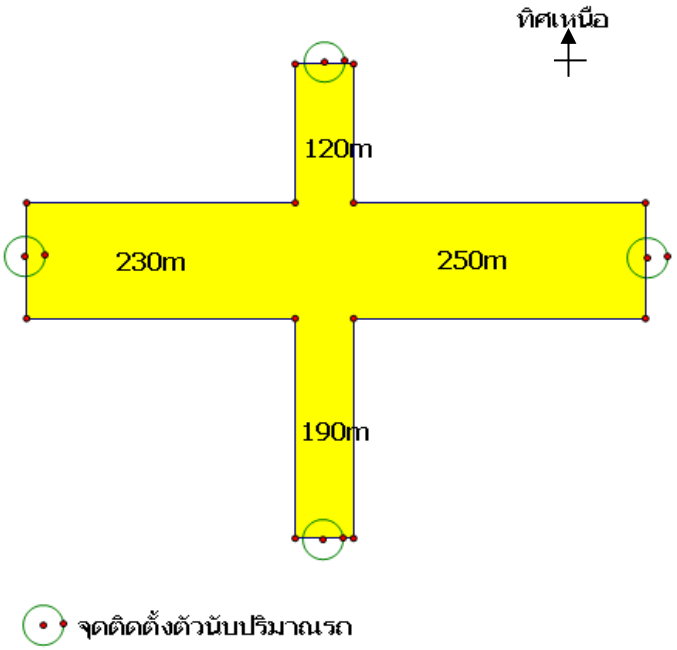
เมื่อ $\mu_{Ok}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอัตรารถออกของสี่แยกสนามจันทร์ในแยกที่ $k$ โดยที่ $k \in \{1,2,3,4\}$

$\sigma_{Ok}$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรารถออกของสี่แยกสนามจันทร์ในแยกที่ $k$ โดยที่ $k \in \{1,2,3,4\}$

ข้อมูลทั้งหมดนี้ได้นำไปคำนวณหาเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวที่เหมาะสมกับสี่แยกสนามจันทร์ และสร้างโปรแกรมทดสอบชุดของฟัซซีเซตต่อไป ซึ่งจะได้อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อ 3.2 ขั้นตอนการทดสอบชุดของฟัซซีเซต

**3.1.4 ข้อมูลของความยาวรถ และช่องว่างระหว่างรถสองคัน**

เนื่องจากระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่เลือกใช้จะต้องใช้ตัวนับปริมาณรถซึ่งจำเป็นต้องติดตั้งก่อนที่รถจะเข้าถึงสี่แยก แต่หลังจากรถผ่านจุดกลับรถหรือแยกอื่นๆ ดังภาพ




รูปที่ 10 ตำแหน่งจุดติดตั้งตัวนับปริมาณรถ

ดังนั้นในแต่ละแยกจะมีปริมาณรถที่มากที่สุดซึ่งเครื่องนับปริมาณรถจะสามารถนับได้ถูกต้อง

**บทนิยาม ปริมาณรถสูงสุดในแยกที่** $k$ คือ จำนวนรถที่มากที่สุดที่สามารถจอดได้ในบริเวณระหว่างสี่แยกกับจุดติดตั้งเครื่องนับปริมาณรถ

จะเห็นได้ว่าการคำนวณปริมาณรถสูงสุดจะต้องมีการประมาณขนาดของรถซึ่งมีวิธีเก็บข้อมูลดังนี้

ข้อมูลของความยาวรถ และช่องว่างระหว่างรถสองคันในที่นี้เราเลือกเก็บข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ โดยเก็บข้อมูลแบบสุ่มตัวอย่างมา 30 ตัวอย่าง ดังนี้

ตารางที่ 4 ข้อมูลความยาวรถ และช่องว่างระหว่างรถสองคัน

| ตัวอย่างที่ | ความยาวรถ (cm.) | ช่องว่างระหว่างรถ (cm.) | ตัวอย่างที่ | ความยาวรถ (cm.) | ช่องว่างระหว่างรถ (cm.) |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 394 | 150 | **16** | 387 | 90 |
| **2** | 490 | 200 | **17** | 500 | 180 |
| **3** | 452 | 160 | **18** | 400 | 200 |
| **4** | 490 | 100 | **19** | 395 | 200 |
| **5** | 478 | 110 | **20** | 470 | 120 |
| **6** | 498 | 210 | **21** | 490 | 65 |
| **7** | 490 | 220 | **22** | 490 | 100 |
| **8** | 495 | 80 | **23** | 420 | 90 |
| **9** | 440 | 70 | **24** | 445 | 10 |
| **10** | 330 | 115 | **25** | 490 | 130 |
| **11** | 490 | 180 | **26** | 500 | 110 |
| **12** | 427 | 150 | **27** | 395 | 220 |
| **13** | 495 | 135 | **28** | 500 | 160 |
| **14** | 500 | 75 | **29** | 360 | 270 |
| **15** | 375 | 145 | **30** | 490 | 350 |

รูปที่ 11 รถที่จอดคอยไฟแดงที่สี่แยกสนามจันทร์

จากตารางที่ 4 จะได้ค่าเฉลี่ยของความยาวรถ และช่องว่างระหว่างรถสองคัน ดังนี้

$$\mu_{vl} = 452.53 \text{ cm.} \qquad \mu_{vg} = 146.50 \text{ cm.}$$

เมื่อ $\mu_{vl}$ คือ ค่าเฉลี่ยของความยาวรถ

$\mu_{vg}$ คือ ค่าเฉลี่ยของช่องว่างระหว่างรถสองคัน

หลังจากที่คำนวณค่าเฉลี่ยของความยาวรถ และช่องว่างระหว่างรถสองคัน จะนำค่าที่ได้นี้ไปหาปริมาณรถสูงสุดของแต่ละแยกใน หัวข้อ 3.1.6

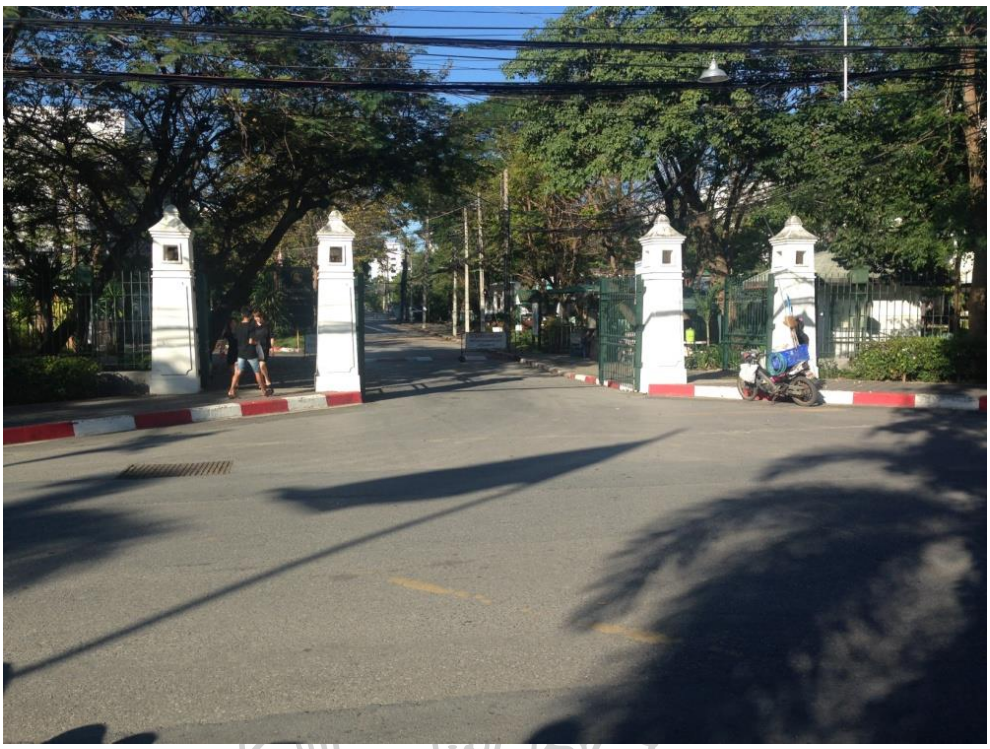
**3.1.5 ข้อมูลของความยาวถนนสูงสุดที่ใช้นับปริมาณรถ และจำนวนแถวของรถที่จอดคอยไฟแดง**

ข้อมูลความยาวถนนสูงสุดที่ใช้เก็บข้อมูลในแต่ละแยก เพื่อใช้ติดตั้งเครื่องนับปริมาณรถเนื่องจากการนับปริมาณรถนั้นจะมีจุดที่เก็บของมูลได้ถูกต้องที่สุดและมีค่าใกล้เคียงความเป็นจริงเพียงจุดเดียวเท่านั้นคือบริเวณก่อนถึงจุดกลับรถ หรือก่อนถึงสามแยกหรือสี่แยกถัดไป

ตารางที่ 5 ความยาวถนนสูงสุดที่ใช้นับปริมาณรถ และจำนวนแถวของรถที่จอดคอยไฟแดง

| **แยกที่** | **ความยาวสูงสุดที่ใช้นับปริมาณรถ (m.)** | **จำนวนแถวของรถที่จอดคอยไฟแดง** |
|---|---|---|
| 1 (ทิศเหนือ) | 120 | 1 |
| 2 (ทิศตะวันตก) | 230 | 2 |
| 3 (ทิศตะวันออก) | 250 | 2 |
| 4 (ทิศใต้) | 190 | 1 |

รูปที่ 12 จุดกลับรถบนถนนทรงพลหน้ามหาวิทยาลัยศิลปากร



รูปที่ 13 ทางเข้าออกโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศิลปากรบนถนนราชมรรคาใน

รูปที่ 14 จุดกลับรถบนถนนราชวิถี

รูปที่ 15 สามแยกบนถนนยิงเป้า

ความยาวสูงสุดที่ใช้เก็บข้อมูลในแต่ละแยก เก็บข้อมูลโดยใช้แอพพลิเคชัน Runtastis หลังจากนั้นนำข้อมูลค่าเฉลี่ยของความยาวรถ ค่าเฉลี่ยของช่องว่างระหว่างรถสองคัน ความยาวสูงสุดที่ใช้นับปริมาณรถ และจำนวนแถวของรถที่จอดคอยไฟแดง มาวิเคราะห์หาปริมาณรถสูงสุดของแต่ละแยกใน หัวข้อ 3.1.6

**3.1.6 การหาปริมาณรถสูงสุดของแต่ละแยก**

การหาปริมาณรถสูงสุดของแต่ละแยกคำนวณโดย สมการดังต่อไปนี้

$$L_{max} \cdot 100 \cdot R = \mu_{vl}(X_k) + \mu_{vg}(X_k - 1)$$

เมื่อ $L_{max}$ คือ ความยาวถนนสูงสุดที่ใช้นับปริมาณรถ หน่วย เมตร

$R$ คือ จำนวนแถวของรถที่จอดคอยไฟแดง

$\mu_{vl}$ คือ ค่าเฉลี่ยของความยาวรถ หน่วย เซนติเมตร

$\mu_{vg}$ คือ ค่าเฉลี่ยของช่องว่างระหว่างรถสองคัน หน่วย เซนติเมตร

$X_k$ คือ ปริมาณรถสูงสุดของในแยกที่ $k$ โดยที่ $k \in \{1,2,3,4\}$

การหาค่า $X_1$ (ปริมาณรถสูงสุดของแยกที่ 1)

$120 \cdot 100 \cdot 1 = 452.53(X_1) + 146.5(X_1 - 1)$ จะได้ว่า $X_1$ ประมาณ 20 คัน

การหาค่า $X_2$ (ปริมาณรถสูงสุดของแยกที่ 2)

$230 \cdot 100 \cdot 2 = 452.53(X_2) + 146.5(X_2 - 1)$ จะได้ว่า $X_2$ ประมาณ 77 คัน

การหาค่า $X_3$ (ปริมาณรถสูงสุดของแยกที่ 3)

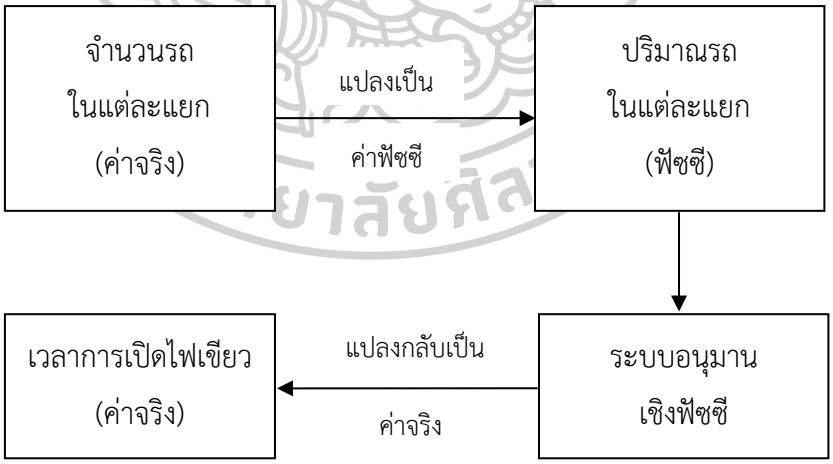
$250 \cdot 100 \cdot 2 = 452.53(X_3) + 146.5(X_3 - 1)$ จะได้ว่า $X_3$ ประมาณ 84 คัน

การหาค่า $X_4$ (ปริมาณรถสูงสุดของแยกที่ 4)

$190 \cdot 100 \cdot 1 = 452.53(X_4) + 146.5(X_4 - 1)$ จะได้ว่า $X_4$ ประมาณ 32 คัน

**3.2 ระบบอนุมานเชิงฟัซซีของการควบคุมสัญญาณไฟจราจร**

ระบบอนุมานเชิงฟัซซีของการควบคุมสัญญาณไฟจราจร เป็นระบบที่ใช้คำนวณหาเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวที่จะเปิดในแยกใดๆ โดยที่วิธีการคำนวณหาเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวนั้นต้องใช้ข้อมูลตัวแปรต้น คือ จำนวนรถในแต่ละแยก เพื่อวิเคราะห์หาค่าตัวแปรตาม คือ เวลาการเปิดไฟเขียว ซึ่งระบบการอนุมานจะเป็นไปตามขั้นตอนตามแผนภาพด้านล่าง

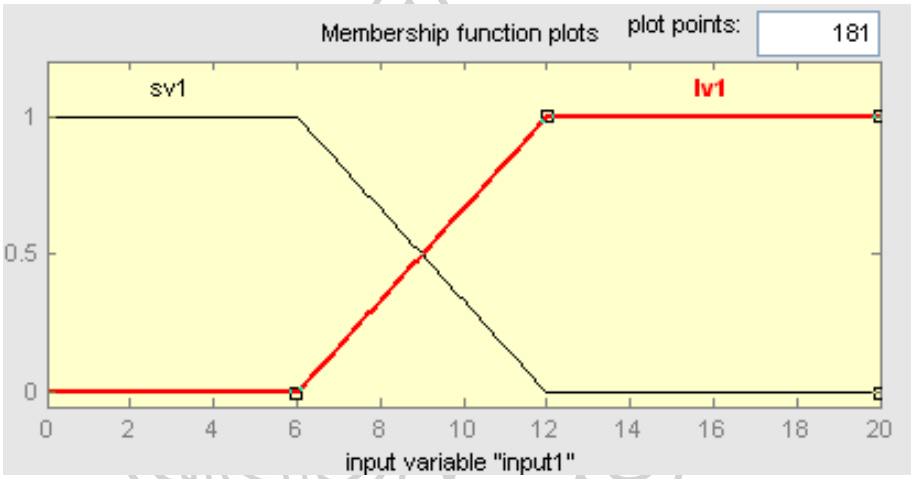



รูปที่ 16 ระบบอนุมานเชิงฟัซซีของการควบคุมสัญญาณไฟจราจร

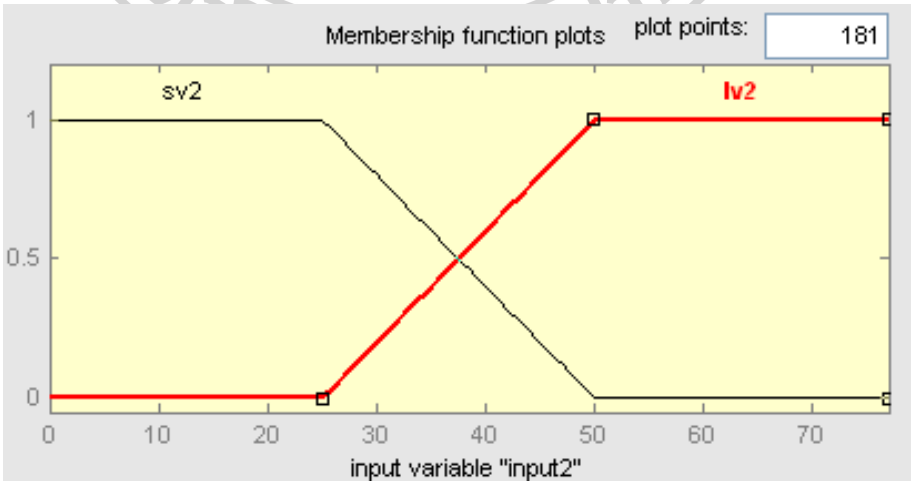
กราฟของฟัซซีเซตที่เกี่ยวข้องกับระบบอนุมานเชิงฟัซซีของการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ประกอบด้วยฟัซซีเซต 4 เซต ดังนี้

1. $sv_k$ คือ ฟัซซีเซตของรถน้อยในแยกที่ $k$ โดยที่ $k \in \{1,2,3,4\}$
2. $lv_k$ คือ ฟัซซีเซตของรถมากในแยกที่ $k$ โดยที่ $k \in \{1,2,3,4\}$
3. $se$ คือ ฟัซซีเซตของการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวน้อย
4. $le$ คือ ฟัซซีเซตของการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวมาก

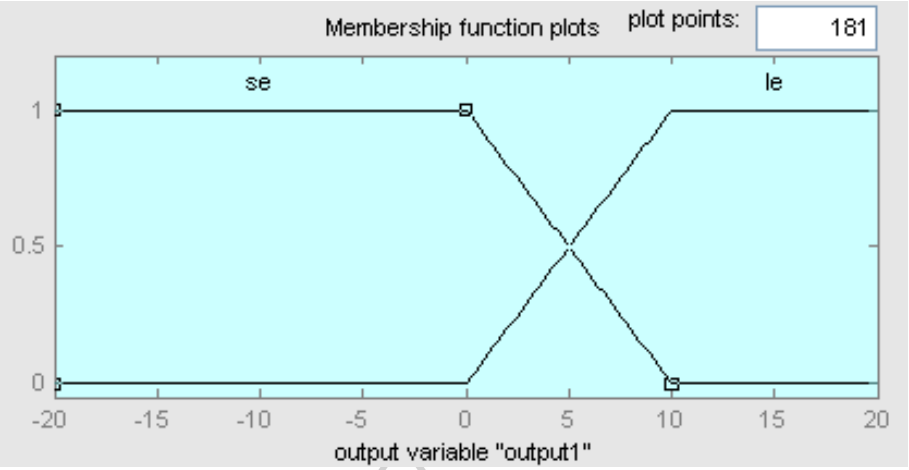
**ตัวอย่างที่ 3.1** กราฟของฟัซซีเซตที่เกี่ยวข้องกับระบบอนุมานเชิงฟัซซีของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรมีดังนี้




รูปที่ 17 ฟัซซีเซตของรถน้อยและรถมากในแยกที่ 1 และ 4




รูปที่ 18 ฟัซซีเซตของรถน้อยและรถมากในแยกที่ 2 และ 3




รูปที่ 19 ฟัซซีเซตของการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวน้อยและมาก

เราสามารถใช้ระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานีมาช่วยควบคุมสัญญาณไฟจราจรได้ โดยกำหนดเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวของสัญญาณไฟจราจรในแต่ละแยกให้สัมพันธ์กับปริมาณรถในทั้งสี่แยก นั่นคือ เวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียว $F_{ET}(v_1, v_2, v_3, v_4)$ เป็นฟังก์ชันของปริมาณรถ $v_1, v_2, v_3, v_4$ ในแต่ละแยกสิ่งสำคัญของการประยุกต์ใช้ระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี คือ กฎฟัซซีและฟัซซีเซต ในกระบวนการหากฎฟัซซีสำหรับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรสามารถพิจารณา $F_{ET}(v_1, v_2, v_3, v_4)$ โดยวิเคราะห์แยกเป็น 4 กรณี ดังนี้

**กรณีที่ 1** $F_{\mathrm{ET1}}(v_1, v_2, v_3)$ คือ การเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวของแยกที่ 1 โดยใช้ข้อมูลของปริมาณรถในแยกที่ 1-3 ในการวิเคราะห์ด้วยระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี จะเห็นได้ว่าเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวในแยกที่ 1 ( $F_{\mathrm{ET1}}$ ) จะคำนวณโดยใช้เพียงปริมาณรถในแยกที่ 1 2 และ 3 เท่านั้น เนื่องจากในทางปฏิบัติในขณะเวลาที่ระบบคำนวณ $F_{\mathrm{ET1}}$ สัญญาณไฟจะเป็นสีเขียวในแยกที่ 4 ทำให้ไม่สามารถหาปริมาณรถในแยกที่ 4 ที่เหมาะสมกับการคำนวณ $F_{\mathrm{ET1}}$ ได้ ซึ่งเราสามารถกำหนดฟังก์ชันในแยกที่เหลือในลักษณะเดียวกันได้ดังนี้

**กรณีที่ 2** $F_{\mathrm{ET2}}(v_2, v_3, v_4)$ คือ การเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวของแยกที่ 2 โดยใช้ข้อมูลของปริมาณรถในแยกที่ 2-4 ในการวิเคราะห์ด้วยระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี

**กรณีที่ 3** $F_{\mathrm{ET3}}(v_3, v_4, v_1)$ คือ การเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวของแยกที่ 3 โดยใช้ข้อมูลของปริมาณรถในแยกที่ 1 3 และ4 ในการวิเคราะห์ด้วยระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี

**กรณีที่ 4** $F_{\mathrm{ET4}}(v_4, v_1, v_2)$ คือ การเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวของแยกที่ 4 โดยใช้ข้อมูลของปริมาณรถในแยกที่ 1 2 และ4 ในการวิเคราะห์ด้วยระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี

เมื่อพิจารณา $F_{\mathrm{ET}}(v_1, v_2, v_3, v_4)$ ในกรณีต่างๆ จะเห็นว่าสามารถสร้างกฎฟัซซีได้ดังนี้

จาก $F_{\mathrm{ET1}}(v_1, v_2, v_3)$ จะสามารถแจกแจงการอนุมานกฎฟัซซีในแยกที่ 1 ได้ 8 ข้อ ดังนี้

1. $v_1$ น้อย และ $v_2$ น้อย และ $v_3$ น้อย
2. $v_1$ น้อย และ $v_2$ น้อย และ $v_3$ มาก
3. $v_1$ น้อย และ $v_2$ มาก และ $v_3$ น้อย
4. $v_1$ น้อย และ $v_2$ มาก และ $v_3$ มาก
5. $v_1$ มาก และ $v_2$ น้อย และ $v_3$ น้อย
6. $v_1$ มาก และ $v_2$ น้อย และ $v_3$ มาก
7. $v_1$ มาก และ $v_2$ มาก และ $v_3$ น้อย
8. $v_1$ มาก และ $v_2$ มาก และ $v_3$ มาก

จะเห็นว่าผลสรุปสำหรับค่า $F_{\mathrm{ET1}}(v_1, v_2, v_3)$ ในสำหรับบางกฎฟัซซีไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจน เช่น ข้อที่ 2 3 6 และ 7 ดังนั้นจึงเลือกเฉพาะกรณีที่สามารถระบุข้อสรุปได้อย่างชัดเจน ซึ่งทำให้ได้กฎฟัซซีสำหรับควบคุมสัญญาณไฟจราจรทั้งหมด 4 ข้อ ดังนี้

1. ถ้า $v_1$ น้อย และ $v_2$ น้อย และ $v_3$ น้อย แล้ว ET น้อย
2. ถ้า $v_1$ น้อย และ $v_2$ มาก และ $v_3$ มาก แล้ว ET น้อย
3. ถ้า $v_1$ มาก และ $v_2$ น้อย และ $v_3$ น้อย แล้ว ET มาก
4. ถ้า $v_1$ มาก และ $v_2$ มาก และ $v_3$ มาก แล้ว ET มาก

ทั้งนี้ จะระบุให้ข้อสรุปของกฎข้อที่ 1 และ 2 เป็นน้อยเนื่องจากแยกที่ 1 มีปริมาณรถน้อย จึงไม่จำเป็นต้องเปิดไฟเขียวเป็นเวลานาน ส่วนกฎข้อที่ 3 ได้ผลสรุปเป็นมาก เนื่องจากแยกที่ 1 มีรถเป็นปริมาณมากเมื่อเทียบกับแยกอื่นๆ และกฎข้อที่ 4 ได้ผลเป็นมาก เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนสัญญาณไฟที่ถี่จนเกินไปในขณะที่ทุกแยกมีรถหนาแน่น และในทำนองเดียวกันสามารถสร้างกฎฟัซซีสำหรับการคำนวณ $F_{\mathrm{ET2}}$ $F_{\mathrm{ET3}}$ และ $F_{\mathrm{ET4}}$ ได้

จากระบบอนุมานเชิงฟัซซีของการควบคุมสัญญาณไฟจราจร เราสามารถวิเคราะห์ได้ว่าถ้าใช้ฟัซซีเซตในลักษณะที่แตกต่างกัน จะได้เวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวแตกต่างตามไปด้วย จึงสามารถอธิบายได้ว่าประสิทธิภาพในการทำงานขึ้นอยู่กับฟัซซีเซตที่ใช้ เราจึงต้องมีกระบวนการหาฟัตซีเซตที่ดีที่สุด โดยได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3 การทดสอบชุดของฟัซซีเซต

### 3.3 ขั้นตอนการทดสอบชุดของฟัซซีเซต

การทดสอบชุดของฟัซซีเซต ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ 1. รวบรวมชุดของฟัซซีเซตทั้งหมดที่จะนำมาทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพ 2. นำฟัซซีเซตแต่ละชุดมาทำการควบคุมการจราจรในระบบเสมือน

เราใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้นบน MATLAB ในการวิเคราะห์หาชุดของฟัซซีเซตที่เหมาะสมที่สุด โดยคำนวณจากระยะเวลาคอยรวมในแต่ละแยกที่น้อยที่สุดตามขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** รวบรวมชุดของฟัซซีเซตทั้งหมดที่จะนำมาทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ฟัซซีเซตที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ฟัซซีเซตของรถน้อยในแยกที่ 1-4 และ ฟัซซีเซตของรถมากในแยกที่ 1-4 ซึ่งแต่ละแยกจะมีลักษณะฟัซซีเซตที่แตกต่างกัน โดยฟัซซีเซตจะมีเอกภพสัมพัทธ์สอดคล้องกับข้อมูลที่เก็บได้จากการสำรวจพื้นที่จริง ส่วนฟัซซีเซตการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวและฟัซซีเซตการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวมาก ในแต่ละแยกจะมีลักษณะของฟัซซีเซตเหมือนกัน เนื่องจากเราจะใช้ผลลัพธ์ที่ได้เป็นตัวชี้วัดถึงขนาดของการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟจราจรในแยกนั้นๆ

โดยในการสร้างรายการของฟัซซีเซตที่จะทำการทดสอบเราใช้วิธีการแบ่งช่วงเท่าๆ กัน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

การสร้างรายการฟัซซีเซตสำหรับเซต $sv_1$

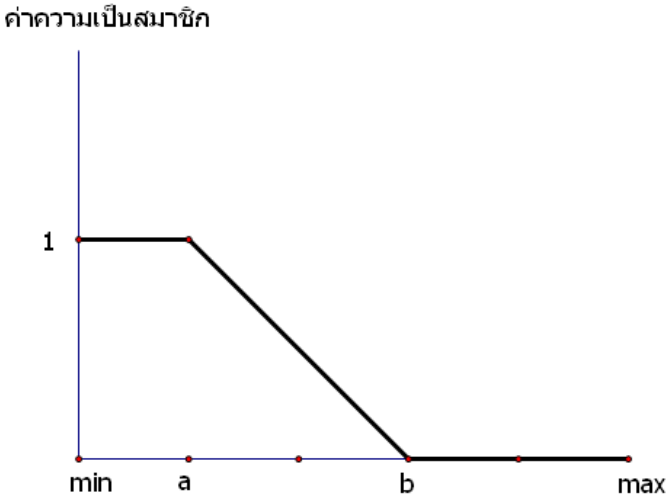
เนื่องจากแยกที่ 1 สามารถจุรถได้ไม่เกิน 20 คัน เอกภพสัมพัทธ์ของเซต $sv_1$ จึงอยู่ในช่วง $[0,20]$ ในขณะที่ฟัซซีนัมเบอร์โดยทั่วไปของเซตรถน้อย คือ $[min, min, a, b]$ ซึ่งทำให้ได้เซตที่ต้องทำการทดสอบสำหรับ $sv_1$ ในกรณีที่ต้องการทดสอบเพียง 3 เซต คือ

1. $[0,0,10,10]$
2. $[0,0,10,20]$
3. $[0,0,20,20]$

ต่อไปเราจะทำการหาลักษณะของฟัซซีเซตทั้ง 6 เซตที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดการสัญญาณไฟจราจรของทุกเซตที่เป็นไปได้ที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาจากเวลาคอยน้อยที่สุดที่ได้จากการควบคุมการจราจรในระบบเสมือนบนโปรแกรม MATLAB ในขั้นตอนที่ 2

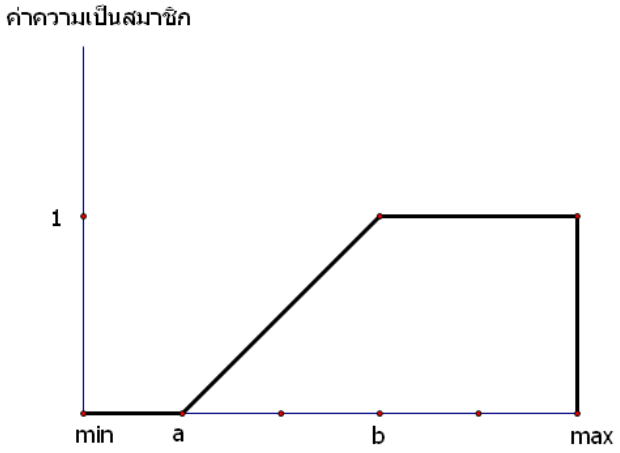
**ขั้นตอนที่ 2** นำฟัซซีเซตแต่ละชุดมาทำการควบคุมการจราจรในระบบเสมือน

เราทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมการจราจรโดยใช้ชุดของฟัซซีเซตที่แตกต่างกันจำนวน 46,656 ชุด และใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้นบน MATLAB ตามที่แสดงในภาคผนวก โดยพิจารณาเฉพาะฟัซซีเซตที่มีลักษณะกราฟของฟัซซีเซตเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งทำให้ฟัซซีเซตในกลุ่ม $sv$ และ $se$ มีลักษณะดังรูปที่ 20




รูปที่ 20 ฟัซซีเซตในกลุ่ม $sv$ และ $se$

นั่นคือจะมีฟัซซีนัมเบอร์ในรูป $[min, min, a, b]$ และในทำนองเดียวกัน ฟัซซีเซตในกลุ่ม $lv$ และ $le$ มีฟัซซีนัมเบอร์ในรูป $[a, b, max, max]$ โดยที่ $min$ และ $max$ คือ ค่าขอบเขตล่างและบนของเอกภพสัมพัทธ์ และลักษณะกราฟของฟัซซีเซตจะเป็นดังรูปที่ 21




รูปที่ 21 ฟัซซีเซตในกลุ่ม $lv$ และ $le$

จากการทดสอบชุดของฟัซซีเซต จะได้ชุดตัวเลขของฟัซซีนัมเบอร์ดังนี้

$sv_1 = [0,0,6,12]$ , $lv_1 = [0,6,20,20]$
$sv_2 = [0,0,0,50]$ , $lv_2 = [25,50,77,77]$
$se = [-20,-20,-20,6]$ , $le = [-20,6,20,20]$

เมื่อ $sv_1$ คือ ฟัซซีนัมเบอร์ของฟัซซีเซตรถน้อยของแยกที่ 1 และ 4

$lv_1$ คือ ฟัซซีนัมเบอร์ของฟัซซีเซตรถมากของแยกที่ 1 และ 4

$sv_2$ คือ ฟัซซีนัมเบอร์ของฟัซซีเซตรถน้อยของแยกที่ 2 และ 3

$lv_2$ คือ ฟัซซีนัมเบอร์ของฟัซซีเซตรถมากของแยกที่ 2 และ 3

$se$ คือ ฟัซซีนัมเบอร์ของฟัซซีเซตการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวน้อยของทุกแยก

$le$ คือ ฟัซซีนัมเบอร์ของฟัซซีเซตการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวมากของทุกแยก

# บทที่ 4
# ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษาทำให้ได้ชุดของฟัซซีเซตที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่สี่แยกสนามจันทร์ ทั้งนี้ก่อนการนำระบบไปใช้จริงเราจำเป็นต้องเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมสัญญาณไฟจราจรระหว่างระบบฟัซซีกับระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบอื่นๆ โดยเลือกทดสอบประสิทธิภาพระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร 5 ระบบ ดังนี้

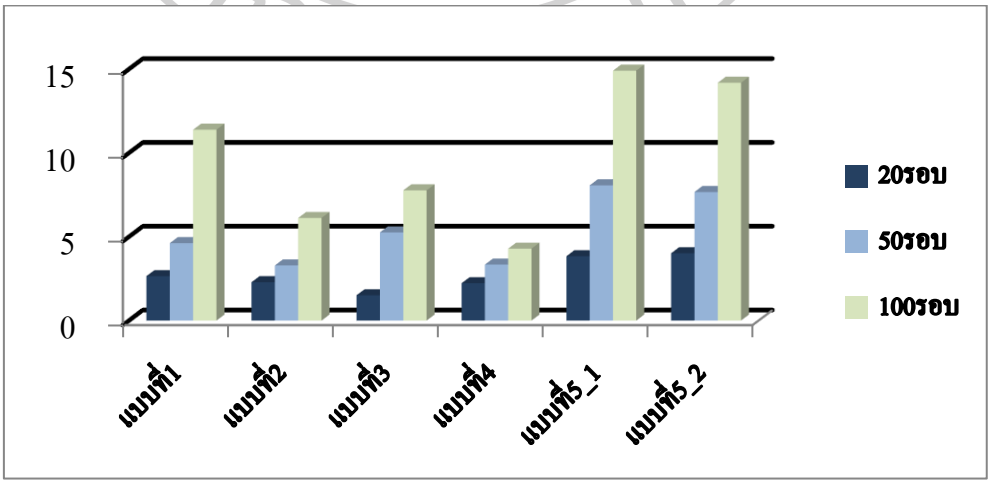
1. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวเท่ากันทุกแยกตลอดทั้งวัน (TQ)
2. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวคงตัวตลอดทั้งวัน โดยระยะเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวในแต่ละแยกสอดคล้องกับปริมาณรถที่วิ่งผ่านในแยกนั้นๆ (TC)
3. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยกำหนดเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวตามสัดส่วนปริมาณรถรวมในแต่ละแยก ณ เวลานั้นๆ (TNC)
4. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบฟัซซีลอจิก (FUZ)
5. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบที่ใช้ในปัจจุบันของสี่แยกสนามจันทร์ (PS1 และ PS2)

## 4.1 การทดสอบระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยระบบฟัซซี

จากการทดสอบโปรแกรมในระบบเสมือนด้วย MATLAB จำนวนเวลาในการทดสอบ 100 รอบจังหวะไฟจราจรจะได้ข้อมูล ค่าเฉลี่ยเวลาคอยของรถ (นาที/คัน) ดังนี้

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ 5 แบบ

| | แบบที่ 1<br>TQ | แบบที่ 2<br>TC | แบบที่ 3<br>TNC | แบบที่ 4<br>FUZ | แบบที่ 5_1<br>PS1 | แบบที่ 5_2<br>PS2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ครั้งที่ 1 | 11.13 | 5.99 | 8.63 | 4.37 | 14.51 | 13.54 |
| ครั้งที่ 2 | 12.29 | 6.63 | 9.14 | 4.16 | 14.34 | 14.84 |
| ครั้งที่ 3 | 10.96 | 5.94 | 7.54 | 3.91 | 15.09 | 14.72 |
| ครั้งที่ 4 | 12.09 | 5.02 | 7.78 | 2.86 | 15.68 | 13.13 |
| ครั้งที่ 5 | 10.44 | 6.31 | 8.84 | 5.62 | 15.48 | 14.78 |
| ครั้งที่ 6 | 11.64 | 6.92 | 5.27 | 3.91 | 15.25 | 13.48 |
| ครั้งที่ 7 | 11.19 | 4.85 | 5.54 | 4.86 | 15.43 | 15.78 |
| ครั้งที่ 8 | 11.47 | 5.37 | 8.59 | 4.35 | 13.52 | 14.34 |
| ครั้งที่ 9 | 12.90 | 7.93 | 8.94 | 4.17 | 14.74 | 13.12 |
| ครั้งที่ 10 | 9.74 | 6.21 | 7.43 | 4.67 | 15.10 | 14.12 |
| ค่าเฉลี่ย | 11.39 | 6.12 | 7.77 | 4.29 | 14.91 | 14.19 |
| $S.D.$ | 0.92 | 0.92 | 1.38 | 0.72 | 0.65 | 0.87 |




รูปที่ 22 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยเวลาคอยของรถ (นาที/คัน) 5 แบบ จำนวน 20, 50 และ 100 รอบ

**4.2 การทดสอบประสิทธิภาพชุดของฟัซซีเซตในทางทฤษฎี**

เมื่อได้ชุดของฟัซซีเซตที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.2 แล้วจะนำข้อมูลที่ได้มาทดสอบเทียบกับวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรอีก 3 วิธี คือ

**4.2.1 การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวเท่ากันทุกแยกตลอดทั้งวัน**

จากการเก็บข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสี่แยกสนามจันทร์จะได้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวในแยกที่ 1-4 คือ 15 วินาที 51 วินาที 49 วินาที และ 35 วินาที ตามลำดับ

เมื่อนำเวลาไฟเขียวทั้งหมดมารวมกัน เราจะได้เวลาไฟเขียวรวมคือ 150 วินาที แล้วนำมาแบ่งใหม่โดยให้แต่ละแยกมีค่าเท่ากันคือ 37.5 วินาที

**ตัวอย่างที่ 4.1** การคำนวณเวลาคอยรวมของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวเท่ากันทุกแยกตลอดทั้งวันจำนวน 150 รอบ จังหวะไฟจราจร

โดย $\mu_{I1} = 3$ $\mu_{I2} = 14$ $\mu_{I3} = 13$ $\mu_{I4} = 9$

$\mu_{O1} = 15$ $\mu_{O2} = 57$ $\mu_{O3} = 55$ $\mu_{O4} = 28$

**วิธีทำ** ขั้นตอนที่ 1 คำนวณเวลาคอยรวมของรถที่ค้างในแต่ละแยก

สูตรคำนวณ

ปริมาณรถเข้า – ปริมาณรถออก = ปริมาณรถที่ค้างในแยก

ปริมาณรถเข้า $= 4 \cdot \mu_{Ik} \cdot t_k$ ปริมาณรถออก $= \mu_{Ok} \cdot t_k$

ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= 4 \cdot \mu_{Ik} \cdot t_k - \mu_{Ok} \cdot t_k$

เมื่อ $t_k$ เวลาไฟเขียวของสี่แยกสนามจันทร์ในแยกที่ $k$ โดยที่ $k \in \{1,2,3,4\}$

แยกที่ 1 ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= (4 \cdot 3 - 15)\frac{2.5}{4}$

เนื่องจากปริมาณรถที่ค้างในแยกมีค่าติดลบ ดังนั้น ปริมาณรถที่ค้างในแยกเท่ากับ 0

แยกที่ 2 ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= (4 \cdot 14 - 57)\frac{2.5}{4}$

เนื่องจากปริมาณรถที่ค้างในแยกมีค่าติดลบ ดังนั้น ปริมาณรถที่ค้างในแยกเท่ากับ 0

แยกที่ 3 ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= (4 \cdot 13 - 55)\frac{2.5}{4}$

เนื่องจากปริมาณรถที่ค้างในแยกมีค่าติดลบ ดังนั้น ปริมาณรถที่ค้างในแยกเท่ากับ 0

แยกที่ 4 ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= (4 \cdot 9 - 28)\frac{2.5}{4} = 5$

ปริมาณรถที่ค้างในแยกเท่ากับ 5 คันต่อ 1 รอบสัญญาณไฟจราจร

จึงคำนวณเวลาคอยรวมของรถที่ค้างในแต่ละแยกดังสมการต่อไปนี้

$$(1 + 2 + 3 + \ldots + n)(vs \cdot T) = wt_s$$

เมื่อ $n$ คือ จำนวนรอบของจังหวะไฟจราจร

$vs$ คือ ปริมาณรถที่ค้างในแยก

$T$ คือ จำนวนไฟเขียวทุกแยกรวมกัน

$wt_s$ คือ เวลาคอยรวมของรถที่ค้างในแต่ละแยก หน่วย นาที

$wt_s = (1 + 2 + 3 + \ldots + 150)(5 \cdot 2.5)$

เวลาคอยรวมของรถที่ค้างในแต่ละแยก เท่ากับ $141{,}562.5$ นาที

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาเวลาคอยรวมของรถที่ติดไฟแดงหนึ่งรอบของจังหวะไฟจราจร

เวลาคอยรวมของรถที่ติดไฟแดงหนึ่งรอบของจังหวะไฟจราจรคำนวณด้วยสมการดังนี้

$$wt_1 = n \cdot t_1 \cdot \mu_{I1}(3t_2 + 2t_3 + t_4) \qquad wt_2 = n \cdot t_2 \cdot \mu_{I2}(3t_3 + 2t_4 + t_1)$$
$$wt_3 = n \cdot t_3 \cdot \mu_{I3}(3t_4 + 2t_1 + t_2) \qquad wt_4 = n \cdot t_4 \cdot \mu_{I4}(3t_1 + 2t_2 + t_3)$$

เมื่อ $n$ คือ จำนวนรอบของจังหวะไฟจราจร

$t_k$ คือ เวลาไฟเขียวในแยกที่ $k$ โดยที่ $k \in \{1,2,3,4\}$

$wt_k$ คือ เวลาคอยรวมของรถที่ติดไฟแดงหนึ่งรอบของจังหวะไฟจราจรในแยกที่ $k$ โดยที่ $k \in \{1,2,3,4\}$

เนื่องจาก $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = \frac{2.5}{4} = t$

$$wt_{1-4} = n \cdot t^2 \cdot (\mu_{I1} + \mu_{I2} + \mu_{I3} + \mu_{I4})(3 + 2 + 1)$$

เมื่อ $wt_{1-4} = \sum_{k=1}^{4} wt_k$

$$wt_{1-4} = 150 \cdot \left(\frac{2.5}{4}\right)^2 \cdot (3+14+13+9)(3+2+1)$$

เวลาคอยรวมของรถที่ติดไฟแดงหนึ่งรอบของจังหวะไฟจราจร เท่ากับ $13{,}710.94$ นาที

เวลาคอยรวมทั้งหมด เท่ากับ $155{,}273.44$ นาที

เพราะฉะนั้นจะได้เวลาคอยสัญญาณไฟโดยเฉลี่ย $\frac{WT}{TV} = \frac{155{,}273.44}{150 \cdot 2.5 \cdot (3+14+13+9)} = 10.63$ นาทีต่อคัน

เมื่อ $WT$ คือ เวลาคอยรวม

$TV$ คือ ปริมาณรถรวม

**4.2.2 การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวคงตัวตลอดทั้งวันโดยระยะเวลาไฟเขียวในแต่ละแยกสอดคล้องกับปริมาณรถที่วิ่งผ่านในแยกนั้นๆ**

**ตัวอย่างที่ 4.2** การคำนวณเวลาคอยรวมของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวโดยคำนวณจากปริมาณรถรวมในแต่ละแยกแบบเวลาคงที่จำนวน 150 รอบจังหวะไฟจราจร

โดย $\mu_{I1} = 3$ $\mu_{I2} = 14$ $\mu_{I3} = 13$ $\mu_{I4} = 9$

$\mu_{O1} = 15$ $\mu_{O2} = 57$ $\mu_{O3} = 55$ $\mu_{O4} = 28$

**วิธีทำ** ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาเวลาคอยรวมของรถที่ค้างในแต่ละแยก

สูตรคำนวณ

ปริมาณรถเข้า - ปริมาณรถออก = ปริมาณรถที่ค้างในแยก

ปริมาณรถเข้า $= \mu_{Ik} \cdot 2.5$ ปริมาณรถออก $= \mu_{Ok} \cdot t_k$

ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= \mu_{Ik} \cdot 2.5 - \mu_{Ok} \cdot t_k$

เมื่อ $t_k$ เวลาไฟเขียวของสี่แยกสนามจันทร์ในแยกที่ $k$ โดยที่ $k \in \{1,2,3,4\}$

จากข้อมูลค่าเฉลี่ยของอัตรารถเข้า-ออก จะคำนวณหาเวลาไฟเขียวตามสูตรนี้

$\mu_{Ik} \cdot 2.5 - \mu_{Ok} \cdot t_k$

จะได้ว่า $t_1 = 30, t_2 = 37, t_3 = 35$ และ $t_4 = 48$ วินาที

แยกที่ 1 ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= \left(3(2.5) - 15\left(\frac{30}{60}\right)\right)$

ปริมาณรถที่ค้างในแยกเท่ากับ $0$ คัน

แยกที่ 2 ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= \left(14(2.5) - 57\left(\frac{37}{60}\right)\right)$

เนื่องจากปริมาณรถที่ค้างในแยกมีค่าติดลบ ดังนั้น ปริมาณรถที่ค้างในแยกเท่ากับ $0$

แยกที่ 3 ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= \left(13(2.5) - 55\left(\frac{35}{60}\right)\right)$

ปริมาณรถที่ค้างในแยกเท่ากับ $0.42$ คันต่อ $1$ รอบสัญญาณไฟจราจร

แยกที่ 4 ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= \left(9(2.5) - 28\left(\frac{48}{60}\right)\right)$

ปริมาณรถที่ค้างในแยกเท่ากับ $0.1$ คันต่อ $1$ รอบสัญญาณไฟจราจร

จึงคำนวณเวลาคอยรวมของรถที่ค้างในแต่ละแยกดังสมการต่อไปนี้

$$wt_s = (1 + 2 + 3 + \ldots + n)(vs \cdot T)$$
$$wt_s = (1 + 2 + 3 + \ldots + 150)\big((0.42 + 0.1) \cdot 2.5\big)$$

เวลาคอยรวมของรถที่ค้างในแต่ละแยก เท่ากับ $14{,}722.5$ นาที

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาเวลาคอยรวมของรถที่ติดไฟแดงหนึ่งรอบของจังหวะไฟจราจร

เวลาคอยรวมของรถที่ติดไฟแดงหนึ่งรอบของจังหวะไฟจราจรจะคำนวณด้วยสมการดังนี้

$$wt_1 = n \cdot t_1 \cdot \mu_{I1}(3t_2 + 2t_3 + t_4) \qquad wt_2 = n \cdot t_2 \cdot \mu_{I2}(3t_3 + 2t_4 + t_1)$$
$$wt_3 = n \cdot t_3 \cdot \mu_{I3}(3t_4 + 2t_1 + t_2) \qquad wt_4 = n \cdot t_4 \cdot \mu_{I4}(3t_1 + 2t_2 + t_3)$$

$$wt_1 = 150 \cdot \frac{30}{60} \cdot 3 \cdot \left(3\left(\frac{37}{60}\right) + 2\left(\frac{35}{60}\right) + \left(\frac{48}{60}\right)\right) = 858.75 \text{ นาที}$$
$$wt_2 = 150 \cdot \frac{37}{60} \cdot 14 \cdot \left(3\left(\frac{35}{60}\right) + 2\left(\frac{48}{60}\right) + \left(\frac{30}{60}\right)\right) = 4{,}985.75 \text{ นาที}$$
$$wt_3 = 150 \cdot \frac{35}{60} \cdot 13 \cdot \left(3\left(\frac{48}{60}\right) + 2\left(\frac{30}{60}\right) + \left(\frac{37}{60}\right)\right) = 4{,}568.96 \text{ นาที}$$
$$wt_4 = 150 \cdot \frac{48}{60} \cdot 9 \cdot \left(3\left(\frac{30}{60}\right) + 2\left(\frac{37}{60}\right) + \left(\frac{35}{60}\right)\right) = 3{,}582.00 \text{ นาที}$$

เวลาคอยรวมของรถที่ติดไฟแดงหนึ่งรอบของจังหวะไฟจราจร เท่ากับ $13{,}995.46$ นาที

เพราะฉะนั้น เวลาคอยรวมทั้งหมด เท่ากับ $28{,}717.96$ นาที

ดังนั้นจะได้เวลาคอยสัญญาณไฟโดยเฉลี่ย $\frac{WT}{TV} = \frac{28{,}717.96}{150 \cdot 2.5 \cdot (3+14+13+9)} = 1.96$ นาทีต่อคัน

**4.2.3 การควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยกำหนดเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวตามสัดส่วนปริมาณรถรวมในแต่ละแยก ณ เวลานั้นๆ**

**ตัวอย่างที่ 4.3** การคำนวณเวลาคอยรวมของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยกำหนดเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวตามสัดส่วนปริมาณรถรวมในแต่ละแยก ณ เวลานั้นๆ จำนวน 150 รอบ จังหวะไฟจราจร

โดย $\mu_{I1} = 3 \quad \mu_{I2} = 14 \quad \mu_{I3} = 13 \quad \mu_{I4} = 9$

$\mu_{O1} = 15 \quad \mu_{O2} = 57 \quad \mu_{O3} = 55 \quad \mu_{O4} = 28$

**วิธีทำ** ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาเวลาคอยรวมของรถที่ค้างในแต่ละแยก

จากข้อมูลค่าเฉลี่ยของอัตรารถเข้า-ออก จะคำนวณหาเวลาไฟเขียวตามสูตรนี้

$$t_k = \left(\frac{\mu_{I1}}{\mu_{O1}} + \frac{\mu_{I2}}{\mu_{O2}} + \frac{\mu_{I3}}{\mu_{O3}} + \frac{\mu_{I4}}{\mu_{O4}}\right)\left(2.5 \cdot \frac{3}{4}\right)\left(\frac{\mu_{Ik}}{\mu_{Ok}}\right)$$

จะได้ว่า

$$t_1 = \left(\frac{3}{15} + \frac{14}{57} + \frac{13}{55} + \frac{9}{28}\right)\left(2.5 \cdot \frac{3}{4}\right)\left(\frac{3}{15}\right)$$

$$t_2 = \left(\frac{3}{15} + \frac{14}{57} + \frac{13}{55} + \frac{9}{28}\right)\left(2.5 \cdot \frac{3}{4}\right)\left(\frac{14}{57}\right)$$

$$t_3 = \left(\frac{3}{15} + \frac{14}{57} + \frac{13}{55} + \frac{9}{28}\right)\left(2.5 \cdot \frac{3}{4}\right)\left(\frac{13}{55}\right)$$

$$t_4 = \left(\frac{3}{15} + \frac{14}{57} + \frac{13}{55} + \frac{9}{28}\right)\left(2.5 \cdot \frac{3}{4}\right)\left(\frac{9}{28}\right)$$

$t_1 = 0.46, t_2 = 0.38, t_3 = 0.45$ และ $t_4 = 0.60$ นาที

แยกที่ 1 ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= \big(3(1.89) - 15(0.38)\big)$

เนื่องจากปริมาณรถที่ค้างในแยกมีค่าติดลบ ดังนั้น ปริมาณรถที่ค้างในแยกเท่ากับ 0

แยกที่ 2 ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= \big(14(1.89) - 57(0.46)\big)$

ปริมาณรถที่ค้างในแยกเท่ากับ $0.24$ คันต่อ $1$ รอบสัญญาณไฟจราจร

แยกที่ 3 ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= \big(13(1.89) - 55(0.45)\big)$

เนื่องจากปริมาณรถที่ค้างในแยกมีค่าติดลบ ดังนั้น ปริมาณรถที่ค้างในแยกเท่ากับ 0

แยกที่ 4 ปริมาณรถที่ค้างในแยก $= \big(9(1.89) - 28(0.6)\big)$

เนื่องจากปริมาณรถที่ค้างในแยกมีค่าติดลบ ดังนั้น ปริมาณรถที่ค้างในแยกเท่ากับ 0 จึงคำนวณเวลาคอยรวมของรถที่ค้างในแต่ละแยกดังสมการต่อไปนี้

$$(1 + 2 + 3 + \ldots + n)(vs \cdot T) = wt_s$$

$wt_s = (1 + 2 + 3 + \ldots + 150)(0.24 \cdot 1.89)$

เวลาคอยรวมของรถที่ค้างในแต่ละแยก เท่ากับ $5{,}137.02$ นาที

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาเวลาคอยรวมของรถที่ติดไฟแดงหนึ่งรอบของจังหวะไฟจราจร

เวลาคอยรวมของรถที่ติดไฟแดงหนึ่งรอบของจังหวะไฟจราจรจะคำนวณด้วยสมการดังนี้

$wt_1 = n \cdot t_1 \cdot \mu_{I1}(3t_2 + 2t_3 + t_4)$ $\quad wt_2 = n \cdot t_2 \cdot \mu_{I2}(3t_3 + 2t_4 + t_1)$

$wt_3 = n \cdot t_3 \cdot \mu_{I3}(3t_4 + 2t_1 + t_2)$ $\quad wt_4 = n \cdot t_4 \cdot \mu_{I4}(3t_1 + 2t_2 + t_3)$

$wt_1 = 150 \cdot 0.38 \cdot 3 \cdot \big(3(0.46) + 2(0.45) + (0.6)\big) = 492.48$ นาที

$wt_2 = 150 \cdot 0.46 \cdot 14 \cdot \big(3(0.45) + 2(0.6) + (0.38)\big) = 2{,}830.38$ นาที

$wt_3 = 150 \cdot 0.45 \cdot 13 \cdot \big(3(0.6) + 2(0.38) + (0.46)\big) = 2{,}650.05$ นาที

$wt_4 = 150 \cdot 0.6 \cdot 9 \cdot \big(3(0.38) + 2(0.46) + (0.45)\big) = 2{,}033.1$ นาที

เวลาคอยรวมของรถที่ติดไฟแดงหนึ่งรอบของจังหวะไฟจราจร เท่ากับ $8006.01$ นาที

เพราะฉะนั้น เวลาคอยรวมทั้งหมด เท่ากับ $13{,}143.03$ นาที

ดังนั้นจะได้เวลาคอยสัญญาณไฟโดยเฉลี่ย $\frac{WT}{T\mathrm{V}} = \frac{13{,}143.03}{150 \cdot 1.89 \cdot (3+14+13+9)} = 1.18$ นาทีต่อคัน

# บทที่ 5
# สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุป อภิปรายผล

การประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร เราได้นำระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานีมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย และนำโปรแกรม MATLAB มาใช้ในขั้นตอนการทดสอบระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของสี่แยกสนามจันทร์ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาระบบฟัซซีลอจิกที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสี่แยกสนามจันทร์ โดยได้นำระบบฟัซซีที่ได้ไปเปรียบเทียบกับระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจร อีก 4 แบบ ดังนี้

1. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวเท่ากันทุกแยกตลอดทั้งวัน

2. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวคงตัวตลอดทั้งวันโดยระยะเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวในแต่ละแยกสอดคล้องกับปริมาณรถที่วิ่งผ่านในแยกนั้นๆ

3. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยกำหนดเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวตามสัดส่วนปริมาณรถรวมในแต่ละแยก ณ เวลานั้นๆ

4. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบที่ใช้ในปัจจุบันของสี่แยกสนามจันทร์

จากข้อมูลทั้งหมดในการทดสอบวิเคราะห์ได้ว่า ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของชุดฟัซซีเซตนั้นมีค่าเฉลี่ยของเวลาคอยสัญญาณไฟสำหรับรถแต่ละคันและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาคอยน้อยกว่า แบบอื่นๆ ทั้ง 4 แบบ จึงสามารถสรุปได้ว่า ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของชุดฟัซซีเซตมีประสิทธิภาพดีที่สุด

ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่พัฒนาขึ้นมานี้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริงในสี่แยกสนามจันทร์ โดยระบบสามารถปฏิบัติงานแทนเจ้าหน้าที่จราจรในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับปริมาณรถในแต่ละเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการติดตั้งระบบดังกล่าวสามารถทำได้ด้วยต้นทุนประมาณ 10,000 บาท

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

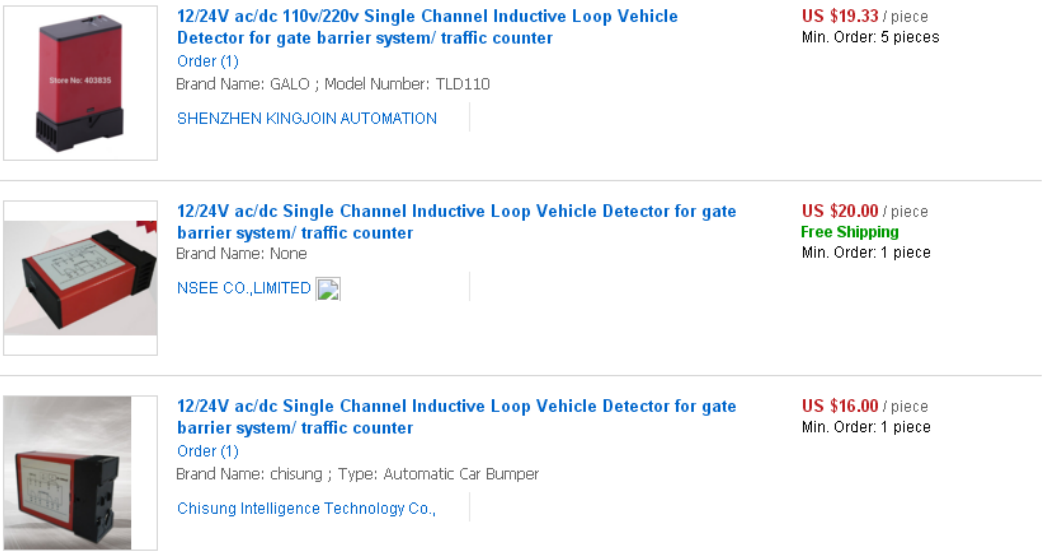
การประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรนั้น ต้องใช้ตัวแปรของชุดฟัซซีเซตจำนวนมากในการวิเคราะห์หาชุดฟัซซีเซตที่ดีที่สุด ซึ่งในการคำนวณนี้ได้ใช้ชุดฟัซซีเซตทั้งหมด 46,656 ชุด ซึ่งใช้เวลาในการคำนวณมาก เราได้ให้ข้อเสนอแนะว่าถ้าเพิ่มชุดของฟัซซีเซตและตัวแปรมากขึ้น อาจทำให้หาชุดฟัซซีเซตที่ดีที่สุดได้ดีกว่าเดิมได้

## 5.3 การนำไปประยุกต์ใช้

นำเครื่องนับปริมาณรถ มาติดตั้งในแต่ละแยกดังภาพ

รูปที่ 23 เครื่องนับปริมาณรถ

รูปที่ 24 การติดตั้งเครื่องนับปริมาณรถ




รูปที่ 25 ราคาและงบประมาณของเครื่องนับปริมาณรถ

จากการหาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องนับปริมาณรถ เราได้ว่าราคาของเครื่องนับปริมาณรถประมาณ 700 บาทต่อเครื่อง ซึ่งต้องใช้ในการติดตั้ง 8 เครื่อง โดยจากการคำนวณการติดตั้งระบบดังกล่าวสามารถทำได้ด้วยต้นทุนประมาณ 10,000 บาท ซึ่งคำนวณจากการติดตั้งและราคาเครื่องทั้งหมด 8 เครื่อง

# รายการอ้างอิง


Chih-Hsun, Chon, and Jen-Chao, Teng. (2001). **A fuzzy logic controller for traffic junction signals**. Chung-Hua: University Chung-Hua.

**Fuzzy Control System**. Accessed June 6, 2016. Available from https://en.m.wikipedia.org/wiki/Fuzzy control system.

**Fuzzy Inference System**. Accessed June 6, 2016. Available from http://www.cs.princeton.edu/coures/archive/fall07/cos436/HIDDEN/Knapp/fuzzy004.htm.

George J, Klir., and Bo, Yuan. (1995). **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications**. New Jersey: Prentice Hall PTR.

H.-J, Zimmermann. (2001). **Fuzzy Set Theory and Its Applications**. London: Kluwer Academic Publishers.

Jarkko, Niittymaki. (2000). **General fuzzy rule base for isolated traffic signal control-rule formulation**. Helsinki: Helsinki University of Technology.

Jarkko, Niittymaki., and Matti, Pursula. (1998). **Signal control using fuzzy logic**. Helsinki: Helsinki University of Technology.

Richard, Hammack. (2013). **Book of Proof**. Virginia: Virginia Commonwealth University.

พรรณิภา บุตรเอก. (2557). “การพยากรณ์โอกาสสำเร็จการศึกษาของนักศึกษาโดยใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน.” **Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University** ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม): 40-49.

ไพโรจน์ เยียระยง. (2559). **ตรรกศาสตร์และทฤษฎีเซต**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิทิต มูลวงค์ และ สุภาพ เกิดแสง. (2557). **กระบวนการหาเซตวิภัชนัยที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์คลุมเคลือ**. การประชุมทางวิชาการบัณฑิตศึกษาศิลปากรระดับชาติ ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ: ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร, 2978-2985.

เสกสรรค์ วิลัยลักษณ์. (**2558). “**การใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลเพื่อพยากรณ์ผลการเรียนของนักเรียนโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา.” **Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University** ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม-ธันวาคม): 1-17.

# ภาคผนวก

โปรแกรมสำหรับการคำนวณหาฟัซซีเซตที่เหมาะสม โดย MATLAB

```
format long
wt=[1000000,0];
for J1=0:6:20; %ตัวเลขกำหนดฟัซซีนัมเบอร์ของฟัซซีรถน้อยในแยกที่ 1 และ 4
for I1=0:6:J1-6;
for L1=0:6:20; %ตัวเลขกำหนดฟัซซีนัมเบอร์ของฟัซซีรถมากในแยกที่ 1 และ 4
for K1=0:6:L1-6;
for J2=0:25:77; %ตัวเลขกำหนดฟัซซีนัมเบอร์ของฟัซซีรถน้อยในแยกที่ 2 และ 3
for I2=0:25:J2-25;
for L2=0:25:77; %ตัวเลขกำหนดฟัซซีนัมเบอร์ของฟัซซีรถมากในแยกที่ 2 และ 3
for K2=0:25:L2-25;
for J5=-20:13:20; %ตัวเลขกำหนดฟัซซีนัมเบอร์ของการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวน้อย
for I5=-20:13:J5-13;
for L5=-20:13:20; %ตัวเลขกำหนดฟัซซีนัมเบอร์ของการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวมาก
for K5=-20:13:L5-13;
a=newfis('snc1');
a.input(1).name='v1';
a.input(1).range=[0 inf];
a.input(1).mf(1).name='sv1';
a.input(1).mf(1).type='trapmf';
a.input(1).mf(1).params=[0 0 I1 J1]; %ฟัซซีนัมเบอร์ของฟัซซีรถน้อย
a.input(1).mf(2).name='lv1';
a.input(1).mf(2).type='trapmf';
a.input(1).mf(2).params=[K1 L1 20 20]; %ฟัซซีนัมเบอร์ของฟัซซีรถมาก
a.input(2).name='v2';
a.input(2).range=[0 inf];
a.input(2).mf(1).name='sv2';
a.input(2).mf(1).type='trapmf';
a.input(2).mf(1).params=[0 0 I2 J2];
a.input(2).mf(2).name='lv2';
a.input(2).mf(2).type='trapmf';
```

```
a.input(2).mf(2).params=[K2 L2 77 77];
a.input(3).name='v3';
a.input(3).range=[0 inf];
a.input(3).mf(1).name='sv3';
a.input(3).mf(1).type='trapmf';
a.input(3).mf(1).params=[0 0 I2 J2];
a.input(3).mf(2).name='lv3';
a.input(3).mf(2).type='trapmf';
a.input(3).mf(2).params=[K2 L2 77 77];
a.output(1).name='ext';
a.output(1).range=[-20 20];
a.output(1).mf(1).name='exs';
a.output(1).mf(1).type='trapmf';
a.output(1).mf(1).params=[-20 -20 I5 J5]; %ฟัซซีนัมเบอร์ของการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟ
สีเขียวน้อย
a.output(1).mf(2).name='exl';
a.output(1).mf(2).type='trapmf';
a.output(1).mf(2).params=[K5 L5 20 20]; %ฟัซซีนัมเบอร์ของการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสี
เขียว
มาก
a.rule(1).antecedent=[1 1 1]; %ตัวเลขกำหนดกฎฟัซซี ถ้ารถน้อย 1 และรถน้อย 2 และรถ
น้อย 3 แล้วเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวน้อย
a.rule(1).consequent=[1];
a.rule(1).weight=1;
a.rule(1).connection=1;
a.rule(2).antecedent=[1 2 2]; %ตัวเลขกำหนดกฎฟัซซี ถ้ารถน้อย 1 และรถมาก 2 และรถ
มาก 3 แล้วเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวน้อย
a.rule(2).consequent=[1];
a.rule(2).weight=1;
a.rule(2).connection=1;
```

```
a.rule(3).antecedent=[2 2 2]; %ตัวเลขกำหนดกฎฟัซซี ถ้ารถมาก 1 และรถมาก 2 และรถมาก 3 แล้วเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวมาก
a.rule(3).consequent=[2];
a.rule(3).weight=1;
a.rule(3).connection=1;
a.rule(4).antecedent=[2 1 1]; %ตัวเลขกำหนดกฎฟัซซี ถ้ารถมาก 1 และรถน้อย 2 และรถน้อย 3 แล้วเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณไฟสีเขียวมาก
a.rule(4).consequent=[2];
a.rule(4).weight=1;
a.rule(4).connection=1;
b=newfis('snc2');
b.input(1).name='v2';
b.input(1).range=[0 inf];
b.input(1).mf(1).name='sv2';
b.input(1).mf(1).type='trapmf';
b.input(1).mf(1).params=[0 0 I2 J2];
b.input(1).mf(2).name='lv2';
b.input(1).mf(2).type='trapmf';
b.input(1).mf(2).params=[K2 L2 77 77];
b.input(2).name='v3';
b.input(2).range=[0 inf];
b.input(2).mf(1).name='sv3';
b.input(2).mf(1).type='trapmf';
b.input(2).mf(1).params=[0 0 I2 J2];
b.input(2).mf(2).name='lv3';
b.input(2).mf(2).type='trapmf';
b.input(2).mf(2).params=[K2 L2 77 77];
b.input(3).name='v4';
b.input(3).range=[0 inf];
b.input(3).mf(1).name='sv4';
b.input(3).mf(1).type='trapmf';
```

```
b.input(3).mf(1).params=[0 0 I1 J1];
b.input(3).mf(2).name='lv4';
b.input(3).mf(2).type='trapmf';
b.input(3).mf(2).params=[K1 L1 20 20];
b.output(1).name='ext';
b.output(1).range=[-20 20];
b.output(1).mf(1).name='exs';
b.output(1).mf(1).type='trapmf';
b.output(1).mf(1).params=[-20 -20 I5 J5];
b.output(1).mf(2).name='exl';
b.output(1).mf(2).type='trapmf';
b.output(1).mf(2).params=[K5 L5 20 20];
b.rule(1).antecedent=[1 1 1];
b.rule(1).consequent=[1];
b.rule(1).weight=1;
b.rule(1).connection=1;
b.rule(2).antecedent=[1 2 2];
b.rule(2).consequent=[1];
b.rule(2).weight=1;
b.rule(2).connection=1;
b.rule(3).antecedent=[2 2 2];
b.rule(3).consequent=[2];
b.rule(3).weight=1;
b.rule(3).connection=1;
b.rule(4).antecedent=[2 1 1];
b.rule(4).consequent=[2];
b.rule(4).weight=1;
b.rule(4).connection=1;
c=newfis('snc3');
c.input(1).name='v3';
c.input(1).range=[0 inf];
```

```
c.input(1).mf(1).name='sv3';
c.input(1).mf(1).type='trapmf';
c.input(1).mf(1).params=[0 0 I2 J2];
c.input(1).mf(2).name='lv3';
c.input(1).mf(2).type='trapmf';
c.input(1).mf(2).params=[K2 L2 77 77];
c.input(2).name='v4';
c.input(2).range=[0 inf];
c.input(2).mf(1).name='sv4';
c.input(2).mf(1).type='trapmf';
c.input(2).mf(1).params=[0 0 I1 J1];
c.input(2).mf(2).name='lv4';
c.input(2).mf(2).type='trapmf';
c.input(2).mf(2).params=[K1 L1 20 20];
c.input(3).name='v1';
c.input(3).range=[0 inf];
c.input(3).mf(1).name='sv1';
c.input(3).mf(1).type='trapmf';
c.input(3).mf(1).params=[0 0 I1 J1];
c.input(3).mf(2).name='lv1';
c.input(3).mf(2).type='trapmf';
c.input(3).mf(2).params=[K1 L1 20 20];
c.output(1).name='ext';
c.output(1).range=[-20 20];
c.output(1).mf(1).name='exs';
c.output(1).mf(1).type='trapmf';
c.output(1).mf(1).params=[-20 -20 I5 J5];
c.output(1).mf(2).name='exl';
c.output(1).mf(2).type='trapmf';
c.output(1).mf(2).params=[K5 L5 20 20];
c.rule(1).antecedent=[1 1 1];
```

```
c.rule(1).consequent=[1];
c.rule(1).weight=1;
c.rule(1).connection=1;
c.rule(2).antecedent=[1 2 2];
c.rule(2).consequent=[1];
c.rule(2).weight=1;
c.rule(2).connection=1;
c.rule(3).antecedent=[2 2 2];
c.rule(3).consequent=[2];
c.rule(3).weight=1;
c.rule(3).connection=1;
c.rule(4).antecedent=[2 1 1];
c.rule(4).consequent=[2];
c.rule(4).weight=1;
c.rule(4).connection=1;
d=newfis('snc4');
d.input(1).name='v4';
d.input(1).range=[0 inf];
d.input(1).mf(1).name='sv4';
d.input(1).mf(1).type='trapmf';
d.input(1).mf(1).params=[0 0 I1 J1];
d.input(1).mf(2).name='lv4';
d.input(1).mf(2).type='trapmf';
d.input(1).mf(2).params=[K1 L1 20 20];
d.input(2).name='v1';
d.input(2).range=[0 inf];
d.input(2).mf(1).name='sv1';
d.input(2).mf(1).type='trapmf';
d.input(2).mf(1).params=[0 0 I1 J1];
d.input(2).mf(2).name='lv1';
d.input(2).mf(2).type='trapmf';
```

```
d.input(2).mf(2).params=[K1 L1 20 20];
d.input(3).name='v2';
d.input(3).range=[0 inf];
d.input(3).mf(1).name='sv2';
d.input(3).mf(1).type='trapmf';
d.input(3).mf(1).params=[0 0 I2 J2];
d.input(3).mf(2).name='lv2';
d.input(3).mf(2).type='trapmf';
d.input(3).mf(2).params=[K2 L2 77 77];
d.output(1).name='ext';
d.output(1).range=[-20 20];
d.output(1).mf(1).name='exs';
d.output(1).mf(1).type='trapmf';
d.output(1).mf(1).params=[-20 -20 I5 J5];
d.output(1).mf(2).name='exl';
d.output(1).mf(2).type='trapmf';
d.output(1).mf(2).params=[K5 L5 20 20];
d.rule(1).antecedent=[1 1 1];
d.rule(1).consequent=[1];
d.rule(1).weight=1;
d.rule(1).connection=1;
d.rule(2).antecedent=[1 2 2];
d.rule(2).consequent=[1];
d.rule(2).weight=1;
d.rule(2).connection=1;
d.rule(3).antecedent=[2 2 2];
d.rule(3).consequent=[2];
d.rule(3).weight=1;
d.rule(3).connection=1;
d.rule(4).antecedent=[2 1 1];
d.rule(4).consequent=[2];
```

```
 d.rule(4).weight=1;
 d.rule(4).connection=1;
v1=0;
v2=0;
v3=0;
v4=0;
w=0;
v=0;
T=0;
t1=30/60;
t2=37/60;
t3=35/60;
t4=48/60;
for n=1:100 %กำหนดการทดสอบระบบเสมือน 100 รอบ
 ex1=evalfis([min(20,v1) min(77,v2) min(77,v3)],a); %คำนวณหาการเพิ่มเวลาเปิดสัญญาณ
 ไฟสีเขียวแยกที่1 โดยใช้ข้อมูลปริมาณรถแยกที่ 1-3
 iv1= max(0,(3+3.88.*randn(1,1)))*(t1+ex1/60);
v1=max(0,v1+iv1-15*(t1+ex1/60)); %การหาปริมาณรถในแยกที่ 1 โดยใช้ข้อมูลอัตรารถเข้า-
ออก
 iv2= max(0,(14+6.82.*randn(1,1)))*(t1+ex1/60);
v2= v2+iv2;
 iv3= max(0,(13+4.06.*randn(1,1)))*(t1+ex1/60);
v3= v3+iv3;
 iv4= max(0,(9+3.87.*randn(1,1)))*(t1+ex1/60);
v4= v4+iv4;
 v=v+iv1+iv2+iv3+iv4; %คำนวณหาปริมาณรถที่คอย
 w=w+(v1+v2+v3+v4)* (t1+ex1/60); %เวลาคอยสัญญาณไฟสีแดงโดยคำนวณจากปริมาณรถ
 ในแต่ละแยก
 ex2=evalfis([min(77,v2) min(77,v3) min(20,v4)],b);
 iv2= max(0,(14+6.82.*randn(1,1)))*(t2+ex2/60);
v2=max(0,v2+iv2-57*( t2+ex2/60));
```

```
iv3= max(0,(13+4.06.*randn(1,1)))*( t2+ex2/60);
v3= v3+iv3;
iv4= max(0,(9+3.87.*randn(1,1)))*( t2+ex2/60);
v4= v4+iv4;
iv1= max(0,(3+3.88.*randn(1,1)))*( t2+ex2/60);
v1= v1+iv1;
 v=v+iv1+iv2+iv3+iv4;
 w=w+(v1+v2+v3+v4)* (t2+ex2/60);
 ex3=evalfis([min(77,v3) min(20,v4) min(20,v1)],c);
 iv3= max(0,(13+4.06.*randn(1,1)))*(t3+ex3/60);
v3=max(0,v3+iv3-55*( t3+ex3/60));
 iv4= max(0,(9+3.87.*randn(1,1)))*( t3+ex3/60);
v4= v4+ iv4;
 iv1= max(0,(3+3.88.*randn(1,1)))*( t3+ex3/60);
v1= v1+ iv1;
 iv2= max(0,(14+6.82.*randn(1,1)))*( t3+ex3/60);
v2= v2+ iv2;
 v=v+iv1+iv2+iv3+iv4;
 w=w+(v1+v2+v3+v4)* (t3+ex3/60);
 ex4=evalfis([min(20,v4) min(20,v1) min(77,v2)],d);
 iv4= max(0,(9+3.87.*randn(1,1)))*(t4+ex4/60);
v4=max(0,v4+ iv4-28*( t4+ex4/60));
 iv1= max(0,(3+3.88.*randn(1,1)))*( t4+ex4/60);
v1= v1+ iv1;
 iv2= max(0,(14+6.82.*randn(1,1)))*( t4+ex4/60);
v2= v2+ iv2;
 iv3= max(0,(13+4.06.*randn(1,1)))*( t4+ex4/60);
v3= v3+ iv3;
 v=v+iv1+iv2+iv3+iv4;
 w=w+(v1+v2+v3+v4)*( t4+ex4/60);
 T=T+t1+ex1/60+t2+ex2/60+t3+ex3/60+t4+ex4/60;
```

```
end
if w>wt(1,1) %คำสั่งหาค่าเวลาคอยสัญญาณไฟสีแดงที่น้อยที่สุด
else wt=[w,v,T,w/v,I1,J1,K1,L1, I2,J2,K2,L2,I5,J5,K5,L5]
end
end
end
end
end
end
end
end
end
end
end
end
end
```

โปรแกรมสำหรับการคำนวณหาเวลาคอยเฉลี่ยแบบที่ 1 โดย MATLAB

```
v1=0;
v2=0;
v3=0;
v4=0;
w=0;
T=0;
v=0;
t1=2.5/4;
t2=2.5/4;
t3=2.5/4;
t4=2.5/4;
for n=1:100 %กำหนดการทดสอบระบบเสมือน 100 รอบ
 iv1= max(0,(3+3.88.*randn(1,1)))*(t1);
```

มหาวิทยาลัยศิลปากร

```
v1=max(0,v1+iv1-15*(t1)); %การหาปริมาณรถในแยกที่ 1 โดยใช้ข้อมูลอัตรารถเข้า-ออก
 iv2= max(0,(14+6.82.*randn(1,1)))*(t1);
v2= v2+iv2;
 iv3= max(0,(13+4.06.*randn(1,1)))*(t1);
v3= v3+iv3;
 iv4= max(0,(9+3.87.*randn(1,1)))*(t1);
v4= v4+iv4;
 vt= v1+v2+v3+v4; %คำนวณหาปริมาณรถที่คอย
 v=v+iv1+iv2+iv3+iv4;
 w=w+(vt)*(t1); %เวลาคอยโดยคำนวณจากปริมาณรถในแต่ละแยก
 T=T+t1;
 iv2= max(0,(14+6.82.*randn(1,1)))*(t2);
v2=max(0,v2+iv2-57*(t2));
iv3= max(0,(13+4.06.*randn(1,1)))*(t2);
v3= v3+iv3;
iv4= max(0,(9+3.87.*randn(1,1)))*(t2);
v4= v4+iv4;
iv1= max(0,(3+3.88.*randn(1,1)))*(t2);
v1= v1+iv1;
 vt= v1+v2+v3+v4;
 v=v+iv1+iv2+iv3+iv4;
 w=w+(vt)* (t2);
 T=T+t2;
 iv3= max(0,(13+4.06.*randn(1,1)))*(t3);
v3=max(0,v3+iv3-55*(t3));
 iv4= max(0,(9+3.87.*randn(1,1)))*(t3);
v4= v4+ iv4;
 iv1= max(0,(3+3.88.*randn(1,1)))*(t3);
v1= v1+ iv1;
 iv2= max(0,(14+6.82.*randn(1,1)))*(t3);
v2= v2+ iv2;
```

```
 vt=v1+v2+v3+v4;
 v=v+iv1+iv2+iv3+iv4;
 w=w+(vt)*(t3);
 T=T+t3;
 iv4= max(0,(9+3.87.*randn(1,1)))*(t4);
v4=max(0,v4+ iv4-28*(t4));
 iv1= max(0,(3+3.88.*randn(1,1)))*(t4);
v1= v1+ iv1;
 iv2= max(0,(14+6.82.*randn(1,1)))*(t4);
v2= v2+ iv2;
 iv3= max(0,(13+4.06.*randn(1,1)))*(t4);
v3= v3+ iv3;
 vt= v1+v2+v3+v4;
 v=v+iv1+iv2+iv3+iv4;
 w=w+(vt)*(t4);
 T=T+t4;
 end
 show2=[w,T,v,w/v]
```

*โปรแกรมสำหรับการคำนวณหาเวลาคอยสัญญาณไฟสีแดงเฉลี่ยแบบที่ 2 และ 5 ใช้โปรแกรมเดียวกับแบบที่ 1 แต่เปลี่ยนเวลาของการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวตามต้องการ

โปรแกรมสำหรับการคำนวณหาเวลาคอยเฉลี่ยแบบที่3 โดย MATLAB

```
v1=0;
v2=0;
v3=0;
v4=0;
w=0;
v=0;
T=0;
t1=2.5/4;
for n=1:100 %กำหนดการทดสอบระบบเสมือน 100 รอบ
```

```
 iv1= max(0,(3+3.88.*randn(1,1)))*(t1);
v1=max(0,v1+iv1-15*(t1)); %การหาปริมาณรถในแยกที่ 1 โดยใช้ข้อมูลอัตรารถเข้า-ออก
 iv2= max(0,(14+6.82.*randn(1,1)))*(t1);
v2= v2+iv2;
 iv3= max(0,(13+4.06.*randn(1,1)))*(t1);
v3= v3+iv3;
 iv4= max(0,(9+3.87.*randn(1,1)))*(t1);
v4= v4+iv4;
 vt= v1+v2+v3+v4; %คำนวณหาปริมาณรถที่คอย
 v=v+iv1+iv2+iv3+iv4;
 w=w+(vt)*(t1); %เวลาคอยสัญญาณไฟสีแดงโดยคำนวณจากปริมาณรถในแต่ละแยก
 T=T+t1;
 t2=max(1/6,(min(2.5,v1/15+v2/57+v3/55+v4/28))*(iv2/(t1*57)));
 iv2= max(0,(14+6.82.*randn(1,1)))*(t2);
v2=max(0,v2+iv2-57*(t2));
iv3= max(0,(13+4.06.*randn(1,1)))*(t2);
v3= v3+iv3;
iv4= max(0,(9+3.87.*randn(1,1)))*(t2);
v4= v4+iv4;
iv1= max(0,(3+3.88.*randn(1,1)))*(t2);
v1= v1+iv1;
 vt= v1+v2+v3+v4;
 v=v+iv1+iv2+iv3+iv4;
 w=w+(vt)* (t2);
 T=T+t2;
 t3=max(1/6,(min(2.5,v1/15+v2/57+v3/55+v4/28))*(iv3/(t2*55)));
 iv3= max(0,(13+4.06.*randn(1,1)))*(t3);
v3=max(0,v3+iv3-55*(t3));
 iv4= max(0,(9+3.87.*randn(1,1)))*(t3);
v4= v4+ iv4;
 iv1= max(0,(3+3.88.*randn(1,1)))*(t3);
```

```
v1= v1+ iv1;
 iv2= max(0,(14+6.82.*randn(1,1)))*(t3);
v2= v2+ iv2;
 vt=v1+v2+v3+v4;
 v=v+iv1+iv2+iv3+iv4;
 w=w+(vt)*(t3);
 T=T+t3;
 t4=max(1/6,(min(2.5,v1/15+v2/57+v3/55+v4/28))*(iv4/(t3*28)));
 iv4= max(0,(9+3.87.*randn(1,1)))*(t4);
v4=max(0,v4+ iv4-28*( t4));
 iv1= max(0,(3+3.88.*randn(1,1)))*(t4);
v1= v1+ iv1;
 iv2= max(0,(14+6.82.*randn(1,1)))*(t4);
v2= v2+ iv2;
 iv3= max(0,(13+4.06.*randn(1,1)))*(t4);
v3= v3+ iv3;
 vt= v1+v2+v3+v4;
 v=v+iv1+iv2+iv3+iv4;
 w=w+(vt)*(t4);
 T=T+t4;
 t1=max(1/6,(min(2.5,v1/15+v2/57+v3/55+v4/28))*(iv1/(t4*15)));
 end
 show=[w,T,v,w/v]
```

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | นายเฉลิมวิชญ์ กุลศิริ |
| **วัน เดือน ปี เกิด** | 5 ธันวาคม 2534 |
| **สถานที่เกิด** | จังหวัดสุราษฎร์ธานี |
| **วุฒิการศึกษา** | พ.ศ. 2556 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ-เกียรตินิยมอันดับสอง) มหาวิทยาลัยศิลปากร |
| | พ.ศ. 2557 เข้าศึกษา หลักสูตรคณิตศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร |
| **ที่อยู่ปัจจุบัน** | 32 หมู่ที่ 1 ตำบลนาใต้ อำเภอบ้านนาเดิม จังหวัดสุราษฎร์ธานี |

มหาวิทยาลัยศิลปากร