Veridian E-Journal, Silpakorn University
ISSN 1906 - 3431

# การประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร *

# An Application Of Fuzzy Logic In Traffic Signal Control

เฉลิมวิชญ์ กุลศิริ(Chalermwit Kunsiri)**
สุภาพ เกิดแสง(Sipap Kirtsaeng)***

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ได้นำฟัซซีลอจิกและระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี (Mamdani's Fuzzy Inference System) มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรและทำการทดสอบระบบควบคุมบนแบบจำลองการจราจรที่สร้างขึ้น โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบกับวิธีการควบคุมการจราจรในระบบอื่นๆ ทั้งหมด 5 แบบ รวมถึงค้นหาค่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการควบคุมการจราจรที่สี่แยกสนามจันทร์ ทั้งนี้งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการการจราจรในแยกอื่นๆ ได้อีกด้วย

ผลการทดสอบระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของชุดฟัซซีเซตนั้นมีค่าเฉลี่ยของเวลาคอยสัญญาณไฟสำหรับรถแต่ละคันและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาคอยน้อยกว่าแบบอื่นๆ จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของชุดฟัซซีเซตมีประสิทธิภาพดีที่สุด

**คำสำคัญ :** สี่แยกสนามจันทร์ แบบจำลองไฟจราจร ระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีแมมดานี ฟังก์ชันลักษณะเฉพาะ การวิเคราะห์ความแปรปรวน

** นักศึกษาระดับปริญญาโทหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศิลปากร
Master of Science Program in Mathematics Study Department of Mathematics Graduate School, Silpakorn University. ,chalermwit666566@hotmail.com, 083-3666566

*** อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
Thesis Advisor (Faculty of Science, Department of Mathematics, Silpakorn University) ,kirtsaeng_s@silpakorn.edu, 081-9207552

**Abstract**

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

**Keywords:** Sanamchandra intersection, Traffic light model, Mamdani's fuzzy inference system, Characteristic function, Analysis of variance

**Introduction/บทนำ**

ปัจจุบันการคมนาคมโดยรถยนต์และรถจักรยานยนต์มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดการติดขัดของการจราจรบนท้องถนนโดยเฉพาะในเมืองใหญ่ ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาจราจรติดขัดดังกล่าว โดยใช้สี่แยกสนามจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม เป็นกรณีศึกษา สี่แยกดังกล่าวมีที่ตั้งอยู่ใกล้กับสถานที่สำคัญต่างๆ เช่น พระราชวังสนามจันทร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศิลปากร จึงทำให้การจราจรที่สี่แยกสนามจันทร์ติดขัด เนื่องจากเวลาไฟเขียวไม่สัมพันธ์กับปริมาณรถในแต่ละแยกจึงทำให้รถติดขัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาหลังเลิกเรียนจากการสำรวจปริมาณรถที่ติดไฟแดงเมื่อเทียบกับสี่แยกอื่น ผู้วิจัยจึงได้คิดหาวิธีช่วยลดปัญหาการจราจรติดขัดที่สี่แยกสนามจันทร์ ด้วยการนำฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เข้ามาช่วยควบคุมสัญญาณไฟจราจรของสี่แยกสนามจันทร์

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นระบบตรรกศาสตร์ที่ถูกพัฒนาต่อยอดมาจากตรรกศาสตร์แบบเดิม โดยเพิ่มจากตรรกศาสตร์แบบเดิมที่มีค่าความจริงเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น ให้สามารถมีค่าความจริงอยู่ระหว่างจริงกับเท็จได้ด้วย (Chih-Hsun, Chon., and Jen-Chao, Teng, 2001) ฟัซซีลอจิกถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.1965 โดย Lotfi Zadeh และได้มีการขยายผลโดยนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกลต่างๆ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ และรวมไปถึงการควบคุมระบบจราจร โดยการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในด้านการจราจรมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ งานวิจัยของ (Jarkko, Niittymaki, 2000) ซึ่งใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร

งานวิจัยนี้นำฟัซซีลอจิกและระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี (Mamdani's Fuzzy Inference System) มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรและทำการทดสอบระบบควบคุมบนแบบจำลองการจราจรที่สร้างขึ้น โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบกับวิธีการควบคุมการจราจรในระบบ

Veridian E-Journal, Silpakorn University
ISSN 1906 - 3431

อื่นๆ รวมถึงค้นหาค่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการควบคุมการจราจรที่สี่แยกสนามจันทร์ ทั้งนี้งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการการจราจรในแยกอื่นๆ ได้อีกด้วย

**วัตถุประสงค์ของการศึกษา**

1) เพื่อประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร

2) เพื่อสร้างแบบจำลองไฟจราจร

Materials and Methords /วิธีการศึกษา

**วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง**

ฟัซซีเซต เป็นเซตที่ถูกพัฒนามาจากเซตแบบปกติกล่าวคือ ในกรณีของเซตแบบปกติจะมีฟังก์ชันลักษณะเฉพาะ (Characteristic function) ซึ่งให้ค่าเป็น $0$ หรือ $1$ อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ส่วนฟัซซีเซตจะมีฟังก์ชันลักษณะเฉพาะที่มีค่าอยู่ในช่วง $[0,1]$ โดยจะเรียกฟังก์ชันลักษณะเฉพาะของฟัซซีเซตว่า ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) และเรียกเซต $X$ ว่าเป็นเอกภพสัมพัทธ์ของฟัซซีเซต $A$ (ไพโรจน์ เยียระยง, 2559)

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

เพื่อความสะดวกอาจเขียนแทน $\mu_A$ โดยใช้สัญลักษณ์ $A$ และพิจารณาว่า $A: X \to [0,1]$ เป็นฟัซซีเซต ซึ่งค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต $A$ สำหรับตัวแปร $x$ 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 $x \in X$

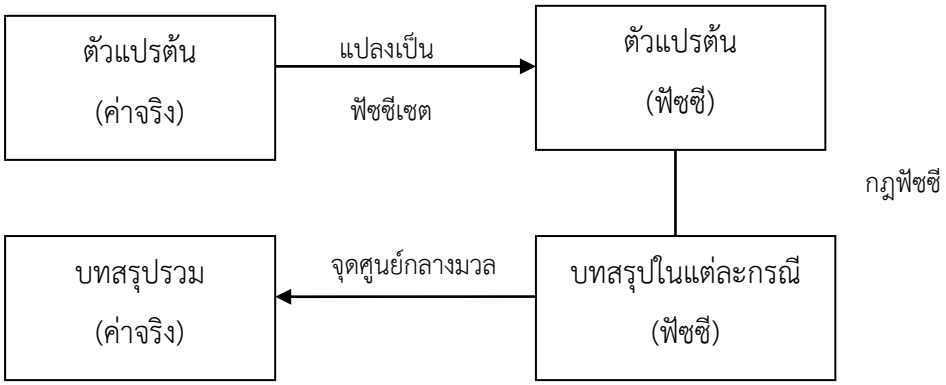
ระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี คือ ระบบการพยากรณ์โดยใช้กฎฟัซซี ซึ่งเป็นประพจน์ในรูป “ถ้า – แล้ว” โดยสังเคราะห์มาจากความรู้ ผู้เชี่ยวชาญ (Expert‘s knowledge) การทำงานตามระบบอนุมานมีขั้นตอนดังนี้ (George J, Klir., and Bo, Yuan, 1995)

ขั้นตอนที่ 1 นำค่าตัวแปรต้น (ค่าจริง) ที่ได้มาแปลงให้อยู่ในรูปฟัซซีเซต

ขั้นตอนที่ 2 นำฟัซซีเซตที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาทำการวินิจฉัยโดยใช้กฎฟัซซี

ขั้นตอนที่ 3 นำบทสรุปในแต่ละกรณีจากขั้นตอนที่ 2 มารวมกันโดยใช้วิธีการหาจุดศูนย์กลางมวล (Center of mass)

ขั้นตอนที่ 4 นำบทสรุปรวมที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ไปใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาด้านต่างๆ




รูปที่ 1 ระบบอนุมานแบบฟัซซีตามวิธีของแมมดานี

**วิธีดำเนินการวิจัย**

ในการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร เราได้กำหนดขั้นตอนดำเนินการวิจัยซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยซึ่งได้นำเสนอไว้ในวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 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

Veridian E-Journal, Silpakorn University
ISSN 1906 - 3431

1. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวเท่ากันทุกแยกตลอดทั้งวัน

2. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวคงตัวตลอดทั้งวันโดยระยะเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวในแต่ละแยกสอดคล้องกับปริมาณรถที่วิ่งผ่านในแยกนั้นๆ

3. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยกำหนดเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวตามสัดส่วนปริมาณรถรวมในแต่ละแยก ณ เวลานั้นๆ

4. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบที่ใช้ในปัจจุบันของสี่แยกสนามจันทร์

**1. ขั้นตอนการเก็บข้อมูล**

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




รูปที่ 2 แผนที่สี่แยกสนามจันทร์

เวลาการเปิดสัญญาณไฟจราจรสี่แยกสนามจันทร์เป็นไฟจราจรที่ตั้งค่าไว้เป็นแบบอัตโนมัติมีค่าคงตัว โดยข้อมูลที่สังเกตจากสถานที่จริงพบข้อมูลระยะเวลาการเปิดปิดสัญญาณไฟเขียวแบ่งเป็น 2 ชุดดังนี้

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

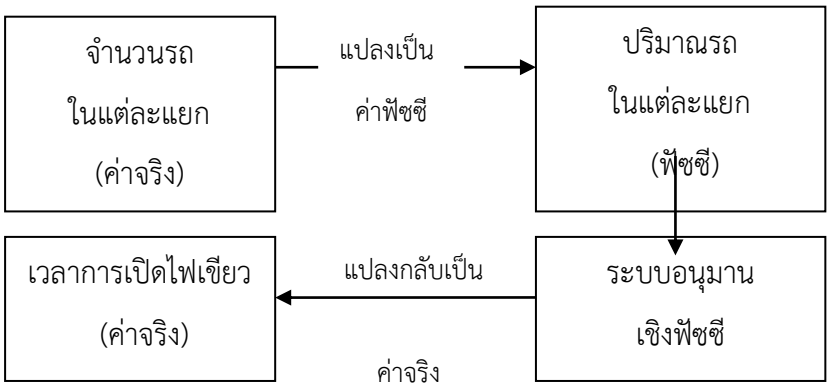
ตารางที่ 1 ข้อมูลระยะเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียว
(สำรวจในช่วงวันที่ 12 มีนาคม – 2 สิงหาคม 2559)

ในเบื้องต้นพบว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ได้แก่

1. ตัวแปรต้น คือ ปริมาณรถในแต่ละแยก และอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของรถ
2. ตัวแปรตาม คือ เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวในแต่ละแยก

**2 ระบบอนุมานเชิงฟัซซีของการควบคุมสัญญาณไฟจราจร**

ระบบอนุมานเชิงฟัซซีของการควบคุมสัญญาณไฟจราจร เป็นระบบที่ใช้คำนวณหาเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวที่จะเปิดในแยกใดๆ โดยที่วิธีการคำนวณหาเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวนั้นต้องใช้ข้อมูลตัวแปรต้น คือ จำนวนรถในแต่ละแยก เพื่อวิเคราะห์หาค่าตัวแปรตาม คือ เวลาการเปิดไฟเขียว ซึ่งระบบการอนุมานจะเป็นไปตามขั้นตอนตามแผนภาพด้านล่าง




รูปที่ 3 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

**3 ขั้นตอนการทดสอบชุดของฟัซซีเซต**

การทดสอบชุดของฟัซซีเซต ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ 1. รวบรวมชุดของฟัซซีเซตทั้งหมดที่จะนำมาทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพ 2. นำฟัซซีเซตแต่ละชุดมาทำการควบคุมการจราจรในระบบเสมือน

เราใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้นบน MATLAB ในการวิเคราะห์หาชุดของฟัซซีเซตที่เหมาะสมที่สุด โดยคำนวณจากระยะเวลาคอยรวมในแต่ละแยกที่น้อยที่สุด

Veridian E-Journal, Silpakorn University
ISSN 1906 - 3431

**Results/ ผลการศึกษา**

จากการศึกษาทำให้ได้ชุดของฟัซซีเซตที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่สี่แยกสนามจันทร์ ทั้งนี้ก่อนการนำระบบไปใช้จริงเราจำเป็นต้องเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมสัญญาณไฟจราจรระหว่างระบบฟัซซีกับระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบอื่นๆ โดยเลือกทดสอบประสิทธิภาพระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร 5 ระบบ ดังนี้

1. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวเท่ากันทุกแยกตลอดทั้งวัน (TQ)

2. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใช้เวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวคงตัวตลอดทั้งวันโดยระยะเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวในแต่ละแยกสอดคล้องกับปริมาณรถที่วิ่งผ่านในแยกนั้นๆ (TC)

3. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยกำหนดเวลาการเปิดสัญญาณไฟสีเขียวตามสัดส่วนปริมาณรถรวมในแต่ละแยก ณ เวลานั้นๆ (TNC)

4. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบฟัซซีลอจิก (FUZ**)**

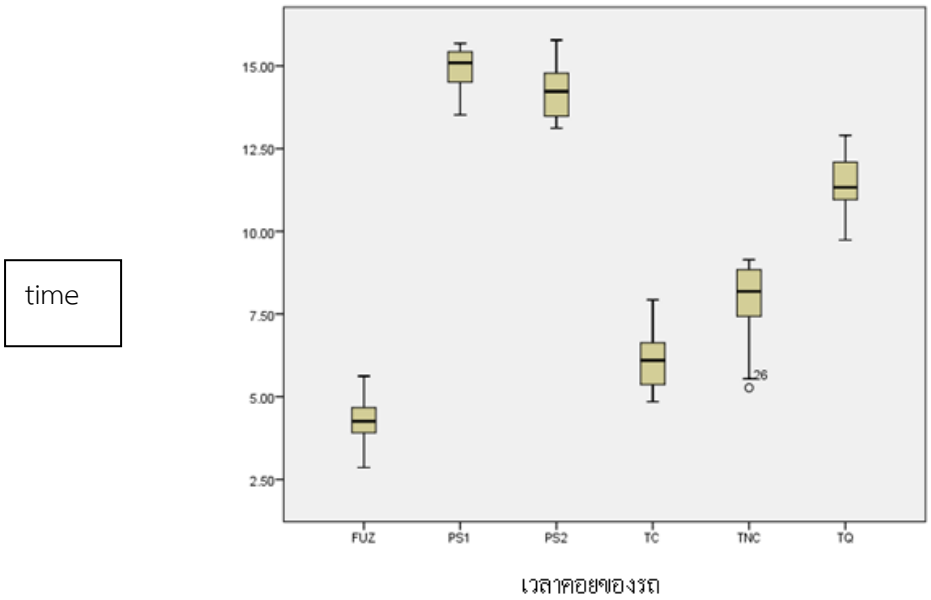
5. การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบที่ใช้ในปัจจุบันของสี่แยกสนามจันทร์ (PS1 และ PS2)

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

| | 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 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 |

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ 5 แบบ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ใช้สถิติทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยและหาค่าเฉลี่ยที่ดีที่สุดโดยวิธีการ Multiple comparison with the best (สถิติของ Dunnett) จะได้ข้อมูลดังนี้ ซึ่งสรุปได้ว่า การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบฟัซซีลอจิก (FUZ**)** เป็นแบบที่ดีที่สุด




รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบเวลาคอยของรถแบบต่างๆ

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: time

Dunnett t (2-sided)[a]

| (I) เวลาคอย | (J) เวลาคอย | Mean Difference (I-J) | Std. Error | P-value |
|---|---|---|---|---|
| FUZ | TQ | -7.0970* | .42009 | <.001 |
| PS1 | TQ | 3.5290* | .42009 | <.001 |
| PS2 | TQ | 2.8000* | .42009 | <.001 |
| TC | TQ | -5.2680* | .42009 | <.001 |
| TNC | TQ | -3.6150* | .42009 | <.001 |

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .882.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ 5 แบบ ด้วยโปรแกรม SPSS

## Disscussion/Conclusion /อภิปรายผล

จากข้อมูลทั้งหมดในการทดสอบวิเคราะห์ได้ว่า ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของชุดฟัซซีเซตนั้นมีค่าเฉลี่ยของเวลาคอยสัญญาณไฟสำหรับรถแต่ละคันและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาคอยน้อยกว่า แบบอื่นๆ ทั้ง 4 แบบ จึงสามารถสรุปได้ว่า ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของชุดฟัซซีเซตมีประสิทธิภาพดีที่สุด

ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่พัฒนาขึ้นมานี้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริงในสี่แยกสนามจันทร์ โดยระบบสามารถปฏิบัติงานแทนเจ้าหน้าที่จราจรในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับปริมาณรถในแต่ละเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการติดตั้งระบบดังกล่าวสามารถทำได้ด้วยต้นทุนประมาณ 10,000 บาท

Veridian E-Journal, Silpakorn University
ISSN 1906 - 3431

**ข้อเสนอแนะ**

การประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรนั้น ต้องใช้ตัวแปรของชุดฟัซซีเซตจำนวนมากในการวิเคราะห์หาชุดฟัซซีเซตที่ดีที่สุด ซึ่งในการคำนวณนี้ได้ใช้ชุดฟัซซีเซตทั้งหมด 46,656 ชุด โดยได้มาจากปริมาณรถในแต่ละแยก ซึ่งใช้เวลาในการคำนวณมาก เราได้ให้ข้อเสนอแนะว่าถ้าเพิ่มชุดของฟัซซีเซตและตัวแปรมากขึ้น อาจทำให้หาชุดฟัซซีเซตที่ดีที่สุดได้ดีกว่าเดิมได้

**เอกสารอ้างอิง**

**ภาษาไทย**

ปรีชา ลิ้มตระกูล. (2559). **การพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลังด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล**. Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน): 15-36.

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

วิภาวรรณ เล้าอรุณ. (2559). **การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบทีและสถิติทดสอบแมนน์-วิตนีย์กรณีมีค่านอกกลุ่ม**. Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม): 93-108.

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

**ภาษาต่างประเทศ**

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

**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